

**Schwermetallgehalte in Böden und
Pflanzen alter Bergbaustandorte im
*SÜDSCHWARZWALD***

**Umweltministerium
Baden-Württemberg**

**Luft
Boden
Abfall**



Heft 32



Bodenschutzfachinformation im WWW

IMPRESSUM

Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg
Postfach 103439
70029 Stuttgart

Bearbeiter: Dr. M. Manz, Prof. Dr. H. Puchelt, Institut für Petrographie und Geochemie – Universität Karlsruhe
Dr. R. Fritsche, GeoMinConsult 74924 Neckarbischofsheim

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind - auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen alter Bergbaustandorte im Südschwarzwald

*Bearbeitung:
Institut für Petrographie und Geochemie
Universität Karlsruhe*

*GioMinConsult
74924 Neckarbischofsheim*

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	2
1 EINLEITUNG	3
1.1 ZIEL DER UNTERSUCHUNG	3
1.2 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK	3
2 PROBENNAHME UND AUFBEREITUNG	5
BODENPROBEN:.....	5
AMMONIUMNITRATEXTRAKTIONEN	6
HALDENMATERIAL:	7
WASSERPROBEN:	7
PFLANZENPROBEN:.....	8
BACHSEDIMENTPROBEN:	9
3 UNTERSUCHUNGEN IN DEN EINZELNEN BERGBAUGEBIETEN UND ERGEBNISSE	10
3.1 REVIER MÜNSTERTAL	10
3.1.1 <i>Etzenbach Poche und Kropbacher Tal (A)</i>	11
3.1.2 <i>Wildsbacher Tal (B)</i>	17
3.1.3 <i>Riggenbacher Tal (C, D)</i>	28
3.1.4 <i>Bereich Münster (E)</i>	37
3.1.5 <i>Muldener Tal (F, G, H)</i>	39
3.1.6 <i>Untersuchungen von Fließgewässersedimenten</i>	51
3.1.7 <i>Wasserproben</i>	53
3.1.8 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf</i>	56
3.2 REVIER TODTNAU	58
3.2.1 <i>Untersuchungsumfang</i>	58
3.2.2 <i>Ergebnisse</i>	63
3.2.3 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf</i>	64
3.3 REVIER SUGGENTAL.....	65
3.3.1 <i>Untersuchungsumfang</i>	65
3.3.2 <i>Ergebnisse</i>	67
3.3.3 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf</i>	70
3.4 REVIER BLEIBACH	70
3.4.1 <i>Untersuchungsumfang</i>	71
3.4.2 <i>Ergebnisse</i>	72
3.4.3 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf</i>	77
3.5 REVIER FREIAMT	78
3.5.1 <i>Untersuchungsumfang</i>	78
3.5.2 <i>Ergebnisse</i>	80
3.5.3 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf</i>	83
4 LITERATURVERZEICHNIS	84
INDEXVERZEICHNIS	87
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	88
TABELLENVERZEICHNIS	89

Vorwort

In manchen Teilen des Landes, insbesondere im mittleren und im Südschwarzwald, haben und der - teilweise bis in die Römerzeit zurückreichende - historische Erzbergbau und die Aufarbeitung der geförderten Erze eine bleibende Hinterlassenschaft beschert. Die jahrhundertelange Verwitterung und Auslaugung der zutage geförderten Rohstoffe hat häufig in den Böden zu völlig anderen Gehalten von Schwermetallen und ihrer Verfügbarkeit geführt als in den landläufig entwickelten Bodenformen. Damit wurde die stoffliche Beschaffenheit der dort anstehenden Böden nachhaltig beeinträchtigt. Die Schwermetalle sind in höheren Konzentrationen und bei entsprechend hoher Verfügbarkeit Umweltgifte, die über das Wasser und über Pflanzen und Tiere in die Nahrungskette gelangen. Auf diese Weise, jedoch auch durch direkte Aufnahme, können sie zu einer Gefährdung der hier lebenden Menschen werden. Zum Glück sind Gesundheitsbeeinträchtigungen bisher nicht bekannt geworden. Dies darf uns jedoch heute, nachdem wir über weiterreichende Kenntnisse der möglichen Gefährdungen verfügen, nicht dazu verleiten, das Risiko zu verharmlosen.

Das Umweltministerium hat sich der Problems des historischen Bergbaus und seiner möglichen Folgen, die letztendlich immer den Menschen betreffen, mit besonderem Nachdruck angenommen und wird weitere Untersuchungen und Maßnahmen unterstützen. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse werden nacheinander in mehreren Heften dieser Reihe veröffentlicht werden, um sie so der betroffenen und interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Darüber hinaus werden aktuell die historischen Erzbergbau-, Halden- und Aufbereitungsstandorte in Baden-Württemberg systematisch landesweit erhoben. Es ist geplant, nach Abschluß der Arbeiten auch die daraus gewonnenen Ergebnisse zu veröffentlichen.

Bei den Verunreinigungen der Böden in den alten Bergbaustandorten handelt es sich um Beispiele von weit in die Vergangenheit zurückreichenden, folgenschweren Eingriffen des Menschen in den Naturhaushalt, ohne daß dabei die Folgen richtig eingeschätzt werden konnten. Die späteren Eigentümer und Nutzer dieser Böden wußten und wissen vielfach nichts von den vorhandenen Bodenbelastungen. Sie hatten und haben von dem durch die damaligen Grundherren angeordneten und betriebenen Bergbau keinerlei persönliche oder materielle Vorteile. Es werden daher gemeinsame Bemühungen von Eigentümern, Kommunen und Land nötig sein, um das Gefahrenpotential eingehend zu erkunden, zu bewerten und darauf die nötigen Maßnahmen zur Gefahrbegrenzung, Sicherung und Sanierung aufbauen zu können.

Peter Reinelt

Staatssekretär

1 Einleitung

Bereits seit etwa 2000 Jahren ist der Südschwarzwald ein Schwerpunkt des Blei-Zink-Bergbaus. Durch den Abbau und die Verhüttung der Erze entstanden zahlreiche Halden und Ablagerungen von Rückständen mit z.T. erhöhten Schwermetall- und Arsengehalten. Die Belastungen von Böden, Pflanzen und Gewässern infolge des Bergbaus werden seit einigen Jahren umfassend untersucht (u.a. SCHMITZ-HARTMANN 1988, MANZ 1990, RITTER 1991, RÜDE 1991 und LEHMANN 1993).

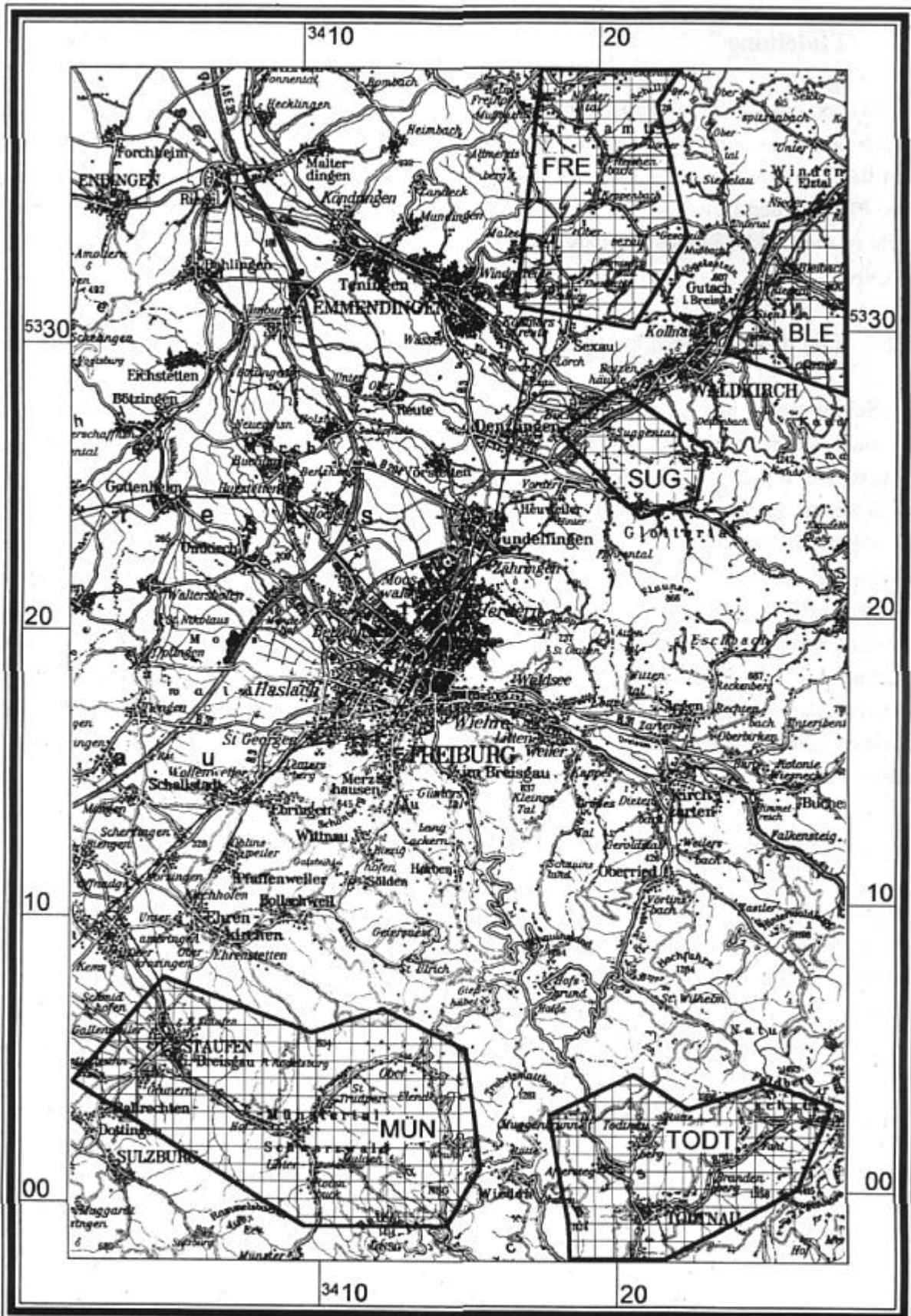
1.1 Ziel der Untersuchung

Die Schwermetall- und Arsengehalte in Halden, Böden, Pflanzen und Wasser in Bergbaugebieten des südlichen Schwarzwalds sollten untersucht und daraus resultierende mögliche Gefahren für Pflanze, Tier und Mensch beurteilt werden. Neben den Gesamtschwermetallgehalten in Böden ist die Bestimmung der Schwermetallmobilität und Pflanzenverfügbarkeit dieser Elemente von entscheidender Bedeutung, da mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen eine Bewertung des Gefährdungspotentials erfolgt. Schwermetalle werden durch den Menschen hauptsächlich über die Nahrungskette aufgenommen. Deshalb wurden aus den belasteten landwirtschaftlich genutzten Gebieten Schwermetalluntersuchungen an Acker- und Gemüsepflanzen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse soll die Belastungssituation in den verschiedenen Untersuchungsgebieten sowie Möglichkeiten zur Minimierung des Austrags von Schwermetallen aus den Halden und des Eintrags in sensibler genutzte Bereiche bzw. zur Immobilisierung der Schadstoffe in Böden aufgezeigt werden.

1.2 Geologischer Überblick

Die Arbeitsgebiete befinden sich im südlichen Schwarzwald, mit Schwerpunkt der Untersuchungen im Münstertal. Weitere Gebiete sind die Bereiche um Todtnau, Suggental, Bleibach und das Freiamter Gebiet (Karte 1.2.1). Fast die Hälfte des Untersuchungsgebiets besteht aus hochmeta- morphem Grundgebirge und Graniten variszischen bis spätvariszischen Alters. Die im Südschwarzwald weit verbreiteten Pb/Zn-Erzgänge (z.B. die Erzgänge in der Umgebung des Münstertals) entstanden im Oberkarbon oder Perm. Es handelt sich um Quarz-Fluorit-Schwerspatgänge mit Pb-Zn-Ag-Erzen in Paragenese mit z.T. Fahlerz, Antimonerz, Kupferkies und Eisenglanz. METZ et al. (1957) geben eine Einteilung in mehrere Paragenesegruppen. Im Tertiär kam es zu einer Neubelebung der Tektonik, in deren Folge es zu einer lokalen Mineralisation auf wiederbelebten oder neuentstandenen Verwerfungen kam. Die Vererzungen im Freiamter Gebiet sind ein typisches Beispiel hierfür.

Karte 1.2.1 Übersichtskarte der bearbeiteten Gebiete



2 Probennahme und Aufbereitung

Bodenproben:

Die Entnahme der Proben erfolgte mit einem Bohrstock in den Bodentiefen 0-10 cm, 10-40 cm und > 40 cm. Aus mehreren Einstichen in einem Abstand von 0,5-1 m wurden horizontweise-Mischproben hergestellt. Im Anschluß an die Bodenansprache (SCHEFFER et al. 1989, Korngröße nach DIN 4023, Farbe nach DIN 19682, Bl.1 mit der MUNSELL Soil Colour Chart) wurde das Material verpackt und im Labor weiterverarbeitet. Nach Trocknung bei 40 °C, Zerkleinerung in einem Holzmörser und Absieben des Feinbodens < 2 mm wurde ein Teil des gesiebten Materials analysenfein aufgemahlen.

Für die Beurteilung der Ergebnisse der Bodenuntersuchungen wurden die in Tab. 2.1 genannten Prüfwerte der 3. Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV Anorganische Schadstoffe 1993) herangezogen. Für die in Frage kommenden Schadstoffe wurden teilweise Konzentrationskarten der Bodentiefen 0-10 cm, in einigen Fällen auch für tiefere Bereiche, erstellt. Folgende Einteilung der Zn-, Pb-, As- und Cu-Gehalte in Konzentrationsklassen wurde gewählt:

1. Gehalte unter den Prüfwerten;
2. Gehalte, die den Prüfwert bis zum Doppelten überschreiten;
3. Gehalte, die den Prüfwert bis zum Zehnfachen überschreiten;
4. Gehalte, die den Prüfwert um mehr als das Zehnfache überschreiten.

Die Nachweisgrenze der EDRFA für Arsen von 25 mg/kg bei gleichzeitig hohen Pb-Gehalten im Boden führte zu einer Erfassungsgrenze etwas über dem Prüfwert (20 mg/kg). Bei der Erstellung der Cd-Konzentrationskarten mußte aus analytischen Gründen 2 mg/kg als unterste Grenze festgelegt werden.

Tab. 2.1 Prüfwerte hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser abgestuft nach pH und Tongehaltsgruppe für As- und Schwermetalle in Böden

(VwV Anorganische Schadstoffe 1993), Tongehalt in %: T1: 0-8%, T2: >8-17%, T3: >17-27%, T4: >27-45%, T5: >45-65%, T6: >65%

Element	pHWert (CaCl ₂)	Tongehaltsgruppe	Gesamtgehalt (mg/kg)
Arsen	pH \geq 5	T 1	20
	pH \geq 5	T 2 - T 6	40
Cadmium	pH \geq 5	T 1	1,0
	pH \geq 5 und < 6	T 2 - T 6	1,0
	pH \geq 6	T 2 - T 6	1,5
Chrom	pH \geq 5	T 1 - T 6	100,00
Kupfer	pH \geq 5	T 1 - T 6	60
Quecksilber	pH \geq 5	T 1 - T 6	1,0
Nickel	pH \geq 5	T 1 - T 6	50
Blei	pH \geq 5	T 1 - T 6	100,00
Thallium	pH \geq 5	T 1	0,5
	pH \geq 5	T 2 - T 6	1,0
Zink	pH \geq 5	T 1	150,00
	pH \geq 5 und < 6	T 2 - T 6	150,00
	pH \geq 6	T 2 - T 6	200,00

Ammoniumnitratextraktionen

An Bodenproben der untersuchten Gebiete wurden insgesamt 108 Ammoniumnitratextraktionen (DIN V 19730) zur Ermittlung der mobilen Arsen- und Schwermetallgehalte durchgeführt. Die Auswahl der Proben wurde auf Oberböden aus Hausgärten und Ackerflächen belasteter Gebiete beschränkt. In Bleibach, Suggental und im Todtnauer Revier wurden zusätzlich einige Proben von Unterböden in diese

Untersuchungen einbezogen. Zur Beurteilung wurden jeweils die Prüfwerte (P_{mob}) der VwV Anorganische Schadstoffe 1993 herangezogen (Tab. 2.2).

Tab. 2.2 Prüfwerte P_{mob}* hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser (VwV Anorganische Schadstoffe 1993), (Angaben in µg/kg):

	Mikro-organismen	Nahrungs-pflanzen	Futter-pflanzen	Pflanzen-wachstum	Boden-sicker-wasser Oberboden	Bodensickerwasser Unterboden
Arsen	-----	140,00	140	800	140	70
Cadmium**	-----	25	25	-----	100	30
Chrom	130	-----	-----	60	130	130
Kupfer	1200	-----	1000	2400	1200	450
Quecksilber	7	-----	-----	-----	7	7
Nickel	-----	-----	-----	1200	1200	700
Blei	-----	400	400	-----	3500	250
Thallium	-----	40	40	-----	-----	-----
Zink	-----	-----	5000	10000	5000	1500

---- nach derzeitigem Kenntnisstand ist eine Beeinträchtigung des Schutzgutes durch den Schadstoff zu vernachlässigen. Ergeben sich Hinweise, daß ein Schutzgut beeinträchtigt sein kann, ist eine Einzelfallprüfung durchzuführen

++ für die Einstufung hinsichtlich des Schutzgutes Pflanzen ist der Prüfwert nicht anwendbar, wenn gleichzeitig der mobile Gehalt an Zink über 5000 µg/kg liegt. Bei hohem Zinkgehalt wird die Cadmiumaufnahme reduziert.

Haldenmaterial:

Zur Ermittlung der Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen wurden Mischproben von den Halden (2-5 kg) entnommen. Um einerseits jedoch Inhomogenitäten in der Halde feststellen und andererseits Ton-, Schluff- und Sandanteil genauer bestimmen zu können, wurde an mehreren Punkten der Halde Material entnommen und dieses gesondert aufbereitet. Aus der Vermessung der Halden wurde die noch vorhandene Gesamtmenge an Haldenmaterial sowie die Schwermetall- bzw. Arsenmengen abgeschätzt.

Wasserproben:

Die Wasserproben wurden bereits bei der Probennahme im Gelände mit einem Zellulosenitratfilter (45 µm) filtriert und mit HNO₃ (65 % suprapur) angesäuert. Weiterhin erfolgten Bestimmungen der Temperatur und Leitfähigkeit des Wassers, des pH-Werts und des Redoxpotentials. Die Wasserführung der Bäche wurde geschätzt. Zur Beurteilung der Wasseranalysen wurden die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 1990) sowie weitere international gültige Grenz- und Richtwerte herangezogen (Tab. 2.3).

Tab. 2.3 Bestehende Grenz- und Richtwerte für Trinkwasser (Angaben in µg/l) (zitiert in HEIN & SCHWEDT 1991):

Element	TrinkwV-BRD (Grenzwert)	EG-TW (Höchstkonz.)	WHO-TW (Richtwert)
Antimon	10,00	10,00	---
Arsen	40 (ab 1996: 10)	50,00	50,00
Barium	1000,00	100,00	---
Blei	40,00	50,00	50,00
Cadmium	5,00	5,00	5,00
Chrom	50,00	50,00	50,00
Kupfer	3000,00	---	1000,00
Nickel	50,00	50,00	---
Selen	10,00	10,00	10,00
Zink	5000,00	---	5000,00

Pflanzenproben:

Bei Vorliegen einer Arsen- und/oder Schwermetallbelastung im Boden wurden möglichst gleiche Pflanzenarten aus den Hausgärten der betroffenen Grundstücke beprobt. Das entnommene Pflanzenmaterial wurde mit deionisiertem Wasser gewaschen, das Frischgewicht bestimmt und bei 40 °C getrocknet. Danach wurden die Pflanzen in ihre Bestandteile *Blatt, Stengel, Wurzel, Korn etc.* zerlegt. Bei Wirsing und Salat wurde, wenn möglich, auch eine Auftrennung in äußere und innere Blattkränze durchgeführt. Nach Zerkleinerung und Trocknung des Materials bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz, wurden die Pflanzenbestandteile mit Salpetersäure und Zugabe von Flußsäure im Mikrowellenofen aufgeschlossen. Die Analysen wurden mit ICP-MS durchgeführt. Die Ergebnisse werden bezogen auf das Trockengewicht angegeben. Da die Richtwerte für Pflanzen auf das Frischgewicht bezogen werden, wurde aus dem Quotient Frischgewicht zu Trockengewicht ein Umrechnungsfaktor für jeden Pflanzentyp berechnet (Tab. 2.4).

Tab. 2.4 Richtwerte des Bundesgesundheitsamts für Schadstoffe in Lebensmitteln (BGA 1993) sowie auf die Trockensubstanz umgerechnete Werte (UF=Umrechnungsfaktor; Angaben in mg/kg):

Pflanze	BGA (FS) Cd	BGA (FS) Pb	UF	BGA (TS) Cd	BGA (TS) Pb
Möhre	0,10	0,25	8,00	0,80	2,00
Endivien- u. Kopfsalat (Blatt)	0,10	0,80	14,00	1,40	11,2
Petersilie (Blatt + Stengel)	0,10	2,00	4,00	0,40	8,00
Wirsing (Blatt)	0,10	2,00	9,00	0,90	18,0
Kartoffel	0,10	0,25	5,00	0,50	1,25
Hafer (Korn)	0,10	0,30	1,20	0,12	0,36
Zwiebel	0,10	0,25	8,00	0,80	2,00
Gerste (Korn)	0,10	0,30	1,20	0,12	0,36

Bachsedimentproben:

Die Proben von Bachsedimenten wurden auf < 80 mesh (< 177 µm) abgesiebt und mit EDRFA gemessen.

Die Proben wurden durch eine fortlaufende Numerierung gekennzeichnet, wobei für Boden- und Haldenproben der Nummer Kennbuchstaben des jeweiligen Untersuchungsgebiets vorangestellt wurden. Die einzelnen Tiefenhorizonte wurden mit A, B, C bezeichnet (A:0-10 cm, B:10-40 cm und C: > 40 cm). Die Art der Proben wurde durch die Abkürzungen (W) für Wasserproben, (P) für Pflanzenproben und (SED) für Sedimentproben gekennzeichnet.

3 Untersuchungen in den einzelnen Bergbaugebieten und Ergebnisse

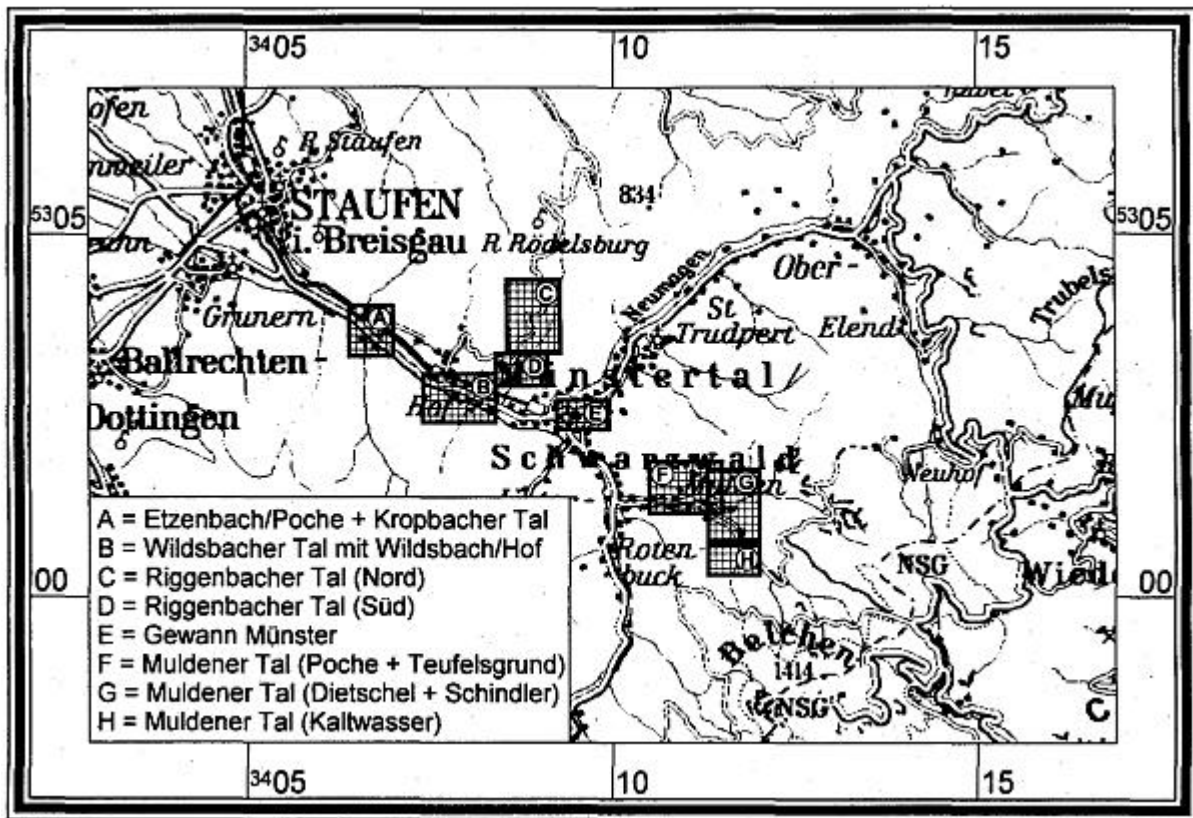
3.1 Revier Münstertal

Das etwa 15 km südlich von Freiburg gelegene Untermünstertal (TK 25, Bl. 8112 Staufen) erstreckt sich zunächst nach Südosten bevor es sich am ehemaligen Bergort "Münster" in einen nach Nordosten und in einen nach Süden verlaufenden Zweig gabelt (Karte 1.2.1). Die Besiedlung des Münstertals geht wahrscheinlich bis in römische, vielleicht sogar bis in keltische Zeit zurück. Erste Hinweise auf den Bergbau geben eine Urkunde aus dem Jahre 1028 und die Feuerstzstufe der Grube Teufelsgrund. Sehr schnell erreichte der Silberbergbau einen bedeutenden Stellenwert im Münstertal. Dies geht aus der Gründung der Bergstadt Münster und der zahlreichen mittelalterlichen Grubenbezirke hervor (Tab.3.1.1). Man nimmt an, daß bis zum Ausgang des Mittelalters etwa 500-1000 Bergleute und "Bergverwandte" im Münstertal lebten (MAUS 1983). Nach der pestartigen Seuche, die das Münstertal 1516 heimsuchte und dem Bauernkrieg 1524/25, ging der Bergbau bis auf wenige Gruben zurück. Die Bergstadt Münster wird urkundlich zuletzt 1539 erwähnt. Nach einer vorübergehenden Erholung kam es in den Jahren zwischen 1570 und 1660 zu einem erneuten Nachlassen des Bergbaus (SCHLAGETER 1989) und zu einem fast völligen Stillstand am Schindler. Ein erneuter Aufschwung Anfang des 18. Jahrhunderts dauerte bis in das 19. Jahrhundert an (am Teufelsgrund bis 1864). Zuletzt wurde am Teufelsgrund bis 1958 Flußspat gefördert. 1970 wurde in der Friedrichsstrecke des Schindlergangs der Grube Teufelsgrund ein Besucherbergwerk eröffnet (MAUS 1988).

Tab. 3.1.1 Übersicht der wichtigsten Grubenbezirke im Münstertal. (MA=Mittelalter; Einteilung Mineralisation nach METZ et al. 1957)

Bereich	R- und H- Wert	Betriebsdauer	Einteilung	bergbauliche Reste
<u>Kropbach</u>	innerhalb von 340663/530350- 340711/530296	F:11.Jh.(1028), 18.Jh.	F14-F16 C13/C14	F:Stollen F/C:Pingen,Verhaue
<u>Wildsbach</u>	innerhalb von 340690/530300- 340800/530187	C:MA;17-19.Jh. F:? G:MA	C15/C16 F17;G6/7	Stollen, Pingen und teils Verhaue
<u>Muldener Tal</u> (mit Schindler Teu- felsgrund, Kalt- wasser...)	innerhalb von 341131/530220- 341250/529910	A1-8:MA A1/2:bis 20.Jh. A5:1820-32;1957 A8:18./19.Jh.	A1-10 D4;H11	zahlreiche Stollen, Schächte, Pingen, Verhaue
<u>Riggenbach</u>	340864/530341- 340906/530416	MA;18.Jh.(1740- 73)1811;1826-38	G2	Stollen, Pingen
<u>Etzenbacher Tal</u>	innerhalb von 340662/530400- 340722/530333	C:MA(?) F6,F9-11:MA; 16.Jh.(?), 18.Jh.	C12 F6-11	mind. 2 Stollen, 2 Schächte, Pingen

Karte 3.1.1 Übersicht der Probennahmeareale im Münstertal (Maßstab 1 : 100 000)



Das Arbeitsgebiet gliedert sich in mehrere Teilbereiche (Karte 3.3.1). In Klammer sind die in Tabellen und Abbildungen verwandten Abkürzungen angegeben:

- | | |
|---|--|
| A | Etzenbach / Poche (ETZ), Kropbacher Tal (KRO bzw. KROP) |
| B | Wildsbacher Tal mit Wildsbach / Hof (WIL) |
| C | Riggerbacher Tal / Nord (RIG) |
| D | Riggerbacher Tal / Süd (RIG) |
| E | Bereich Münster (MÜN) |
| F | Muldener Tal / Poche, Muldener Tal / Teufelsgrund (MUL) |
| G | Muldener Tal / Dietschel (MUL), Muldener Tal / Schindler (SCH) |
| H | Muldener Tal / Kaltwasser (MUL) |

3.1.1 Etzenbach Poche und Kropbacher Tal (A)

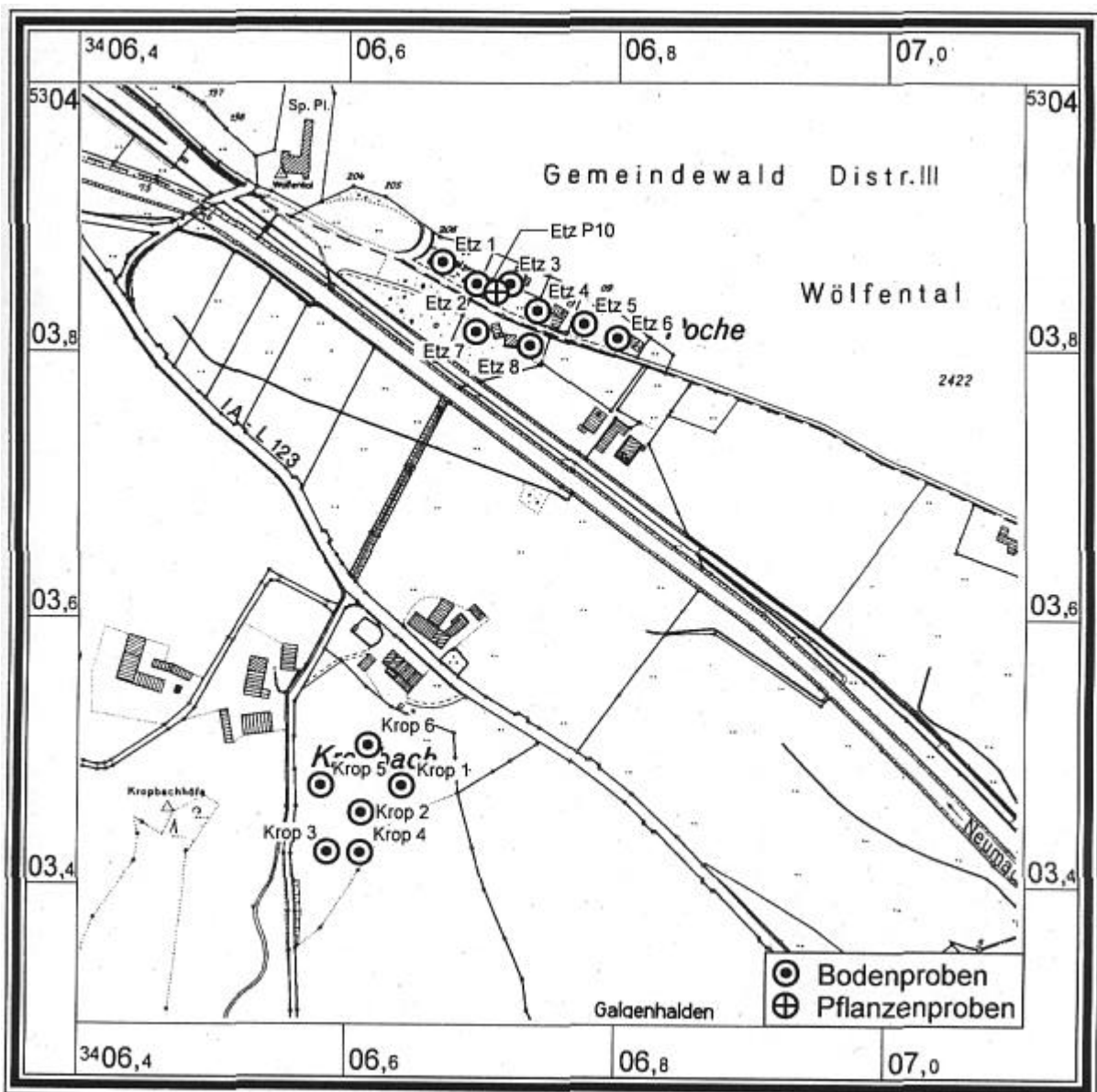
Das 2 km südöstlich von Staufen gelegene Gelände Etzenbach/Poche war im 18./19. Jahrhundert Sitz einer Eisenschmelze (R: ³⁴06650 H: ⁵³03870). Vermutlich befand sich zuvor für kurze Zeit eine Kupfer- und Silber-Schmelze zur Verhüttung von Riggerbacher Erzen auf diesem Standort (WETZLER 1989). Heute ist dieses Gebiet zu einem großen Teil bebaut. Südöstlich der Kropbacher Höfe liegt ein sehr altes Bergbauggebiet (1028 urkundlich erwähnt), das heute unter Landesdenkmalschutz steht. Hier finden sich ein sehr großer Verhau und z.T. noch offene Schachtöffnungen (Nähe "Schneiderhöhnfelsens" ca. 200 m oberhalb des Kropbacher Steinbruchs).

3.1.1.1 Untersuchungsumfang

Beprobung/Analysen (Karte 3.1.2):

- Bodenproben (16): Etzenbach / Poche, Wiesengelände am Ausgang des Kropbacher Tals etwa 100 m westlich des Steinbruchs an der Straße (nach Literaturangaben finden sich größere Halden im Untergrund). 1993 wurde das Wiesengelände mit Bodenmaterial unbekannter Herkunft und Mächtigkeit aufgeschüttet und als Obstbaugelände kultiviert,
- Pflanzenproben (3): Standort ETZ P10: Karotte, Petersilie, Kopfsalat .

Karte 3.1.2 Boden- und Pflanzenproben bei Etzenbach und Kropbach



3.1.1.2 Ergebnisse

Bodenproben

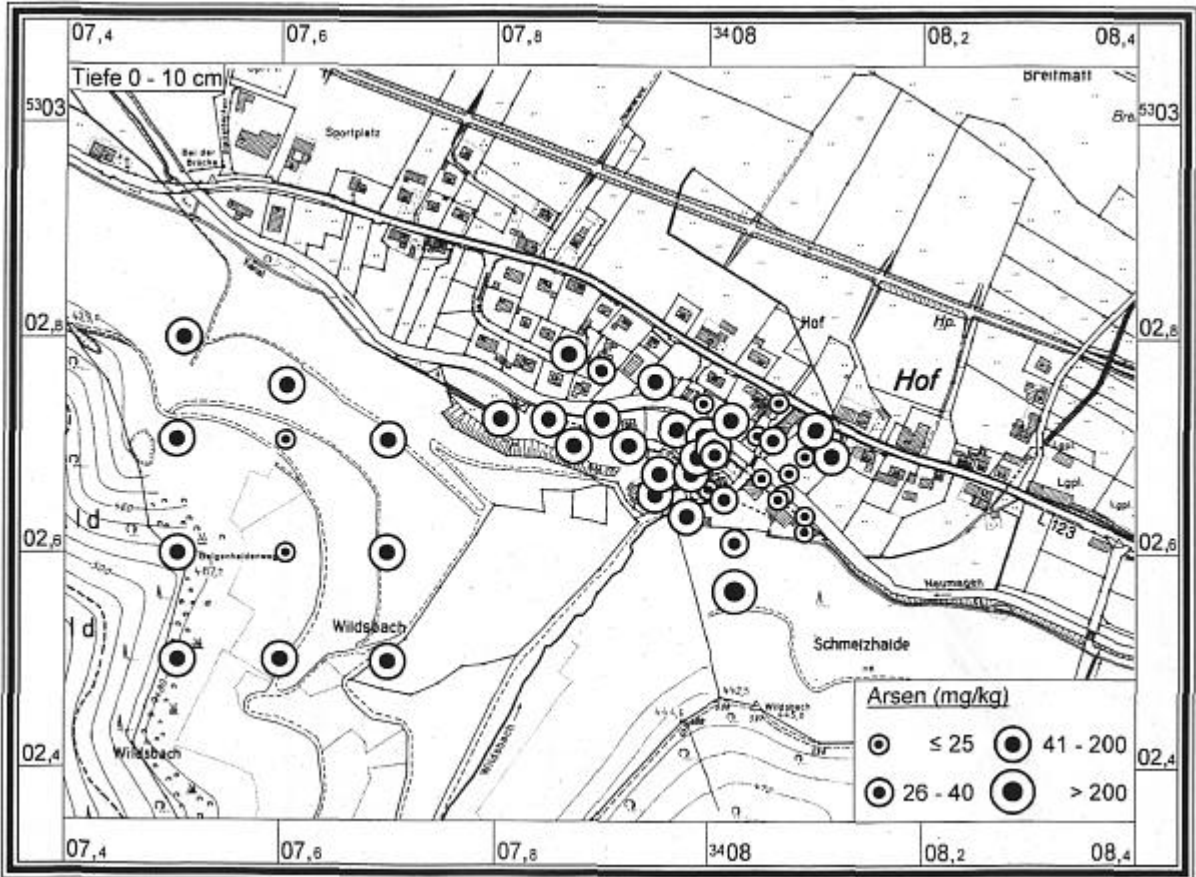
Die Böden sind stark sandige Anthrosole, mit mäßig sauren bis schwach alkalischen pH-Werten und Tongehalten von < 10 % .

Das Gebiet Etzenbach/Poche ist hauptsächlich durch hohe Arsen- (ETZ 2 - ETZ 4 und ETZ 8 bis über 100 mg/kg) und Bleigehalte (ETZ 1 bis 3100 mg/kg in der Tiefe 0-10 cm) gekennzeichnet. Die Zink-, Cadmium- und Kupfergehalte treten zurück, übersteigen aber auch hier besonders bei ETZ 1 die Prüfwerte der VwV Anorganische Schadstoffe (1993) (Karten 3.1.3 und 3.1.4). Die parallel zu den beprobten Pflanzen aus einem Hausgarten (ETZ 10) entnommenen Bodenproben wiesen ebenfalls As- (83-107 mg/kg), Pb- (1110-1630 mg/kg), Zn- (612-734 mg/kg), Cu- (74-122 mg/kg) und Cd-Gehalte (< 2 - 3,4 mg/kg) über den Prüfwerten der VwV Anorganische Schadstoffe (1993) auf. Auf dem Wiesengelände (Kropbach) liegen hohe Arsen- und Bleigehalte vor, die in der Tiefe 0-10 cm für As bis auf 167 mg/kg und für Pb auf fast 1000 mg/kg ansteigen. Sie nehmen ebenso wie in den Proben bei Etzenbach/Poche zur Tiefe zu. In einer Bodentiefe > 40 cm steigen die Arsengehalte auf über 600 mg/kg (Kropbach und Etzenbach/Poche), die Bleigehalte auf mehr als 10000 mg/kg (Etzenbach/Poche) bzw. 4000 mg/kg (Kropbach) an (Tab. 3.1.2). Es muß somit davon ausgegangen werden, daß die Böden von Haldenmaterial unterlagert werden. Hohe As-Gehalte sind durch größere Anteile an Arsenopyrit und As-führenden Fahlerzen der Kropbacher Gangmineralisation zu erklären.

