

**Schwermetallgehalte in Böden und
Pflanzen alter Bergbaustandorte im
*MITTLEREN SCHWARZWALD***

**Umweltministerium
Baden-Württemberg**

**Luft
Boden
Abfall**



Heft 33



Bodenschutzfachinformation im WWW

IMPRESSUM

Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg
Postfach 103439
70029 Stuttgart

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

UM – 19/95 September 1995

**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 Mittleren Schwarzwald

Bearbeitung:
Institut für Petrographie und Geochemie
Universität Karlsruhe

GioMinConsult
74924 Neckarbischofsheim

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| VORWORT | 2 |
| 1 EINLEITUNG | 3 |
| 2 DAS BERGBAUGEBIET DES MITTLEREN SCHWARZWALDS | 4 |
| 2.1 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK..... | 4 |
| 2.2 ZUR GESCHICHTE DES BERGBAUS IM MITTLEREN SCHWARZWALD | 4 |
| 3 UNTERSUCHUNGEN IN DEN EINZELNEN BERGBAUGEBIETEN UND ERGEBNISSE | 5 |
| 3.1 DER BERGBAU IM GEBIET VON ALPIRSBACH | 6 |
| 3.1.1 <i>Untersuchungsumfang</i> | 6 |
| 3.1.2 <i>Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf</i> | 8 |
| 3.2 DAS GEBIET DER REINERZAU | 10 |
| 3.2.1 <i>Untersuchungsumfang</i> | 11 |
| 3.2.2 <i>Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf</i> | 13 |
| 3.3 DAS GEBIET VON WITTICHEN | 15 |
| 3.3.1 <i>Untersuchungsumfang</i> | 15 |
| 3.3.2 <i>Ergebnisse</i> | 20 |
| 3.3.3 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf</i> | 34 |
| 3.3.4 <i>Das Gelände der ehemaligen Farbmühle von Wittichen</i> | 35 |
| 3.4 DER BERGBAU IM HEUBACHTAL..... | 45 |
| 3.4.1 <i>Untersuchungsumfang</i> | 45 |
| 3.4.2 <i>Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf</i> | 46 |
| 3.5 DAS GEBIET ZWISCHEN SCHILTACH UND SCHENKENZELL..... | 47 |
| 3.5.1 <i>Untersuchungsumfang</i> | 47 |
| 3.5.2 <i>Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf</i> | 47 |
| 3.6 DIE GRUBE FRIEDRICH - CHRISTIAN UND DAS GEBIET ZWISCHEN SCHAPBACH UND BAD - RIPPOLDSAU..... | 48 |
| 3.6.1 <i>Untersuchungsumfang</i> | 48 |
| 3.6.2 <i>Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf</i> | 49 |
| 3.6.3 <i>Weitere Gruben zwischen Schapbach und Bad - Rippoldsau (ohne Karten)</i> | 58 |
| 3.7 DAS BERGBAUGEBIET ZWISCHEN WOLFACH UND SCHAPBACH..... | 59 |
| 3.7.1 <i>Die Grube Wenzel im Frohbachtal</i> | 59 |
| 3.7.2 <i>Die Grube Fortuna im Gelbachtal</i> | 64 |
| 3.8 DIE BERGBAUGEBIETE ZWISCHEN WOLFACH UND STEINACH..... | 70 |
| 3.8.1 <i>Die Grube Erzengel Gabriel im Schierengrund</i> | 70 |
| 3.8.2 <i>Weitere Gruben westlich von Wolfach (ohne Karten)</i> | 72 |
| 4 LITERATURVERZEICHNIS | 74 |
| INDEXVERZEICHNIS | 77 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 77 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 78 |

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

Die vorliegende Arbeit behandelt die wichtigsten Gruben der ehemaligen Bergbaugebiete des Mittleren Schwarzwalds. Die Untersuchungen umfassen:

- **Feststellung** der Mineralisation und möglicher Begleitminerale, die durch Schwermetall- oder Arsengehalte eine mögliche Gefährdung von Schutzgütern darstellen.
- **Ermittlung** des Umfangs der stattgefundenen Bergbauarbeiten; Aufnahme der Halden und der ehemaligen Aufbereitungsanlagen. (A und B aus BLIEDNER & MARTIN 1986, wenn nicht anders vermerkt.)
- **Beprobung** von Bergbauhalden, Boden, Wasser und Pflanzen, um einen Überblick über vorhandene Arsen- und Schwermetallgehalte zu erhalten.
- **Bodenklassifizierung** nach SCHEFFER et al. 1992 bzw. AG BODENKUNDE 1982, Tongehaltsgruppen nach der 3. Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993), Boden pH-Bestimmung nach DIN 19684 Teil 1.
- **Erkundung** der heutigen Flächennutzung der alten Bergbauareale (z.B. landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich, Hausgarten, Spielplatz, etc.).
- **Bestimmung** von Schwermetall- und Arsengehalten. Dazu gehört auch Untersuchungen der Mobilität und der Löslichkeit dieser Schadstoffe in Böden (DIN 38414 S. 4, DIN V 19730, DEV S4).
- **Begutachtung** des gefundenen Sachverhalts nach geltenden Gesetzen, Richtlinien und Grenzwerten, Vergleich mit Hintergrundwerten, Prüfwerten (Pges bzw. Pmob) und Belastungswerten (Bmob) (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993).
- **Empfehlungen** zur Minimierung der Belastung bzw. Vorschläge bezüglich Flächennutzung kontaminierter Böden.

2 Das Bergbaugebiet des Mittleren Schwarzwalds

2.1 Geologischer Überblick

Der Schwarzwald gehört bis auf die nördlichsten Teile zum moldanubischen Bereich der variszischen Gebirgsbildung. In dieser Zeit entstanden Magmatite (Biotit- und Zweiglimmergranite), die einen Teil des Grundgebirges aufbauen. Der andere Teil setzt sich aus metamorphen Gesteinen zusammen. (GEYER & GWINNER 1986). Das Deckgebirge besteht aus triassischen Sedimentfolgen, die im östlichen und nördlichen Teil des Schwarzwaldes das Grundgebirge überlagern. Nach Süden hin treten diese Gesteine zunehmend auf die Hochlagen zurück.

Die Erzgänge im Mittleren Schwarzwald setzen in Gneisen, Anatexiten und Graniten auf und gehen in einigen Gebieten bis in den Buntsandstein des Deckgebirges über. Das Alter der zahlreichen Vererzungen ist nicht sicher bestimmt. Einerseits wird davon ausgegangen, daß die Erzgänge variszisches Alter besitzen (BÜLTEMANN 1965, WENDT et. al. 1974, 1979), andererseits werden auch jüngere Alter diskutiert, die die Entstehung der Erzgänge in die Trias und den Jura stellen (v. GEHLEN 1982, HOFMANN & SCHÜRENBERG 1979). Als gesichert gilt das tertiäre Alter der Mineralisationen im Bereich der Rheingrabenrandverwerfung (WALENTA & WIMMENAUER 1961).

2.2 Zur Geschichte des Bergbaus im Mittleren Schwarzwald

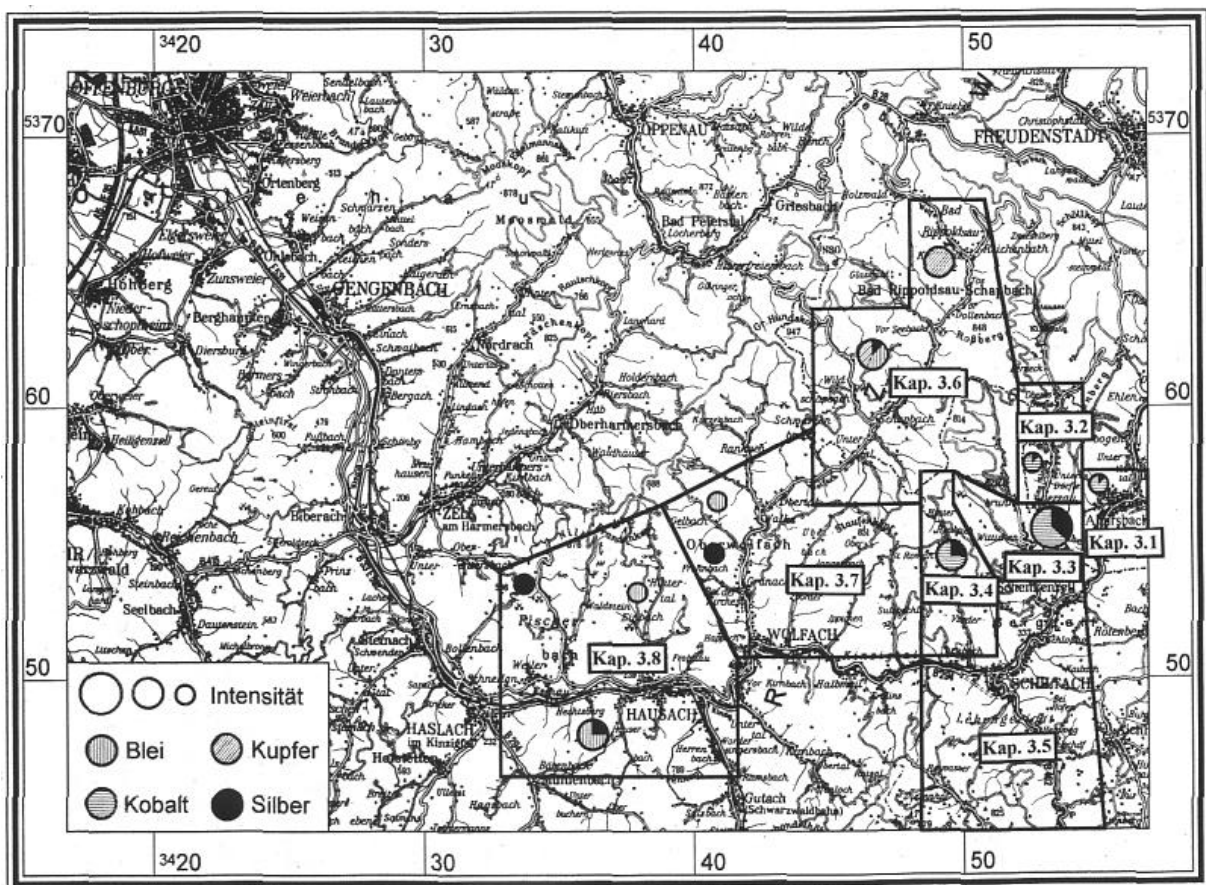
Der Bergbau begann vermutlich im Gebiet von Prinzbach schon zur Römerzeit. Vom 13. bis 16. Jahrhundert ging im Mittleren Schwarzwald rege Bergbautätigkeit um, die jedoch im 17. Jahrhundert durch den dreißigjährigen Kriegvollständigen zum Erliegen kam. Anfang des 18. Jahrhunderts erfuhr der Bergbau einen neuen Aufschwung, allerdings wurden bereits Mitte des 19. Jahrhunderts die meisten Gruben wieder stillgelegt. Nur wenige Betriebe, die ihre Produktion auf Schwerspat und/oder Flußspat umgestellt hatten, konnten bis in dieses Jahrhundert überleben. Der letzte heute noch tätige Bergbaubetrieb im Mittleren Schwarzwald ist die Grube Clara bei Oberwolfach im Rankachtal, in der Schwerspat und Flußspat abgebaut wird.