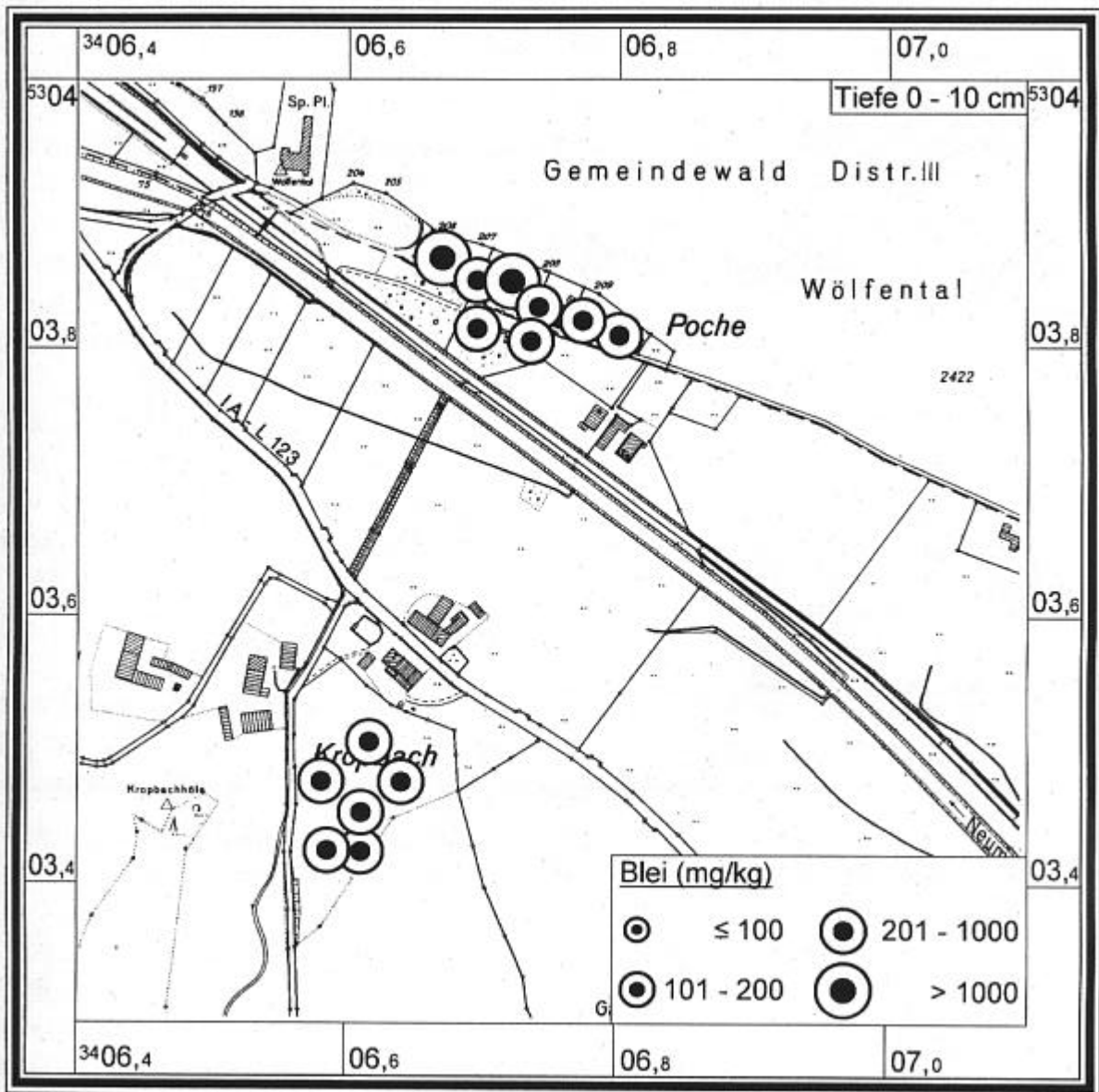
Tab. 3.1.2 Statistische Parameter der Zn-, As- und Pb-Gehalte (Angaben in mg/kg) und des pH-Werts in Böden bei Etzenbach/Poche (Proben ETZ 1 - ETZ 8, ETZ-P1) Maximal- und Minimalgehalt (MAX, MIN), arithmetischer Mittelwert (MW), Medianwert (MED), Anzahl untersuchter Proben (n), absolute Standardabweichung (S):

	Tiefe	n	MIN	MAX	MW	MED	S
pH-Wert	0-10cm	11,00	5,5	7,30	6,50	6,9	0,63
Zn		11,00	234,00	1070,00	554,00	499,00	220,00
As		11,00	25,00	109,00	91	96,00	22,30
Pb		11,00	221,00	3100,00	1170,00	990,00	715,00
pH-Wert	10-40cm	7,00	5,70	7,40	6,50	6,30	0,66
Zn		8,00	406,00	1310,00	681,00	584,00	289,00
As		8,00	65,00	250,00	131,00	107,00	56,20
Pb		8,00	342,00	9610,00	2252,00	1081,00	2841,00
pH-Wert	>40cm	7,00	5,70	7,40	6,60	6,5	0,66
Zn		8,00	295,00	1160,00	617,00	510,00	276,00
As		8,00	97,00	606,00	230,00	136,00	174,00
Pb		8,00	714,00	11700,00	3477,00	1235,00	4180,00

Karte 3.1.3 As-Gehalte der Böden bei Etzenbach/Poche und Kropbach (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.1.4 Pb-Gehalte der Böden bei Etzenbach/Poche und Kropbach (Tiefe 0-10 cm)



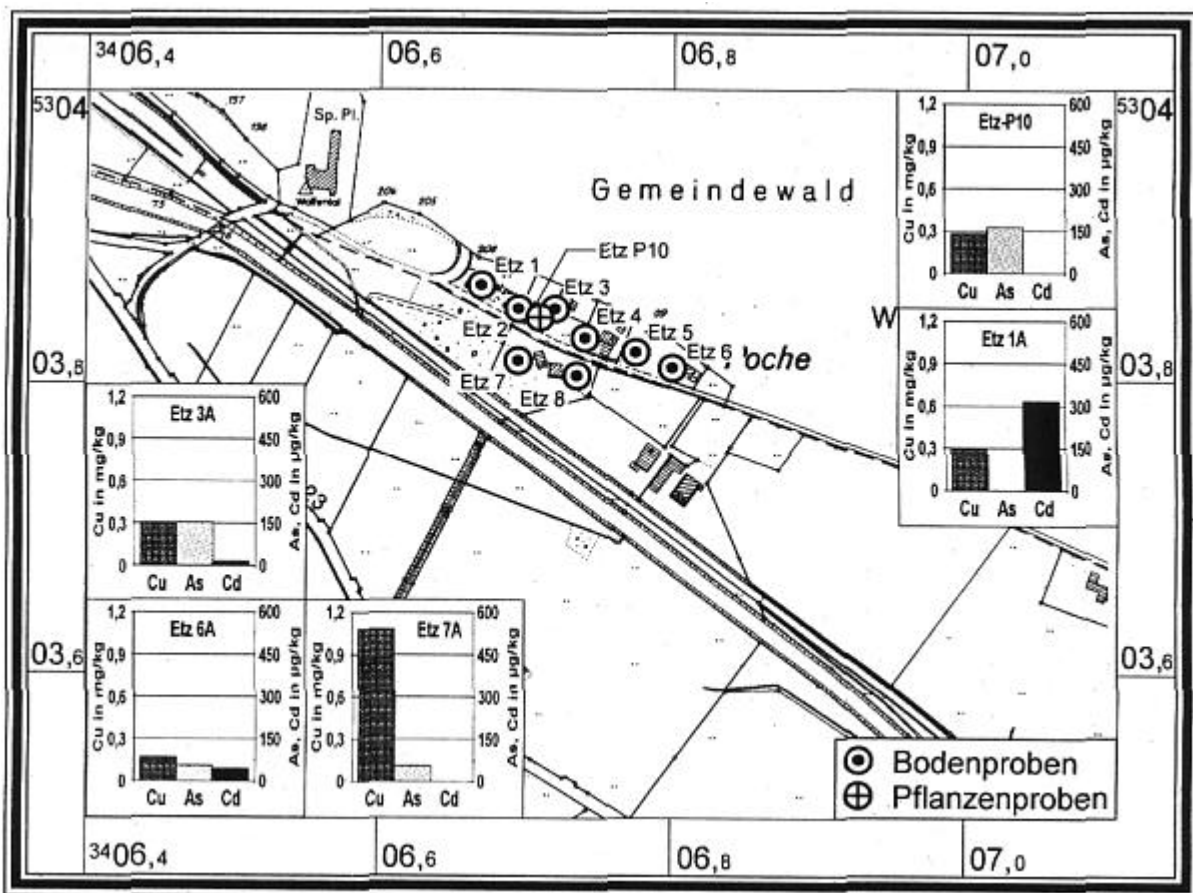
Ammoniumnitratextraktionen

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Ergebnisse findet sich in Tab. 3.1.3, Minima- und Maximawerte sowie der prozentual lösliche Anteil des Gesamtgehalts der Böden sind darin angegeben. Die Böden der Hausgärten in Etzenbach/Poche (Karte 3.1.5, ETZ-P10) übersteigen den Prüfwert (P_{mob}) für Arsen hinsichtlich Nahrungs- und Futterpflanzen.

Tab. 3.1.3 Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen der Böden in 0-40 cm Tiefe im Bereich Etzenbach/Poche (in $\mu\text{g}/\text{kg}$, mobiler Anteil in %)

Gebiet Etzenbach / Poche	Einheit	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Grünland und Hausgarten	$\mu\text{g}/\text{kg}$	172-10800,	314-23800	54,8-182	<5,20-318	67,6-23800
	%	19-1,21	0,05-2,22	0,06-0,22	0,51-12,2	0,006-0,768

Karte 3.1.5 Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen der Böden bei Etzenbach/Poche (Etz-P10 stellt den Mittelwert dreier untersuchter Proben aus einem Hausgarten dar):



Pflanzenuntersuchungen

Mohrrüben: Die Werte überschreiten den Richtwert für Pb (bezogen auf TS: 2 mg/kg).

Petersilie: Die Probe (ETZ-P10) enthält nur im Stengel geringfügig erhöhte Schwermetallgehalte.

Kopfsalat: Der Cd-Gehalt der äußeren Blätter liegt über dem Richtwert (auf TS bezogener Wert: 1,4 mg/kg). Der Richtwert für Pb wird unterschritten.

3.1.2 Wildsbacher Tal (B)

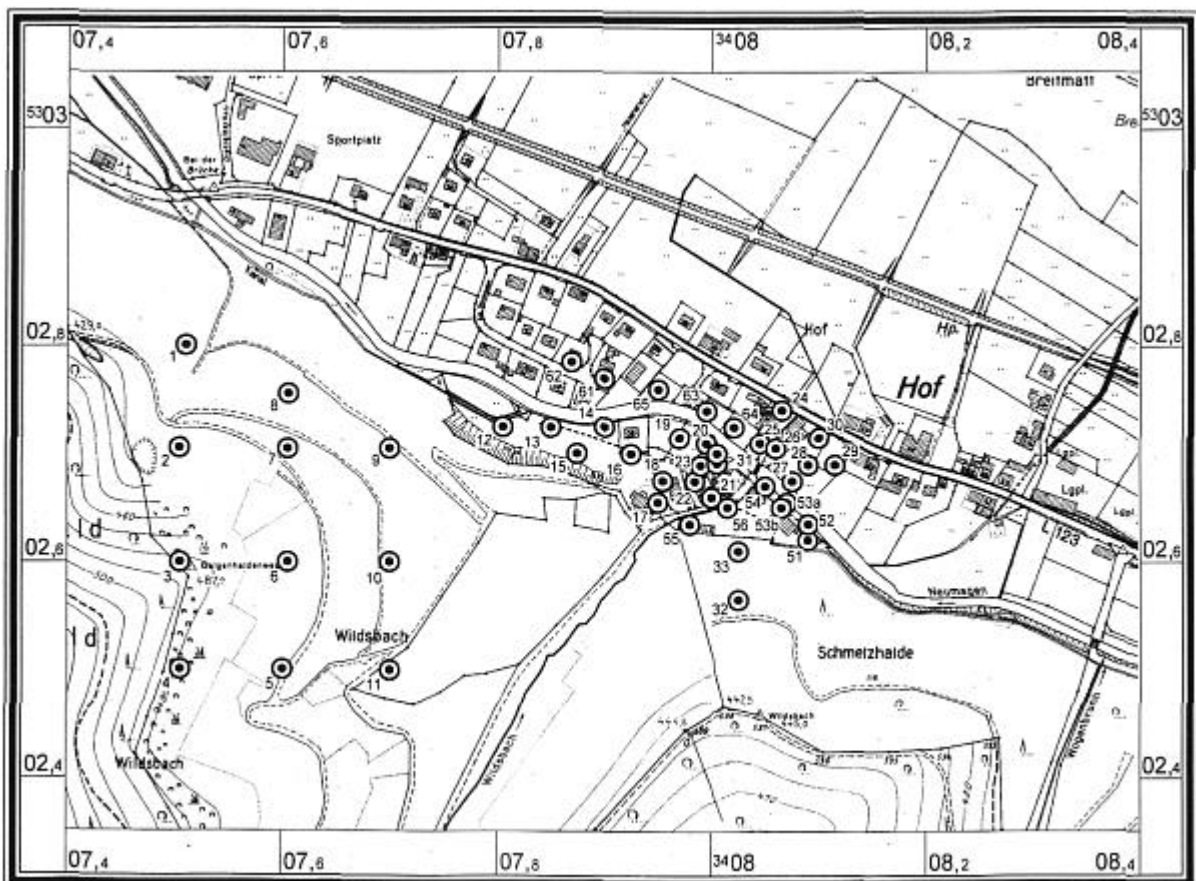
Die Quarz-Kies-Fahlerzgänge des Wildsbacher Tals wurden im Mittelalter und im 17.-19. Jahrhundert abgebaut. Einige Halden dieser Abbauphasen befinden sich im Wald oberhalb der "Schmelzhalde" und westlich des Wildsbachs im Bereich "Galgenhalden". Der Standort Wildsbach/Hof liegt 4 km südöstlich von Staufen und war über viele Jahrzehnte hinweg Sitz der Verhüttungsindustrie des Münstertales (1733-1864). Das Gelände ist heute fast vollständig bebaut.

3.1.2.1 Untersuchungsumfang

Beprobung/Analysen:

- Bodenproben (56): Probenraster auf den Wiese- und Weideflächen (Karte 3.1.6), Bereich der ehemaligen Schmelzhütte (Karte 3.1.6),
- Pflanzenproben (8): Hausgärten: Möhren, Endiviensalat, Petersilie und Wirsing (Karte 3.1.7).

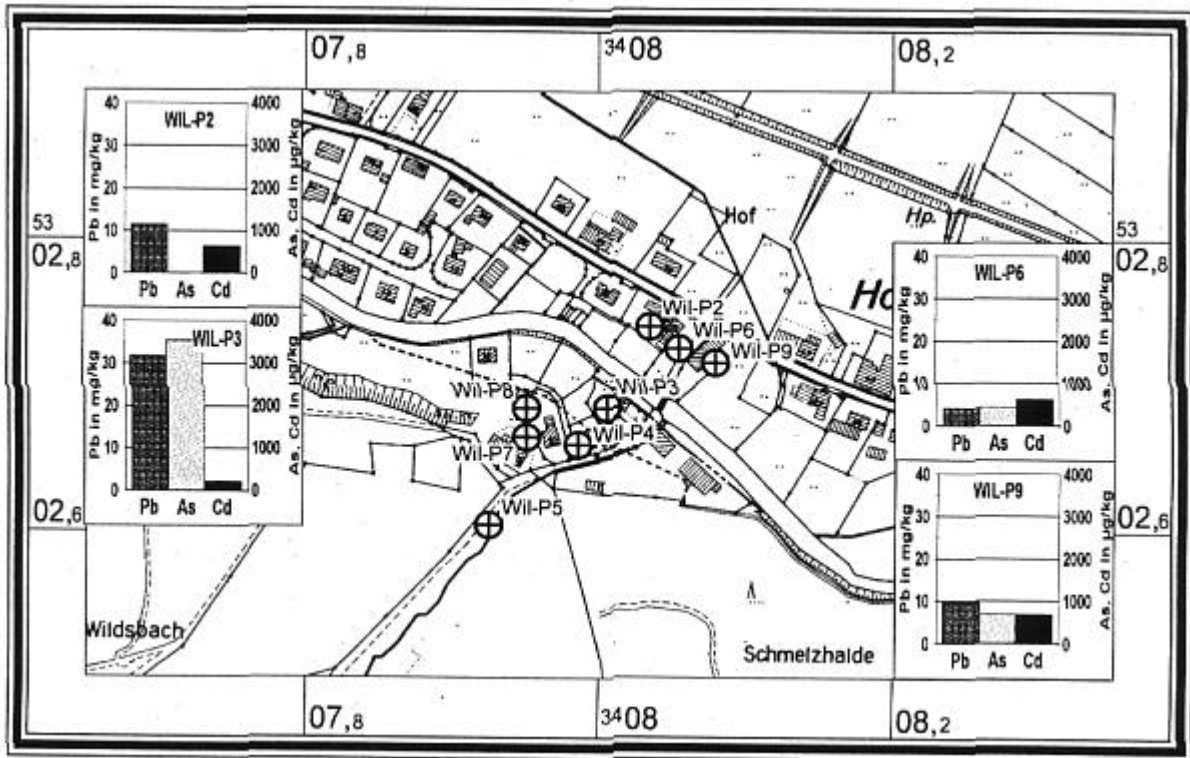
Karte 3.1.6 Bodenproben im Wildsbacher Tal einschließlich Wildsbach/Hof



Karte 3.1.7 Pflanzenproben bei Wildsbach/Hof und As-, Cd- und Pb-Gehalte in Petersilie

Richtwert für Cd bez. auf TS: 0,4 mg/kg

Richtwert für Pb bez. auf TS: 8,0 mg/kg



3.1.2.2 Ergebnisse

Bodenproben

Die Böden im hinteren Wildsbachtal sind stark sandige Braunerden. Das Aufschüttungsmaterial bei der Schmelze und in den Hausgärten wurde als Anthroisol oder Kolluvisol angesprochen.

pH-Wert:	pH 4 - 4,9, hinteres Wildsbachtal, Wiese- und Weidefläche, Aufschüttungsmaterial sowie die Böden der Hausgärten (Gemüseanbau) sind überwiegend schwach sauer bis schwach alkalisch, Böden außerhalb der Gärten weisen saure bis schwach saure pH-Werte auf.
Fe ₂ O ₃ -Gehalt:	4-5 Gew. %,
MnO-Gehalt:	< 0,2 Gew. %
C _{org.} :	4-6 % in Hausgärten, 2-3 % in den Wieseflächen.

Im hinteren Wildsbacher Tal liegen die Schwermetallgehalte (Pb, Zn) nur geringfügig über den Prüfwerten der VwV Anorganische Schadstoffe (1993), Arsen überschreitet die Werte jedoch bis zum ca. 5-fachen. Die höchsten Konzentrationen treten in der Nähe des Waldrandes auf (Probe WIL 1-5, WIL11). Im näheren Umkreis der ehemaligen großen Silberschmelze (heute Militärgelände bei R: ³⁴08050 H: ⁵³02640) sind die höchsten Schwermetallgehalte anzutreffen. In der obersten Bodenschicht (0-10 cm) werden Pb-Gehalte bis 1,37 %, Zn-Gehalte bis 0,46 %, Cd-Gehalte bis fast 10 mg/kg und Tl-Gehalte bis zu 2,6 mg/kg erreicht (Karte 3.1.8, 3.1.9,

3.1.11). Die höchsten As-Gehalte finden sich allerdings auf dem Hang südlich der Schmelzhütte (252 mg/kg in 0-10 cm , 427 mg/kg in > 40 cm) (Karte 3.1.10). Der Bereich "Schmelzhalde" war vermutlich vor einigen Jahren noch Müllplatz, heute findet sich dort junger Mischwald. Außerhalb des Standorts der Schmelzhütte ergaben sich bei nahezu allen untersuchten Proben nördlich und westlich des Geländes zum Teil deutliche Überschreitungen der Prüfwerte der VwV Anorganische Schadstoffe (1993)(Tiefe 0-10 cm: Zn Ø ca. 800 mg/kg, Pb Ø ca. 1400 mg/kg, As Ø 70 mg/kg).

Tab. 3.1.4 Statistische Parameter der Zn-, As-, Cd- und Pb-Gehalte (Angaben in mg/kg) und der pH-Meßwerte der Böden bei Wildsbach/Hof (Proben WIL 12 - WIL 33, WIL 51 - WIL 56, WIL 61 - WIL 65, WIL-P2-9) Maximal- und Minimalgehalt (MAX, MIN), arithmetischer Mittelwert (MW), Medianwert (MED), Anzahl untersuchter Proben (n), absolute Standardabweichung (S):

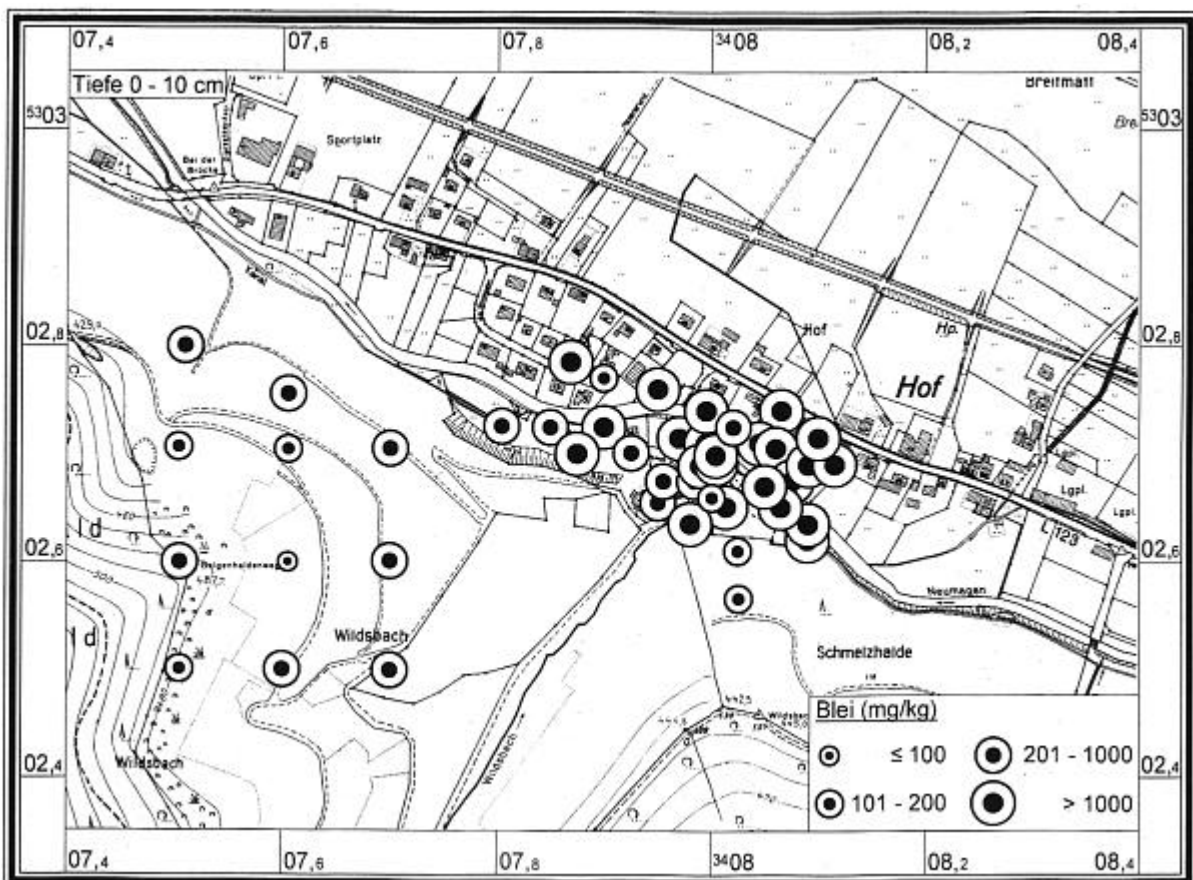
	Tiefe	n	MIN	MAX	MW	MED	S
pH-Wert	0-10cm	54,00	4,0	7,30	6,30	6,7	0,94
Zn		54,00	116,00	4590,00	1019,00	890,00	804,00
As		54,00	<25	252,00	-----	-----	-----
Cd		54,00	<2,0	9,80	-----	-----	-----
Pb		54,00	135,00	13700,00	1681,00	1175,00	2055,00
pH-Wert	10-40cm	35,00	4,20	7,60	6,10	6,20	1,0
Zn		35,00	142,00	5890,00	1279,00	791,00	1262,00
As		35,00	<25	372,00	-----	-----	-----
Cd		35,00	<2,0	10,00	-----	-----	-----
Pb		35,00	153,00	13400,00	2195,00	1130,00	2731,00
pH-Wert	>40cm	29,00	4,20	7,50	6,10	6,0	0,96
Zn		33,00	137,00	7010,00	1437,00	689,00	1730,00
As		33,00	<25	427,00	-----	-----	-----
Cd		33,00	<2,0	17,00	-----	-----	-----
Pb		33,00	59,00	25300,00	3197,00	812,00	5318,00

Auffällig sind die nördlich des Aufbereitungsgeländes im Gegensatz zu den Pb-, Zn- und Cd-Gehalten niedrigen As-Werte. Dies ist durch die dort vorhandenen hohen pH-Werte im Boden (bis über 7), bei denen die Mobilität von Arsen zunimmt, erklärbar. Bei Blei ist häufig, mit Ausnahme des Aufbereitungsgeländes, eine Abnahme der Gehalte zur Tiefe festzustellen (Tab. 3.1.4). Für Zink und Arsen trifft dies nicht zu, da sie vermutlich durch ihre höhere Mobilität im Laufe der Zeit in die Tiefe verlagert wurden. Über 40 % der untersuchten Böden (Tiefe 0-10 cm) in Wildsbach weisen Pb-Gehalte zwischen 1000-2000 mg/kg auf, nur knapp über 1 % der Proben liegen unter dem Prüfwert von 100 mg/kg der VwV Anorganische Schadstoffe (1993). Zur Tiefe ergibt sich allerdings eine Zunahme auf über 20 %. Bei Arsen liegen die Bodengehalte überwiegend zwischen 41-100 mg/kg. Die Cu-Gehalte in Wildsbach/Hof erreichen Werte bis über 120 mg/kg in der Tiefe 0-10 cm, nur auf dem Schmelzhüttenstandort liegen sie noch höher

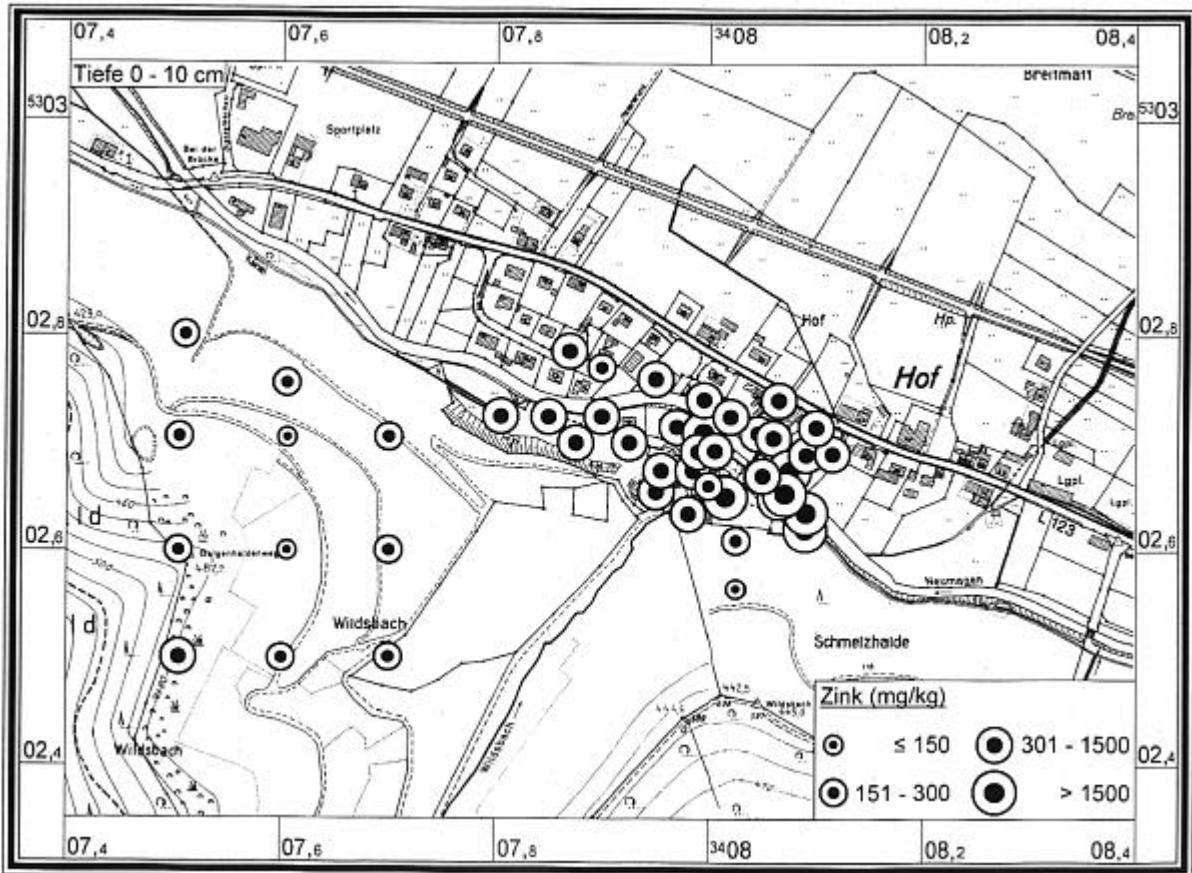
(bis 350 mg/kg). Höhere Ni-Gehalte treten nur bei Probe WIL 33 (ehemaliger Müllplatz, Tiefe 0-10 cm) auf: 63 mg/kg. Auf dem ehemaligen Aufbereitungsgelände (WIL 51-56) liegen hohe CaO-Gehalte bis über 10 Gew.% vor. Vermutlich enthält der Boden noch Reste an Zuschlagsstoffen u.a. Kalk, der beim Schmelzprozeß benötigt wurde.

Über die Ausdehnung der Kontamination sind keine Aussagen möglich, da unbelastete Bereiche nicht angetroffen wurden. Es ist jedoch anzunehmen, daß sich die Bodenbelastung über mehrere 10er Meter nach Norden und Osten fortsetzt. Der im Münstertal vorherrschende Westwind trug wohl beim früheren Betrieb der Schmelzhütte und dem Rösten der Erze zu einer Arsen- und Schwermetallverlagerung nach Osten bei. Auch nach Westen, in Fließrichtung des Neumagens, ist mit einer weiteren Ausdehnung der Belastungsfläche zu rechnen. Offen ist der Verbleib des Schlackenmaterials, das in über 100 Jahren Erzverhüttung entstanden ist. Teile davon könnten sich auf dem südlich gelegenen Hang ("Schmelzhalde") unter der ehemaligen Müllhalde oder im Untergrund des Schmelzhüttenstandorts befinden. Die in einer Baugrube unmittelbar westlich des Verhüttungsstandorts festgestellte dünne schwarze Lage weist darauf hin. Größere Anteile sind jedoch vermutlich durch den Neumagen verlagert worden.

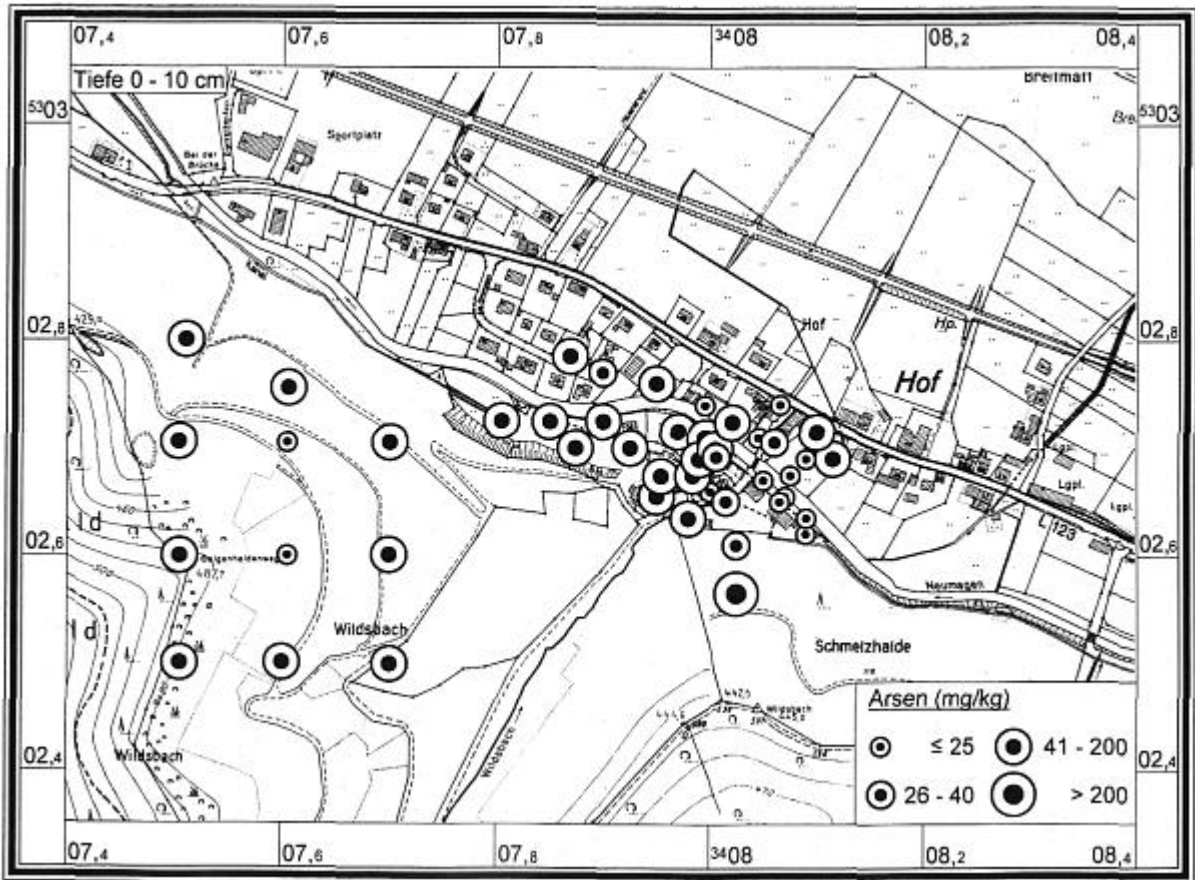
Karte 3.1.8 Pb-Gehalte in Böden des hinteren Wildsbacher Tals und bei Wildsbach/Hof (Tiefe 0-10cm)



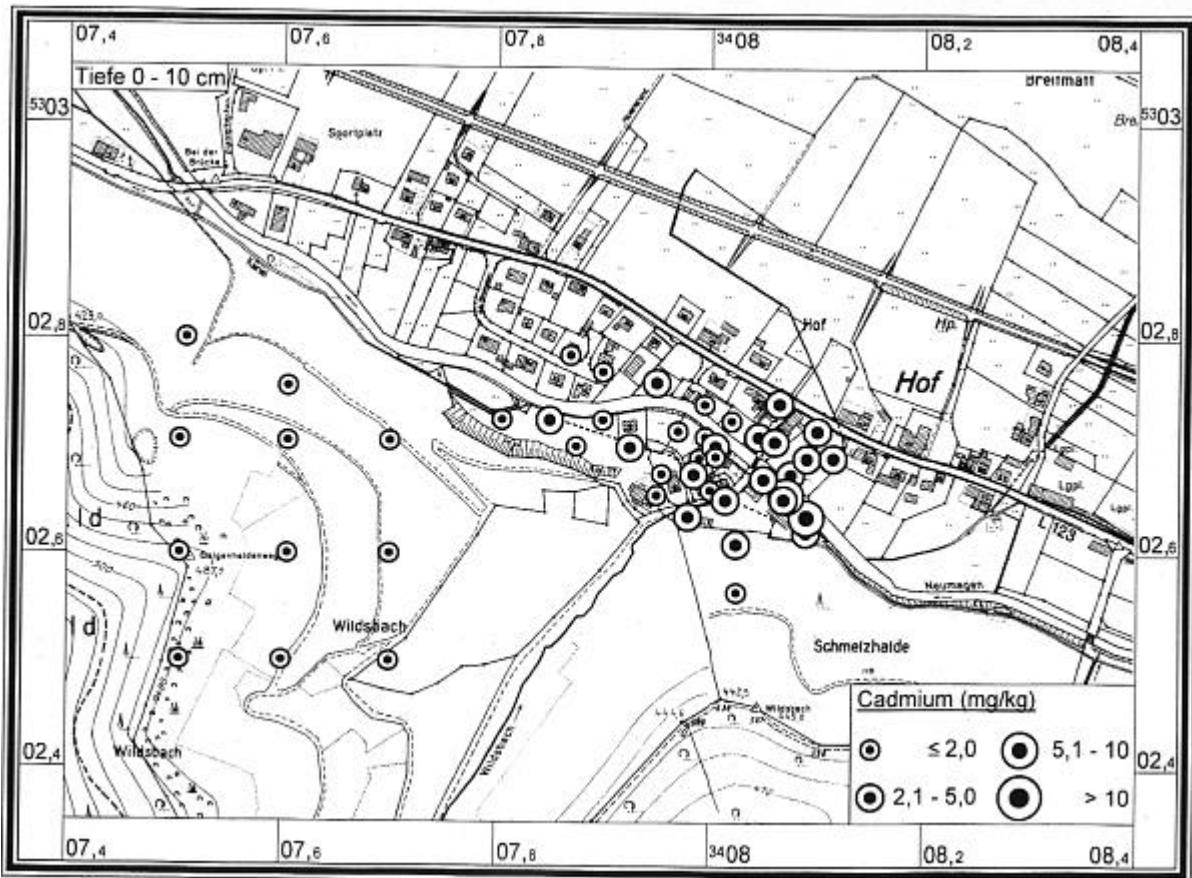
Karte 3.1.9 Zn-Gehalte in Böden des hinteren Wildsbacher Tals und bei Wildsbach/Hof (Tiefe 0-10cm)



Karte 3.1.10 As-Gehalte in Böden des hinteren Wildsbacher Tals und bei Wildsbach/Hof (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.1.11 Cd-Gehalte in Böden des hinteren Wildsbacher Tals und bei Wildsbach/Hof (Tiefe 0-10cm)



Ammoniumnitratextraktionen

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Ergebnisse findet sich in Tabelle 3.1.5. Minima- und Maximawerte sowie der prozentual lösliche Anteil des Gesamtgehalts im Boden sind darin angegeben.