2000 Jahre Bergbau, wenn auch mit vielen und teilweise langen Unterbrechungen, hinterließen zahlreiche Spuren, wie offene und verfallene Stollen, Schächte, Verhaue, Halden, Reste alter Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen u.a.m.. Neben diesen "sichtbaren" Spuren hat der Bergbau auch "unsichtbare" Spuren hinterlassen. Dabei handelt es sich um Schwermetall- und/oder Arsenkonzentrationen in den alten Bergbau- und Aufbereitungshalden, in Böden in der Nähe von Stollenausgängen und in der Umgebung von Halden oder auf den Geländen ehemaliger Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen. Aufgrund dieser Belastung einzelner Bergbaustandorte mit Schwermetallen und/oder Arsen können die ehemaligen Bergbaubetriebe mit ihren Aufbereitungs- und Verhüttungsanlagen als die ältesten heute noch vorzufindenden industriellen Altlasten bezeichnet werden.

3 Untersuchungen in den einzelnen Bergbaugebieten und Ergebnisse

In Karte 3.1 sind die untersuchten Gebiete gekennzeichnet. Die darin angegebene Intensität des Bergbaus bezieht sich auf dessen Umfang und die wirtschaftliche Bedeutung einzelner Gruben im Vergleich zu den benachbarten Grubenfeldern.

Karte 3.1 Übersichtskarte des mittleren Schwarzwaldes (1200.000). Darstellung der bearbeiteten Gebiete, der Intensität des Bergbaus und der wichtigsten abgebauten Schwermetalle



Die einzelnen Kapitel über die Bergbaugebiete bzw. Gruben sind wie folgt aufgebaut:

- Beschreibung der Mineralisation, der Bergbaugeschichte und des Bergbaumumfangs.
- Erläuterung des Untersuchungsumfangs und der daraus resultierenden Ergebnisse.
- Darstellung der räumlichen Verteilung der Probennahmepunkte (z.T. mit Elementkonzentrationen) auf Karten im Maßstab 1:5000.

In den Konzentrationskarten der Bodenproben werden die Elemente dargestellt, von denen eine mögliche Gefährdung von Schutzgütern ausgeht. Dabei werden die Bodenkonzentrationen in vier Klassen nach der VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993 des Umweltministeriums Baden-Württemberg eingeteilt:

- **1. Klasse:** Werte unter dem Prüfwert;
- **2. Klasse:** Werte, die den Prüfwert bis zum Doppelten überschreiten;
- **3. Klasse:** Werte, die den Prüfwert bis zum Zehnfachen überschreiten;
- **4. Klasse:** Werte, die den Prüfwert um mehr als um das Zehnfache überschreiten.

Die einzelnen Klassen werden durch unterschiedlich große Kreise dargestellt. Zum Vergleich werden die wichtigsten statistischen Kenngrößen der einzelnen Gebiete den durchschnittlichen Bodengehalten und den geltenden Richtwerten gegenübergestellt. Im einzelnen bedeuten:

- n: Probenanzahl,
 \bar{x} : arithmetischer Mittelwert
Q2: Medianwert,
Min: Minimaler Wert,
Max: Maximaler Wert
VK: Variationskoeffizient,
PW: Prüfwert (Pges) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser der VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993
NG: In Böden durchschnittlich auftretende Konzentrationen nach SCHEFFER et al. 1992

3.1 Der Bergbau im Gebiet von Alpirsbach

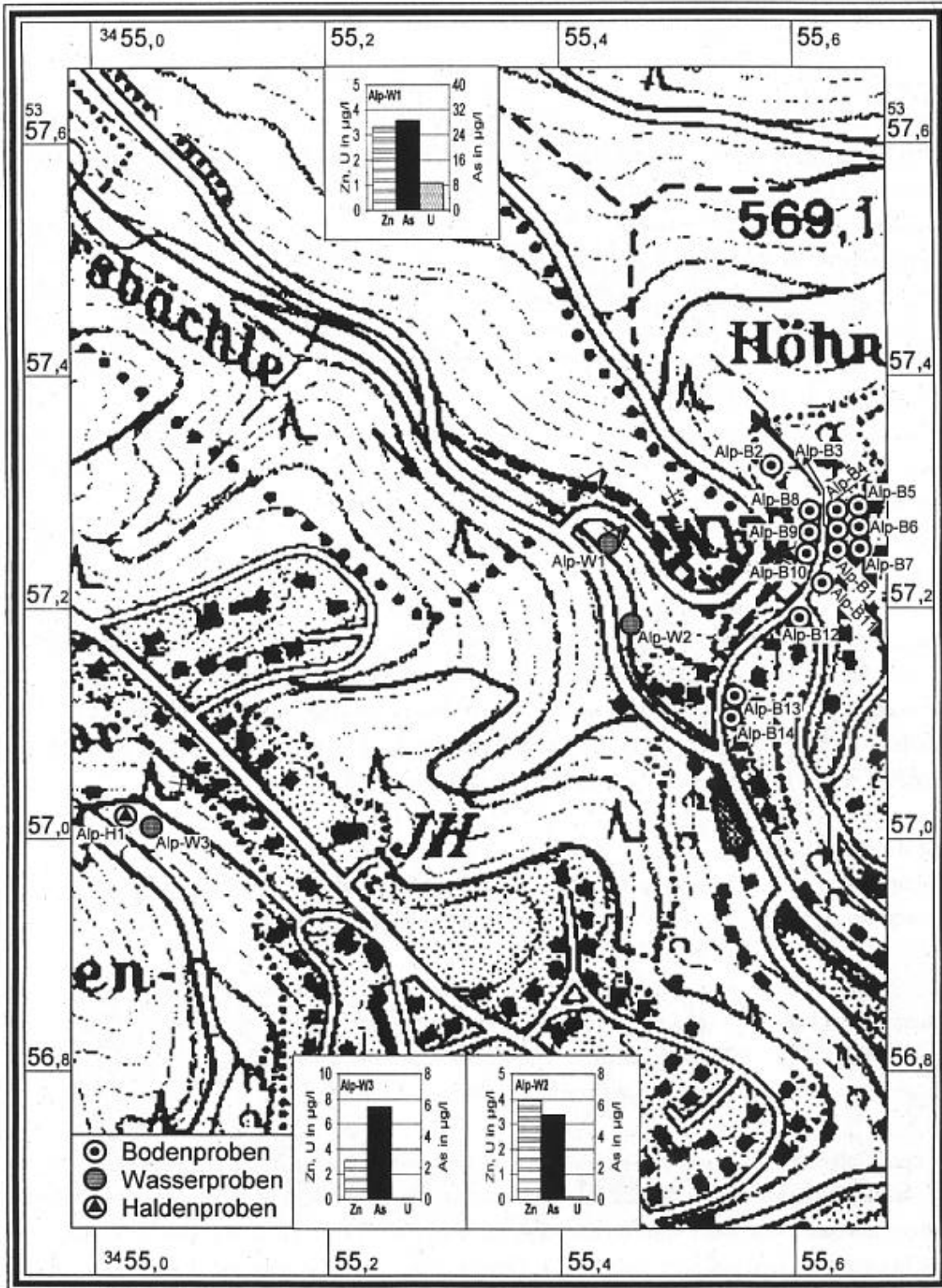
Alpirsbach liegt im Kinzigtal ca. acht Kilometer nordöstlich von Schenkenzell (Karte 3.1). Die Schwespatgänge mit Co-Ni-Bi-Erzen (Mächtigkeit: 0 bis 1,1 Meter) liegen nordwestlich von Alpirsbach am Westhang des Glaswaldes im Granit (SCHÄDEL 1955). Auf diesen Gängen bauten die Gruben Wolfgang und Eberhardt. Ein weiterer Gang liegt nordwestlich von Alpirsbach östlich des Schneckenbühl. Dieser wurde von der Grube Güldene Rose abgebaut. Es handelt sich jedoch lediglich um eine Lettenkluft, in der bei Untersuchungen in den 50er Jahren keine Mineralisation mehr festgestellt werden konnte. Erste schriftliche Erwähnung findet der Bergbau in Alpirsbach um 1550 (SCHNÜRLÉN 1921). Anfang des 18. Jahrhunderts kam es jedoch durch die Verwendung von Kobalt bei der Blaufarbenherstellung zu einer Wiederbelebung des Bergbaus in Alpirsbach und den Bau einer Farbmühle im Jahre 1710 (FRANK 1952). Da die Erträge der Gruben sehr unterschiedlich waren, wurden auch Fremderze aus Arragonien verhüttet (BRÄUHÄUSER 1910). Im 19. Jahrhundert kamen vor allem Erze der Grube Anton im Heubachtal zur Verarbeitung. Mit dem Ende des Bergbaus 1845 wurde auch die Farbmühle stillgelegt.