Tab. 3.1.5 Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen der Böden in 0-40 cm Tiefe des Wildsbacher Tals (in $\mu\text{g}/\text{kg}$, mobiler Anteil in %)

Gebiet	Einheit	Cu	Zn	As	Cd	Pb
<i>Wildsbacher Tal</i>						
Hausgärten	$\mu\text{g}/\text{kg}$	122-272	90,0-1290	46,1-245	<5,2-15,0	7,50-143
	%	0,27-0,45	0,01-0,12	0,04-0,66	0,29-0,36	0,002-0,015
Wiese- u. Weidefläche	$\mu\text{g}/\text{kg}$	n.a.	130-42800	<52,5-455	<7,5-805	87,5-49500
	%		0,02-4,94	1,77 (Wil31)	1,85-26,3	0,004-2,78

Die **Hausgärten** in Wildsbach/Hof weisen durch ihre pH-Werte von 6,6 bis 7,3 eine geringe Mobilität der Schwermetalle Zn, Cd, Tl und Pb auf. Für Arsen ist dagegen ein Anstieg der Löslichkeit, wie sie in alkalischen Böden zu beobachten ist, festzustellen. Der höchste extrahierbare As-Anteil beträgt 1,77 % (455 µg/kg) in der Probe WIL 31. Insgesamt werden bei 7 Bodenproben verschiedener Pflanzenstandorte in Wildsbach/Hof (WIL P3 und WIL P8) die Prüfwerte (Pmob) für Nahrungs- und Futterpflanzen sowie Bodensickerwasser (Oberboden) von jeweils 140 µg/kg überschritten. Die mobilen Arsengehalte liegen zwischen 158 und 455 µg/kg.

In **Wiesenböden** des Wildsbacher Tals liegen die pH-Werte im sauren Bereich. Hier nimmt die Löslichkeit der Schwermetalle Cd, Zn und Pb bei pH-Werten unter 6 zu. Bei pH-Werten < 5,5 steigt die Verfügbarkeit der Schwermetalle stark an. In den untersuchten Bodenproben (Tiefe 0-10 cm) wurden bis zu 4,94 % des Gesamtgehalts an Zink, 26,3 % des Cadmium- und 2,78 % des Bleigesamtgehalts im Boden extrahiert. Die für Nahrungs- und Futterpflanzen angegebenen Prüf- (Pmob Cd: 25 µg/kg) und Belastungswerte (Bmob Cd: 40 µg/kg) werden im Wildsbacher Tal in 5 Bodenproben überschritten. Eine Probe (WIL 19A mit 113 µg/kg) liegt über dem Prüfwert für Bodensickerwasser (Oberböden) von 100 µg/kg. Die Extraktion mit NH₄NO₃ der Bodenprobe WIL 28 ergab für Zink und Blei Konzentrationen über 40000 µg/l. Die extrahierbaren Tl-Gehalte liegen zwischen 12,7 und 50 µg/kg. Die starke Zunahme der Schwermetallmobilität mit sinkenden pH-Werten ist auf die zunehmende Löslichkeit der Schwermetallverbindungen und vor allem auf die bei pH-Werten < 6 abnehmende Adsorptionswirkung der Fe- und Al-Oxide und -Hydroxide zurückzuführen. Dadurch können größere Anteile an Schwermetallen freigesetzt werden. Bei noch tieferen pH-Werten werden die Al-Oxide gelöst. Die Schwermetalle im Boden können dann im wesentlichen nur noch von den Tonmineralen, die erst bei pH-Werten unter 4,5 zerstört werden sowie von organischer Substanz (Huminstoffe) adsorptiv gebunden werden.

Pflanzenuntersuchungen

Mohrrüben:

Cd:	1,43 mg/kg, (WIL-P9); Richtwert bez. auf TS: 0,80 mg/kg,
Pb:	überschreitet in allen Proben den Richtwert für Pb (bez. auf TS: 2 mg/kg), (WIL-P3, WIL-P6, WIL-P7, WIL-P8 und WIL-P9), WIL-P6 und WIL-P9, Werte über dem 3-fachen Richtwert,
As:	0,10 - 0,33 mg/kg,
Zn:	22,2 - 53,0 mg/kg, (WIL-P9).

Aus den Ergebnissen der Untersuchung von Mohrrüben aus Hausgärten des Münstertals können folgende allgemeine Aussagen getroffen werden:

- die höchsten Cd-Gehalte wurden in den Pflanzenstengeln gefunden,
- die Blätter weisen die niedrigsten Cd-Gehalte auf,
- die Wurzeln enthalten die geringsten As- und Ni- Konzentrationen.

Die Schwermetallgehalte in den Möhren sind mit den Gehalten in Bodenextrakten bzw. mit den Bodengesamtgehalten im allgemeinen positiv korreliert. Bei Arsen ist dieser Trend nur bei geringeren Bodengesamt- und Extraktgehalten angedeutet. Möhren, die auf Böden mit hohen Ba-

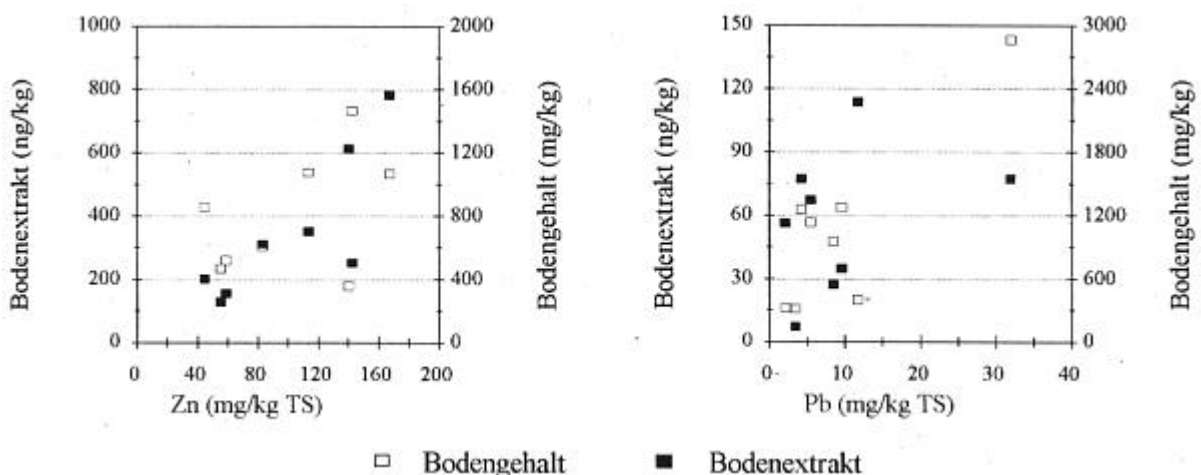
Gehalten wachsen, enthalten nur geringe Ba-Konzentrationen in der Wurzel. Auch bei den Schwermetallgehalten im Blatt liegen ähnliche Verhältnisse vor.

Petersilie: In der Petersilie werden im Vergleich zu den anderen untersuchten Gemüsearten höhere Schwermetallgehalte gefunden (Karte 3.1.7).

- Cd:** Blatt: bis max. 0,68 mg/kg (TS). Der Richtwert (bez. auf TS: 0,4 mg/kg) wird überschritten (WIL-P2, WIL-P6 und WIL-P9), Stengel: 1,28 mg/kg (WIL-P2), 0,41 mg/kg (WIL-P3), 0,60 mg/kg (WIL-P4), 1,19 mg/kg (WIL-P6), 3,62 mg/kg (WIL-P7), 1,49 mg/kg (WIL-P9)
- Pb:** an 4 Probenpunkten werden die Richtwerte überschritten: (WIL-P2, WIL-P3, WIL-P4 und WIL-P9), Blatt: 31,9 mg/kg (TS), Stengel: 32,0 mg/kg (TS),
- As:** Blatt: 0,43 - 3,55 mg/kg (WIL-P3), Stengel: maximal 2,09 mg/kg (WIL-P3). Arsen liegt damit über den von SAUERBECK (1989) angegebenen Normalgehalten: < 0,1-1,5 mg/kg TS.

Bei höheren Extraktgehalten von Zn, Pb, Cd und As im Boden ergaben sich auch höhere Konzentrationen in den Blättern von Petersilie. In Abb. 3.1.1 sind die Zink- und Bleigehalte der Blatteile von Petersilie gegen die mit NH_4NO_3 extrahierbaren Anteile und die Gesamtgehalte im Boden (vergl. Tab. 3.1.6) aufgetragen.

Abb. 3.1.1 Korrelationen zwischen Bodengesamt- und Bodenextraktgehalten mit den Gehalten in Petersilie



Endiviansalat:

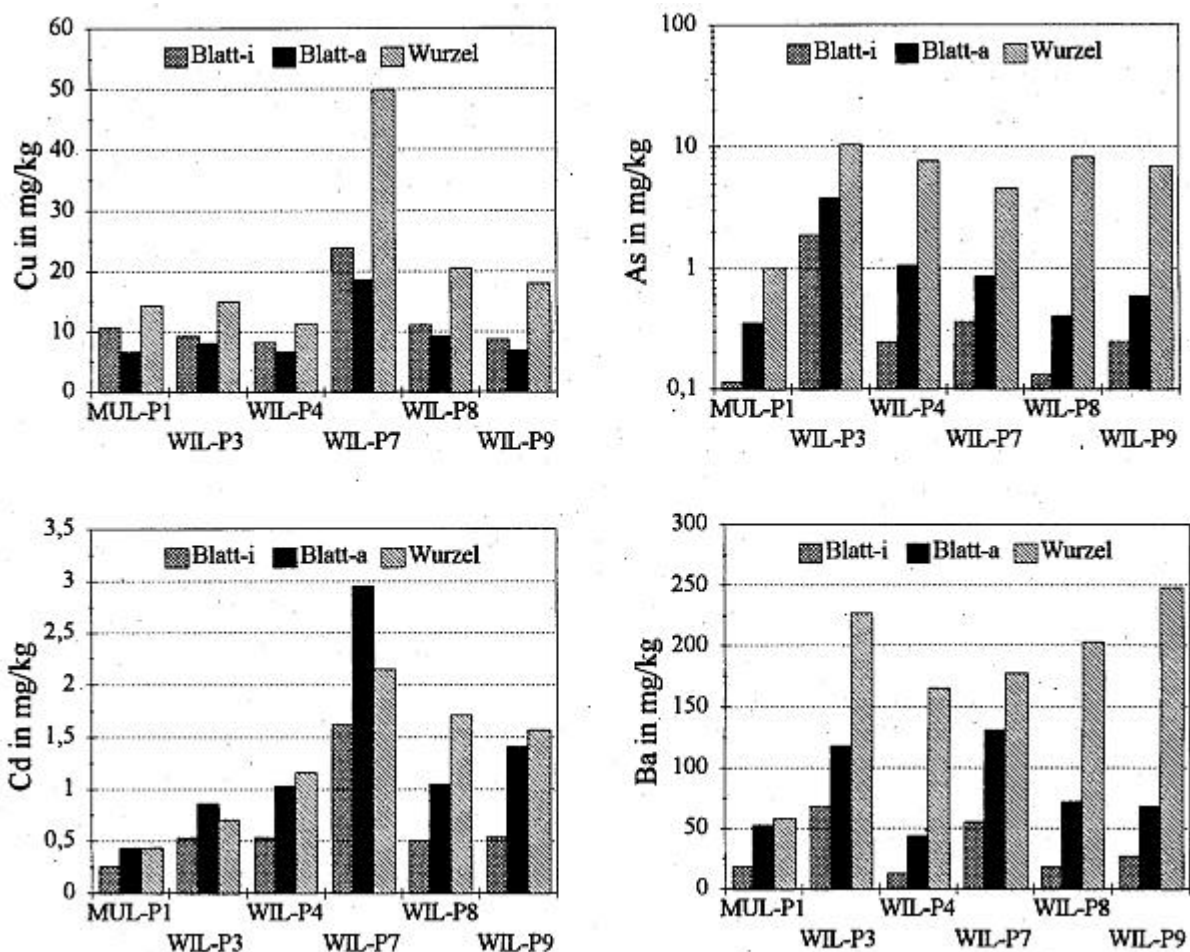
- Cd:** überschreitet z.T. den Cd-Richtwert für Endiviansalat (bez. auf TS: 1,4 mg/kg) um mehr als das Doppelte. Hier liegen sowohl die Gehalte in den äußeren, älteren als auch in den inneren Blättern über dem Richtwert (WIL-P7), 1-1,4 mg/kg (WIL-P4, WIL-P8, WIL-P9),

Pb:	äußere Blätter: bis 17,5 mg/kg; innere Blätter: bis 9,45 mg/kg (WIL-P3).
Ni:	0,84-5,8 mg/kg,
Cu:	6,6-23,8 mg/kg,
Zn:	29,4-78,6 mg/kg,
As:	0,40 mg/kg - 3,76 mg/kg (WIL-P3), (im Vergleich zu den anderen untersuchten Pflanzen erhöht),

Allgemein werden in den Wurzeln die höchsten Gehalte an Pb, Sb, Ba, As und z.T. Cd und in den inneren Blättern höhere Gehalte an Cu und z.T. Zn festgestellt.

Die häufig auch bei anderen Gemüsepflanzen (Petersilie, Wirsing, Kopfsalat) beobachteten hohen As-Gehalte der Wurzel (Abb. 3.1.2) deuten die Fähigkeit der Pflanze an, Arsen aus den Sproßteilen auszuschließen (EL BASSAM 1982). Bei den untersuchten Pflanzen sind nur die Elemente Pb, Zn und As relativ gut positiv mit den Gesamtgehalten im Boden korreliert. Bei Endiviansalat ergaben sich keine signifikanten Abhängigkeiten.

Abb. 3.1.2 Cu-, As-, Cd- und Ba-Gehalte im Endiviansalat (die Angaben sind auf die Trockensubstanz bezogen; Blatt-i = innere Blätter und Blatt-a = äußere Blätter)



Wirsing:

- Cd: unter dem Richtwert (WIL-P3 , WIL-P9),
 Pb: unter dem Richtwert,
 Tl: überschreitet den Tl-Richtwert für Gemüse (bez. auf TS: 0,9 mg/kg) in den äußeren Blättern (WIL-P3), die inneren Blattkränze und Mittelrippen zeigten dagegen niedrige Tl-Gehalte,

In den Wurzeln werden die höchste Schwermetallkonzentrationen, mit Ausnahme von Cd und Tl, festgestellt. Die Mittelrippen weisen geringe Schwermetallkonzentrationen auf. Die inneren Blätter sind im Vergleich zu den äußeren Blättern weniger mit Schwermetallen belastet.

Es ist nicht auszuschließen, daß trotz mehrmaligen Waschens bei der Probenaufbereitung noch Reste von Bodenmaterial an den Wurzeln haftete und die Analyseergebnisse dadurch beeinflusst wurden (vergl. Tab. 3.1.6).

Tab. 3.1.6 Gesamtgehalte der Bodenproben von Hausgärten (Gemüseanbau) in Wildsbach/Hof (Angaben in mg/kg)

Probe	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Pb
WIL-P2d	<40	46	364,00	<25	213	<2	<2	n.a.	1570	402,00
WIL-P3a	<40	86	1240,00	41	247	5,70	2,1	n.a.	4210	<u>2360,00</u>
WIL-P3b	<40	56	1050,00	84	155	4,70	<2	n.a.	2470	<u>1600,00</u>
WIL-P3d	<40	89	1470,00	37	248	7,70	2,9	n.a.	4820	<u>2870,00</u>
WIL-P3e	<40	58	985,00	98	150	3,60	<2	n.a.	2580	<u>1490,00</u>
WIL-P4b	57	57	787,00	88	160	<2	2,6	n.a.	2020	812,00
WIL-P4d	41	70	859,00	70	161	3,60	3,4	n.a.	2100	957,00
WIL-P5d	40	67	472,00	44	319	<2	<2	n.a.	1640	317,00
WIL-P6a	<40	64	1090,00	<25	205	3,10	4,5	n.a.	3260	<u>1110,00</u>
WIL-P6d	<40	77	1070,00	<25	215	2,20	2,1	n.a.	3930	<u>1260,00</u>
WIL-P7a	<40	45	610,00	152	92	3,80	<2	n.a.	1600	767,00
WIL-P7b	<40	48	607,00	149	88	3,30	2,3	n.a.	1470	806,00
WIL-P7d	<40	44	586,00	158	97	3,40	<2	n.a.	2030	547,00
WIL-P8a	<40	55	631,00	148	88	4,0	3,3	n.a.	1420	867,00
WIL-P8b	53	48	626,00	143	93	4,0	<2	n.a.	1500	889,00
WIL-P9a	<40	68	930,00	<25	159	3,80	<2	n.a.	2670	<u>1160,00</u>
WIL-P9b	<40	63	955,00	40	169	5,30	4,0	n.a.	2770	<u>1280,00</u>
WIL-P9d	<40	69	1080,00	<25	194	5,30	<2	n.a.	3070	<u>1280,00</u>
WIL-P9e	<40	58	984,00	<25	177	5,50	3,3	n.a.	2760	<u>1170,00</u>

- a = Anbau von Möhren,
 - b = Anbau von Endiviensalat,
 - c = Anbau von Petersilie,
 - e = Anbau von Wirsing),
- fett markiert: Wert liegt über dem Prüfwert (Pges)
fett und unterstrichen: Wert überschreitet um mehr als das 10-fache den Prüfwert.

3.1.3 Riggenbacher Tal (C, D)

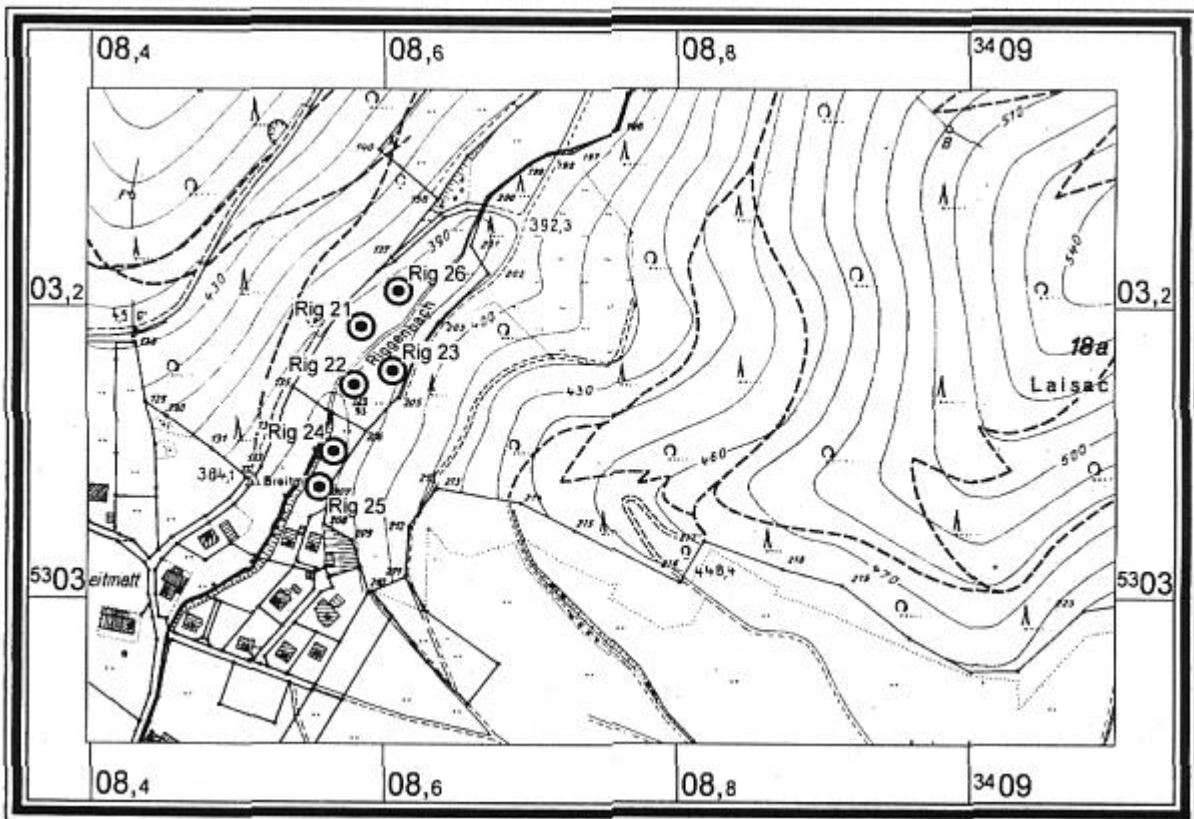
Der durch den Bergbau stark gezeichnete Westhang des Riggenbacher Tals war bis Anfang des 19. Jahrhunderts Ziel des Bergbaus auf Silber- und Kupfererze. Schon im 14. Jahrhundert wurden auf der nördlichen Talseite Erze abgebaut. 1720 bestanden hier nach dem "Schindler" die umfangreichsten Abbaue. Am Westhang des Riggenbacher Tals erkennt man deutliche Spuren des regen Bergbaus der vergangenen Jahrhunderte (Pingen, Halden, Schürfe, verfallene Stollen). Wo zur damaligen Zeit die Erze aufbereitet wurden ist unklar, doch nimmt SCHLAGETER 1989 an, daß die beiden Schmelzhöfe des Herrn Krütz in der damaligen Stadt "Münster" auch auf die Gruben im Riggenbach ausgerichtet waren. Mit Sicherheit befanden sich damals weitere Aufbereitungsanlagen in unmittelbarer Nähe der Gruben. Im 18. Jahrhundert kam es zu größeren Abbau-Aktivitäten auf dem Riggenbacher Gangzug (Grube "Segen Gottes"). Die Erze wurden nach 1733 in der großen Silber- und Kupferschmelze im Wildsbach/Hof verarbeitet.

3.1.3.1 Untersuchungsumfang

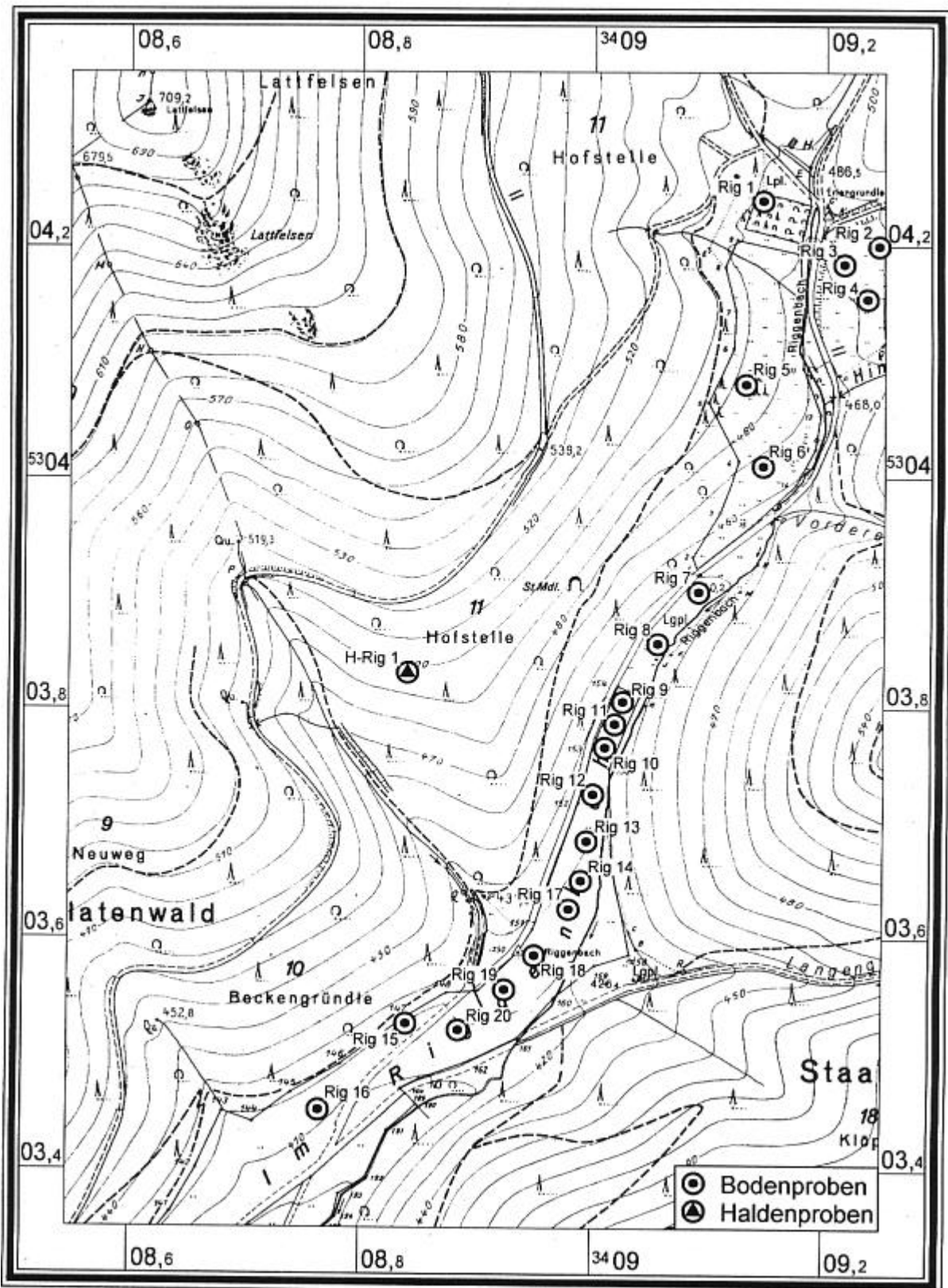
Beprobung/Analysen:

- | | |
|-------------------|---|
| Haldenproben (1): | größere Halde unterhalb einer Stollenpinge (R: ³⁴ 08840 H: ⁵³ 03830), |
| Bodenproben (26) | Probenraster mit Abständen von 50-100 m, incl. Verebnungsflächen im hinteren Tal und am Talausgang: das Wiesengelände wird heute teilweise als Weideland genutzt (Karte 3.1.12 und 3.1.13). |

Karte 3.1.12 Bodenproben im südlichen Riggenbacher Tal



Karte 3.1.13 Boden- und Haldenproben im nördlichen und mittleren Riggensbacher Tal



3.1.3.2 Ergebnisse

Haldenmaterial

Grobanteil (> 63 mm) ca. 10 Gew.%, Volumen: 500 m³, Dichte: 2,5 g/cm³. Daraus können folgende Arsen- und Schwermetallmengen abgeschätzt werden:

Cu = 320 kg, Zn = 2 t, As = 0,4 t, Ag = 38 kg, Cd = 6,6 kg, Pb = 5 t.

Bodenproben

Die Böden sind in der Mehrzahl stark bis mäßig sauer und tonarm.

CaO-Gehalt: ca. 0,5 % (Ausnahmen: RIG 1, 7 und 25),

Fe₂O₃-Gehalt: 2 - 5 %,

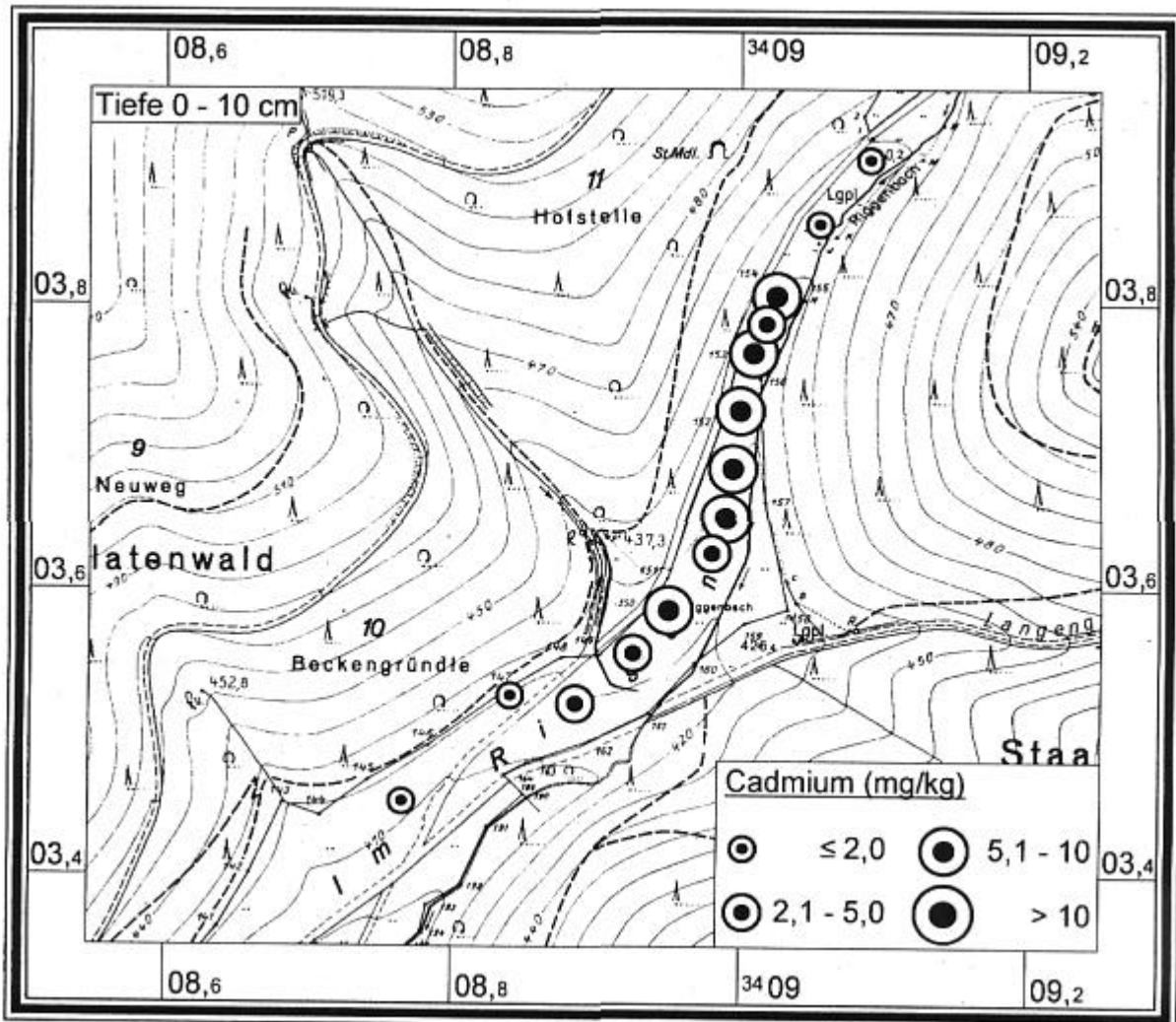
MnO-Gehalt: < 0,3 %.

In hohen Konzentrationen treten As, Pb, Zn und Cd, untergeordnet auch Cu auf. Nördlich des Entnahmepunktes RIG 7 (R: ³⁴09090 H: ⁵³03900) gehen die Arsen- und Schwermetallgehalte auf die regionalen geogenen Bodengehalte des Münstertals zurück. Die Gehalte liegen unter den landesweiten Hintergrundwerten für Böden aus Gneis (VwV Anorganische Schadstoffe 1993). In der oberen Bodenschicht (0-10 cm) finden sich Cd-Gehalte bis nahe 10 mg/kg (RIG 10), die Pb-Gehalte liegen zwischen 143 und 600 mg/kg, Arsen variiert zwischen 27 und 123 mg/kg (RIG 7- RIG 20; vergl. Karten 3.1.14 - 3.1.17). Die Zn-Konzentrationen erreichen ebenfalls Werte (138-783 mg/kg) über den Prüfwerten der VwV Anorganische Schadstoffe (1993). Auffällig sind die i.d.R. im gesamten Tal mit zunehmender Bodentiefe abnehmenden Schwermetallgehalte (Tab. 3.1.7). Bei den Probe RIG 7 (nördlichste Probe auf Karte 3.1.16) und RIG 22 ist dagegen ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen zur Tiefe von 35 mg/kg auf 570 mg/kg zu verzeichnen (Karten 3.1.12, 3.1.17). Im Gelände bilden die Bereiche um RIG 7 und RIG 22 kleinere Verebnungsflächen. Es ist anzunehmen, daß hier im Mittelalter das Erz geröstet oder in kleinen Schmelzen verhüttet wurde. Dies würde auch die erhöhten Cd-Gehalte erklären (RIG 22: 3,5-4,1 mg/kg). Blei liegt bei etwa 70 % der Bodenproben (Tiefe 0-10 cm) über dem Prüfwert (Pges) der VwV Anorganische Schadstoffe (1993). Bei Arsen liegen 97 % der untersuchten Proben aus 0-10 cm Tiefe über dem Prüfwert (20 mg/kg bei der hier vorliegenden Bodenart).

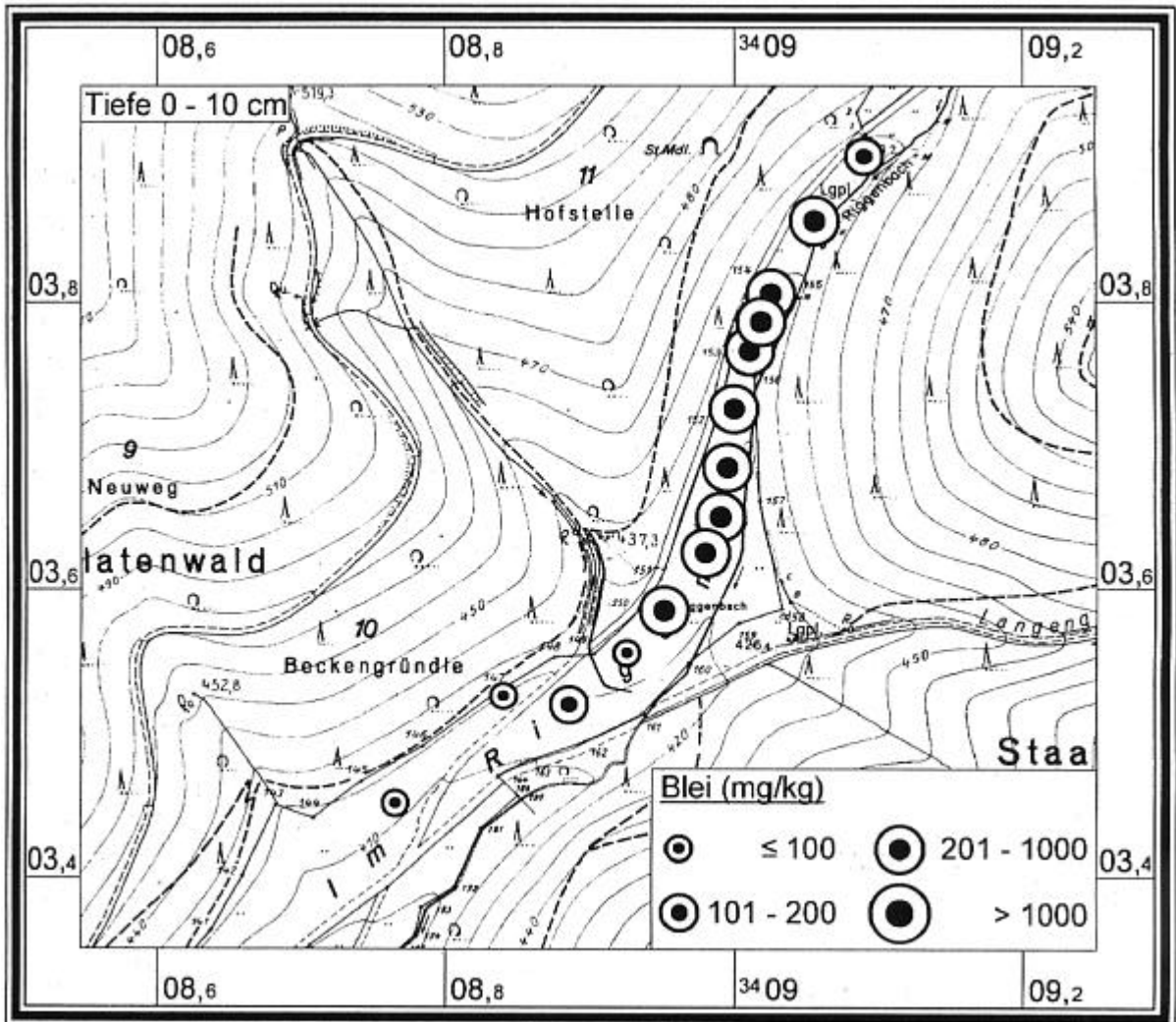
Tab. 3.1.7 Statistische Parameter der Zn-, As-, Cd- und Pb-Gehalte (Angaben in mg/kg) und der pH-Meßwerte der Böden im Riggerbacher Tal. Maximal- und Minimalgehalt (MAX, MIN), Arithmetischer Mittelwert (MW), Medianwert (MED), Anzahl untersuchter Proben (n), absolute Standardabweichung (S):

	Tiefe	n	MIN	MAX	MW	MED	S
pH-Wert	0-10cm	30,00	4,2	7,20	4,90	4,7	0,72
Zn		30,00	58,00	783,00	421,00	473,00	243,00
As		30,00	17,00	123,00	64	65,00	29,20
Cd		30,00	<2	10,00	-----	-----	-----
Pb		30,00	41,00	600,00	227,00	238,00	136,00
pH-Wert	10-40cm	30,00	4,10	6,40	4,80	4,70	0,61
Zn		30,00	49,00	1190,00	386,00	432,00	287,00
As		30,00	14,00	214,00	69,00	66,00	41,10
Cd		30,00	<2	14,00	-----	-----	-----
Pb		30,00	35,00	832,00	186,00	157,00	163,00
pH-Wert	>40cm	28,00	3,80	6,40	4,80	4,6	0,53
Zn		28,00	49,00	608,00	254,00	274,00	174,00
As		28,00	14,00	570,00	69,00	49,00	99,00
Cd		28,00	<2	9,0	-----	-----	-----
Pb		28,00	23,00	234,00	92,00	77,00	63,00

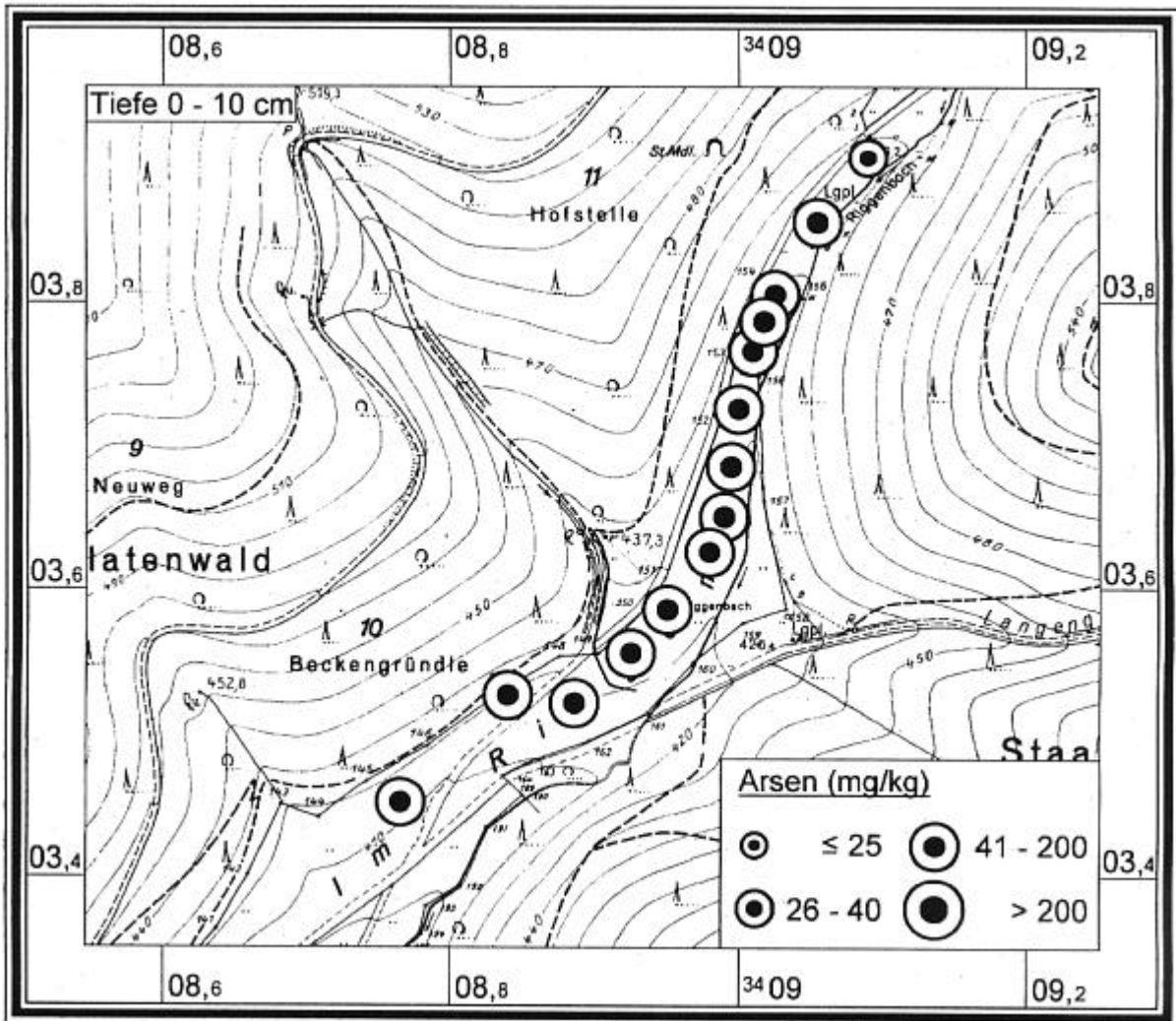
Karte 3.1.14 Cd-Gehalte in Böden des mittleren Riggenbacher Tals (Tiefe 0-10 cm)



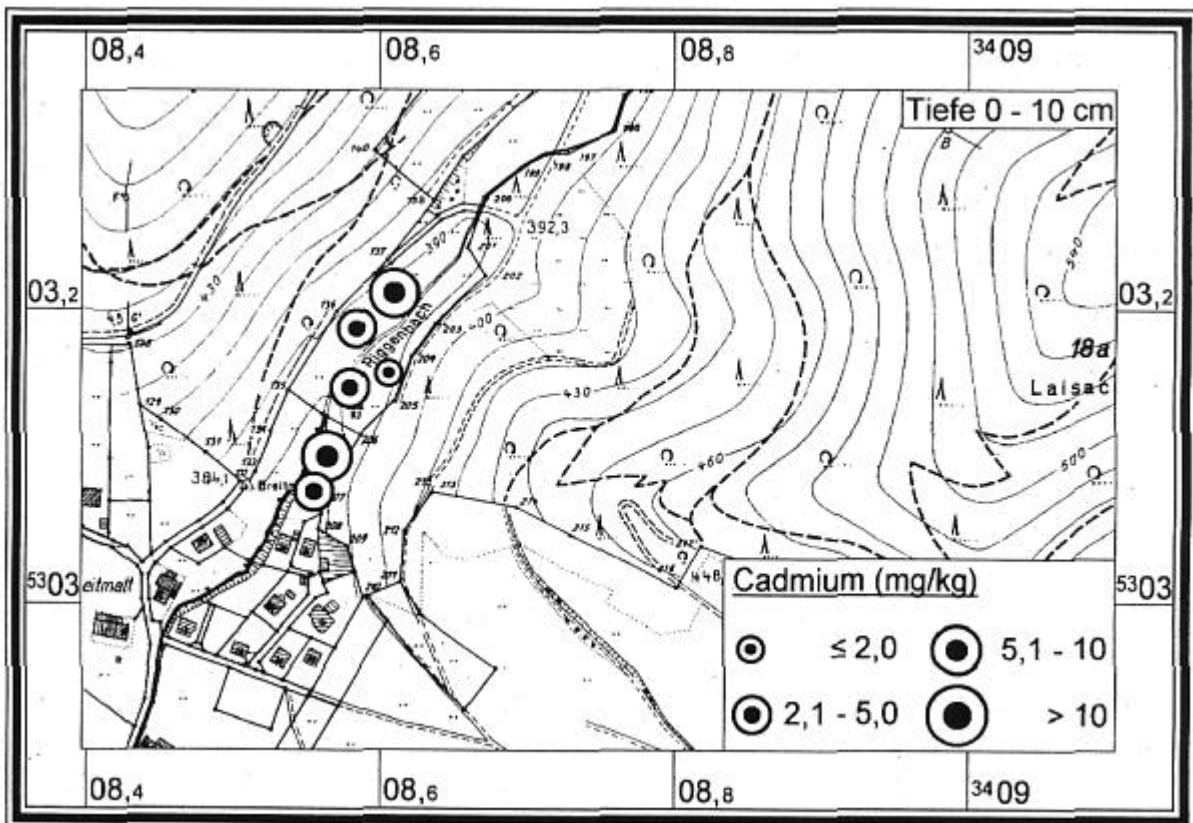
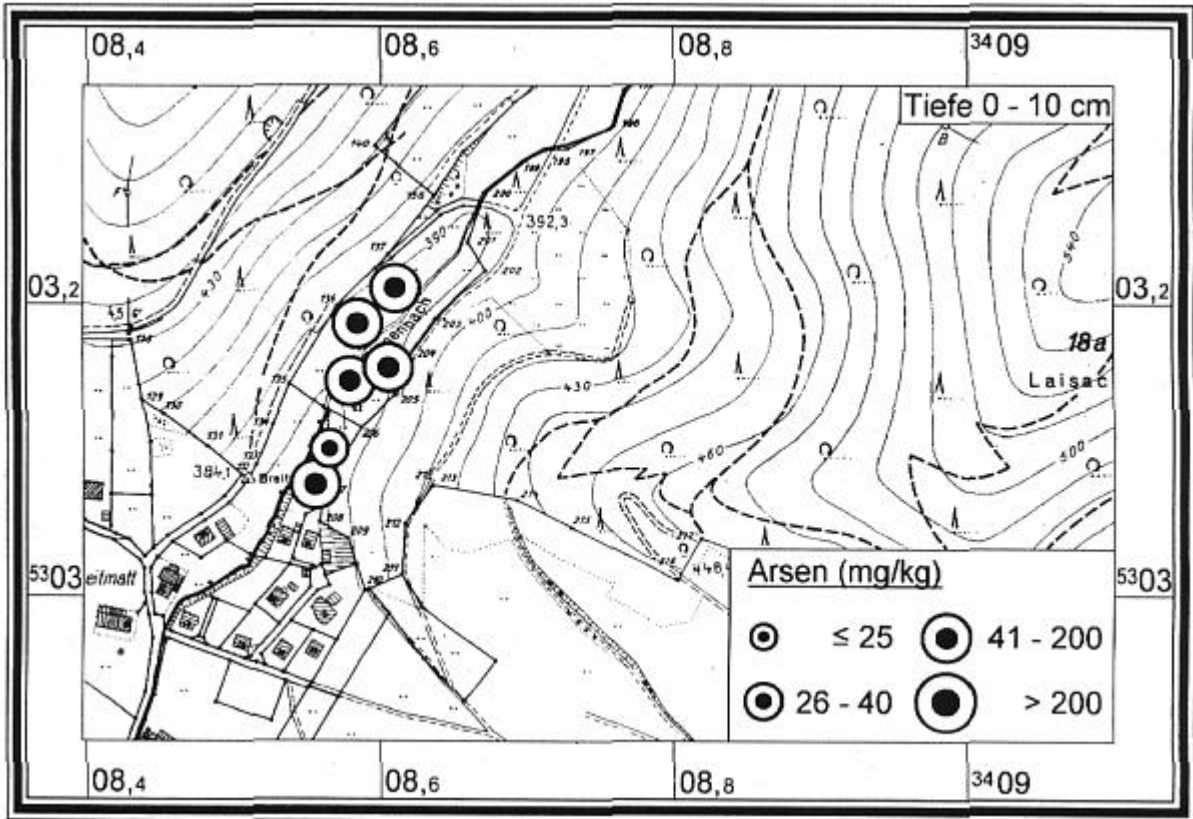
Karte 3.1.15 Pb-Gehalte in Böden des mittleren Riggenbacher Tals (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.1.16 As-Gehalte in Böden des mittleren Riggenbacher Tals (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.1.17 As- und Cd-Gehalte in Böden des südlichen Riggenbacher Tals (Tiefe 0-10 cm)



Ammoniumnitratextraktionen

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Ergebnisse enthält Tab. 3.1.8 mit Angabe der Minima- und Maximawerte und des prozentual löslichen Anteils des Gesamtgehalts im Boden. In den NH_4NO_3 -Extrakten der Böden des Riggerbacher Tals wurden die höchsten mobilen Zink- und Cadmiumgehalte des gesamten Münstertals gefunden. Sie überschreiten die Prüfwerte der VwV Anorganische Schadstoffe (1993) bis zum 20-fachen (Zn) bzw. 5-fachen (Cd). Das in den Böden mit Gesamtgehalten deutlich $> 2 \text{ mg/kg}$ enthaltene Thallium (RIG 9, RIG 10) wurde bis zu 3 % aus den stark bis mäßig sauren Böden extrahiert. Die Gehalte an mobilem Thallium lagen bei 60 bis $80 \text{ } \mu\text{g/kg}$.

Tab. 3.1.8 Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen der Böden in 0-40 cm Tiefe im Riggerbacher Tal (in $\mu\text{g/kg}$, mobiler Anteil in %)

Gebiet	Einheit	Cu	Zn	As	Cd	Pb
<i>Riggerbacher Tal</i>						
Grünland	$\mu\text{g/kg}$	63,2-364	514-	$<18,0-26,1$	$<2,63-$	169-3150
	%	0,16-1,15	104000 0,18-13,3	0,04-0,11	1650 6,78-29,5	0,009-1,46

3.1.4 Bereich Münster (E)

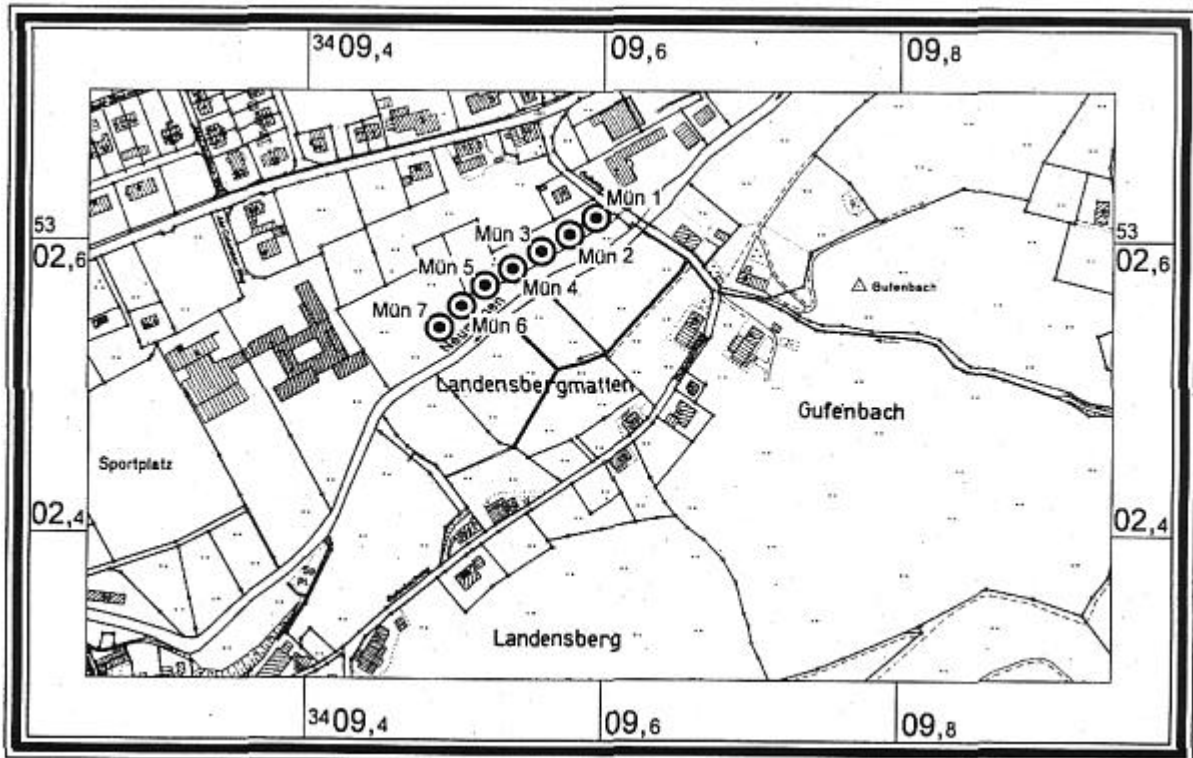
3.1.4.1 Untersuchungsumfang

Am Fuß des Gufenbacher Grunds östlich der ehemaligen Bergstadt Münster standen vermutlich im 14./15. Jahrhundert am Neumagen die Schmelz- und Wúrkhöfe des Herrn Krútz und der "Herren zem Karren Wúrkhof" (SCHLAGETER 1989).

Beprobung/Analysen:

Bodenproben (7): auf dem Gelände des vermuteten mittelalterlichen Aufbereitungsstandorts. Es wurde kein Schlackenmaterial vorgefunden (Karte 3.1.18).

Karte 3.1.18 Bodenproben im Bereich "Münster"



3.1.4.2 Ergebnisse

Bodenproben

Die Proben von diesem Standort enthielten deutlich erhöhte Zn- und Pb- Gehalte (Tab. 3.1.9).

Tab. 3.1.9 Gesamtgehalte der Bodenproben bei Münster (Angaben in mg/kg)

Probe	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Pb
MÜN1A	<40	32	791	<25	83	5,0	<2	n.a.	839	743,00
MÜN1B	<40	38	1020	<25	83	8,70	2,30	n.a.	843	<u>1060,00</u>
MÜN1C	<40	29	762	<25	91	11,00	2,0	n.a.	802	<u>1030,00</u>
MÜN2A	<40	23	172	23	81	2,30	<2	n.a.	530	117,00
MÜN2B	<40	30	391	<25	86	2,50	2,10	n.a.	688	331,00
MÜN2C	<40	25	605	<25	91	4,10	<2	n.a.	773	609,00
MÜN3A	<40	30	515	<25	81	2,60	<2	n.a.	927	433,00
MÜN3B	<40	31	570	<25	87	2,90	2,10	n.a.	980	482,00
MÜN3C	<40	29	299	<25	97	2,20	<2	n.a.	858	239,00
MÜN4A	<40	33	553	<25	89	<2	<2	n.a.	825	413,00
MÜN4B	<40	24	592	25	90	4,10	<2	n.a.	796	438,00
MÜN4C	<40	26	660	46	92	3,60	<2	n.a.	890	576,00
MÜN5A	<40	25	623	<25	88	2,80	<2	n.a.	1060	583,00
MÜN5B	<40	31	658	<25	89	2,70	<2	n.a.	1100	656,00
MÜN5C	<40	20	870	<25	96	4,0	<2	n.a.	1780	767,00
MÜN6A	<40	31	451	<25	88	<2	<2	n.a.	787	341,00
MÜN6B	<40	28	575	<25	90	2,60	2,0	n.a.	1070	502,00
MÜN6C	<40	33	806	<25	89	4,0	<2	n.a.	1380	873,00
MÜN7A	<40	33	580	36	91	3,30	<2	n.a.	1250	495,00
MÜN7B	<40	27	560	36	91	2,30	<2	n.a.	1230	470,00
MÜN7C	<40	28	588	<25	93	2,10	<2	n.a.	1170	427,00

fett markiert: Wert liegt über dem Prüfwert (Pges)

fett und unterstrichen: Wert überschreitet um mehr als das 10-fache den Prüfwert.

3.1.5 Muldener Tal (F, G, H)

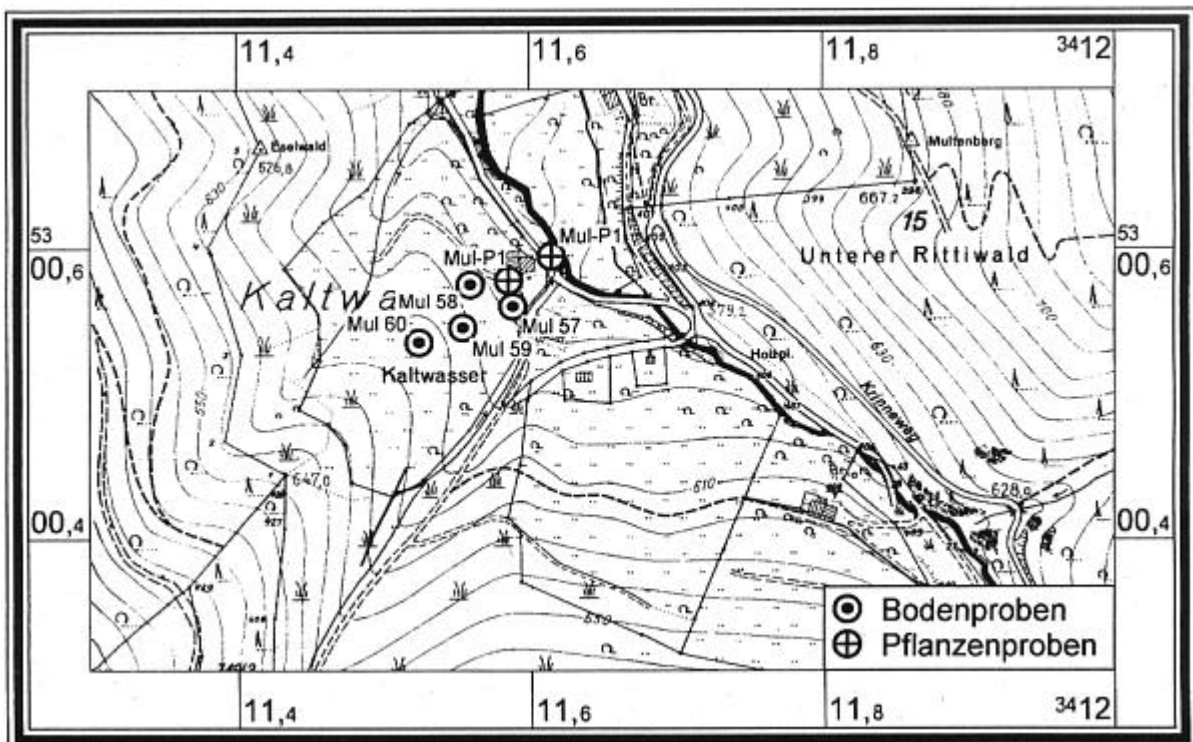
Das Muldener Tal war mit seiner über 1000-jährigen Bergbaugeschichte eines der Zentren des Erzabbaus im Münstertal. Das Gelände wird heute fast vollständig als Weideflächen genutzt. Die Morphologie des Geländes lässt bereits Halden im Untergrund vermuten. Unbewachsene Haldenreste vergangener Abbauperioden werden nur noch im Waldgebiet nördlich des Muldener Bachs angetroffen. Auch einige Pingen sind noch zu erkennen. Auf der Westhangseite gingen früher mehrere Querstollen auf den etwa N-S streichenden Gangzug, der bis zu 3 m Mächtigkeit erreichte (METZ et al. 1957). Südlich des Kaibengrundbachs, gegenüber des heutigen Besucherbergwerks "Teufelsgrund" wurde durch Auffahren einiger Querstollen versucht den Schindler- und Kaltwasser-Schindlergang zu erreichen. Reste von verfallenen Stollen und Stolpenpingen sind noch heute entlang der Grünflächen im Bereich "Dietschel" zu erkennen.

3.1.5.1 Untersuchungsumfang

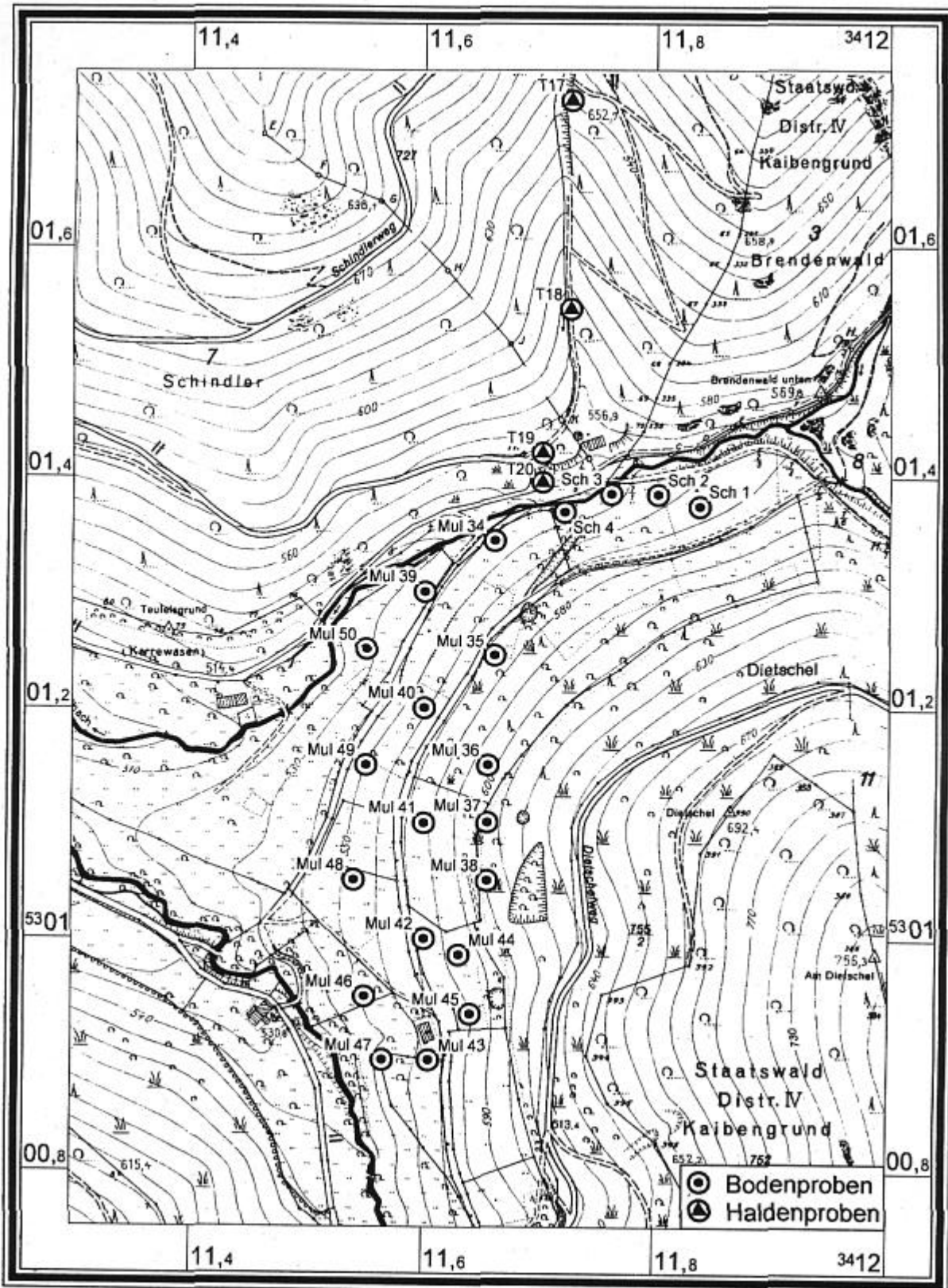
Beprobung/Analysen (Karten 3.1.18 bis 3.1.20):

Haldenproben (24):	Einzel- und Mischproben (T1-T20, TU, TMU, TMO, TO), entlang des Schindlergangs, unterhalb des heutigen Besucherbergwerks "Teufelsgrund", auf der gegenüberliegenden Bachseite und im Bereich "Dietschel", Bereich Kaltwasser (As-reiche Vererzung) (Karte 3.1.18), ehemaliger Standort des im 18. Jahrhundert betriebenen Walzpochwerks,
Bodenproben (23):	
Pflanzenproben:	"Giftgrube" (MAUS 1988) (P1: Möhre, Endiviensalat und Peter- silie).

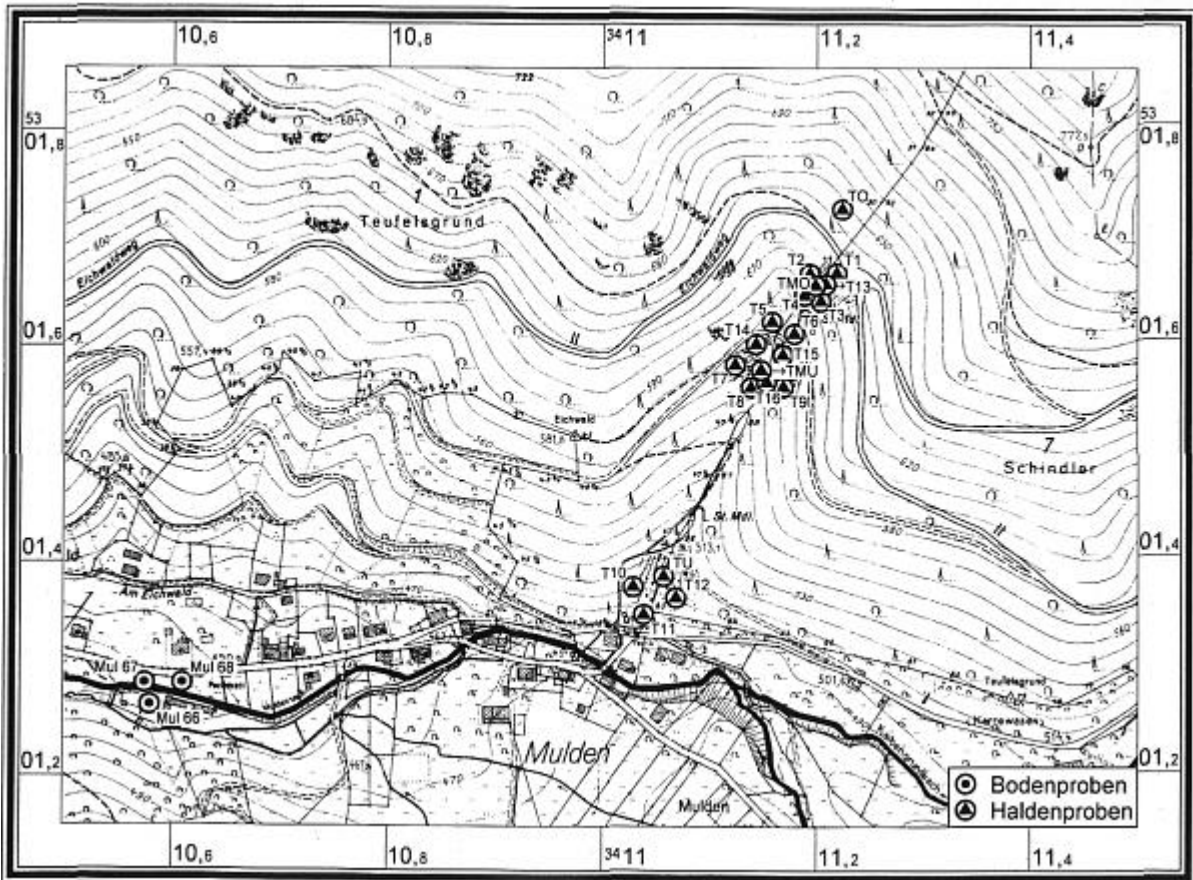
Karte 3.1.18 Boden- und Pflanzenproben im Muldener Tal (Bereich "Kaltwasser")



Karte 3.1.19 Boden- und Haldenproben im Muldener Tal (Bereiche "Dietschel" und "Schindler")



Karte 3.1.20 Boden- und Haldenproben im Muldener Tal (Bereiche "Poche" und "Teufelsgrund")



3.1.5.2 Ergebnisse

Haldenmaterial

Die Halde des Wilhelmstollens (TU) (Höhe 515 mNN, R: $34^{\circ}11'055''$ H: $53^{\circ}01'380''$) ist die größte der im Münstertal untersuchten Halden. Sie erstreckt sich bis an die Zufahrtsstraße zum Besucherbergwerk "Teufelsgrund". Das sehr grobkörnige Haldenmaterial besteht aus Nebengesteinsbruchstücken, Paragneis und etwas Quarzporphyr mit Resten von Gangmaterial (Baryt, Quarz und Fluorit), das zum Teil noch Erze enthält.

Kornfraktion > 63 mm: 20-30 %,
 Sandfraktion: ca. 40 %,
 Tonfraktion: < 1 %,
 Volumen: ca. 20 000 m³.

Die Halde am Trudpertstollen (TMU) (Höhe 587 mNN; R: $34^{\circ}11'150''$ H: $53^{\circ}01'570''$) diente einige Jahre als Müllabladepplatz. Sie ist heute durch Pflanzenbewuchs vollständig überdeckt.

Kornfraktion > 63 mm: ca. 20 %,
 Tonfraktion: < 1 %,
 Volumen: ca. 10 000 m³.

Kleine Halde des Michaelsstollens (TMO) oberhalb des Trudpertstollens.

Kornfraktion > 63 mm: 5-10 %).

Halde des Barbarastollens (TO) (Höhe 630 mNN; R: ³⁴11225 H: ⁵³01720, Höhe 656 mNN).

Kornfraktion > 63 mm: 10-15 %,
Volumen: ca. 2700 m³

Im Gegensatz zu den Halden im Teufelsgrund tritt entlang des Schindler-Gangzugs kein offenes (unbewachsenes) Haldenmaterial mehr auf. Große Mengen wurden hier entnommen und vermutlich andernorts, wahrscheinlich als

Baumaterial, verwertet. Haldenreste sind auf der gegenüberliegenden Bachseite (siehe Ergebnisse der Bodenuntersuchungen) und unter dem Gebäude gegenüber des Eingangs zum Besucherbergwerk vorhanden. Proben aus den Bereichen des heutigen Kiosks (T19) und des Bachs (T20) zeigten keine erhöhten Schwermetallgehalte. Tiefe Verhaue, Pingen und Schürfe hinterließen oberhalb des Besucherbergwerks entlang des etwa N-S streichenden Gangzugs große Mengen an Haldenmaterial. Durch den starken Bewuchs sind die Halden nur noch anhand von Unebenheiten im Gelände erkennbar (Proben T17 und T18). An den mit Einzel- und Mischproben untersuchten Halden im Teufelsgrund ist die sehr inhomogene Schwermetall- und Arsenverteilung innerhalb der einzelnen Halden zu erkennen (Tab. 3.1.9). So ist aus den Ergebnissen nur eine grobe Abschätzung der in der jeweiligen Halde vorliegenden Arsen- und Schwermetallmengen möglich. Die höchsten Cu-, As- und Pb-Gehalte werden in den beiden großen unteren Halden (TU, TMU) gefunden.

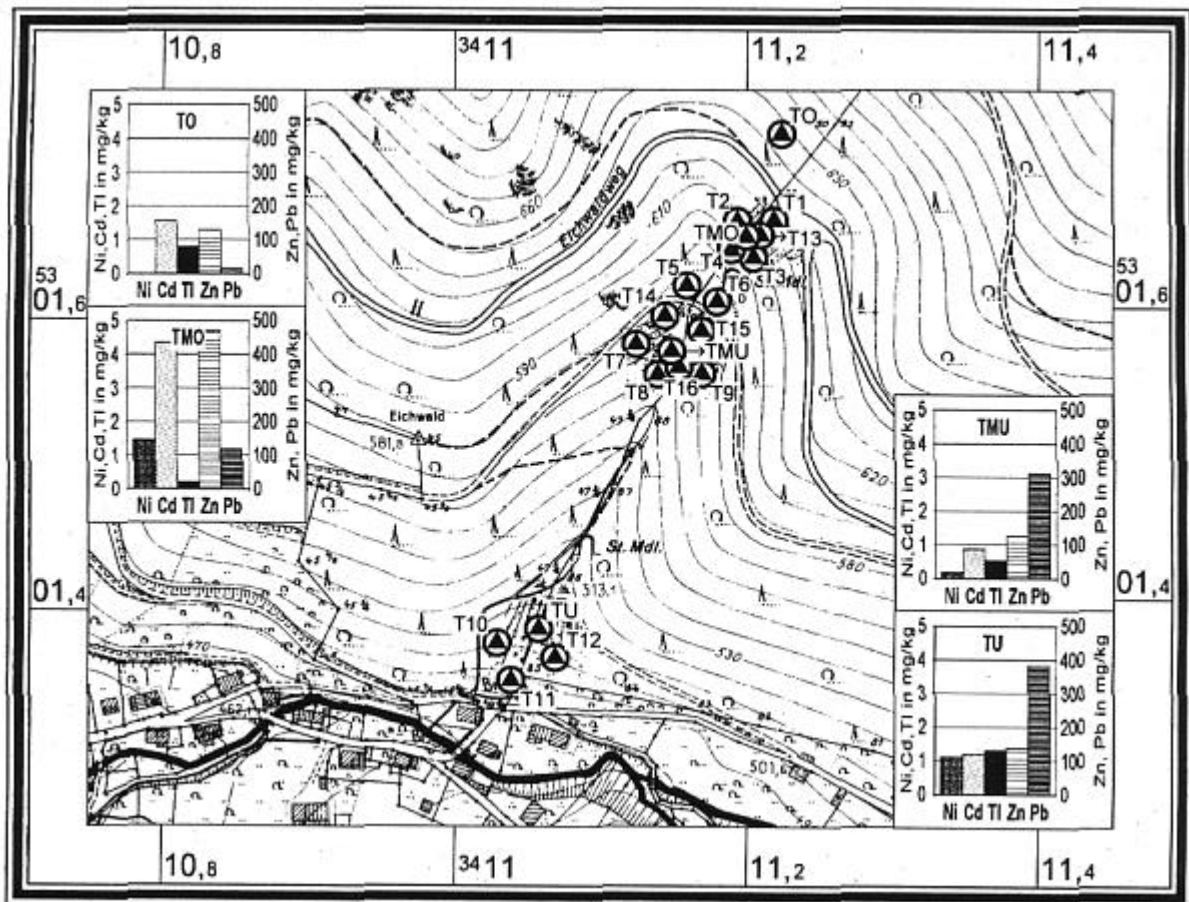
Tab. 3.1.9 Arsen- und Schwermetallgehalte der Halden im Teufelsgrund und am Schindler (Angaben in mg/kg; EP=Einzelproben, MP=Mischproben)

Proben	Proben	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Pb
Teufelsgrund							
MP	TO	89,00	2860,00	410,00	12,00	5,0	6800,00
EP	T1-6, T13	27-191	431-6660	55-786	<2,0-20	<2,0-8,0	193-8160
MP	TMO	55,00	5230,00	157,00	8,50	16,00	2950,00
EP	T7-9, T14-16	18-438	170-1020	57-158	<2,0-17	<2-2,8	190-8720
MP	TMU	98,00	1110,00	480,00	4,30	<2,0	3910,00
EP	T10-12	33-118	812-3650	216-608	3,3-13	3,9-6,5	594-5240
MP	TU	134,00	1410,00	761,00	6,10	2,80	4180,00
Schindler							
EP	T17	105,00	2420,00	521,00	26,00	6,30	6090,00
EP	T18	50	1160,00	203,00	7,70	3,30	2150,00

Sequentielle Extraktionen des Haldenmaterials nach ZEIEN & BRÜMMER (1989) ergaben vor allem für Zink und Cadmium höhere leicht mobilisierbare Anteile (Cd bis über 40 % des Gesamtgehalts). Ein Teil des Zinks ist jedoch fest gebunden und wird erst mit Königswasser gelöst. 70-90 % des Arsens ist an kristalline Fe-Oxide gebunden. Blei ist zu etwa 10 % leicht mobilisierbar. Durch die hohen löslichen Zn- und Cd-Anteile in den Halden, ist bei Niederschlägen mit hohen Einträgen in den Vorfluter (Muldenbach) zu rechnen. Extraktionen des Haldenmaterials mit NH_4NO_3 ergaben hohe Gehalte an Thallium und Cadmium (Karte 3.1.21). Die höchsten Ni- (1,45 mg/kg), Cd- (4,33 mg/kg) und Zn- Gehalte (471 mg/kg) im Extrakt werden in der Halde des Michaelstollens (TMO) gefunden. Die höchsten Tl- (1,32 mg/kg) und Pb-Gehalte (384 mg/kg) sind in den Extrakten des Wilhelmstollens (TU) zu finden. Aus dem geschätzten Volumen der Halden im Teufelsgrund ergeben sich die in Tabelle 3.1.10 aufgeführten Gesamtmengen an Arsen und Schwermetallen.

Tab.3.1.10 Gesamtmengen an Arsen und Schwermetallen in den vier Halden im Teufelsgrund

Halde	Haldenvolumen (m ³)	Cu (kg)	Zn (t)	As (t)	Ag (kg)	Cd (kg)	Pb (t)
TU	20 000	6 700	71,00	38,00	305,00	100,00	209,00
TMU	10 000	2 450	28,00	12,00	108,00	<50	98,00
TMO	1 200	165,00	16,00	0,50	26,00	48,00	8,90
TO	2 700	601,00	19,00	2,80	81,00	34,00	46,00

Karte 3.1.21 Haldenproben am Teufelsgrund und Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen

Bodenproben

Die Boden pH-Werte der Wiesen- und Weideflächen liegen überwiegend im stark sauren Bereich. Anhand der Bodenuntersuchungen können einzelne Kontaminationsbereiche von weniger belasteten Bereichen abgegrenzt werden. 35 % der Proben weisen Blei-, 55 % der Proben Arsengehalte über dem Prüfwert der VwV Anorganische Schadstoffe auf.

Bereich Dietschel In der Karte 3.1.22 sind die Arsengehalte im Boden (Tiefe 0-10 cm) dargestellt. Hohe Konzentrationen weisen die Proben MUL 43 - MUL 45 und MUL 47 auf. Sie erreichen in der oberen Schicht Gehalte bis über 400 mg/kg. Diese Konzentrationen sind auf eingemischtes Haldenmaterial und eine As-reiche Vererzung ("Giftgrube im Kaltwasser" nach MAUS 1988) zurückzuführen.

Auf dem Wiesengelände bei MUL 44 und MUL 45 ist der Boden bis in über 1 m Tiefe schwarz gefärbt. Das etwa 50 Ar große Gebiet zeichnet sich durch sehr hohe Pb-, Zn- und Cd-Gehalte aus (Karte 3.1.23, 3.1.24). Sie erreichen in größeren Tiefen Konzentrationen bis über 14600 mg/kg Pb, 1630 mg/kg Zn und 14 mg/kg Cd (Tab. 3.1.11). Kennzeichnend sind hohe CaO-Gehalte bis über 10 % und $C_{\text{ges.}}$ -Gehalte bis ca. 10 %. Kalk wurde häufig als Zuschlag beim Schmelzprozeß verwendet. Die Fe_2O_3 -Gehalte sind mit den Werten der anderen Böden des Gebiets vergleichbar. Aufgrund der Untersuchungen wird davon ausgegangen, daß sich hier ein

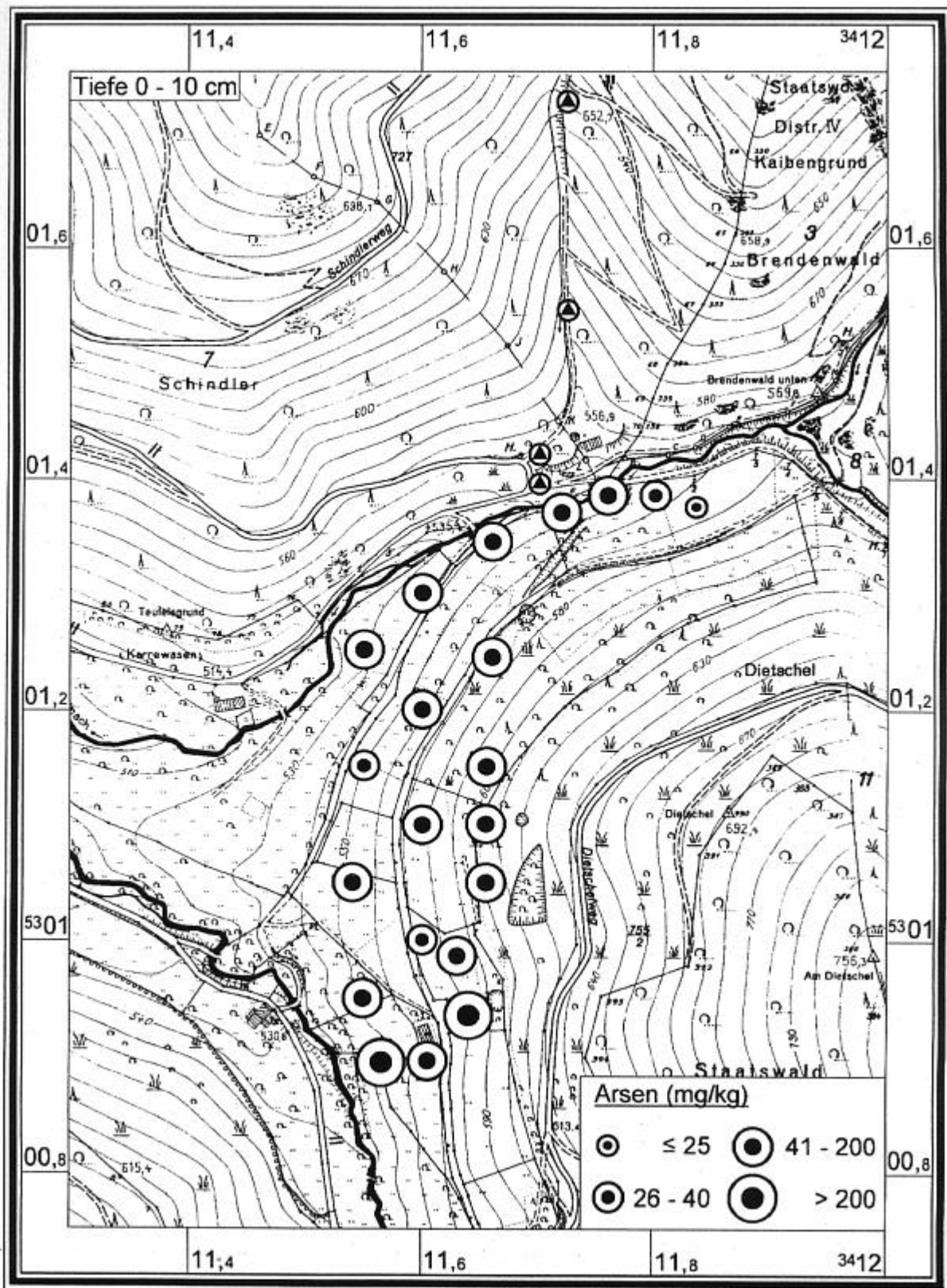
kleiner Aufbereitungsplatz mit Schmelze für die vor Ort anfallenden Erze lag. Diese Annahme wird durch Schlackenfunde im Boden bestätigt.