3.1.1 Untersuchungsumfang

Während des über fünfhundert Jahre andauernden Bergbaus auf diesen Gängen entstand eine Vielzahl von Stollen und Schächten, die den ganzen südlichen Glaswald überziehen (Karte 3.1.1). Vier ehemalige Stollenausgänge gehen in Richtung eines Neubaugebiets, das südwestlich am Fuß des Glaswaldes liegt. Am Ausgang der Grube Güldene Rose beim

Goldbrunnen ist eine größere Bergbauhalde vorhanden, auf der auch Hausmüll und Bauschutt abgelagert wurden.

Karte 3.1.1 Übersichtskarte des Bereichs nordöstlich von Alpirsbach mit den Probennahmepunkten sowie Schwermetall- und Arsenkonzentrationen in Bächen und Stollenwässern



Beprobung/Analysen:Haldenproben (1):

- Mischprobe von der Halde der Güldenen Rose (Alp-H1),

Wasserproben (3):

- Ausfluß des Unteren Wolfgang-Stollen (Alp-W1), Alpirsbächle (Alp-W2), Bach unterhalb der Halde der Grube Güldene Rose (Alp-W3),

Bodenproben (14):

- Neubaugebiet vor den alten Stollenausgängen Mittlerer Eberhardt und Tiefer Eberhardt (Alp-B1 - Alp-B14), von fünf Bodenproben wurden Ammoniumnitratextraktionen durchgeführt.

Auf dem Gelände der ehemaligen Farbmühle von Alpirsbach wurden keine Bodenproben genommen. Nach Stilllegung der Farbmühle 1845 wurde das Gelände im Jahre 1856 von einer Holzmanufaktur übernommen. 1861 wurde eine Sägemühle errichtet (METZ 1955). Bis in die fünfziger Jahre befand sich dann auf dem Gelände ein Sägewerk. Mit dem Neubau der B 274 am Nordausgang von Alpirsbach kam es zur Umgestaltung des größten Teils des Geländes und zur Verlegung des Bachbetts der Kinzig. Im Zuge dieser Maßnahmen ist vermutlich ein großer Teil des Bodens vom Gelände der ehemaligen Farbmühle abtransportiert oder umgelagert und zum größten Teil versiegelt worden.

3.1.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf**Haldenproben:**

Lediglich bei Arsen treten mit 44 mg/kg leicht erhöhte Gehalte auf. Um die Mobilität vorhandener Schwermetalle und des Arsens zu erfassen, wurde Haldenmaterial der Korngröße < 2,0 mm eluiert. Von den untersuchten Schwermetallen lag nur Zink mit 2,94 µg/kg im meßbaren Bereich. Neben erhöhten Konzentrationen an Mangan (653 µg/kg) wurden auch 43,7 µg/kg Aluminium vorgefunden.

Wasserproben:

Die untersuchten Wasserproben (Karte 3.1.1) zeigen nur in Stollenwasser (Alp-W1) erhöhte Schwermetallkonzentrationen. Der Arsenwert übersteigt mit 28,5 µg/l den ab dem 01.01.1996 geltenden Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 10 µg/l. Durch die geringe Schüttung des Stollenwassers wird der Arsengehalt im Alpirsbächle, dem Vorfluter, auf 5,40 µg/l (Alp-W2) verdünnt und liegt so unter dem Grenzwert. Die Konzentration von 1,11 µg/l Uran im Stollenwasser belegt eine geringe Uranmineralisation. In keiner der untersuchten Wasserproben werden Elementkonzentrationen der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 1990) überschritten.