Nördlich des Schmelzplatzes bei MUL 38 wurden unterhalb der Pingenreste und entlang des Kaibengrundbachs bei MUL 34 sehr hohe Pb-, Zn- und As-Gehalte gefunden. Gegenüber des heutigen Besucherbergwerks südlich des Kaibengrundbachs wurden ebenfalls erhöhte Arsen- und Schwermetallgehalte durch unterlagerndes Haldenmaterial festgestellt (SCH 1).

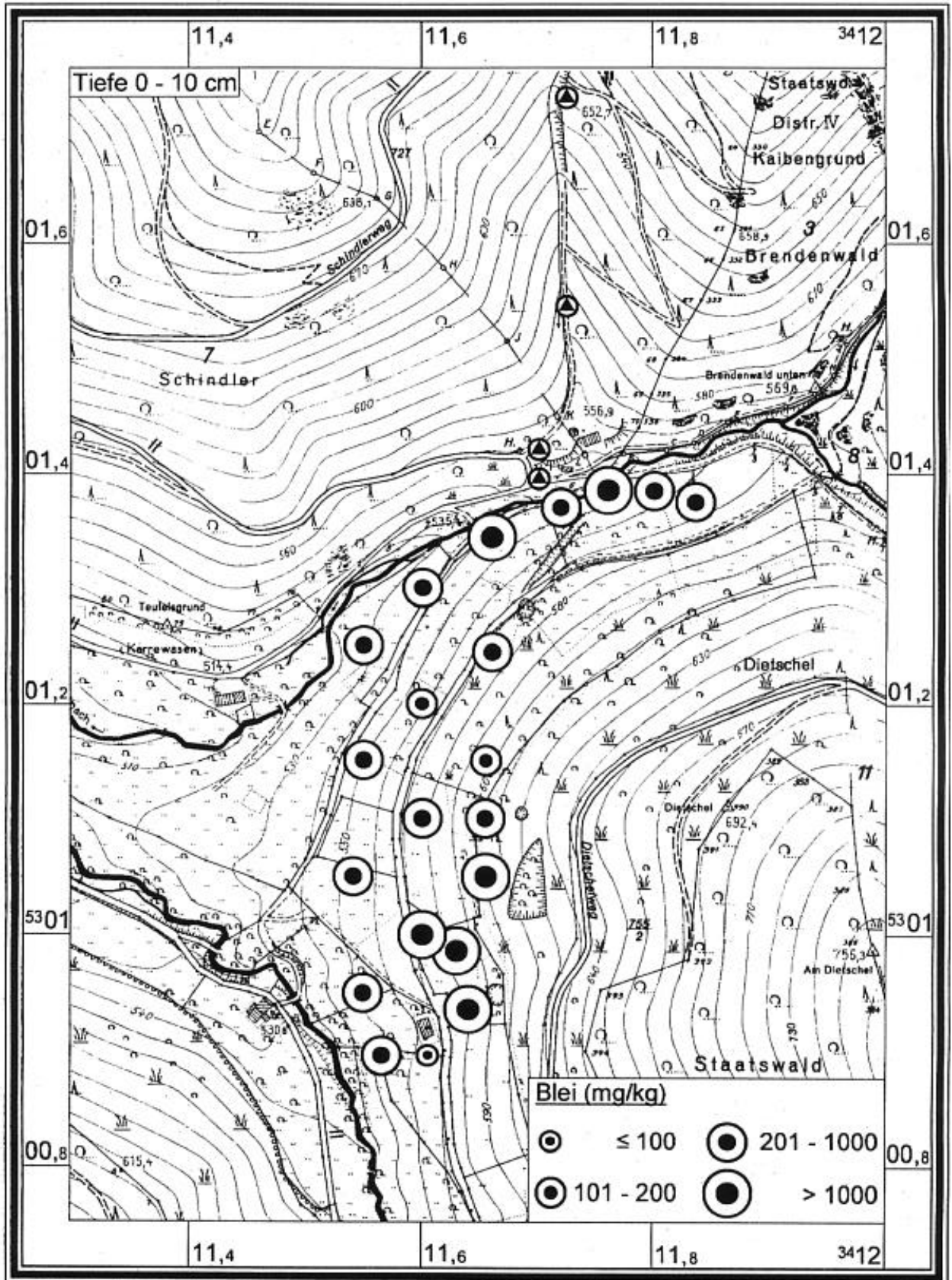
Tab.3.1.11 Statistische Parameter der Zn-, As-, Cd- und Pb-Gehalte (Angaben in mg/kg) und der pH-Meßwerte der Böden im Muldener Tal (Bereich Dietschel MUL 34 - MUL 50) Maximal- und Minimalgehalt (MAX, MIN), arithmetischer Mittelwert (MW), Medianwert (MED), Anzahl untersuchter Proben (n), absolute Standardabweichung (S)

	Tiefe	n	MIN	MAX	MW	MED	S
pH-Wert	0-10cm	17,00	4,4	5,20	4,80	4,8	0,23
Zn		17,00	194,00	1540,00	554,00	402,00	392,00
As		17,00	36,00	414,00	115	71,00	94,00
Cd		17,00	<2	4,30	-----	-----	-----
Pb		17,00	43,00	7220,00	1485,00	418,00	1990,00
pH-Wert	10-40cm	17,00	4,30	5,10	4,80	4,80	0,25
Zn		17,00	180,00	1540,00	550,00	364,00	405,00
As		17,00	38,00	487,00	124,00	74,00	114,00
Cd		17,00	<2	4,70	-----	-----	-----
Pb		17,00	114,00	7010,00	1522,00	342,00	2109,00
pH-Wert	>40cm	17,00	4,40	5,20	4,70	4,7	0,29
Zn		17,00	146,00	1630,00	449,00	298,00	367,00
As		17,00	<25	370,00	-----	-----	-----
Cd		17,00	<2	14	-----	-----	-----
Pb		17,00	48,00	14600,00	1374,00	269,00	3444,00

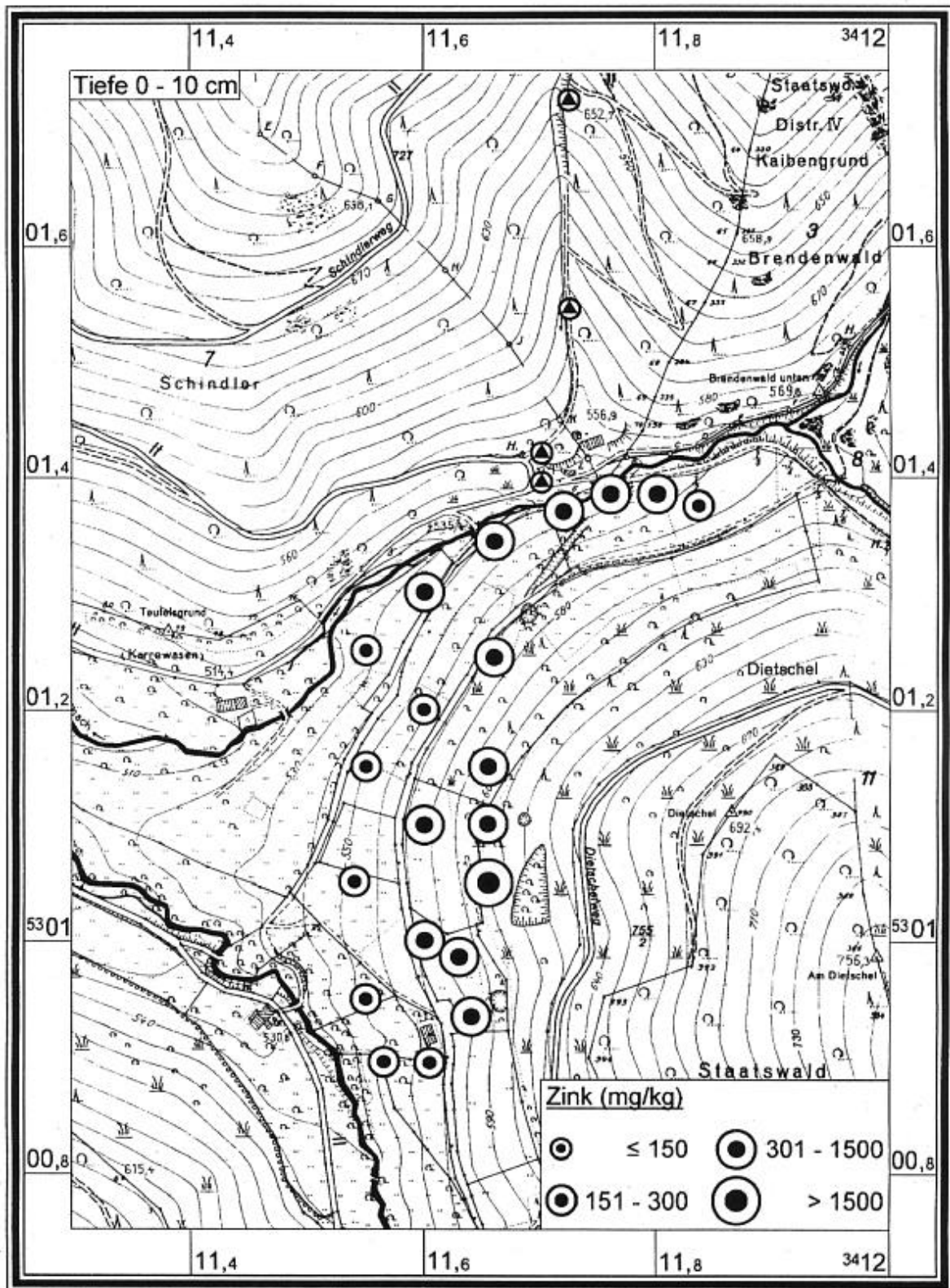
Karte 3.1.22 As-Gehalte in Böden des Muldener Tals (Bereich "Dietschel", Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.1.23 Pb-Gehalte in Böden des Muldener Tals (Bereich "Dietschel", Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.1.24 Zn-Gehalte in Böden des Muldener Tals (Bereich "Dietschel", Tiefe 0-10 cm)



Bereich Kaltwasser In den stark sauren Wiesenböden tritt hier vor allem Arsen in den Vordergrund (MUL 57 bis 187 mg/kg).

Walzpochwerk im Muldener Tal (19. Jh.) Es liegen hohe Zn-, Pb-, As-, Cd- und zum Teil auch Cu-Gehalte in allen untersuchten Bodentiefen vor. Die mit zunehmender Tiefe steigenden Gehalte erreichen für Blei Werte > 10000 mg/kg (Tab. 3.1.12). Im Gegensatz zu MUL 65 und MUL 66 zeigt MUL 67 in der Tiefe 0-10 cm durch Überdeckung mit unbelastetem Bodenmaterial kaum erhöhte Schwermetallgehalte.

Tab. 3.1.12 pH-Meßwerte sowie Arsen- und Schwermetallgehalte der Böden bei Mulden/Poche, Mulden/Kaltwasser und Münster (Angaben in mg/kg)

Gebiet	Tiefe	pH-Wert	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Mulden-Poche	0-10 cm	5,1-7,0	27-64	139-1450	18-105	<2,0-3,4	165-3010
	10-40 cm	5,0-6,6	47-89	472-1510	26-152	2,1-4,2	902-4000
	>40 cm	5,5-6,4	81-348	1280-2610	252-495	2,1-3,0	2860-17400
Mulden-Kaltwasser	0-10 cm	4,4-5,0	24-31	148-252	56-187	<2,0-2,0	100-204
	10-40 cm	4,5-5,2	27-35	118-194	63-175	<2,0-2,3	76-135
	>40 cm	4,6-5,3	30-36	122-169	59-153	<2,0	59-111
Gewann Münster	0-10 cm	4,7-5,1	23-33	172-791	<25-36	<2,0	117-743
	10-40 cm	4,5-4,8	24-38	391-1020	<25-36	<2,0-2,3	331-1060
	>40 cm	4,7-5,0	20-33	299-870	<25-46	<2,0-2,0	239-1030

Ammoniumnitratextraktionen

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse enthält Tabelle 3.1.13, mit Angabe der Minima- und Maximawerte und der prozentual löslichen Anteile der Gesamtkonzentration im Boden. Die Gehalte der Böden im Muldener Tal übersteigen den As-Prüfwert (Pmob) für Nahrungs- und Futterpflanzen, bei Cu, Zn, Cd und Pb liegen z.T. über die Hintergrundwerte erhöhte Konzentrationen vor. Deutliche Überschreitungen der Prüfwerte finden sich vor allem im Bereich der ehemaligen kleinen Aufbereitung am Dietschel (MUL 44 und MUL 45). Hier wird auch der Belastungswert (Bmob) für Blei bis zu 66300 µg/kg und Cadmium mit 70 µg/kg überschritten.

Tab. 3.1.13 Ergebnisse der NH₄NO₃-Extraktionen der Böden im Muldener Tal (in µg/kg, mobiler Anteil in %):

Gebiet	Einheit	Cu	Zn	As	Cd	Pb
<i>Muldener Tal</i>						
Wiese-u.Weidefläche und Hausgarten	µg/kg	196-295	85,0-36250	<52,5-178	<5,20-745	7,50-66300
	%	0,36-0,41	0,01-3,49	0,11-0,16	2,92-17,7	0,001-1,36
<i>Halden Teufelsgrund</i>	µg/kg	74,3-1470	128000-	<21,0-33,9	874-4330	14300-384000
	%	0,08-1,09	471000 4,51-11,5	2,24 (TU)	27,1-42,9	0,21-9,19

Pflanzenuntersuchungen

Mohrrüben: Die Proben überschreiten den auf TS bezogenen Richtwert für Pb von 2 mg/kg . Die Ni-Gehalte liegen zwischen 0,38 und 1,63 mg/kg (MUL-P1), die Cu-Gehalte zwischen 4,39 und 9,92 mg/kg (MUL-P1).

Petersilie: Die Proben zeigen nur im Stengel geringfügig erhöhte Schwermetallgehalte (MUL-P1).

Salat: Die Salatprobe des Standorts Mulden-Poche wies niedrige Cd- und Pb-Konzentrationen auf.

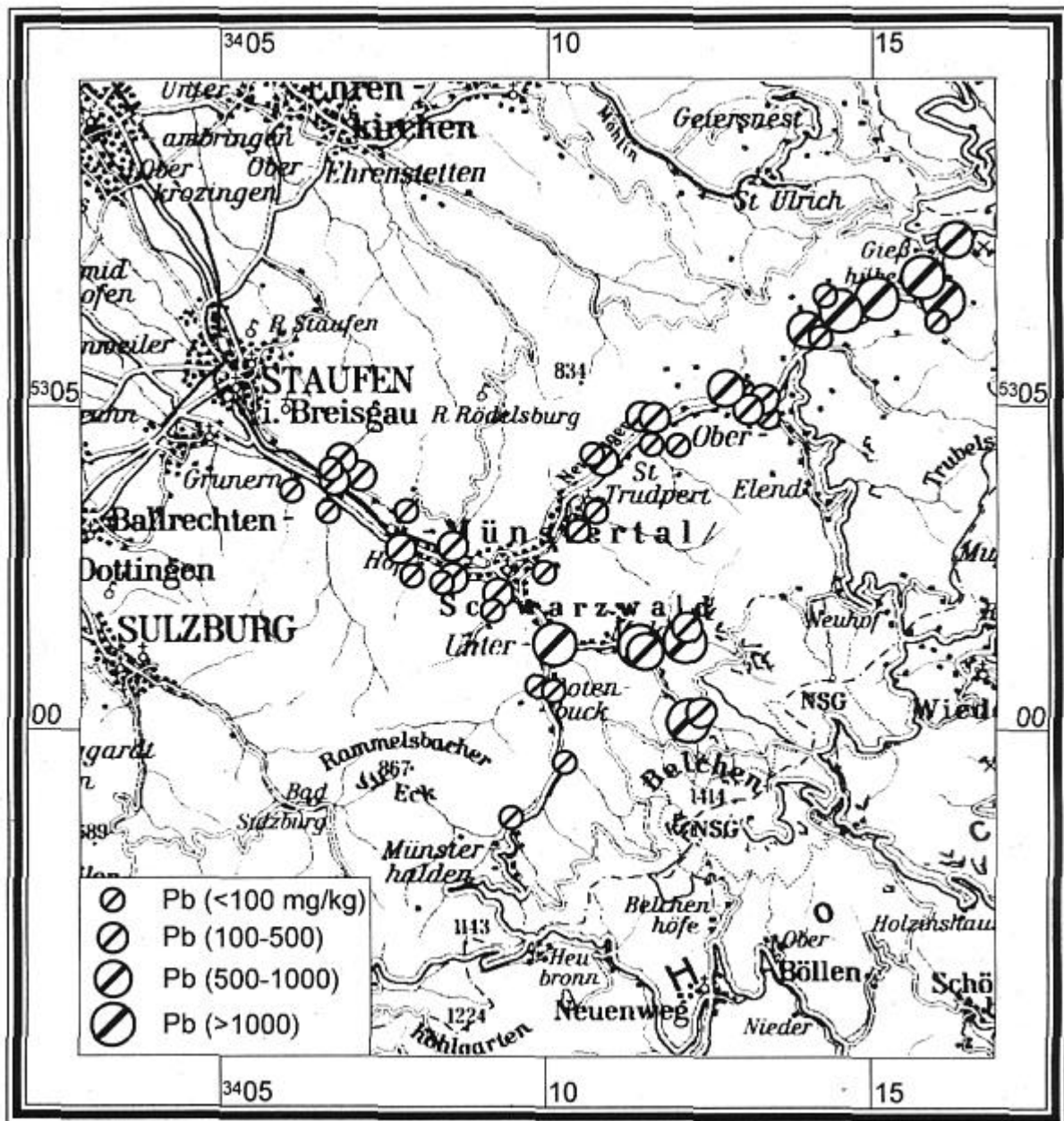
3.1.6 Untersuchungen von Fließgewässersedimenten

Der viele Jahrhunderte andauernde Bergbau auf den Pb/Zn-Erzgängen des Münstertals hinterließ zahlreiche Haldenreste mit Arsen- und Schwermetallanreicherungen. Durch Erosion und Lösungsprozesse gelangten und gelangen diese Schwermetalle und das Arsen in die Bachsedimente. Blei und Zink sind in einigen Bereichen (Muldener Tal und Stohren/Obermünstertal) in der Feinfraktion der Fließgewässersedimente bis über 2000 mg/kg angereichert. Die höchsten Cd-Gehalte mit über 5 mg/kg werden im Bachsediment im Willnauer Tal (ehemalige Silberschmelze), im Neumagen bei Wildsbach/Hof sowie im Muldenbach und Talbach nach Eintritt des Süßenbrunnbachs gefunden. Die Werte liegen deutlich über den Hintergrundwerten für Bachsedimente von nicht durch den Bergbau beeinflussten Bächen (HURRLE 1983) (Tab. 3.1.14). Die höchsten Arsengehalte finden sich in den Sedimenten im Muldener Tal (Krinerlochbach, Knappengrundbach und Kaltwasserbach) und im Münstergrundbächle. Kupfergehalte über 100 mg/kg werden im Obermünstertal/Stohren und im Muldener Tal (Knappengrundbach) erreicht. Die geringsten Schwermetallgehalte sind in den Sedimenten südlich des Muldener Tals entlang des Talbachs nach Münsterhalden enthalten. Insgesamt ist in den Bachsedimenten eine Abnahme der Schwermetalle Pb, Zn, Cd und Cu talabwärts entlang des Neumagens zu beobachten, die nur im Bereich der großen ehemaligen Silberschmelze in Wildsbach/Hof ansteigen. Die Schwermetallgehalte der Gewässersedimente wurden exemplarisch für Blei dargestellt (Karte 3.1.25).

Tab. 3.1.14 Arsen- und Schwermetallgehalte in Fließgewässersedimenten des Münstertals (Angaben in mg/kg)

Untersuchungs- bereich	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Hintergrundwert (nach HURRE 1983)	7 - 13	28 - 78	2 - 20	0,2 - 0,5	38 - 96
Muldener Tal (SED-M37-41, SED-M47+48)	31-77	241-2090	<10-175	<2-5,8	254-1360
Bereich südl. des Muldener Tals (SED-M33-36)	22-33	150-184	24-65	<2-2,2	72-78
Untermünstertal (SED-M19-32)	22-76	79-1090	<10-70	<2-5,7	32-433
Obermünstertal (SED-M10-18, SED-M42-46)	17-49	88-5200	<10-150	<2-15	35-575
Obermünstertal / Stohren (SED-M1-9)	20-154	164-2890	<25	<2-5,0	48-2120

Karte 3.1.25 Pb-Gesamtgehalte in Fließgewässersedimenten des Münstertals



3.1.7 Wasserproben

Die insgesamt 53 entnommenen Wasserproben im Münstertal sind durch pH-Werte zwischen 6,6 und 8,7 gekennzeichnet. Die mit zunehmender Alkalinität steigende Löslichkeit der Arsenverbindungen erklärt die erhöhten As-Konzentrationen der Wässer im Muldener Tal, Wildbacher Tal und im Münstergrundbächle.

Die Proben aus dem Kaltwasserbach und dem Muldenbach wiesen Arsengehalte über 10 $\mu\text{g/l}$ auf und liegen damit über dem ab 1996 gültigen Grenzwert der TrinkwV. Nach Eintritt in den Talbach liegen die As-Konzentrationen unter 10 $\mu\text{g/l}$. Eine Brunnenwasserprobe (W-Mün 24) enthielt 41 $\mu\text{g/l}$. Dieser Gehalt ist auf die As-reiche Vererzung im Untergrund ("Giftstollen")

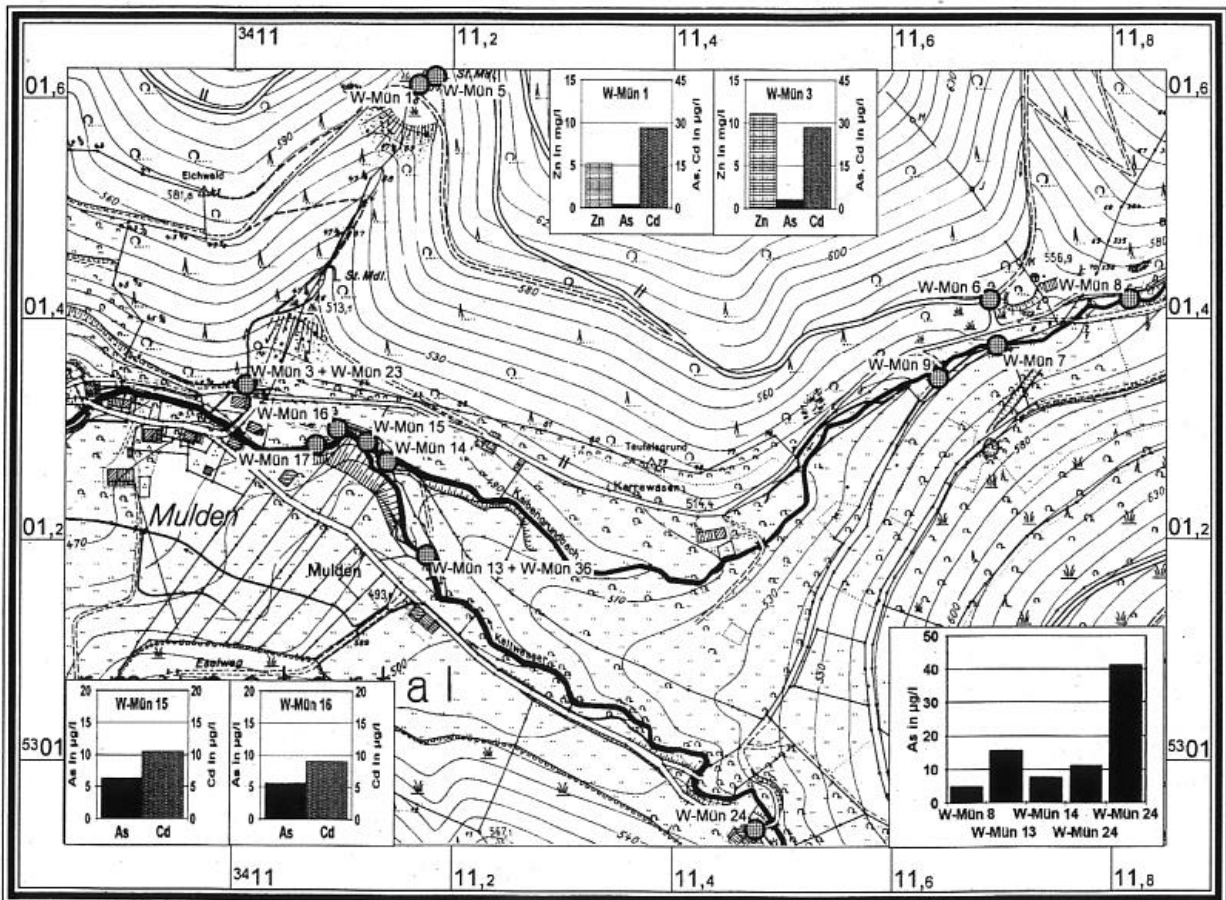
im Bereich "Kaltwasser" zurückzuführen. Der Arsenwert im Wildsbach mit 32 µg/l zeigte durch die geringe Wasserführung keinen Einfluß auf die Gehalte des Wassers im Vorfluter (Neumagen), die in diesem Bereich bei etwa 3 µg/l liegen. In Tab. 3.1.15 und Karte 3.1.26 sind die wesentlichen Ergebnisse der Wasseranalysen zusammengestellt.

In den Stollen- und Haldenwässern des Teufelsgrunds überschreiten die Cd- und in einigen Fällen auch die Zn-Gehalte die Grenzwerte der TrinkwV (1990). Untersuchungen an den dort gelegenen Halden ergaben eine hohe Löslichkeit dieser Schwermetalle. Trotz der Grenzwertüberschreitung bei Cadmium gehen diese Konzentrationen durch die geringe Schüttung der Haldenwässer nach Eintritt in den Vorfluter auf Konzentrationen unter den Grenzwerten der TrinkwV zurück. Das Stollenwasser des Teufelsgrunder Gangzugs ist als Trinkwasser nicht geeignet.

Tab. 3.1.15 Ergebnisse der Analysen ausgewählter Wasserproben im Münstertal (Angaben in µg/l, die fett markierten Gehalte liegen über den Werten der TrinkwV 1990)

Probe	Lage	Cu	Zn	As	Cd	Ba	Pb
<i>Bereich Muldener Tal / Kaltwasser</i>							
W-Mün 10	Kaltwasserbach	n.a.	<10,0	11,50	<0,50	117,00	3,83
W-Mün 11	Seitenzufl. in d. Kaltwasserbach	n.a.	20,40	12,10	<0,50	181,00	2,13
W-Mün 12	Brunnen- / Quellwasser	n.a.	10,0	13,20	<0,50	198,00	<1,00
W-Mün 13+36	Kaltwasserbach	n.a.	<10,0	15,6	<0,50	134	1,72
		0,67	4,66	12,3	<0,07	125	0,43
W-Mün 17	Muldenbach	n.a.	141,00	11,10	0,63	99,10	7,91
W-Mün 24	Brunnenwasser (Muldenstr.24)	n.a.	25,80	41,10	<0,50	93,70	7,87
W-Mün 25	Seitenzufluß zum Muldenbach	n.a.	104,00	10,70	<0,50	33,80	4,59
W-Mün 26	Muldenbach	n.a.	142,00	10,80	0,87	111,00	2,71
W-Mün 37	Muldenbach	0,89	82,0	9,12	0,86	274,00	1,49
<i>Bereich Untermünstertal</i>							
W-Mün 18	Wildsbach	n.a.	109,00	32,0	<0,50	152,00	<1,00
W-Mün 29	Bach im Katzental	0,86	1,36	11,10	<0,07	149,00	0,18
W-Mün 33	Münstergrundbach	1,20	4,31	14,0	<0,07	37,60	0,23
<i>Bereich Teufelsgrund (Muldener Tal)</i>							
W-Mün 1+5	Teufelsgrund/Trudpertstollen	n.a.	5180	1,05	28,2	51,8	16,9
		n.a.	3980	0,88	23,1	59,0	2,04
W-Mün 3+23	Haldenwasser des Wilhelmstollens	n.a.	11100	2,98	28,5	146	9,49
		n.a.	3860	1,27	18,4	44,5	<1,00
W-Mün 15	Seitenzufluß vom Teufelsgrund	n.a.	1890,00	6,34	10,50	59,70	1,08
W-Mün 16	Seitenzufluß vom Teufelsgrund	n.a.	1570,00	5,55	9,02	57,30	2,73

Karte 3.1.26 As-, Zn- und Cd-Gehalte in Bach-, Stollen- und Haldenwässern des Muldener Tals



3.1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf

Bei den Untersuchungen alter Bergbaustandorte im Münstertal wurden an allen Standorten erhöhte As- und Schwermetallgehalte im Boden gefunden.

Der untersuchte Bereich bei Wildsbach/Hof ist durch hohe As-, Zn-, Cd- und Pb-Belastungen sowie zusätzlich lokal (z.B. Standort der Schmelze) durch hohe TI- und Cu- Gehalte der Böden gekennzeichnet. Trotz der geringen Mobilität der Schwermetalle Cd und Pb in den Böden der Hausgärten wurden in einigen Gemüsepflanzen Überschreitungen der Richtwerte des BGA (1993) für Cd, Pb und TI festgestellt. Zu den belasteten Nahrungspflanzen zählen vor allem Mohrrüben und Petersilie, deren Schwermetallgehalte in einigen Fällen die Richtwerte um mehr als das Doppelte überschritten. Die äußeren Blätter von Wirsing aus zwei Hausgärten zeigten ebenfalls in beiden Fällen Überschreitungen der Richtwerte. Bei Endiviensalat wurde nur am Standort WIL-P7 eine Richtwertüberschreitung bei Cd festgestellt. In den weiteren untersuchten Hausgärten wurde der Richtwert für Salatpflanzen nicht erreicht. Aufgrund der pH-Werte von 6,6 bis 7,3 in den Gartenböden ist Arsen vergleichsweise mobil. Die Gehalte an mobilem Arsen überschreiten in einigen Böden die Prüfwerte (Pmob) hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungs- und Futterpflanzen und Bodensickerwasser der VwV Anorganische Schadstoffe. Bisher liegen jedoch keine Richt- oder Grenzwerte für Arsen in Nahrungspflanzen vor. Eine Beurteilung der

Analysedaten der Pflanzenuntersuchungen ist daher nicht ohne weiteres möglich. Der Vergleich verschiedener untersuchter Pflanzen (Mohrrüben, Petersilie, Endiviensalat und Wirsing) zeigt, daß die höchsten As-Konzentrationen im Endiviensalat (bis 3,76 mg/kg TS) und in der Petersilie (bis 3,55 mg/kg TS) enthalten sind. Eine hohe Schwermetallmobilität wurde in den stark bis mäßig sauren, meist landwirtschaftlich genutzten Böden festgestellt. Die Prüf- und Belastungswerte für Cadmium hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungs- und Futterpflanzen werden hier häufig überschritten.

Hohe Pb-Gehalte in Bodenproben des Bereichs Etzenbach/Poche spiegeln sich in den erhöhten Pb-Gehalten von Mohrrüben, Petersilie und der äußeren Blätter von Kopfsalat wider. Weiter werden in den Böden die Prüfwerte (Pges) für As, Zn und Cd hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser überschritten. NH_4NO_3 -Extraktionen der Bodenproben eines Hausgartens (ETZ-P10) ergaben Überschreitungen auch des Prüfwerts für mobiles Arsen (Pmob). Auf Grünlandflächen wurden infolge der niedrigen pH-Werte der Böden die Pmob-Werte für Cd, Pb und Zn in einigen Fällen überschritten.

Die Bereiche Kropbach, Riggenbacher-Tal, Münster, Mulden/Poche, Mulden/Schindler, Mulden/Dietschel und Mulden/Kaltwasser sind durch Arsen- und/oder Schwermetallbelastungen der Böden gekennzeichnet. Hohe As-Gehalte über den Prüfwerten (Pges) der VwV Anorganische Schadstoffe ergaben sich bei Kropbach - das beprobte Areal ist heute mit Bodenmaterial unbekannter Herkunft und Mächtigkeit überdeckt - und in den Bereichen Mulden/Dietschel, Mulden/Kaltwasser sowie Mulden/Poche. In einer Bodenprobe eines Hausgartens bei Mulden/Kaltwasser liegt der mobile As-Gehalt über dem Prüfwert Pmob für Nahrungs- und Futterpflanzen. Ebenfalls hohe Belastungen des Bodens durch Blei und Zink finden sich in den Gebieten bei Mulden/Dietschel, Mulden/Poche und Kropbach. Die höchsten Cd-Gehalte wurden im Riggenbacher Tal festgestellt. Mit Ausnahme des Bereichs Kropbach liegen die Schwermetalle durch die niederen Boden pH-Werte in mobiler Form vor. Überschreitungen der Prüfwerte (Pmob) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser und zum Teil der Belastungswerte (Bmob) der VwV Anorganische Schadstoffe sind hier häufig. Die untersuchten Proben von Mohrrüben und Petersilie aus dem Bereich Mulden/Kaltwasser wiesen geringfügige Überschreitungen des Pb-Richtwerts auf.

Das Haldenmaterial aus dem Teufelsgrund enthält hohe mobilisierbare Anteile an Zn, Cd und Tl. Das Wasser des Trudpertstollens und das Haldensickerwasser beim Wilhelmstollen wiesen hohe Cd- und Zn-Konzentrationen über den Grenzwerten der TrinkwV (1990) auf. Nach Eintritt der Wässer in den Muldenbach werden die Schwermetallkonzentrationen stark verdünnt. In den Bächen des Muldener Tals ergaben sich in mehrfachen Beprobungen As-Konzentrationen zwischen 10 und 20 µg/l. Sie liegen somit über dem künftigen Grenzwert der TrinkwV ab 1996. Eine Wasserprobe aus einem Brunnen im Kaltwasser (W-MÜN 24) wies > 40 µg/l Arsen auf.

Das von den Bergbauhalden im Münstertal durch den Austrag von Schwermetallen und Arsen ausgehende

Gefährdungspotential für die Böden und für Gewässer macht weiteren Handlungsbedarf erforderlich. Haldenmaterial soll wegen seiner hohen Arsen- und Schwermetallgehalte nicht für Aufschüttungen so wie im Wege- und Straßenbau verwandt werden. Die Wässer des Trudpert- und des Wilhelmstollens sowie das Wasser des Hausbrunnens im Bereich Kaltwasser sind als

Trinkwasser nicht geeignet. In den Hausgärten von Wildsbach/Hof, Etzenbach/Poche und Mulden/Kaltwasser sind Maßnahmen zur Minimierung des Transfers von Schwermetallen und Arsen in Nahrungspflanzen erforderlich. Folgende Maßnahmen werden empfohlen: Phosphatdüngung der belasteten Hausgärten führt bei den vorliegenden pH-Werten zur Bildung von Pb-Phosphaten und trägt damit zur Fixierung von Blei und weiteren Schwermetallen auch im Wurzelbereich der Pflanzen bei. Durch Erhöhung des Tongehalts der Gartenböden wird die Sorptionsfähigkeit des Bodens von Schwermetallen intensiviert. Kalkgaben können zu einer Erhöhung der Mobilität von Arsen führen und sind nur auf Flächen geeignet, die keine erhöhten mobilen Arsengehalte aufweisen. Ggf. kommt in Einzelfällen auch der Auftrag einer unbelasteten Oberbodenschicht von ca. 30-40 cm in Betracht. Der Anbau von nicht schwermetallanreichernden Gemüsearten für den Eigenverzehr entsprechend der VwV Anorganische Schadstoffe sowie die gründliche Reinigung des Gemüses und das Entfernen älterer Pflanzenteile (äußere Blätter bei Salaten) ist zusätzlich zu empfehlen. Auf den belasteten Flächen unter Grünlandnutzung kann die Schwermetallmobilität durch Kalkung der stark bis mäßig sauren Böden herabgesetzt und dadurch der Übergang von Schwermetallen in den Aufwuchs vermindert werden.

3.2 Revier Todtnau

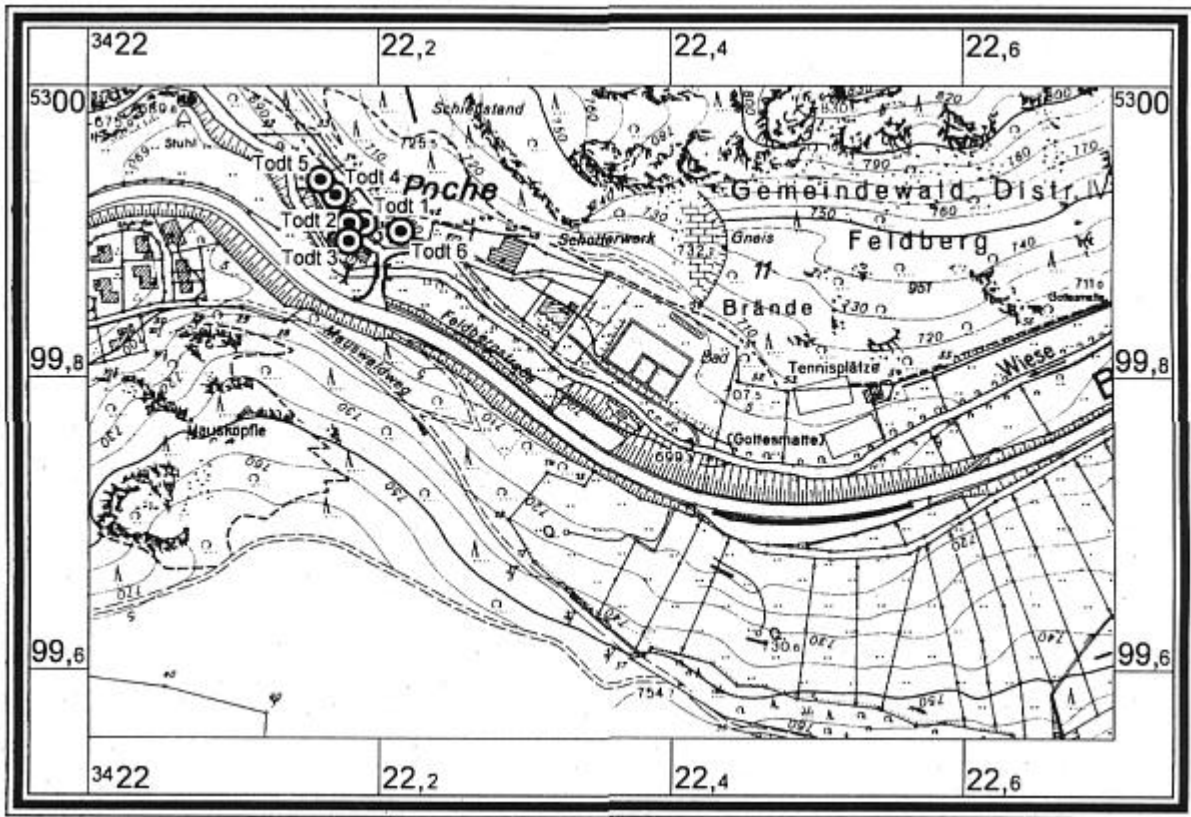
Das Untersuchungsgebiet im oberen Wiesetal mit seinen Seitentälern (TK 25 Bl. 8113 Todtnau, Bl. 8213 Zell im Wiesental) war neben dem Münstertal das bedeutendste Bergbaurevier des Mittelalters. Vor mehr als zweitausend Jahren gehörte das Land zwischen Schwarzwald und Main zum Siedlungsbereich der Kelten (SCHÄFER 1966). Nach einer ersten dünnen Besiedlung der Hochlagen des Schwarzwalds, faßte der Bergbau im oberen Wiesetal vermutlich Ende des 12. Jahrhunderts Fuß und erreichte Mitte des 13. Jahrhunderts seine Blüte. Ende des 14. Jahrhunderts bis zu Beginn des 15. Jahrhunderts besaß Todtnau ein eigenes Münzwerk. Die Grundherrschaft über das obere Wiesetal erwarb im 13. Jahrhundert das Kloster St. Blasien. Erst die Gründung des Großherzogtums Baden beendete die Herrschaft des Klosters über die Gruben. Ende des 15. Jahrhunderts ging der Bergbau stark zurück, nur noch in wenigen Gruben wurden im 16. Jahrhundert kleinere Abbauversuche unternommen. Während des 18. Jahrhunderts lebte der Bergbau nochmals in zahlreichen Grubenrevieren auf. Im 20. Jahrhundert wurde Flußspat abgebaut, so z.B. auf den Gruben Finstergrund und Tannenboden.

3.2.1 Untersuchungsumfang

Schwerpunkt der Untersuchungen waren die Standorte ehemaliger Aufbereitungen (Pochen und Erzwäschen, Verhüttungsanlagen). Folgenden Gebiete wurden bearbeitet:

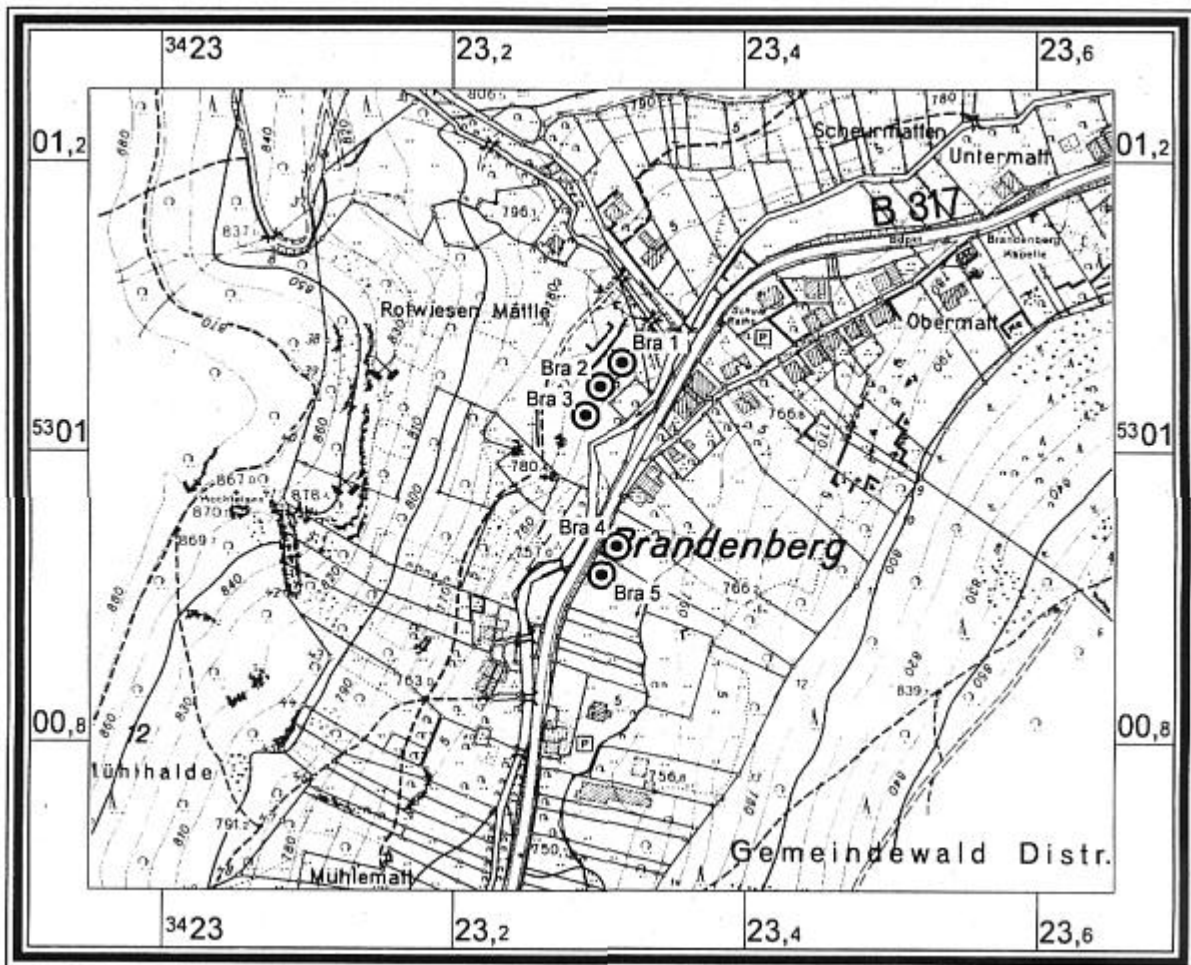
Todtnau-Poche (Karte 3.2.1) Östlich von Todtnau wurde 1763 zur Aufbereitung der Erze hauptsächlich aus der Grube "Maus" eine Poche und 1764 eine Schmelzhütte erstellt. Sie befand sich unterhalb des heutigen Hotels in der Nähe des Schwimmbads. Das Gelände ist heute großteils überbaut oder versiegelt, so daß für die Bodenbeprobung (TODT 1-6) nur kleine Flächen (Ödland, Wiesenabschnitte und Rasen) zur Verfügung standen.

Karte 3.2.1 Bodenproben aus dem Bereich "Poche" östlich von Todtnau



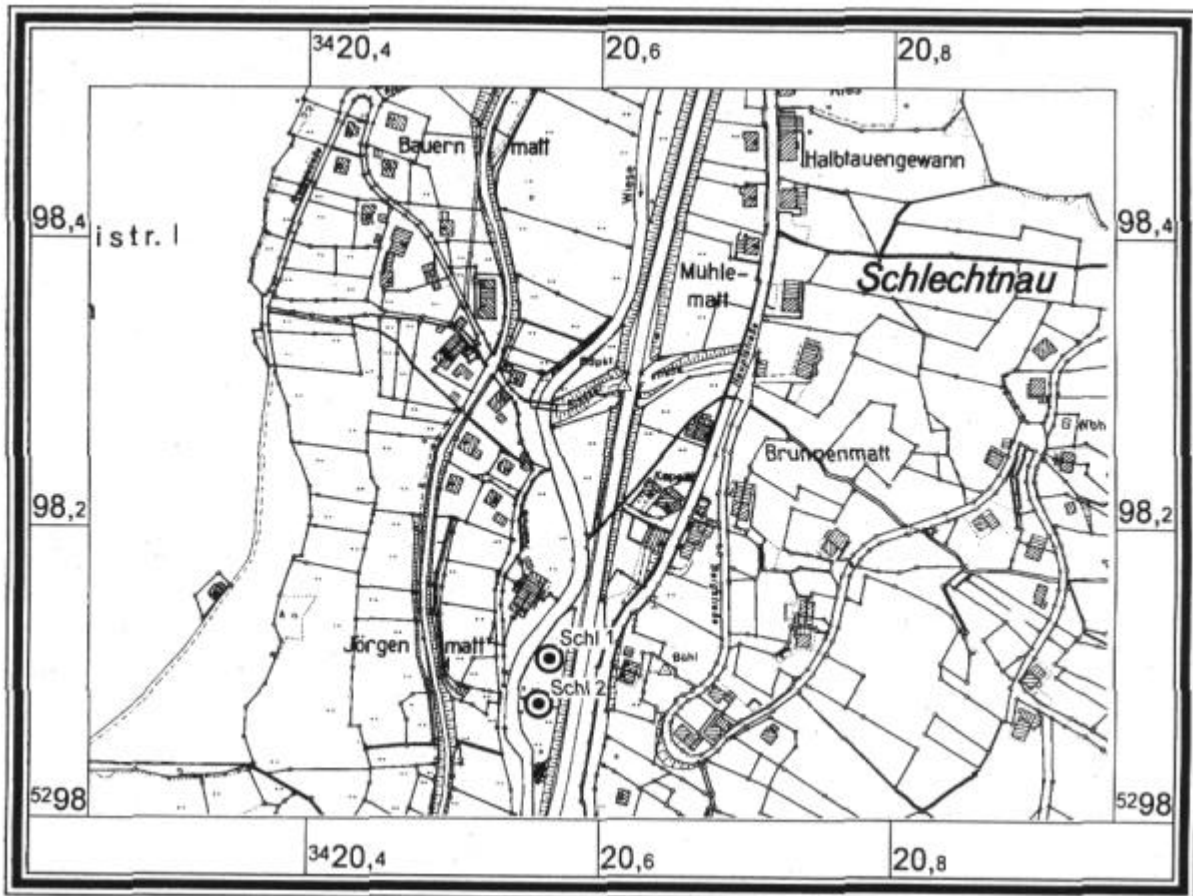
Todtnau-Brandenberg (Karte 3.2.2): Zu den ältesten Bergbaugebieten im Revier Todtnau zählt die Gegend um Brandenberg. Im 14. Jahrhundert sollen hier am unteren Rotwiesenbach und auf dem "Stampelsboden" mehrere Erzmühlen und Schmelzhütten gestanden haben (STADT TODTNAU 1989). Die Grube Brandenberg erlangte in den 40-er Jahren des 20. Jahrhunderts durch den Abbau von Flußspat wirtschaftliche Bedeutung. Auf einem als Weideland genutzten kleinen Wiesenstück, auf dem sich Mauerreste eines alten Gebäudes befinden sowie auf einem weiteren Wiesengelände wurden insgesamt fünf Bodenproben (BRA 1-5) entnommen.

Karte 3.2.2 Bodenproben bei Brandenburg



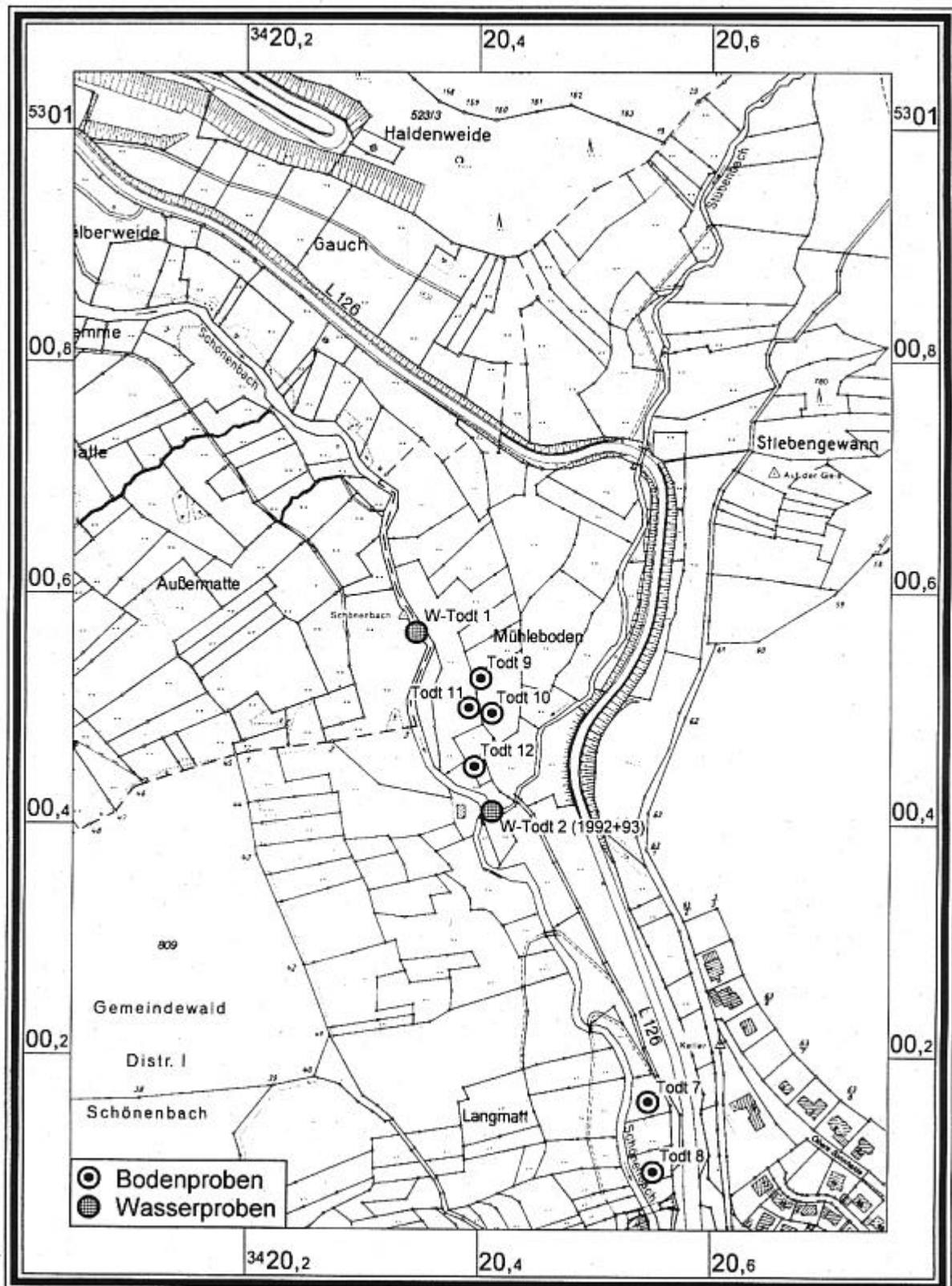
Todtnau-Schlechtnau (Karte 3.2.3): Am südlichen Ortsausgang von Schlechnau an der B 317 wird ein mittelalterlicher Verhüttungsstandort vermutet. Hier wurden zwei Bodenproben entnommen (SCHL 1, 2; jeweils Grünland).

Karte 3.2.3 Bodenproben bei Schlechnau



Todtnau-Aftersteg (Karte 3.2.4) Der "Mühleboden" und das Gelände bis zur Mündung des Stübenbachs in den Schönenbach war im Mittelalter Zentrum der Verhüttungsindustrie. Zahlreiche Pb/Ag-Schmelzen verarbeiteten hier bis in das 18. Jahrhundert die im Todtnauer Revier anfallenden Erze. Hier wurden 2 Wasser- (W-TODT 1, 2) und 6 Bodenproben (TODT 7 - 12) entnommen. Das Gelände wird heute zum Teil als Weideland genutzt. TODT 7 und TODT 8 sind kleine Schürfproben auf einer anthropogenen Aufschüttung, die viel Schlackenmaterial enthält.

Karte 3.2.4 Boden- und Wasserproben aus dem Bereich "Mühleboden" und gegenüber "Langmatt" südöstlich von Aftersteg



3.2.2 Ergebnisse

Bodenproben

Die stark bis mäßig sauren und sandigen Böden sind durch hohe Pb-Gehalte, teilweise auch durch hohe Zn-, Cu- und As-Gehalte gekennzeichnet (Tab. 3.2.1).

Todtnau-Poche Der Standort weist hohe Pb-Konzentrationen auf (bis 3980 mg/kg im Oberboden, TODT 4 und TODT 5). Deutlich niedriger, aber mit > 700 mg/kg über dem Prüfwert liegen die Gehalte bei TODT 1-3. Bei den durch Aufschüttung und Umlagerung anthropogen veränderten Böden handelt es sich um kiesig-sandiges Material mit einem pH-Wert im stark bis mäßig sauren Bereich.

Todtnau-Brandenberg Die Böden an diesem Standort weisen pH-Werte im stark bis mäßig sauren Bereich auf. Von den fünf Bodenproben ergaben sich bei BRA 1 und BRA 2 Überschreitungen bis zum 10-fachen, bei BRA 3-5 bis zum 8-fachen des Prüfwerts. Sie wurden auf einer Weidefläche unterhalb eines verfallenen Gebäudes entnommen. Zum Teil treten in den Proben auch geringfügig erhöhte Zn- und As-Gehalte auf.

Todtnau-Schlechtnau Schlackenbruchstücke und hohe Bleigehalte im Boden bestätigen den vermuteten Standort einer Schmelze. Blei erreicht in 0-10 cm Tiefe Konzentrationen bis 1580 mg/kg. Zur Tiefe nehmen die Gehalte zu.

Tab. 3.2.1 pH-Meßwerte sowie Arsen- und Schwermetallgehalte in Böden des Todtnauer Bergbaureviers (Angaben in mg/kg; n = Anzahl der Proben)

Gebiet	n	Tiefe	pH-Wert	Cu	Zn	As	Pb
Todtnau-Poche	6,00	0-10 cm	4,4-5,8	31-81	120-408	<25	102-3980
	6,00	10-40 cm	4,5-5,6	22-70	120-356	<25-41	117-2650
	6,00	>40 cm	4,6-5,2	18-67	103-260	<25-25	66-2820
Todtnau-Brandenberg	5,00	0-10 cm	4,5-5,3	27-47	169-511	<25-60	485-2070
	5,00	10-40 cm	4,5-5,4	28-41	146-375	<25-58	423-1990
	5,00	>40 cm	5,0	28-42	119-216	<25	214-1150
Todtnau-Schlechtnau	2,00	0-10 cm	4,9 ; 5,2	46 ; 53	226 ; 272	37 ; 28	990 ; 1580
	2,00	10-40 cm	4,9 ; 5,2	51 ; 58	274 ; 332	<25 ; 32	1670 ; 2080
	2,00	>40 cm	5,30	90 ; 57	501 ; 397	58 ; 33	5060 ; 2610
Todtnau-Aftersteg	6,00	0-10 cm	4,4-5,1	30-402	201-1320	<25-45	318-5840
	4,00	10-40 cm	4,4-4,7	59-260	327-1040	<25	2610-5160
	4,00	>40 cm	4,4-5,0	36-125	234-605	<25	1070-2900

Todtnau-Aftersteg: Im Bereich Todtnau-Aftersteg übersteigen die Pb-Gehalte den Prüfwert hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser der VwV Anorganische Schadstoffe um mehr als das 25-fache. Die hohen Bleigehalte sind auf die dort vorhandenen Schlackenreste der Ag-Verhüttung zurückzuführen. Da die Schwermetallgehalte zur Tiefe abnehmen wurde die Schlacke vermutlich nur oberflächennah abgelagert. Talaufwärts entlang des Schönenbachs und Stübenbachs wurden an mehreren Stellen weitere Schlackenreste gefunden. Hier sind somit ebenfalls erhöhte Schwermetallgehalte zu erwarten. In den stark sauren Böden ist mit einer hohen Mobilität der Schwermetalle zu rechnen.

NH₄NO₃-Extraktionen

Außer in Todtnau-Poche zeigten alle Proben bei Blei eine Überschreitung des Prüfwerts Pmob (400 µg/kg), zum Teil auch des Belastungswerts Bmob (12000 µg/kg). Die höchsten Werte wurden an Proben (Tiefe 0-10 cm) aus Todtnau-Aftersteg (TODT 10) mit 21700 µg/kg und Brandenburg (BRA 2) mit 12200 µg/kg festgestellt (Tab. 3.2.2). In den beiden zuletzt genannten Gebieten werden auch die Prüfwerte der VwV Anorganische Schadstoffe für Zink geringfügig überschritten. Die Bodenproben aus Brandenburg, Schlechtnau und Aftersteg wiesen mobile Cadmiumgehalte bis zum 3-fachen über dem Belastungswert Bmob für Cadmium auf (z.B. BRA 2: Tiefe 10-40 cm)

Tab. 3.2.2 Ergebnisse der NH₄NO₃-Extraktionen der Böden in 0-40 cm Tiefe bei Todtnau (in µg/kg, mobiler Anteil in %)

Gebiet <i>Todtnau</i>	Einheit	Cu	Zn	Cd	Pb
Wiesen- u.Weideflächen	µg/kg	47,1-223	306-5930	<18,0-	180-21700
	%	0,17-0,40	0,08-2,97	128	0,025-1,40

Wasserproben

Die Wasserproben W-TODT 1 und 2 sowie weitere Proben aus Seitenflüssen der Wiese und des Wiedenbachs enthielten keine erhöhten Schwermetallgehalte.

3.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf

Alle im Todtnauer Revier (Todtnau-Aftersteg, Todtnau-Poche, Todtnau-Brandenburg und Todtnau-Slechtnau) untersuchten Böden sind durch erhöhte Pb-Gehalte gekennzeichnet. Sie übersteigen die Prüfwerte (Pges) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser der VwV Anorganische Schadstoffe in Einzelfällen bis zum 50-fachen (Todtnau-Aftersteg). Die Zn- und Cu-Gehalte überschreiten ebenfalls die Prüfwerte. Durch die in allen Gebieten sehr niederen Boden-pH-Werte ist die Schwermetallmobilität hoch. In NH₄NO₃-Extrakten wurden für Pb, Zn und Cd Konzentrationen über den Prüf- (Pmob) und Belastungswerten (Bmob) ermittelt. Die Schwermetallkonzentrationen in den Wässern lagen stets unter den Grenzwerten der TrinkwV (1990).

Da der Bereich der ehemaligen Schmelzhütte bei Aftersteg als Weideland genutzt wird und hohe mobile Schwermetallgehalte durch Schlackenreste im Boden aufweist, muß hier mit einer Beeinträchtigung der Weidenutzung (Schwermetallgehalte im Aufwuchs) gerechnet werden. Dies ist anhand weiterer Bodenproben und ggf. anhand von Untersuchungen des Grünlandaufwuchses zu überprüfen. Durch entsprechende Kalkgaben kann der Boden-pH-Wert angehoben und die Schwermetallmobilität herabgesetzt werden.

In den vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Bereichen auch in der weiteren Umgebung von Todtnau sind aufgrund der durchgängig niederen Boden-pH-Werte weitere Überschreitungen der Belastungswerte der VwV Anorganische Schadstoffe zu erwarten. Zur Lokalisierung weiterer belasteter Flächen im Wiesetal sind daher zusätzliche Bodenuntersuchungen, insbesondere in den Bereichen von Wieden (Pb/Zn-Bergbau), Utzenfeld (Aufbereitungsanlage) und St. Blasien (Nickelhütte) erforderlich.

3.3 Revier Suggental

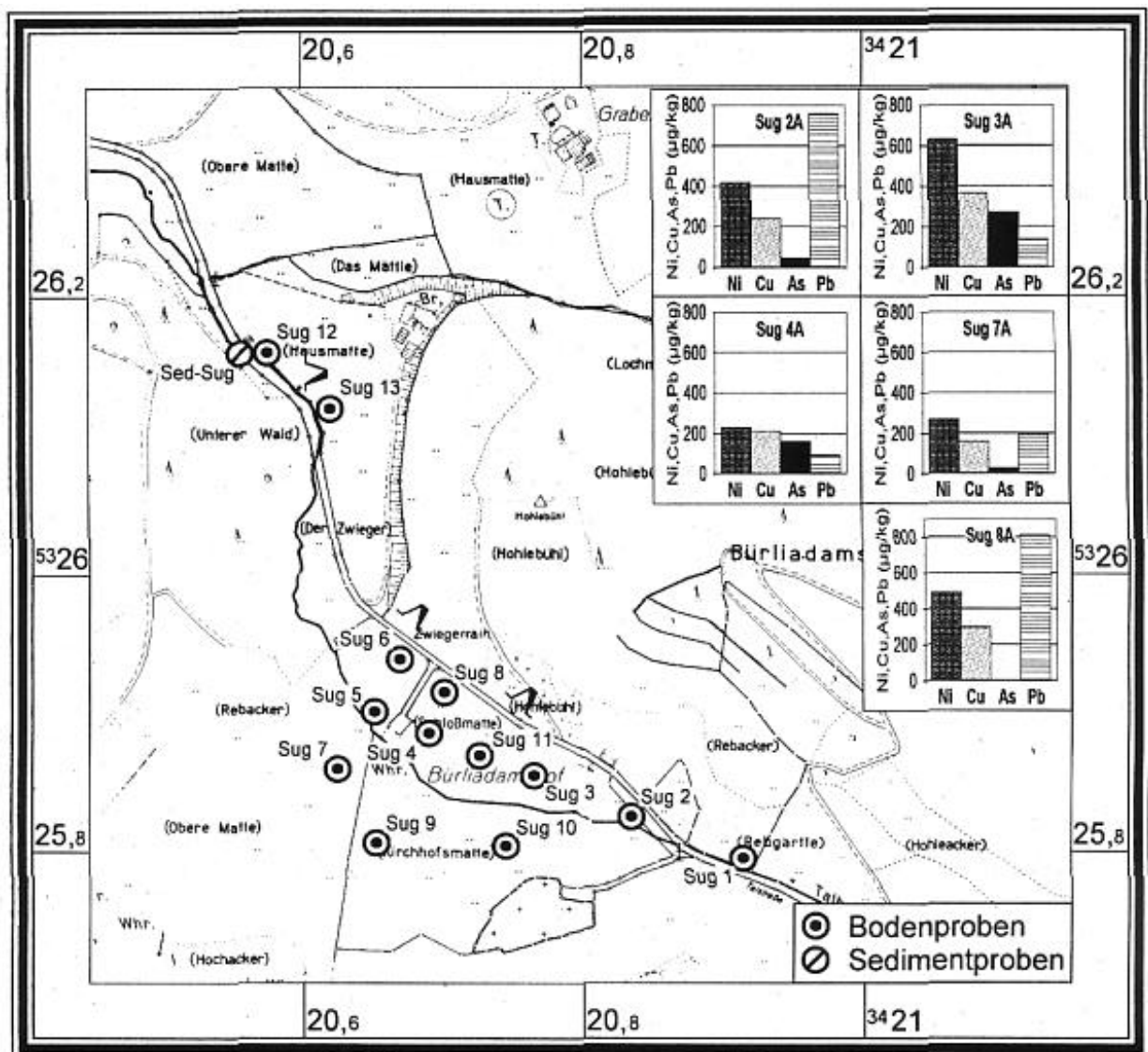
In dem etwa 2,5 km langen und 2 km südwestlich von Waldkirch gelegenen Suggental (ehemals Reichental, dann Sunkenthal; TK 25 Bl. 7913 Freiburg NO) wurde wahrscheinlich bereits in römischer Zeit Bergbau betrieben (BLIEDTNER & MARTIN 1986). Nach BADER (1882) wurden die Gruben durch Herzog Berthold II von Zähringen um 1092 angelegt. Abgebaut wurde ein 2 m mächtiger Quarz-Baryt-Gangzug mit Pb- und Cu-Erzen. Das 1099 errichtete Schmelzwerk an der Elz wurde 1211 durch ein Feuer vernichtet. In den Jahren 1108-1177 ruhte der Bergbau aufgrund kriegerischer Auseinandersetzungen. Später wurde das Gebiet bis Ende des 13. Jahrhunderts zu einem der bedeutendsten Grubenreviere des Schwarzwalds. Mit einem 15 km langer Urgraben (Wuhrgraben) wurde Aufschlagwasser für die Gruben- und Aufbereitungsanlagen vom Südostteil des Kandelmassivs herangeführt. Im Suggental sollen 92 Stollen, Schächte und Schürfe vorhanden gewesen sein (THOMA 1974), bis ein Unwetter zur Aufgabe der Gruben zwang (CARATO 1786). Erst im 18. Jahrhundert wurden die Gruben wieder betrieben und nach anfänglichem Erfolg 1782 auch eine Silberschmelze mit Scheidhütte, Treibherd und Poche beim "Schwefelbauernhof" erstellt. Schon Ende des 18. Jahrhunderts wurden Gruben wieder stillgelegt. Nach mehrmaligen kurzzeitigen Versuchen im 19. und 20. Jahrhundert (Abbau auf Schwerspat) wurde der Bergbau 1933 eingestellt. Seit März 1985 werden die Suggentaler Gruben durch eine "Fachgruppe Suggental" der Freiburger Vereinigung der Freunde der Mineralogie und Geologie wieder aufgewältigt.

3.3.1 Untersuchungsumfang

Spuren des einst bedeutenden Bergbaus sind heute überwiegend im hinteren Talbereich vorhanden. Hier sind im Wald noch Pinggen mit Halden zu erkennen. Im mittleren Talbereich werden die alten Stollen derzeit aufgewältigt und als Besucherbergwerk ausgebaut. Fast das gesamte Gebiet besteht in diesem Bereich aus Wiesen- und Weideflächen, nur am Talausgang liegt eine stärkere Bebauung vor. Haldenreste lassen sich an einigen Stellen durch die Geländemorphologie vor allem unterhalb des "Reschbauernhofs" erkennen. Weitere nicht näher untersuchte Halden liegen vermutlich oberhalb des Friedhofs und im unteren Suggental am ehemaligen Standort der Verhüttungsanlage und des Pochwerks. Über die Größe dieser Halden liegen derzeit keine Hinweise vor

Beprobung/Analysen:

- Bodenproben (13): Bodenprofil entlang des Talbachs (Karte 3.3.1), am Wasserbehälter (nahe des ehem. Josephi-Stollen), NH_4NO_3 -Extraktionen,
- Wasserproben (8): zweimalig (1992 und 1994) im gesamten Talbereich,
- Sedimentproben (1): Talbach unterhalb des Bergbauebiets (Karte 3.3.1).

Karte 3.3.1 Beprobungspunkte und Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen der Böden im Suggental

3.3.2 Ergebnisse

Bodenproben

Die Böden sind sandig bis kiesig und mäßig bis schwach sauer.

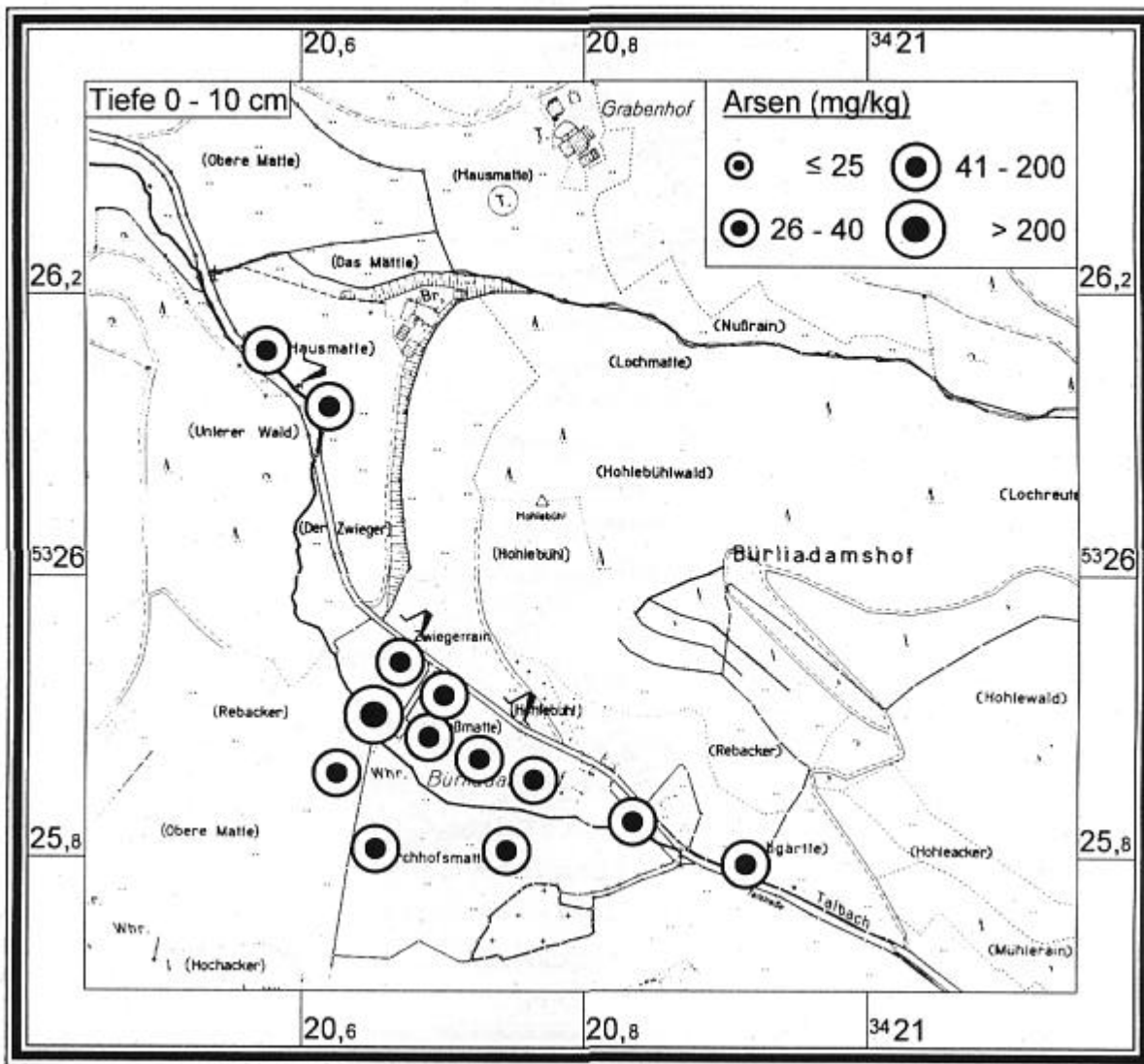
CaO-Gehalt: 1-2 Gew. %,
 Fe₂O₃-Gehalt: 5 Gew. %,
 MnO-Gehalt: < 0,5 Gew. %.

Die Böden weisen in 0-10 cm Tiefe Arsengehalte bis zu > 200 mg/kg auf (SUG 5). Auch Blei (836 mg/kg) und Kupfer (114 mg/kg) zeigen hier die höchsten Gehalte (Karte 3.3.2, 3.3.3). Die Ni-Gehalte betragen in Tiefen > 40 cm bis zu 81 mg/kg (SUG 2). Auffällig sind die hohen Gehalte der Böden an Barium. Südlich und westlich des Bürladamshofs bei SUG 1 - SUG 3 und SUG 10 - SUG 11 ist eine Zunahme der Arsen- und Schwermetallgehalte in tieferen Bodenbereichen zu beobachten. Hier werden die Halden des St. Anna-Stollens unter einer gering mächtigen Bodenüberdeckung vermutet. Auch direkt unterhalb des ehemaligen Stollen II (SUG 6) sind erhöhte Konzentrationen festzustellen. In den anderen Proben liegen mit zunehmender Tiefe gleichbleibende oder abnehmende Gehalte vor (Tab. 3.3.1).

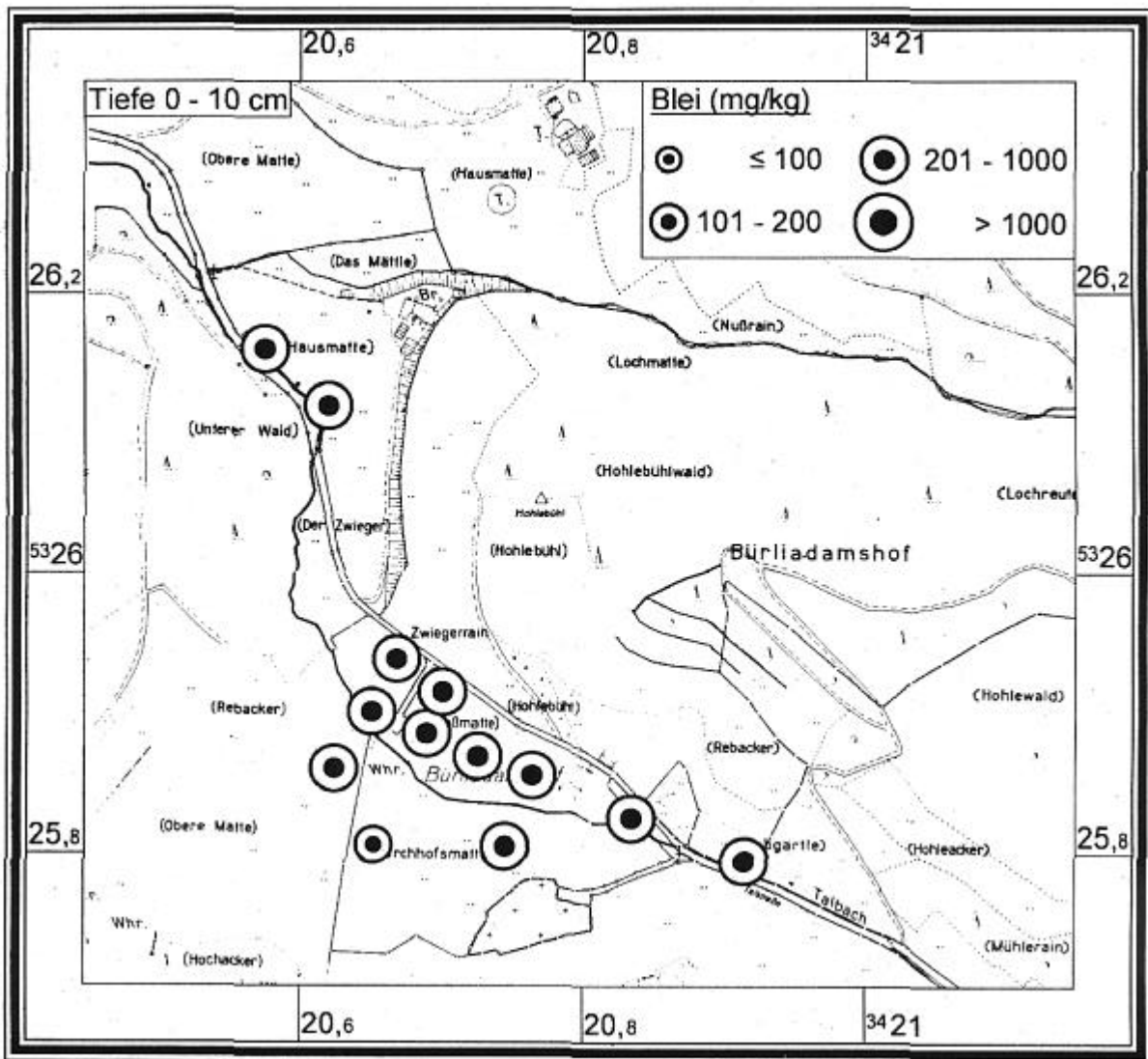
Tab. 3.3.1 Statistische Parameter der As-, Pb- und Cu-Gehalte (Angaben in mg/kg) und der pH-Meßwerte der Böden im Suggental Maximal- und Minimalgehalt (MAX, MIN), arithmetischer Mittelwert (MW), Medianwert (MED), Anzahl untersuchter Proben (n), absolute Standardabweichung (S)

	Tiefe	n	MIN	MAX	MW	MED	S
pH-Wert	0-10cm	13,00	4,9	6,40	5,80	5,9	0,47
As		13,00	49,00	215,00	137	131,00	41,60
Pb		13,00	122,00	836,00	383,00	285,00	189,00
Cu		13,00	33,00	114,00	73,00	78,00	22,80
pH-Wert	10-40cm	13,00	4,80	6,0	5,60	5,70	0,36
As		13,00	76,00	399,00	188,00	172,00	92,40
Pb		13,00	194,00	960,00	434,00	382,00	219,00
Cu		13,00	55,00	270,00	97,00	82,00	55,50
pH-Wert	>40cm	13,00	5,20	6,10	5,80	5,9	0,25
As		13,00	12,00	595,00	220,00	162,00	187,00
Pb		13,00	22,00	1020,00	398,00	283,00	311,00
Cu		13,00	26,00	349,00	112,00	86,00	83,30

Karte 3.3.2 As- Gehalte in Böden des Suggentals (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.3.3 Pb- Gehalte in Böden des Suggentals (Tiefe 0-10 cm)



NH₄NO₃-Extraktionen

Die Ergebnisse sind in Karte 3.3.1 zusammengefasst. Im Bereich der Halde der St. Anna-Grube unterhalb der Kirchhofsmatte wurden bis zu 269 µg/kg mobiles Arsen gefunden (SUG 3). Die mobilen Bleigehalte liegen zwischen 91 und 811 µg/kg, in Tiefen von 10-40 cm bis zu 3320 µg/kg (SUG 2). Eine Überschreitung des Ni-Prüfwerts von 1200 µg/kg (Pflanzenwachstum) wurde in SUG 2 (Tiefe 10-40 cm) festgestellt. Der Belastungswert (Bmob) der VwV Anorganische Schadstoffe wird bei den untersuchten Elementen nicht erreicht (Tab. 3.3.2).