Bodenproben:

Bei den Böden im Nordwesten von Alpirsbach handelt es sich um Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-Cv. Mit Halden- und anderem Bodenmaterial vermischte Böden wurden als Kultusole angesprochen.

| | |
|---|--|
| pH-Wert: | 4,4 - 7,3. Die etwas höheren pH-Werte im Vergleich zu den Gebieten von Wittichen und der Reinerzau sind durch Vermischung des autochthonen Bodens mit anderem Bodenmaterial im Zuge des Straßenbaus zu erklären. |
| Tongehalt: | < 8,0 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | < 1,0 Gew. %, mit der Tiefe abnehmend, |
| C _{org.} | 2,7 % im Oberboden (0-10 cm Tiefe), |
| Fe ₂ O ₃ -Gehalt: | < 2,0 Gew. %, |
| MnO-Gehalt: | < 0,1 Gew. %. |

Im Gebiet um den Glaswald treten Co, Ni und As in erhöhten Konzentrationen auf und sind direkt auf den ursprünglichen Bergbau zurückzuführen. Anhand von Arsen, von dem in diesem Gebiet die größte Kontaminationsgefahr ausgeht, wird die räumliche Verteilung im Boden erläutert (Tab. 3.1.1). Da aber vorwiegend die Minerale Skutterudit (Co,Ni)As₃ und Safflorit CoAs₂ abgebaut wurden, gelten die folgenden Aussagen, zumindest für die räumliche Verbreitung, auch für die Kobalt und Nickel.

Die in Tabelle 3.3.1 dargestellte Tiefenverteilung des Arsens im Boden zeigt eine Zunahme des Mittelwerts und des Medianwerts mit der Tiefe. Verursacht wird dies durch Haldenmaterial, das bei Straßenbaumaßnahmen verteilt und anschließend mit unbelastetem Bodenmaterial vermischt und abgedeckt wurde. Die erhöhten Arsenkonzentrationen treten entlang der Straße unterhalb des Glaswaldes auf. Besonders hoch sind sie im Bereich der ehemaligen, heute verschütteten, Stollenausgänge. Der höchste gemessene Wert liegt bei 341 mg/kg. Über 80 % aller Bodenproben und über 90 % des Oberbodens (0-10 cm Tiefe) weisen Arsenkonzentrationen oberhalb des Prüfwertes (Pges) auf.

Tabelle 3.1.1 Statistische Parameter der Arsengehalte in den Bodenproben aus Alpirsbach (Angaben in mg/kg)

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| n: | 14 | 14 | 14 |
| –: | 45 | 65 | 66 |
| Q ₂ : | 33 | 45 | 32 |
| Min: | 17 | 18 | 12 |
| Max: | 86 | 183 | 341 |
| VK: | 53 | 80 | 135 |
| PW | 20 | | |
| NG: | 2 - 20 | | |

Die Prüfung der Mobilität der Elemente mit **NH₄NO₃- Extraktionen** zeigt für Arsen nur geringfügig erhöhte Gehalte über dem natürlichem Hintergrund von 40 - 60 µg/kg (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993). Der Prüfwert (Pmob) von 140 µg/kg (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993) für Futterpflanzen, Nahrungspflanzen und Bodensickerwasser wird nicht überschritten. Die Nickelkonzentration überschreitet in einer Bodenprobe (Alp-B3) mit 1210 µg/kg den Prüfwert für das Pflanzenwachstum und das Bodensickerwasser (1200 µg/kg) geringfügig.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Die Ergebnisse der Untersuchung im Gebiet von Alpirsbach zeigen, daß von den Arsengehalten der Böden ein geringes Gefährdungspotential für die Umwelt ausgeht. Südlich des Glaswaldes wird zwar in fast allen untersuchten Bodenproben der Prüfwert für Arsen (20 mg/kg) der VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993 überschritten, allerdings ist die Mobilität des Arsens bei den vorliegenden Bodenbedingungen (pH-Wert < 6,0) sehr gering. Da in dem am südlichen Glaswaldhang anschließenden Neubaugebiet kaum Hausgärten vorhanden sind und diese überwiegend für Zierpflanzen und nur untergeordnet zum Gemüseanbau genutzt werden, besteht hier aktuell kein Handlungsbedarf. Im Fall der Neuanlage von Hausgärten sind Kontrolluntersuchungen des Bodens zu empfehlen, insbesondere wenn eine Nutzung zum Gemüseanbau für den Eigenverzehr vorgesehen ist.

Wegen der teilweise hohen Arsenkonzentrationen (> 100 mg/kg in Alp-B10) auf dem letzten noch unbebauten Grundstück gegenüber dem Mittleren Eberhardt-Stollen ist zu beachten, daß bei einer Bebauung der Bodenaushub bis in eine Tiefe von 40 cm nur entsprechend seinen Schadstoffgehalten und den damit verbundenen Anforderungen verwertet bzw. entsorgt wird.