Tab. 3.3.2 Ergebnisse der NH₄NO₃-Extraktionen der Böden in 0-40 cm Tiefe im Suggental (in µg/kg, mobiler Anteil in %)

Gebiet	Einheit	Cu	Zn	Cd	Pb
Suggental	µg/kg	156-903	375-1030	<18,0-24,0	91,0-3320
Grünland	%	0,21-0,45	0,28-1,32		0,019-0,465

Wasserproben

In den Bachwässern des unteren Suggentals wurden Arsenwerte zwischen 8 und 15,7 µg/l gefunden. Die Probe der Schwefelquelle (R: ³⁴20170 H: ⁵³26495) enthielt 200 µg/l Arsen.

Sedimentproben

Die Bachsedimentprobe weist 69 mg/kg Cu, 141 mg/kg Zn, 101 mg/kg As und 375 mg/kg Pb sowie erhöhte Ba-Konzentrationen auf.

3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf

In den Böden des Suggentals liegen bis in eine Tiefe von > 40 cm As- und Pb-Gehalte über den Prüfwerten (Pges) der VwV Anorganische Schadstoffe vor. Teilweise treten erhöhte Cu-Gehalte auf. In den mäßig bis schwach sauren Böden kommt es bei pH-Werten > 6 zu erhöhten mobilen Gehalten an Arsen bis zu 269 µg/kg. Böden mit pH-Werten < 6 weisen Gehalte an mobilem Blei über den Prüfwerten (Pmob) hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungs- und Futterpflanzen der VwV Anorganische Schadstoffe auf. Im Wasser des Talbachs wurden vor Eintritt in die Elz Arsengehalte zwischen 8-15 µg/l gefunden. Folgende weitere Untersuchungen werden empfohlen:

- Analysen von Nahrungspflanzen aus den Hausgärten im Bereich schwermetallbelasteter Flächen,
- Bodenuntersuchungen zur Abgrenzung überdeckter Halden.

Darüber hinaus ist eine Registrierung der Bereiche, in welchen überdeckte Halden vorliegen, im Hinblick auf künftige Planungen und mögliche Umnutzungen empfehlenswert.

3.4 Revier Bleibach

Der Ort Bleibach mit dem Grubenfeld "Gottessegen" liegt am Ausgang des Elztals (TK 25, Blatt 7814 Elzach) etwa 6 km nordöstlich von Waldkirch am Fuß des Hörnlebergs. Die Besiedlung des Tals geht bis in alemannische Zeit zurück, der Bergbau im Elztal wird allerdings erst um 1330 urkundlich in einem klösterlichen Zinsverzeichnis erwähnt (RAMBACH 1978). Bei der Mineralisation handelt es sich um Sideritgänge mit Pb- und Zn-Erzen (BLIEDTNER & MARTIN 1986). Hinweise auf den Bergbau sind in den Quellen spärlich. Kurze Zeit wurde im Grubenfeld "Gottessegen" im 18. Jahrhundert abgebaut. 1891 und in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts kam es zur Aufwältigung und neuen Abbauaktivitäten. Die damals gegründete Gewerkschaft "Bleibacher Erzbergwerk" errichtete für die Pb/Zn-Grube ein Poch- und Waschwerk, das allerdings nur kurze Zeit (1924-26) in Betrieb stand. Die aufbereiteten Erze wurden zur Verhüttung nach Nordenham an der Unterweser transportiert (BLIEDTNER & MARTIN 1986). Neben dem Grubenfeld "Gottessegen" sind in der näheren Umgebung noch weitere kleine Bergbaureste zu finden.

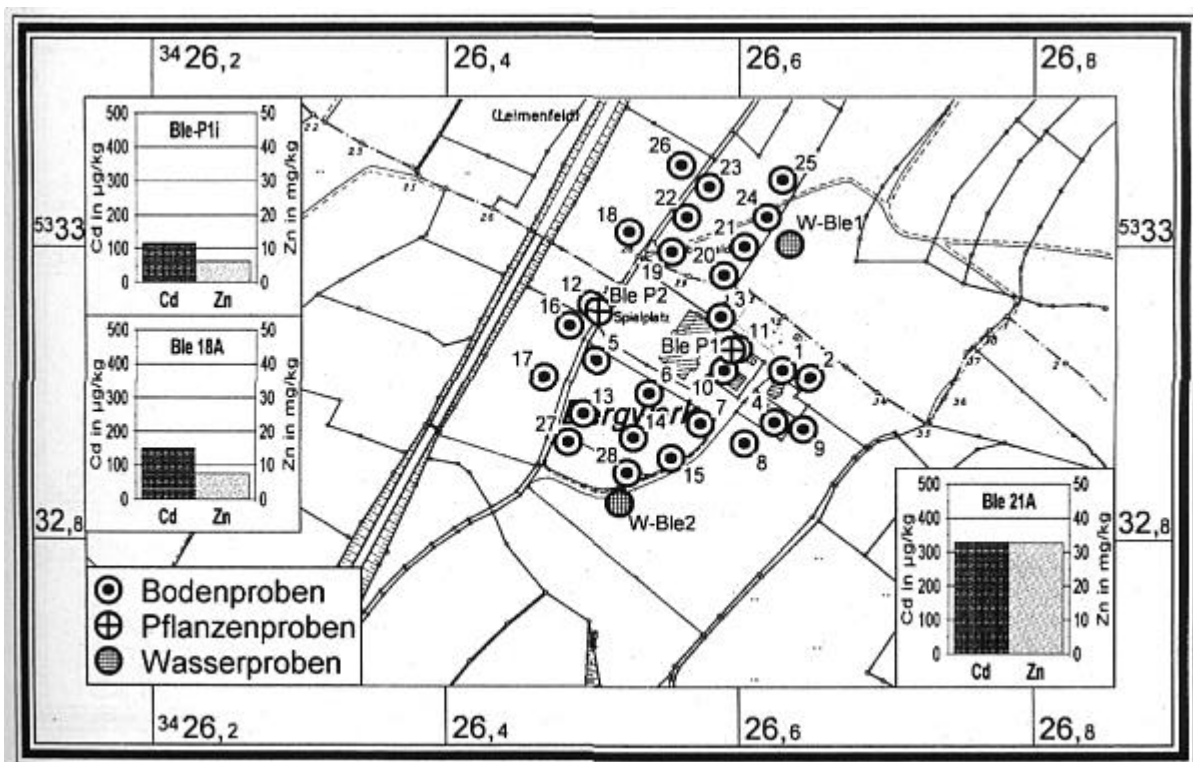
3.4.1 Untersuchungsumfang

In dem ehemaligen kleinen Grubengebiet finden sich nur noch wenige Bergbauspuren, vor allem Pingen mit kleinen Halden im Wald. Von der in den 20er Jahren betriebenen Aufbereitung (Poche und Erzwäsche) am Waldrand sind kaum noch Reste erkennbar. Die Halden sind eingeebnet, vermutlich wurde ein Teil des Materials abtransportiert. Das Gelände ist inzwischen bebaut. Ein Großteil der nicht überbauten Flächen wird als Grünland sowie ackerbaulich genutzt. Bei den weiteren Flächen im Umfeld des Standorts handelt es sich um Wiesengelände.

Beprobung/Analysen:

- | | |
|---------------------|--|
| Bodenproben (28): | Im Bereich der ehemaligen Aufbereitung, Hausgarten (BLE 11). |
| Pflanzenproben (4): | Kopfsalat, Kartoffel, Zwiebel (BLE-P1 bei BLE 11).
Getreideprobe (Gerste) unterhalb der Straße (PLE-P2 bei BLE 12). |
| Wasserproben (2): | siehe Karte 3.4.1 |

Karte 3.4.1 Beprobungspunkte und Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen von Böden bei Bleibach (BLE-P1i = Boden aus Zwiebelbeet des Hausgartens)



3.4.2 Ergebnisse

Bodenproben

CaO-Gehalt: < 1 %,

Fe₂O₃-Gehalt: 4 - 6 %, durch die Sideritvererzung in der Nähe der Aufbereitung bis 10 %,

MnO-Gehalt: < 0,3 %.

12 Bodenproben weisen in der Tiefe 0-10 cm Zn-Gehalte von über 1500 mg/kg auf. Im Wohngebiet sowie in den Proben BLE 18 (Acker) und BLE 21 (Grünland) treten vergleichbare Konzentrationen auf. Im Bereich der Proben BLE 1, 3, 4, 7, 10 und 11 (Karte 3.4.1) befindet sich eine größere Halde. In 0-10 cm Tiefe liegen Cd-Gehalte von 5 bis über 10 mg/kg vor. Hiervon ist u.a. ein Hausgarten mit Gemüseanbau betroffen (BLE-P1: R: ³⁴26595 H: ⁵³32930). Unter dem Hausgarten in ca. 2 m Tiefe fanden sich beim Bau des Hauses noch Teile der Aufbereitungsanlagen. Cd-Gehalte über 5 mg/kg wurden auch in BLE 18 und BLE 21 festgestellt.

Tab. 3.4.1 Statistische Parameter der Zn-, Cd- und Pb-Gehalte (Angaben in mg/kg) und der pH-Meßwerte in Böden von Bleibach. Maximal- und Minimalgehalt (MAX, MIN), arithmetischer Mittelwert (MW), Medianwert (MED), Anzahl untersuchter Proben (n), absolute Standardabweichung (S)

	Tiefe	n	MIN	MAX	MW	MED	S
pH-Wert	0-10cm	33	4,3	6,60	5,60	5,8	0,67
Zn		33	154,00	5340,00	1290	648,00	1351,00
Cd		33	<2,0	23,00	-----	-----	-----
Pb		33	72,00	1970,00	615,00	538,00	373,00
pH-Wert	10-40cm	28	4,30	6,8	5,50	5,50	0,66
Zn		28	135,00	17800,00	1837,00	479,00	3650,00
Cd		28	<2,0	30,00	-----	-----	-----
Pb		28	52,00	2750,00	844,00	647,00	729,00
pH-Wert	>40cm	28	4,30	7,10	5,10	4,8	0,76
Zn		28	104,00	41400,00	2213,00	285,00	7609,00
Cd		28	<2,0	115,00	-----	-----	-----
Pb		28	30,00	8240,00	1389,00	389,00	2292,00

Die Karten 3.4.2 und 3.4.3 zeigen die Cd- und Zn-Gehalte der Oberböden des untersuchten Gebiets. Pb-Konzentrationen über 100 mg/kg liegen in fast allen Bodenproben (Tiefe 0-10 cm) vor. Mindestens auf einer Fläche von 25000 m² überschreiten die Pb-Gehalte den Prüfwert (Pges.) um das 5-fache. Das sich im Nordosten anschließende Waldgelände weist vermutlich ebenfalls hohe Pb-Gehalte auf. Darauf weisen die Gehalte in den Proben BLE 8, 14 und 18 hin (Tab. 3.4.2). Deutlich mit der Bodentiefe zunehmende Bleigehalte treten nur im Bereich der ehemaligen Aufbereitung auf (Karten 3.4.4 und 3.4.5). Außerhalb dieses Bereichs wurde durch die Bodenbearbeitung auf gärtnerisch und ackerbaulich genutzten Böden höher belastetes Material aus der Tiefe an die Oberfläche umgelagert. Fast 40 % der Bodenproben (Tiefe 0-10

cm) enthalten zwischen 300 und 750 mg/kg Zink, 50 % weisen Pb-Gehalte zwischen 500 und 1000 mg/kg auf, 35 % enthalten 2,0 mg/kg oder mehr Cadmium.

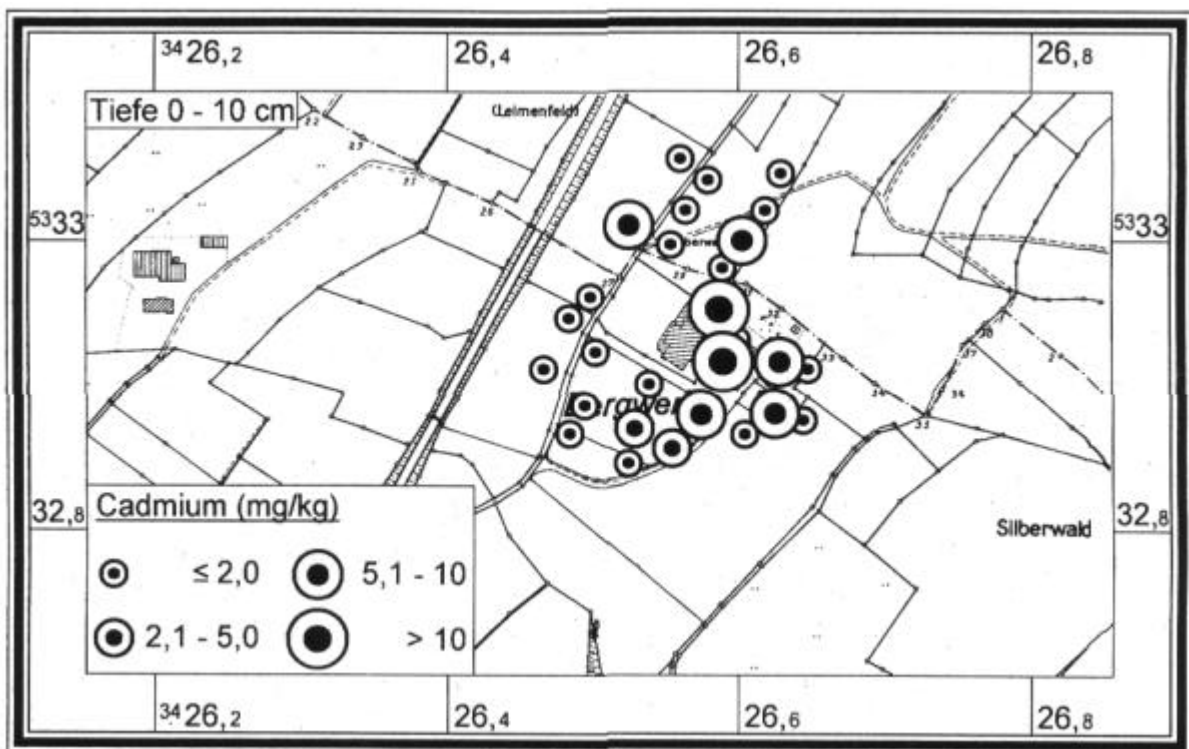
Tab. 3.4.2 Gesamtgehalte der Bodenproben von Bleibach (Angaben in mg/kg)

fett markiert: Wert liegt über dem Prüfwert (Pges) fett und unterstrichen Wert überschreitet um mehr als das 10-fache den Prüfwert

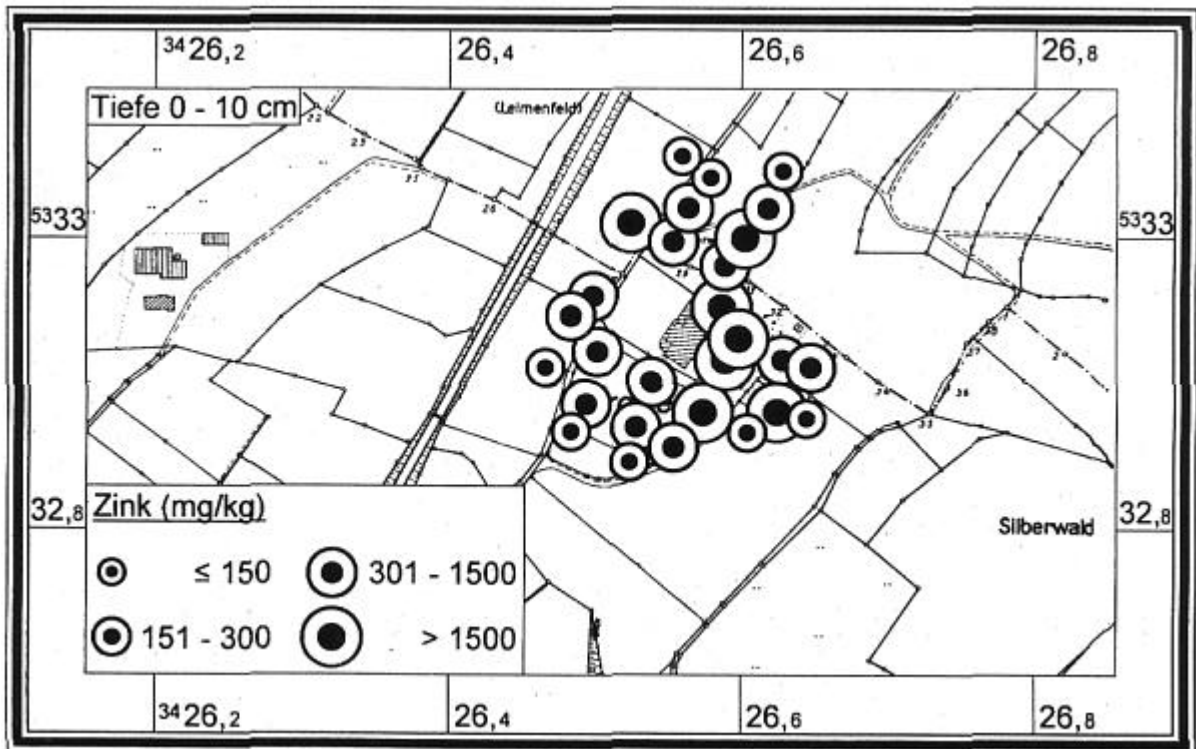
Probe	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Pb
BLE1A	<40	99	1360,00	<25	127	<2	6,60	n.a.	1140	257,00
BLE1B	<40	33	<u>3380,00</u>	<25	116	<2	<u>12,00</u>	n.a.	1420	255,00
BLE1C	<40	37	<u>3470,00</u>	<25	108	<2	9,90	n.a.	1900	408,00
BLE2A	<40	46	650,00	<10	65	<2	<2	n.a.	549	179,00
BLE2B	<40	41	792,00	<10	76	<2	4,40	n.a.	600	150,00
BLE2C	<40	30	174,00	13	87	<2	<2	n.a.	478	33,00
BLE3A	<40	55	<u>5340,00</u>	<25	163	3,20	<u>23,00</u>	n.a.	2980	934,00
BLE3B	<40	142	<u>17800,00</u>	38	301	11,00	<u>30,00</u>	n.a.	9810	<u>1090,00</u>
BLE3C	<40	71	<u>2550,00</u>	<25	1070	<2	3,0	n.a.	12500	<u>8240,00</u>
BLE4A	<40	53	<u>2010,00</u>	<25	93	<2	8,60	n.a.	1620	557,00
BLE4B	<40	60	<u>1580,00</u>	<25	92	<2	5,70	n.a.	1420	630,00
BLE4C	<40	31	320,00	<25	61	<2	<2	n.a.	937	558,00
BLE7A	<40	40	<u>1910,00</u>	<25	133	2,90	7,60	n.a.	2550	774,00
BLE7B	<40	50	<u>1970,00</u>	<25	289	<2	4,40	n.a.	7660	<u>2390,00</u>
BLE7C	<40	47	1040,00	<25	283	<2	2,20	n.a.	6700	<u>3500,00</u>
BLE8A	<40	25	178,00	<25	115	<2	<2	n.a.	3540	<u>1330,00</u>
BLE8B	<40	30	185,00	<25	93	<2	<2	n.a.	2460	<u>2750,00</u>
BLE8C	<40	36	179,00	<25	88	<2	2,0	n.a.	927	<u>1510,00</u>
BLE10A	<40	57	<u>4010,00</u>	<25	293	<2	<u>16,00</u>	n.a.	3330	847,00
BLE10B	<40	42	<u>4330,00</u>	<25	366	<2	<u>12,00</u>	n.a.	6900	<u>1990,00</u>
BLE10C	<40	66	1320,00	<25	392	2,8	5,0	n.a.	6230	<u>3110,00</u>
BLE14A	<40	38	574,00	<25	152	<2	2,20	n.a.	2940	<u>1050,00</u>
BLE14B	<40	33	601,00	<25	171	<2	<2	n.a.	3950	<u>1240,00</u>

BLE14C	<40	33	454,00	<25	132	<2	<2	n.a.	3230	1470,00
BLE18A	<40	51	1940,00	<25	154	<2	5,20	n.a.	5170	1970,00
BLE18B	<40	47	1870,00	<25	198	<2	3,40	n.a.	6880	2320,00
BLE18C	46,00	66	3140,00	<25	616	<2	3,0	n.a.	12100	8090,00
BLE21A	<40	34	1530,00	<25	91	3,10	7,80	n.a.	995	526,00
BLE21B	<40	29	1060,00	<25	84	2,0	4,60	n.a.	844	435,00
BLE21C	<40	28	602,00	<10	77	<2	<2	n.a.	829	197,00

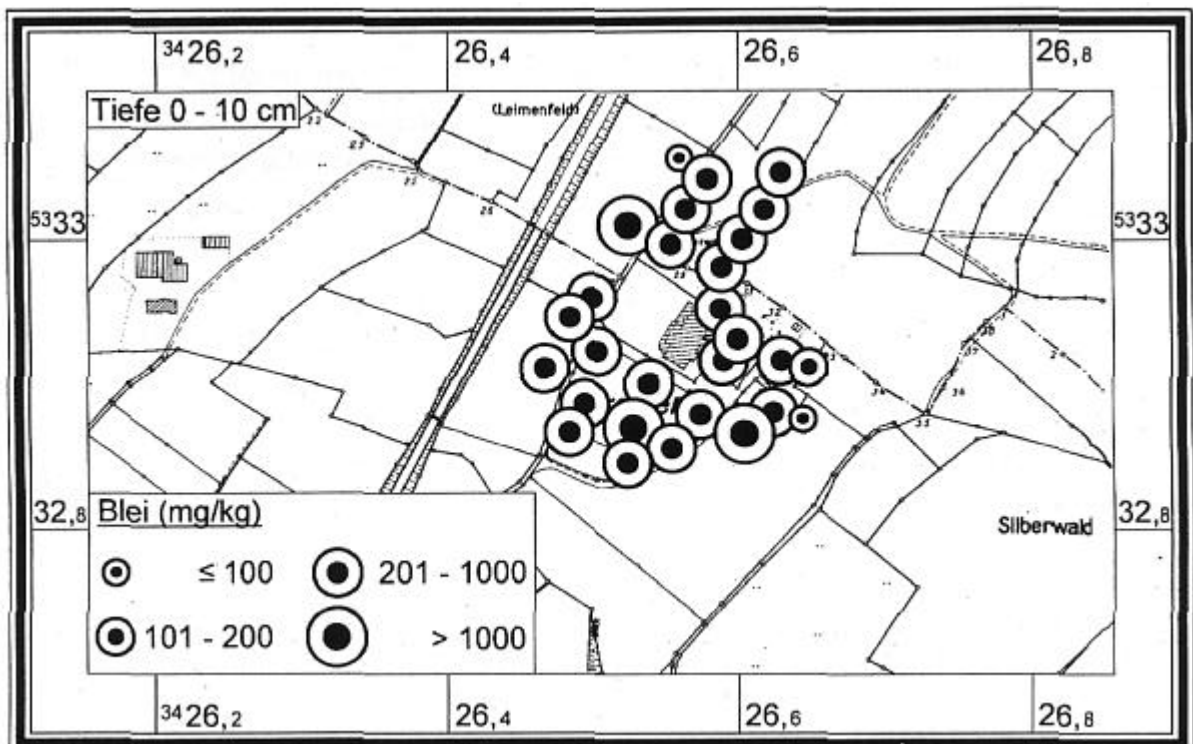
Karte 3.4.2 Cd-Gehalte in Böden nordöstlich von Bleibach bei der ehemaligen Grube Gottessegen (Tiefe 0-10cm)



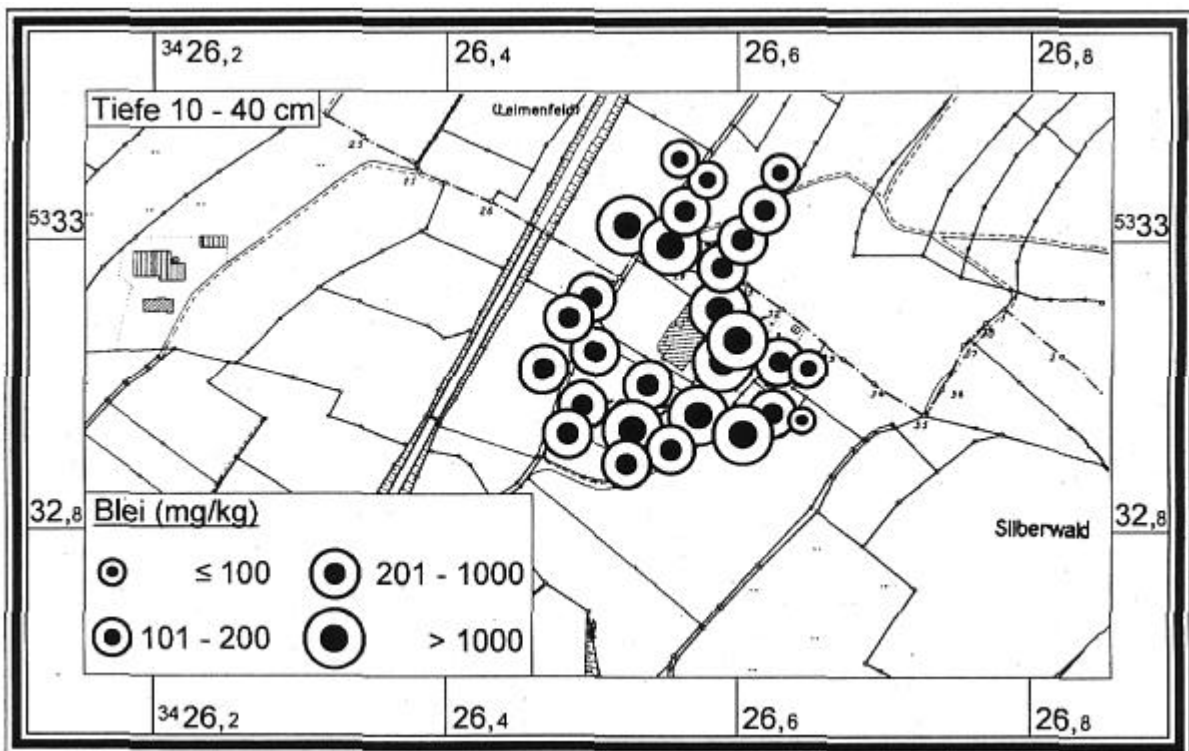
Karte 3.4.3 Zn-Gehalte in Böden nordöstlich von Bleibach bei der ehemaligen Grube Gottesseggen (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.4.4 Pb-Gehalte in Böden nordöstlich von Bleibach bei der ehemaligen Grube Gottesseggen (Tiefe 0-10 cm)



Karte 3.4.5 Pb-Gehalte in Böden nordöstlich von Bleibach bei der ehemaligen Grube Gottes-segen (Tiefe 10-40cm)



NH₄NO₃-Extraktionen

In Karte 3.4.1 sind die Ergebnisse für Zink und Cadmium dargestellt. In nahezu alle untersuchten Bodenproben, einschließlich der des Hausgartens im Bereich der ehemaligen Aufbereitung, werden mobile Gehalte über den Prüfwerten der VwV Anorganische Schadstoffe gefunden. In 0-10 cm Tiefe liegen die Gehalte an mobilem Zink zwischen 286 und 41300 µg/kg (BLE 3). Hohe mobile Pb-Gehalte wurde in Böden nord- und südwestlich der ehemaligen Aufbereitung gefunden. Die Konzentrationen liegen in diesen Proben (BLE 18 und BLE 28) bei 695 µg/kg und 3010 µg/kg. Der mobile Pb-Gehalt nimmt bei Abnahme der organischen Substanz in der Bodentiefe 10-40 cm deutlich zu. In den Proben des Hausgartens liegen die mobilen Gehalte für Zink bei 2480-6850 µg/kg, für Cadmium bei 68,3-116 µg/kg. Tabelle 3.4.3 faßt die Ergebnisse für Cu, Zn, Cd und Pb zusammen.

Tab. 3.4.3 Ergebnisse der NH₄NO₃-Extraktionen der Böden in 0-40 cm Tiefe von Bleibach (in µg/kg, mobiler Anteil in %)

Gebiet Bleibach	Einheit	Cu	Zn	Cd	Pb
Grünland, Ackerflächen und Hausgärten	µg/kg	<40-206	286-41300	23,0-411	<56,0-22200
	%	0,20-0,44	0,03-2,14	0,42-5,82	0,005-3,24

Pflanzenuntersuchungen

Wirsing: Der Richtwert für Cadmium (bez. auf TS: 0,90 mg/kg) wird geringfügig überschritten, der Bleigehalt liegt bei < 1 mg/kg, der Zinkgehalt der inneren Blätter bei 200 mg/kg.

Kopfsalat: Der Richtwert für Cadmium (bez. auf TS: 1,40 mg/kg) wird z.T. überschritten:

äußere Blätter: 1,84 mg/kg Cd,
inneren Blätter: 1,28 mg/kg Cd; 1,57 mg/kg Pb.

Kartoffeln: Die Gehalte liegen unter den Richtwerten für Blei und Cadmium.

Zwiebeln: Der Richtwert für Cadmium (bez. auf TS: 0,12 mg/kg) wird um etwa 50 % überschritten.

Gerste: Der Richtwert für Cadmium (bez. auf TS: 0,12 mg/kg) wird um das Doppelte überschritten. Blei überschreitet den einfachen Richtwert.

Wasserproben

Die Wasserproben zeigten keine Überschreitungen der Grenzwerte (TrinkwV 1990).

3.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf

Der ehemalige Aufbereitungsstandort (Poche und Erzwäsche) ist durch hohe Zn-, Cd- und Pb-Gehalte im Boden gekennzeichnet. NH_4NO_3 -Extraktionen ergaben infolge der insgesamt niederen pH-Werte der Böden hohe mobile Zn-, Cd- und Pb-Gehalte. Bei Cadmium werden die Belastungswerte (Bmob) der VwV Anorganische Schadstoffe, bei Blei und Zink i.d.R. die Prüfwerte (Pges und Pmob), in Einzelfällen ebenfalls die Belastungswerte (Bmob) überschritten. In den untersuchten Gemüsepflanzen (Wirsing, Kopfsalat, Kartoffeln, Zwiebeln) eines Hausgartens wurden außer in Kartoffeln Cd-Gehalte über dem Richtwert des BGA gefunden. Die Wasserproben zeigten keine Überschreitungen der Werte der TrinkwV.

Am Standort der ehemaligen Erzwäsche sind folgende weitere Untersuchungen erforderlich:

- Bestimmung der Bodenkonzentrationen und der mobilen Gehalte an Cd, Pb und Zn in den weiteren Hausgärten dieses Bereichs,
- ergänzende Pflanzenuntersuchungen.

Den Anwohnern und Nutzern der Gärten ist eine Kalkung der Gartenböden, der Anbau von nicht schwermetallanreichernden Gemüsearten entsprechend der VwV Anorganische Schadstoffe sowie eine gründliche Reinigung des Gemüses aus Eigenanbau und das Entfernen der äußeren Blätter von Kohlpflanzen und Salat vor dem Verzehr zu empfehlen.

3.5 Revier Freiamt

Das Revier Freiamt (TK25, Blatt 7813 Emmendingen) liegt etwa 10 km nordöstlich von Emmendingen am Westrand des Schwarzwalds. Schon den Kelten und Römern war wohl dieses Tal bekannt (WALTHER 1903). Danach wurde das Land entlang des Brettenbachs und seinen Seitentälern durch die Alemannen besiedelt. Der Name Freiamt für verschiedene Orte des Brettentals tritt in den Urkunden erst ab dem 16. Jahrhundert auf. Der Bergbau in diesem Gebiet geht bis in das Mittelalter zurück, die Burg Keppenbach wurde vermutlich zum Schutz der Silbergruben errichtet (KESSLER & LEIBER 1980 bzw. BLIEDTNER & MARTIN 1986). Abgebaut wurde ein etwa N-S streichender Gangzug, der aus mineralisierten Störungen mit Baryt und Bleierzen tertiären Alters besteht. Die einzige Urkunde, die auf einen Bergbau in dieser Zeit schließen läßt, stammt aus dem Jahre 1310. Von 1570-83 wurde in einer Grube im Keppenbacher Forst abgebaut. Zwischen 1756 und 1801 wurden durch verschiedene Gewerkschaften die Gruben "Silberloch", "Segen-Gottes am Schloßberg" und "Caroline im Eberbächle" zum Teil erfolgreich betrieben. 1786 wurde ein Poch- und Waschwerk errichtet, das wie die Gruben ca. 1801 stillgelegt wurde. Die Erze wurden nördlich von Sexau am Fuß der Hochburg verhüttet. Die Schmelzhütte, deren Standort noch heute durch Schlackenfunde belegt werden kann, stand zwischen 1783 und 1807 in Betrieb. Spätere Bergbauversuche auf dem Silberloch-Schloßberg-Gangzug im 19./20. Jahrhundert blieben erfolglos.

3.5.1 Untersuchungsumfang

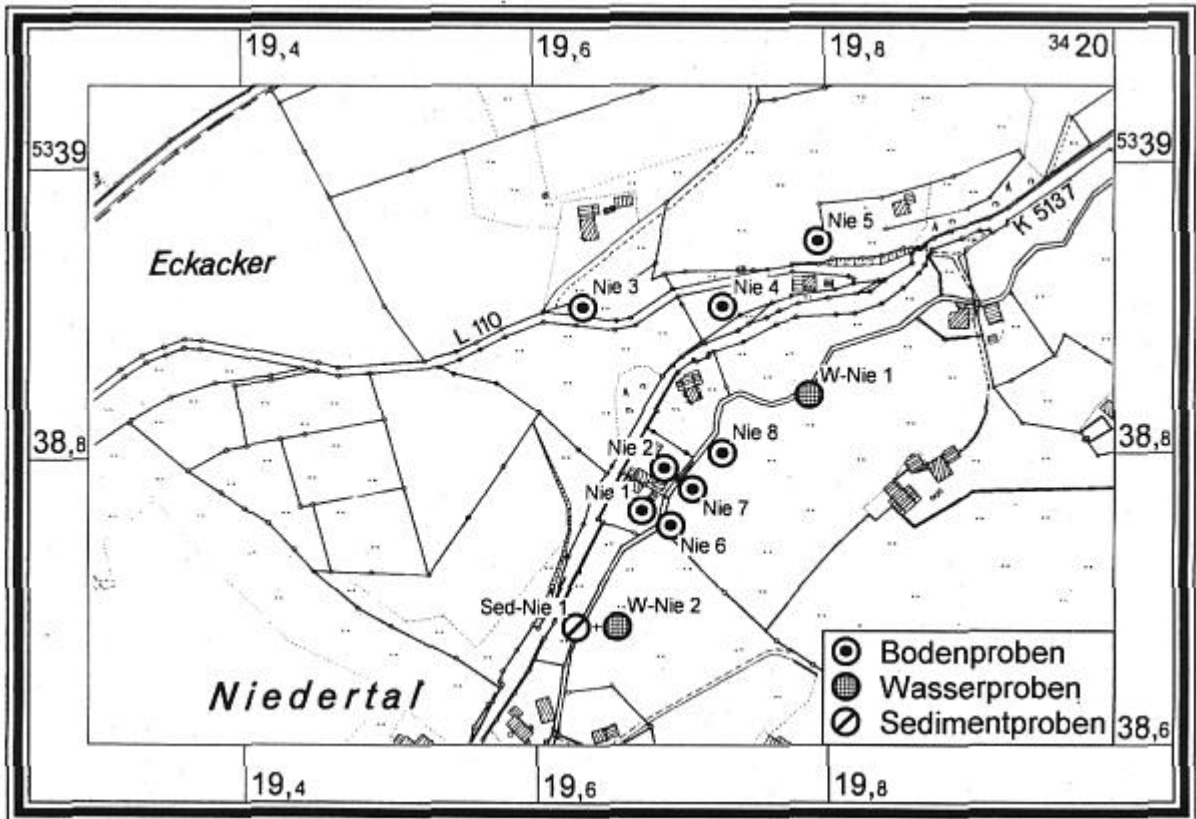
Ein Schwerpunkt der Untersuchungen bildeten die Standorte früherer Aufbereitungsanlagen. Folgende Gebiete wurden bearbeitet:

Freiamt Niedertal Auf dem Gelände der am Ende des 18. Jahrhunderts betriebenen Poche am "Silberloch-Stollen" und im Umkreis des Tagschachts wurden 8 Boden-, 2 Wasser- und eine Sedimentprobe entnommen (Karte 3.5.1). Auf dem Standort der ehemaligen Poche findet sich heute Wohnbebauung. Das Gelände südöstlich des Brettenbaches wird als Weideland genutzt. Im Gelände sind keine Haldenreste mehr zu erkennen.

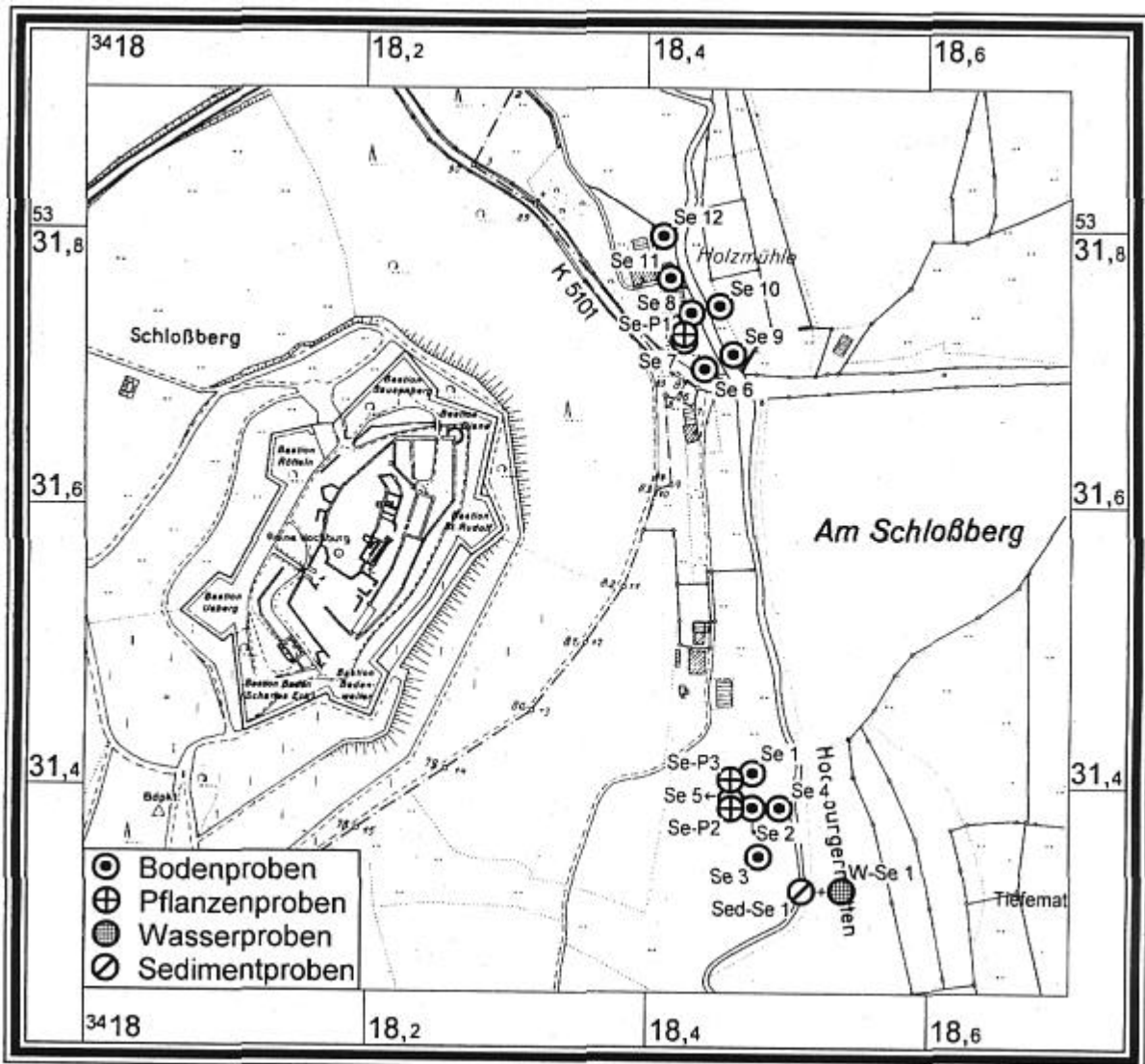
Freiamt "Schmelzsexau" einschließlich "Holzmühle": Am Standort der ehemaligen Silber-schmelze ("Schmelzsexau"), heute Wiesen- und Ackergelände sowie bei der "Holzmühle" unterhalb der Hochburg wurden 12 Boden- und 3 Pflanzenproben sowie je eine Wasser- und Sedimentprobe entnommen (Karte 3.5.2). Pflanzenuntersuchungen wurden oberhalb der Silber-schmelze an Hafer und Gerste sowie an Kopfsalat und Zwiebeln eines Hausgartens bei der ehemaligen Poche durchgeführt.

Freiamt Eberbächle: In einem Seitental des Brettenbachs existiert eine Vererzung mit der Grube "Caroline im Eberbächle". Auf der Wiese gegenüber des Oberen Stollens (heute Besucherbergwerk) wurden 2 Bodenproben entnommen. Die Wasserproben wurden unterhalb des Oberen Stollens in einem Seitenbach kurz vor Eintritt in den Eberbach sowie aus dem Vorfluter selbst entnommen.

Karte 3.5.1 Beprobungspunkte bei Freiamt-Niedertal



Karte 3.5.2 Beprobungspunkte bei Freiamt "Schmelzsexau" und bei der "Holzmühle" unterhalb der Hochburg



3.5.2 Ergebnisse

Bodenproben

Tabelle 3.5.1 faßt die wesentlichen Ergebnisse der Bodenuntersuchungen in den drei Gebieten zusammen.

Freiamt-Niedertal: Die pH-Werte der Böden des Geländes außer bei NIE 2 (neutral) liegen im stark bis mäßig sauren Bereich. Auf dem heute bebauten Pochgelände (NIE 1) sowie im Bereich des früheren Stollenmundlochs finden sich die höchsten Schwermetallgehalte in den Böden. Unter einer wenige Zentimeter mächtigen Bodenschicht mit mäßig erhöhten Pb-Gehalten (bis 184 mg/kg) steigen die Pb-Konzentrationen auf etwa den 6-fachen Wert (bis 1240 mg/kg). Ein Großteil des Haldenmaterials wurde sicherlich nach Stilllegung der Grube und des Pochwerks abgetragen und anderweitig genutzt (Wegebauschotter). Teile sind vermutlich durch

den Brettenbach weiter talabwärts verfrachtet worden. Eine Probe vom Wiesen- und Weidegelände südlich des Brettenbaches (NIE 7) weist ebenfalls hohen Bleigehalte auf. In den untersuchten Proben wurden auch etwas erhöhte Cu- und Zn-Gehalte gefunden. Die Gehalte der Wasserproben unterschreiten die Grenzwerte der TrinkwV (1990).

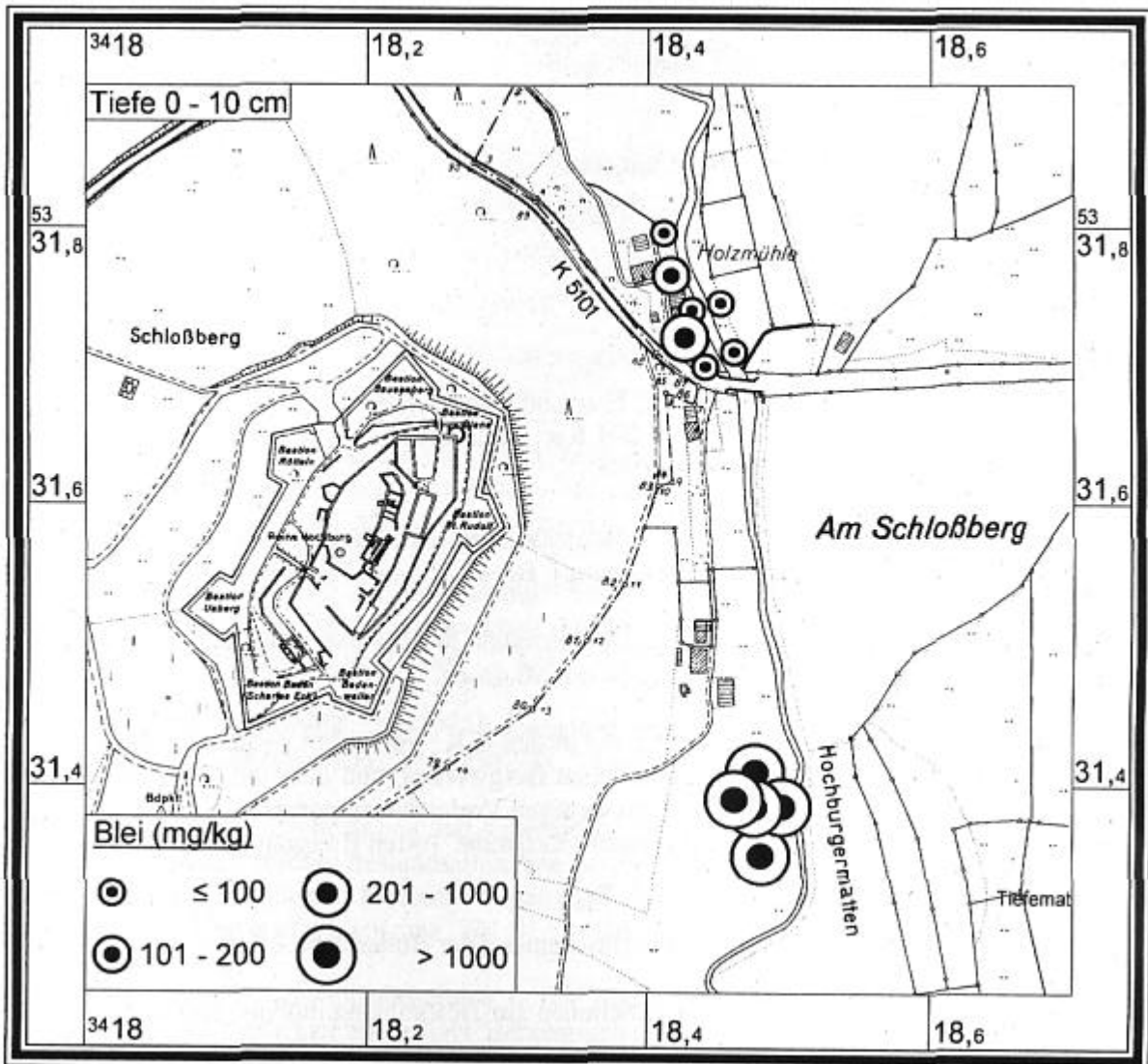
Freiamt "Schmelzsexau" einschließlich "Holzmühle": Die Böden des Standorts Schmelzsexau sind durch stark saure pH-Werte gekennzeichnet. Der Corg.-Gehalt liegt bei > 4 %. Die Proben SE 1- SE 5 und SE-P 1-2 im Bereich der ehemaligen Schmelze weisen hohe Gehalte an Blei auf (Tiefe 0-10 cm bis 6610 mg/kg, Tiefe 10-40 cm bis 19900 mg/kg; vergl. Karte 3.5.3). In einer Bodentiefe > 40 cm gehen die Schwermetallgehalte deutlich zurück. Auf dem heutigen Wiesen- und Ackergelände sind noch zahlreiche glasige Schlacken (Ca-Ba-Fe-Silikate) zu finden. Sie verursachen die hohen Pb- und Ba-Konzentrationen der Böden (MANZ 1995). In der Probe SE 1 wurden die höchsten Kupfergehalte gefunden (bis zu 324 mg/kg in der Tiefe 10-40 cm).

Freiamt-Eberbächle Zwei auf dem Wiesengelände gegenüber des oberen Stollenmundlochs (heute Besucherbergwerk) entnommene Bodenproben zeigten keine erhöhten Arsen- oder Schwermetallgehalte.

Tab. 3.5.1 pH-Meßwerte sowie Arsen- und Schwermetallgehalte in Böden des Freiamter Gebiets (Angaben in mg/kg; n=Anzahl der Proben)

Gebiet	n	Tiefe	pHWert	Cu	Zn	As	Pb
Freiamt-Schmelzsexau	9,00	0-10 cm	4,5-5,2	46-109	65-138	<25	1030-6610
(Schmelzhütte)	5,00	10-40 cm	4,6-5,9	41-324	60-396	<25	757-19900
	5,00	>40 cm	4,2-5,9	24-67	58-111	<25-32	33-4100
Freiamt-Schmelzsexau	10,00	0-10 cm	5,0-7,2	24-157	61-158	<25-25	34-1040
(Poche)	7,00	10-40 cm	4,8-7,0	20-142	41-133	<25	26-1090
	7,00	>40 cm	5,3-7,6	13-66	35-113	<25	26-279
Freiamt-Niedertal	8,00	0-10 cm	4,7-7,2	24-58	66-265	<25	44-184
	8,00	10-40 cm	4,7-7,0	21-155	80-218	<25-26	30-2030
	8,00	>40 cm	4,4-7,1	20-214	71-274	<25-90	34-1860

Karte 3.5.3 Pb-Gehalte in Böden bei Freiamt "Schmelzsexau" unterhalb der Hochburg (Tiefe 0-10 cm)



NH₄NO₃-Extraktion

Die mobilen Bleigehalte lagen zwischen 28300 und 119000 µg/kg und damit über dem Belastungswert (Bmob) der VwV Anorganische Schadstoffe. Die Böden der Ackerflächen wiesen Cadmiumgehalte zwischen 34,1 µg/kg und 40,4 µg/kg auf (Tab. 3.5.2). An einem Ackerboden (SE-P3) wurde durch sequentielle Extraktionen nach ZEIEN & BRÜMMER (1989, 1991) der mobilisierbare Pb-Anteil bestimmt. Bereits in den ersten beiden Extraktionsschritten (mobile Fraktion mit 1M NH₄NO₃, leicht nachlieferbare Fraktion mit 1M NH₄Acetat) werden etwa 10 % des Gesamtleis gelöst.

300 m nördlich des ehemaligen Schmelzgeländes bei der Holzühle befand sich in der Vergangenheit eine Poche. Die Bodenprobe SE 7 aus einem Hausgarten zeigte erhöhte Schwermetallgehalte (Pb bis über 1000 mg/kg, Cu bis 142 mg/kg in der Tiefe 10-40 cm). Die Boden

pH-Werte liegen im schwach sauren bis neutralen Bereich. Vermutete Haldenreste auf der gegenüberliegenden Bachseite wurden nicht gefunden.

Tab. 3.5.2 Ergebnisse der NH_4NO_3 -Extraktionen der Böden in 0-10 cm Tiefe von Freiamt-Schmelzsexau (in $\mu\text{g}/\text{kg}$, mobiler Anteil in %)

Freiamt-Schmelzsexau	Einheit	Cu	Zn	Cd	Pb
Grünland und Ackerflächen	$\mu\text{g}/\text{kg}$	101-297	332-1940	<18,0-40,4	28300-118500
	%	0,09-0,31	0,32-2,02	1,69 (SE-P3)	0,178-1,73

Pflanzenuntersuchungen:

Die Pflanzenproben (Wirsing, Kopfsalat und Zwiebeln) aus dem Hausgarten bei der Holzmühle zeigen keine Überschreitungen der Richtwerte des BGA. Die oberhalb des Geländes der ehemaligen Schmelzhütte entnommenen Getreideproben enthalten hohe Pb-Konzentrationen in den Körnern. Sie überschreiten den Pb-Richtwert (für Weizen, bez. auf TS: 0,36 mg/kg) bei der Gerste um das 8-fache, beim Hafer um mehr als das 10-fache. Der Grenzwert der Futtermittelverordnung für Pb (bez. auf TS: 10 mg/kg) wird nicht überschritten.

Wasserproben:

Die Grenzwerte der TrinkwV (1990) werden nicht überschritten

Sedimentproben:

Die Bachsedimentprobe weist Zn- und Pb-Gehalte von 165 mg/kg bzw 119 mg/kg auf.

3.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf

In den diversen Untersuchungsgebieten ist der Bereich um die ehemalige Silberschmelze am höchsten belastet. Die hohen Pb-Gehalte im Boden bis zum 50-fachen des Prüfwerts der VwV Anorganische Schadstoffe führen infolge der stark sauren pH-Werte zu sehr hohen mobilen Gehalten bis zum 5-fachen Belastungswert (Bmob). Gersten- und Haferkörner von den angrenzenden Äckern weisen deutlich erhöhte Pb-Gehalte auf. Die Richtwerte des BGA beziehen sich allerdings auf Weizen.

Zur Minimierung der Schwermetallmobilität wird eine Anhebung der Boden-pH-Werte durch Kalkung auf Werte über 5,5 empfohlen. Spätere Kontrolluntersuchungen der Schwermetallgehalte in Acker- und Graspflanzen sind im Rahmen der Vorsorge zu empfehlen.

4 Literaturverzeichnis

- /1/ ALBIEZ, G. (1966): Bergbau-Flurnamen im Schwarzwald.- Der Anschnitt, **18/5**: 3-35; Essen (Glückauf).
- /2/ ALBIEZ, G. (1974): Der Bergbau im Münstertal.- *in*: GEMEINDE MÜNSTER TAL [Hrsg.]: Münstertal/Schwarzwald. Geschichte und Geschichten.- S.103-124; Freiburg i. Br. (Karl Schillinger).
- /3/ BADER, J. (1882/1833): Geschichte der Stadt Freiburg.- XI, 542 S. u. VIII, 387S.; Freiburg i. Br.
- /4/ BLIEDTNER, M. & MARTIN, M. (1986): Erz- und Minerallagerstätten des mittleren Schwarzwaldes.- 782 S., 10 Farbb., 50 Fotos, 204 Kart. und Strichzeichnungen, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Freiburg i. Br.
- /5/ BRILL, R. (1957): Geschichte der Grube Schauinsland einschließlich der benachbarten Grubenbaue im Breisgau.- Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. **47,1**: 5-54; Freiburg i. Br.
- /6/ BGA (1993): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln des Bundesgesundheitsamts.- Bundesgesundhbl. **5/93**: 210-211; Köln, Berlin, Bonn, München.
- /7/ CARATO, H. v. (1786): Hauptbericht über die in den K.K. Vorlanden wirklich im Bau stehenden, und einigen von den Alten aufgelassenen Bergwerken, und über die von allerhöchstem Ort gestellte Frage wie der Bergbau in diesseitigen Vorlanden emporgebracht werden könnte. Blatt 1 - 200, Freiburg - Generallandesarchiv Karlsruhe. Akten Breisgau-Generalia, Fasz. No. 141.
- /8/ DIN 19682, Bl.1 (1972): Felduntersuchung. Bestimmung der Bodenfarbe.- Berlin (Beuth).
- /9/ DIN V 19730 (1993): Ammoniumnitrateextraktionen zur Bestimmung mobiler Spurenelemente in Mineralböden.- 4 S.; Berlin (Beuth).
- /10/ EL BASSAM, N. (1982): Kontamination von Pflanzen, Böden und Grundwasser durch Schwermetalle aus Industrie- und Siedlungsabfällen.- GWF Wasser/Abwasser, **123(11)**: 539-549.
- /11/ FEGGER, O. (1951): Zur älteren Siedlungsgeschichte des hinteren Wiesentals.- Zeitschr. f. d. Gesch. d. Oberrheins N. F. **60**: 353-405; Karlsruhe (G. Braun).
- /12/ Futtermittelverordnung (1988): Bundesgesetzblatt, Teil I: 869-910; Bonn.
- /13/ GROSCHOPF, R., KEßLER, G., LEIBER, J., MAUS, H., OHMERT, W., SCHREINER, A., WIMMENAUER, W., ALBIEZ, G., HÜTTNER, R. & WENDT, O. (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Freiburg im Breisgau und Umgebung 1 : 50 000.- 354 S., 27 Abb., 7 Taf., 1 Beil., 2. Aufl.; Stuttgart.
- /14/ HEIN, H. & SCHWEDT, G. (1991): Richt- und Grenzwerte. Wasser-Boden-Abfall- Chemikalien-Luft.- 3. Aufl., Ein Arbeitsmittel von Umweltmagazin; Würzburg (Vogel Verlag).
- /15/ HOENES, D. (1937): Gesteine und Erzlagerstätten im Schwarzwälder Grundgebirge zwischen Schauinsland, Untermünstertal und Belchen.- N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beilbd., **72a**: 265-346; Stuttgart.
- /16/ HUGARD, R. (1889): Der Bergbau im Münstertal.- Schauinsland **16**: 29-38; Freiburg i. Br.
- /17/ HURRLE, H. (1983): Über den Einfluß des früheren Bergbaus auf die Schwermetallgehalte in den Bachsedimenten des Südschwarzwaldes.- Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg **25**: 43-54; Freiburg i. Br.
- /18/ KESSLER, G. & LEIBER, J. (1980): Erläuterungen zu Blatt 7813 Emmendingen. Geologische Karte 1:25000 von Baden-Württemberg, 151 S.
- /19/ KRAMAR, U. (1993): Methoden zur Interpretation von Daten der geochemischen Bachsedimentprospektion am Beispiel der Sierra de San Carlos/Tamaulipas Mexiko.- Karlsruher Geochemische Hefte, **1**: 149 S., 39 Abb; Karlsruhe.

- /20/ LEHMANN, M. (1993): Untersuchung einer Bergbaualllast im Raum Wildschap- bach/Hirschbach.- unveröff. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie Universität Karlsruhe, VIII+116 S., 27 Abb., 8 Tab., 5 Anl.; Karlsruhe.
- /21/ LEUTWEIN, F. & SONET, J. (1974): Geochronologische Untersuchungen im Südschwarzwald.- N. Jb. Mineral., Abh., **121**: 254-271; Stuttgart.
- /22/ MANZ, M. (1990): Geochemische und geologische Bearbeitung bei Neubulach (Schwarzwald). Teil B: Geochemische Bestandsaufnahme an landwirtschaftlich genutzten, schwermetallkontaminierten Böden in Neubulach.- unveröff. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie Universität Karlsruhe, 201 S., 30 Abb., 17 Tab., 31 Taf., 5 Kt.; Karlsruhe.
- /23/ MANZ, M. (1995): Umweltbelastungen durch Arsen und Schwermetalle in Böden, Halden, Pflanzen und Schlacken ehemaliger Bergbaugebiete des Mittleren- und Südlichen Schwarzwaldes.- Dissertation; Karlsruher Geochemische Hefte, **7**: 227 S, 50 Abb.; Karlsruhe.
- /24/ MAURER, H. (1877): Das Freiamt und die Herren von Keppenbach.- Z. d. Ges. f. Beförd. d. Geschichts-, Altertums-, und Volkskunde von Freiburg, **4**: 287-326; Freiburg i. Br.
- /25/ MAUS, H. (1983): Führer zum geologisch-bergbaugeschichtlichen Wanderweg der Gemeinde Münstertal/Schwarzwald.- 60 S., Emmendingen (Görner).
- /26/ MAUS, H. (1988): Besucherbergwerk Teufelsgrund.- 43 S.; Freiburg i. Br. (Rombach).
- /27/ METZ, R. (1959a): Alter und neuer Bergbau in den Lahrer und Emmendinger Vorbergen. Alemann. Jb., **7**: 255-292; Lahr.
- /28/ METZ, R. (1959b): Einige Gesteins- und Mineralfundpunkte im Schwarzwald in der Umgebung von Freiburg.- Aufschluß, **10**: 205-230; Göttingen.
- /28/ METZ, R. (1961): Der frühere Bergbau im Suggental und der Urgraben am Kandel im Schwarzwald.- Alemann. Jb., **1961**: 281-316; Lahr.
- /30/ METZ, R. (1980): Geologische Landeskunde des Hotzenwaldes.- 1116 S.; Lahr (Moritz Schauenburg).
- /31/ METZ, R., RICHTER, M. & SCHÜRENBERG, H. (1957): Die Blei-Zink-Erzgänge des Schwarzwaldes.- Beih. Geol. Jb., **29**: 277 S.; Hannover.
- /32/ MONE, F. J. (1848): Quellensammlung der badischen Landesgeschichte.- Bd. **1**; Karlsruhe.
- /33/ MUNSELL (1990): Soil Color Chart.- MACBETH Division of Kollmorgen Instruments Corporation; Maryland.
- /34/ RAMBACH, H. (1978): Bleibach.- 296S.; Waldkirch (Waldkircher Verlagsgesellschaft).
- /35/ RITTER, J. (1991): Untersuchungen der Schwermetallverteilung in Kulturböden am Schauinsland - Ergebnis von 750 Jahren Bergbau.- unveröff. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie Universität Karlsruhe, 93 S., 23 Abb., 9 Tab., 2 Bl.; Karlsruhe.
- /36/ RÜDE, T. (1991): Umweltbelastungen durch alte Bergbauaktivitäten im Raum Lahr/Reichenbach.- unveröff. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie Universität Karlsruhe, 89 S., 22 Abb., 2 Tab., 4 Bl.; Karlsruhe.
- /37/ SAUERBECK, D. (1989): Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze.- in: BEHRENS, D. & WIESNER, J. [Hrsg.]: Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden.- DECHEMA, Dt. Ges. für Chem. Apparatewesen, Chem. Technik u. Biotechnologie e.V., Frankfurt a. M., S. 281-316.
- /38/ SCHÄFER, A. (1966): Geschichte des Dorfes Todtnauberg. Von der mittelalterlichen Bergbausiedlung zum modernen Kurort.- 208S.; Karlsruhe (Badenia).
- /39/ SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., HARTGE, K.-H. & SCHWERTMANN, U. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde.- 12. Aufl., 491 S.; Stuttgart (Enke).

- /40/ SCHLAGETER, A. (1989): Zur Geschichte des Bergbaus im Umkreis des Belchen.- *in*: Der Belchen - Geschichtlich-naturkundliche Monographie des schönsten Schwarzwaldberges.- Natur- u. Landschaftsschutzgebiete Bad.-Württ., **13**: 127-309; Karlsruhe.
- /41/ SCHMITZ-HARTMANN, W. (1988): Wiesloch nach 2000 Jahren Bergbau. Geochemische Bestandsaufnahme an landwirtschaftlich genutzten, schwermetallkontaminierten Kulturböden und mögliche Sanierungsmaßnahmen.- unveröff. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie Universität Karlsruhe, 124 S.; Karlsruhe.
- /42/ STADT TODTNAU [Hrsg.] (1989): Todtnau. Stadt und Ferienland im südlichen Hochschwarzwald.- versch. Beiträge von A. Schlageter und B. Dörflinger.- 368S.; Freiburg i. Br. (Rombach).
- /43/ STEUER, H. (1988): Zur Frühgeschichte des Erzbergbaus und der Verhüttung im südlichen Schwarzwald. Literaturübersicht und Begründung eines Forschungs-Programms.- Archäologie und Geschichte Bd. **1**: 387-415.
- /44/ THOMA, W. (1974): Zu den Silberbergen Suggentals.- Waldkircher Heimatbrief, Nr. **68** u. **69**; Waldkirch.
- /45/ TrinkwV (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) vom 5. Dez. 1990.- Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. **66** 2612-2629; Bonn.
- /46/ VwV Anorganische Schadstoffe (1993): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV Anorganische Schadstoffe), 24. August 1993 - Az.: 44-8810.30-1/46, GABl. v. 29. September 1993, S. 1029-1036, Stuttgart.
- /47/ WALTHER, E. (1903): Ortsgeschichte von Freiamt - Die Bergwerke in Freiamt bei Emmendingen.- 149 S.; Emmendingen (Druck- u. Verlagsges. vorm. Dölter).
- /48/ WETZLER, H. (1989): Bergbau auf Staufener Gemarkung.- *in*: ERDMANN, E. [Hrsg.]: Staufen im Breisgau: Geschichte und Gegenwart.- S.39ff.; Freiburg i. Br. (Kehrer).
- /49/ ZEIEN, H. & BRÜMMER, G. W. (1989): Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden.- Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges., **59**, **1**: 505-510.
- /50/ ZEIEN, H. & BRÜMMER, G. W. (1991): Ermittlung der Mobilität und Bindungsformen von Schwermetallen in Böden mittels sequentieller Extraktionen.- Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges., **66**, **1**: 439-442.

Indexverzeichnis

A

Ammoniumnitratextraktion	
Bergbaustandorte	6
Arsengehalte	
Bergbaustandorte	3

B

Bachsedimentproben	
Bergbaustandorte	9
Bergbaustandorte	
Ammoniumnitratextraktion	6
Bachsedimentproben	9
Bodenproben.....	5
Haldenmaterial - Beprobung.....	7
Pflanzenproben.....	8
Wasserproben	7
Bergbaustandorte Südschwarzwald	
Schwermetallgehalte	1
Böden	
Schwermetallgehalte durch Bergbau	3
Bodenproben	
Bergbaustandorte	5

H

Halden	
Schwermetallgehalte durch Bergbau	3
Haldenmaterial	
Beprobung.....	7

P

Pflanzen	
Schwermetallgehalte durch Bergbau	3
Pflanzenproben	
Bergbaustandorte	8

S

Schwarzwald, südlicher	
Bergbaustandorte	1
geologischer Überblick.....	3
Schwermetallgehalte	
Bergbaustandorte Südschwarzwald.....	1

W

Wasser	
Schwermetallgehalte durch Bergbau	3
Wasserproben	
Bergbaustandorte	7

Abbildungsverzeichnis

KARTE 1.2.1	ÜBERSICHTSKARTE DER BEARBEITETEN GEBIETE	4
KARTE 3.1.1	ÜBERSICHT DER PROBENNAHMEAREALE IM MÜNSTERTAL (MAßSTAB 1 : 100 000)	11
KARTE 3.1.2	BODEN- UND PFLANZENPROBEN BEI ETZENBACH UND KROPBACH	12
KARTE 3.1.3	AS-GEHALTE DER BÖDEN BEI ETZENBACH/POCHE UND KROPBACH.....	14
KARTE 3.1.4	PB-GEHALTE DER BÖDEN BEI ETZENBACH/POCHE UND KROPBACH	15
KARTE 3.1.5	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN BEI ETZENBACH/POCHE (ETZ-P10 STELLT DEN MITTELWERT DREIER UNTERSUCHTER PROBEN AUS EINEM HAUSGARTEN DAR):.....	16
KARTE 3.1.6	BODENPROBEN IM WILDSBACHER TAL EINSCHLIEßLICH WILDSBACH/HOF	17
KARTE 3.1.7	PFLANZENPROBEN BEI WILDSBACH/HOF UND AS-, CD- UND PB-GEHALTE IN PETERSILIE.....	18
KARTE 3.1.8	PB-GEHALTE IN BÖDEN DES HINTEREN WILDSBACHER TALS UND BEI WILDSBACH/HOF	20
KARTE 3.1.9	ZN-GEHALTE IN BÖDEN DES HINTEREN WILDSBACHER TALS UND BEI WILDSBACH/HOF	21
KARTE 3.1.10	AS-GEHALTE IN BÖDEN DES HINTEREN WILDSBACHER TALS UND BEI WILDSBACH/HOF	22
KARTE 3.1.11	CD-GEHALTE IN BÖDEN DES HINTEREN WILDSBACHER TALS UND BEI WILDSBACH/HOF	23
ABB. 3.1.1	KORRELATIONEN ZWISCHEN BODENGESAMT - UND BODENEXTRAKTGEHALTEN MIT DEN GEHALTEN IN PETERSILIE	25
ABB. 3.1.2	CU-, AS-, CD- UND BA-GEHALTE IM ENDIVIENSALAT (DIE ANGABEN SIND AUF DIE TROCKENSUBSTANZ BEZOGEN; BLATT-I = INNERE BLÄTTER UND BLATT-A = ÄUßERE BLÄTTER)	26
KARTE 3.1.12	BODENPROBEN IM SÜDLICHEN RIGGENBACHER TAL	29
KARTE 3.1.13	BODEN- UND HALDENPROBEN IM NÖRDLICHEN UND MITTLEREN RIGGENBACHER TAL	30
KARTE 3.1.14	CD-GEHALTE IN BÖDEN DES MITTLEREN RIGGENBACHER TALS (TIEFE 0-10 CM)	33
KARTE 3.1.15	PB-GEHALTE IN BÖDEN DES MITTLEREN RIGGENBACHER TALS (TIEFE 0-10 CM).....	34
KARTE 3.1.16	AS-GEHALTE IN BÖDEN DES MITTLEREN RIGGENBACHER TALS (TIEFE 0-10 CM).....	35
KARTE 3.1.17	AS- UND CD-GEHALTE IN BÖDEN DES SÜDLICHEN RIGGENBACHER TALS (TIEFE 0-10 CM).....	36
KARTE 3.1.18	BODENPROBEN IM BEREICH "MÜNSTER"	38
KARTE 3.1.18	BODEN- UND PFLANZENPROBEN IM MULDENER TAL (BEREICH "KALTWASSER").....	40
KARTE 3.1.19	BODEN- UND HALDENPROBEN IM MULDENER TAL (BEREICHE "DIETSCHEL" UND "SCHINDLER")	41
KARTE 3.1.20	BODEN- UND HALDENPROBEN IM MULDENER TAL (BEREICHE "POCHE" UND "TEUFELSGRUND")	42
KARTE 3.1.21	HALDENPROBEN AM TEUFELSGRUND UND ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN	45
KARTE 3.1.22	AS-GEHALTE IN BÖDEN DES MULDENER TALS (BEREICH "DIETSCHEL", TIEFE 0-10 CM).....	47
KARTE 3.1.23	PB-GEHALTE IN BÖDEN DES MULDENER TALS (BEREICH "DIETSCHEL", TIEFE 0-10 CM)	48
KARTE 3.1.24	ZN-GEHALTE IN BÖDEN DES MULDENER TALS (BEREICH "DIETSCHEL", TIEFE 0-10 CM).....	49
KARTE 3.1.25	PB-GESAMTGEHALTE IN FLIEßGEWÄSSERSSEDIMENTEN DES MÜNSTERTALS	53
KARTE 3.1.26	AS-, ZN- UND CD-GEHALTE IN BACH-, STOLLEN- UND HALDENWÄSSERN DES MULDENER TALS	56
KARTE 3.2.1	BODENPROBEN AUS DEM BEREICH "POCHE" ÖSTLICH VON TODTNAU.....	59
KARTE 3.2.2	BODENPROBEN BEI BRANDENBERG.....	60
KARTE 3.2.3	BODENPROBEN BEI SCHLECHTNAU	61
KARTE 3.2.4	BODEN- UND WASSERPROBEN AUS DEM BEREICH "MÜHLEBODEN" UND GEGENÜBER "LANGMATT" SÜDÖSTLICH VON AFTERSTEG.....	62
KARTE 3.3.1	BEPROBUNGSPUNKTE UND ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IM SUGGENTAL	66
KARTE 3.3.2	AS- GEHALTE IN BÖDEN DES SUGGENTALS (TIEFE 0-10 CM).....	68
KARTE 3.3.3	PB- GEHALTE IN BÖDEN DES SUGGENTALS (TIEFE 0-10 CM).....	69
KARTE 3.4.1	BEPROBUNGSPUNKTE UND ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN VON BÖDEN BEI BLEIBACH (BLE-P1I = BODEN AUS ZWIEBELBEET DES HAUSGARTENS).....	71
KARTE 3.4.2	CD-GEHALTE IN BÖDEN NORDÖSTLICH VON BLEIBACH BEI DER EHEMALIGEN GRUBE GOTTESSEGEN (TIEFE 0-10CM)	74
KARTE 3.4.3	ZN-GEHALTE IN BÖDEN NORDÖSTLICH VON BLEIBACH BEI DER EHEMALIGEN GRUBE GOTTESSEGEN (TIEFE 0-10 CM).....	75
KARTE 3.4.4	PB-GEHALTE IN BÖDEN NORDÖSTLICH VON BLEIBACH BEI DER EHEMALIGEN GRUBE GOTTESSEGEN (TIEFE 0-10 CM).....	75
KARTE 3.4.5	PB-GEHALTE IN BÖDEN NORDÖSTLICH VON BLEIBACH BEI DER EHEMALIGEN GRUBE GOTTESSEGEN	76
KARTE 3.5.1	BEPROBUNGSPUNKTE BEI FREIAMT -NIEDERTAL	79
KARTE 3.5.2	BEPROBUNGSPUNKTE BEI FREIAMT "SCHMELZSEXAU" UND BEI DER "HOLZMÜHLE" UNTERHALB DER HOCHBURG	80
KARTE 3.5.3	PB-GEHALTE IN BÖDEN BEI FREIAMT "SCHMELZSEXAU" UNTERHALB DER HOCHBURG	82

Tabellenverzeichnis

TAB. 2.1	PRÜFWERTE HINSICHTLICH DER SCHUTZGÜTER BODENORGANISMEN, PFLANZEN UND WASSER ABGESTUFT NACH PH UND TONGEHALTSGRUPPE FÜR AS- UND SCHWERMETALLE IN	6
TAB. 2.2	PRÜFWERTE PMOB* HINSICHTLICH DER SCHUTZGÜTER BODENORGANISMEN, PFLANZEN UND WASSER...	7
TAB. 2.3	BESTEHENDE GRENZ- UND RICHTWERTE FÜR TRINKWASSER (ANGABEN IN µG/L).....	8
TAB. 2.4	RICHTWERTE DES BUNDESGESUNDHEITSAMTS FÜR SCHADSTOFFE IN LEBENSMITTELN (BGA 1993) SOWIE AUF DIE TROCKENSUBSTANZ UMGERECHNETE WERTE	9
TAB. 3.1.1	ÜBERSICHT DER WICHTIGSTEN GRUBENBEZIRKE IM MÜNSTERTAL.....	10
TAB. 3.1.2	STATISTISCHE PARAMETER DER ZN-, AS- UND PB-GEHALTE (ANGABEN IN MG/KG) UND DES PH-WERTS IN BÖDEN BEI ETZENBACH.....	13
TAB. 3.1.3	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-40 CM TIEFE IM BEREICH ETZENBACH/POCHE (IN µG/KG, MOBILER ANTEIL IN %).....	16
TAB. 3.1.4	STATISTISCHE PARAMETER DER ZN-, AS-, CD- UND PB-GEHALTE (ANGABEN IN MG/KG) UND DER PH- MEßWERTE DER BÖDEN BEI WILDSBACH/HOF	19
TAB. 3.1.5	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-40 CM TIEFE DES WILDSBACHER TALS	23
TAB. 3.1.6	GESAMTGEHALTE DER BODENPROBEN VON HAUSGÄRTEN (GEMÜSEANBAU) IN WILDSBACH/HOF.....	27
TAB. 3.1.7	STATISTISCHE PARAMETER DER ZN-, AS-, CD- UND PB-GEHALTE (ANGABEN IN MG/KG)UND DER PH- MEßWERTE DER BÖDEN IM RIGGENBACHER TAL	32
TAB. 3.1.8	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-40 CM TIEFE IM RIGGENBACHER TAL.....	37
TAB. 3.1.9	GESAMTGEHALTE DER BODENPROBEN BEI MÜNSTER (ANGABEN IN MG/KG).....	39
TAB. 3.1.9	ARSEN- UND SCHWERMETALLGEHALTE DER HALDEN IM TEUFELSGRUND UND AM SCHINDLER.....	43
TAB.3.1.10	GESAMTMENGEN AN ARSEN UND SCHWERMETALLEN IN DEN VIER HALDEN IM TEUFELSGRUND.....	44
TAB.3.1.11	STATISTISCHE PARAMETER DER ZN-, AS-, CD- UND PB-GEHALTE (ANGABEN IN MG/KG)UND DER PH- MEßWERTE DER BÖDEN IM MULDENER TAL.....	46
TAB. 3.1.12	PH-MEßWERTE SOWIE ARSEN- UND SCHWERMETALLGEHALTE DER BÖDEN BEI MULDEN/POCHE, MULDEN/KALTWASSER UND MÜNSTER (ANGABEN IN MG/KG)	50
TAB. 3.1.13	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IM MULDENER TAL.....	50
TAB. 3.1.14	ARSEN- UND SCHWERMETALLGEHALTE IN FLIEBGEWÄSSERSEDIMENTEN DES MÜNSTERTALS	52
TAB. 3.1.15	ERGEBNISSE DER ANALYSEN AUSGEWÄHLTER WASSERPROBEN IM MÜNSTERTAL.....	55
TAB. 3.2.1	PH-MEßWERTE SOWIE ARSEN- UND SCHWERMETALLGEHALTE IN BÖDEN DES TODTNAUER BERGBAUREVIERS (ANGABEN IN MG/KG; N = ANZAHL DER PROBEN).....	63
TAB. 3.2.2	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-40 CM TIEFE BEI TODTNAU	64
TAB. 3.3.1	STATISTISCHE PARAMETER DER AS-, PB- UND CU-GEHALTE (ANGABEN IN MG/KG) UND DER PH- MEßWERTE DER BÖDEN IM SUGGENTAL.....	67
TAB. 3.3.2	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-40 CM TIEFE IM SUGGENTAL.....	69
TAB. 3.4.1	STATISTISCHE PARAMETER DER ZN-, CD- UND PB-GEHALTE (ANGABEN IN MG/KG) UND DER PH- MEßWERTE IN BÖDEN VON BLEIBACH	72
TAB. 3.4.2	GESAMTGEHALTE DER BODENPROBEN VON BLEIBACH (ANGABEN IN MG/KG.....	73
TAB. 3.4.3	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-40 CM TIEFE VON BLEIBACH	76
TAB. 3.5.1	PH-MEßWERTE SOWIE ARSEN- UND SCHWERMETALLGEHALTE IN BÖDEN DES FREIAMTER GEBIETS.....	81
TAB. 3.5.2	ERGEBNISSE DER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN DER BÖDEN IN 0-10 CM TIEFE VON FREIAMT -SCHMELZSEXAU	83