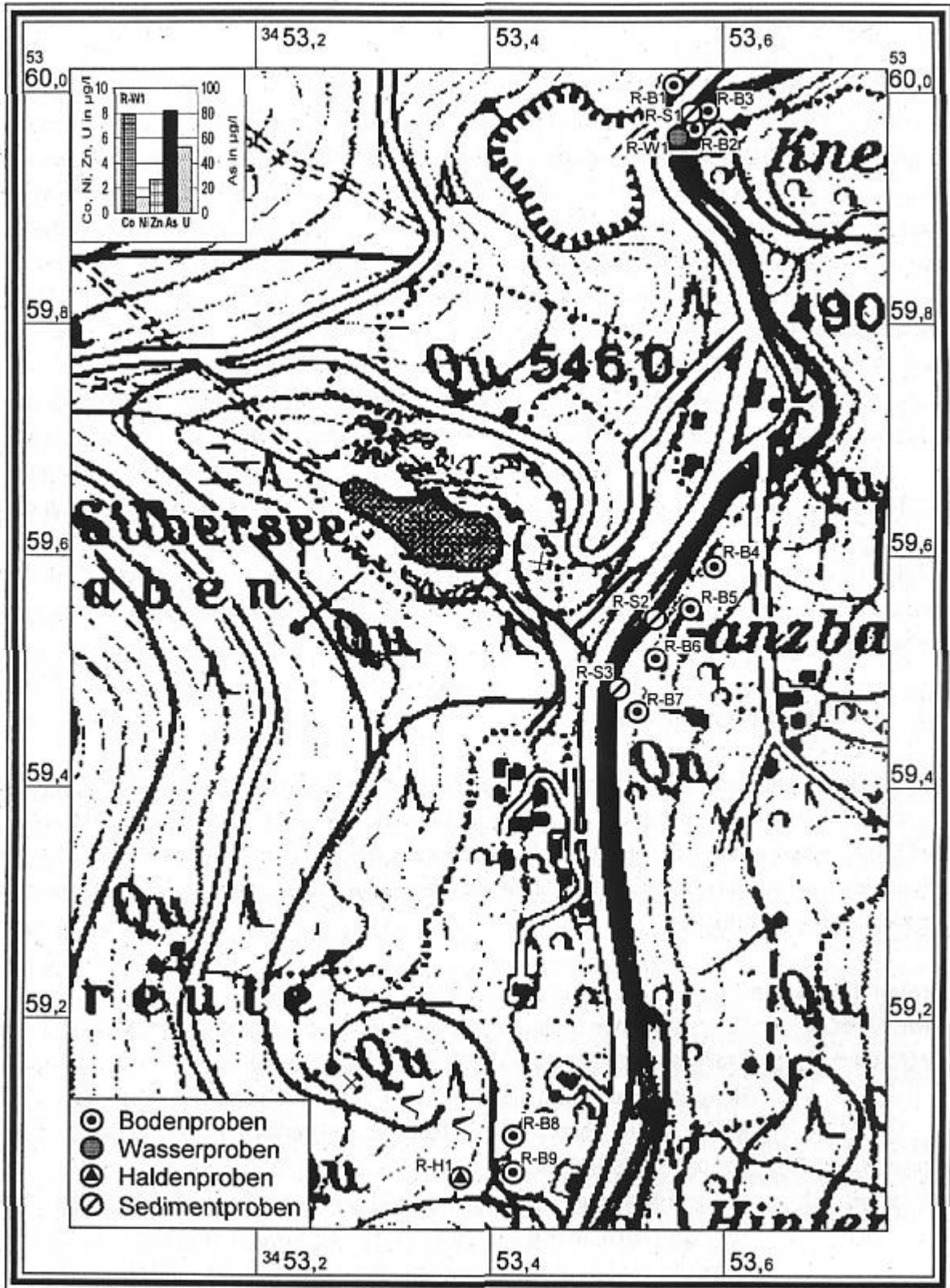
3.2 Das Gebiet der Reinerzau

Das Gebiet der Reinerzau umfaßt ein ca. zehn Kilometer nördlich von Schenkenzell gelegenes NS streichendes Tal, das von der Kleinen Kinzig durchzogen wird (Karte 3.1). Die Vererzungen sind granitgebunden und liegen in NS oder NWSE streichenden Klüften (Mächtigkeit: wenige Dezimeter; vermutete Länge des Dreikönigsterngangzug: 500 - 600 Meter). Die Mineralisation besteht im Norden des Tales aus Co-, Ag-, Bi- und tw. U-Erzen. Als Gangart tritt überwiegend Schwerspat/Flußspat auf. Nach Süden hin wird die Gangart zunehmend quarzreicher, Schwerspat tritt zurück. Die Erzführung ist sehr gering und besteht aus Cu und Fe-Erzen (SCHÄDEL 1955). Erste schriftliche Erwähnung findet der Bergbau in der Reinerzau um 1564. Zu dieser Zeit wurde vornehmlich nach Eisenerzen geschürft. Erst nach dem dreißigjährigen Krieg wurde, durch den Bau der Farbmühle von Wittichen, im unteren Talabschnitt der Kleinen Kinzig verstärkt Quarz und Flußspat gewonnen, die man zur Kobaltblauerstellung benötigte. Durch die Prospektion auf Flußspat wurden die Co-Ni-Ag-U-erzführenden Gänge entdeckt und dann abgebaut. Der Bergbau in der Reinerzau wurde mit Unterbrechungen bis Ende des 19. Jahrhunderts betrieben. Durch die zeitweise guten Erträge der Grube Heilige-Dreikönigstern wurde im Jahre 1735 eine Poche und eine Silberschmelze gebaut (BRAUHÄUSER 1910). Jedoch können die Poche und vor allem die Schmelze nicht lange in Betrieb gewesen sein, da schon 1736 die Grube mit "Zubußen" unterstützt wurde.

3.2.1 Untersuchungsumfang

Der ehemalige Bergbau in der Reinerzau hat eine Vielzahl von Spuren hinterlassen, u.a. offene bzw. schlecht verschlossenen Stollen im südlichen Talbereich. Von den ehemaligen Halden der Grube Moses Segen und der Grube Heilige-Dreikönigstern, die noch von BRAUHÄUSER (1910) beschrieben werden und neben den alten Stollenausgängen im Tal der Kleinen Kinzig lagen, ist heute nichts mehr vorzufinden.

Karte 3.2.1 Übersichtskarte der Reinerzau mit Probennahmepunkten sowie Schwermetall- und Arsengehalten der Wasserprobe (R-W1)



Beprobung/Analysen:

Haldenproben (1):

- Bohrstockprobe, Halde des Oberen Herzog-Friedrich-Stollen (R-H1),

Wasserproben (3):

- Stollenabfluß vermutlich des Tiefen Moses Segen Stollen (R-W1), Hengstbach unterhalb der Halde des Oberen Karlstollen (R-W2), Kleine Kinzig, oberhalb des Zulaufs des Klosterbaches (RW-3),

Sedimentproben (1):

- Kleine Kinzig (R-S3),

Bodenproben (9):

- vor dem ehemaligen Stollenausgang Tiefer Moses Segen (R-B1 –R-B3), vor dem Tiefen Stollen der Grube Heilige-Dreikönigstern (R-B4 – R-B7), unterhalb des Mittleren Herzog-Friedrich-Stollen (R-B8 – R-B9), das Gelände, auf dem die Bodenproben genommen wurden, wird zur Futtergewinnung (Heu) genutzt.

3.2.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Haldenproben:

Die Halde des Oberen Herzog-Friedrich-Stollen zeigte keine erhöhten Schwermetall- oder Arsenkonzentrationen .

Wasserproben:

Von den untersuchten Wasserproben weist das Stollenwasser des Tiefen Moses-Segen-Stollen erhöhte Schwermetallgehalte auf (Karte 3.2.1). Arsen überschreitet mit 81,9 µg/l den Wert der TrinkwV 1990 von 40 µg/l um das Doppelte. Die Konzentrationen von Kobalt und Uran sind deutlich erhöht. Die Schüttung ist jedoch mit 0,2 l/s so gering, daß durch die Verdünnung des Vorfluters (Kleine Kinzig) alle Konzentrationen unter den Grenzwerten der TrinkwV 1990 liegen.

Sedimentproben:

Die Sedimentproben zeigen nur in der Kornfraktion < 0.063 mm gering erhöhte Konzentrationen an Arsen (41 mg/kg). Hinweise auf noch vorhandene Reste von Haldenmaterial geben sie nicht.

Bodenproben:

Bei den Böden im Reinerzauer Tal handelt es sich um Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-IC bzw. Ah-B-Cv.

| | |
|-------------|---|
| Ph-Wert : | 4,0 - 5,1, |
| Tongehalt : | < 8 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | < 0,5 Gew. %, gleiche Konzentrationen in allen Bodentiefen, |

| | |
|---|---------------|
| Fe ₂ O ₃ -Gehalt: | < 2,0 Gew. %, |
| MnO-Gehalt: | < 0,1 Gew. %. |

Eine Schwermetall- und Arsenbelastung in den Böden der Reinerzau ist kaum vorhanden. Der Arsengehalt (Tab. 3.2.2) zeigt den Einfluß des ehemaligen Bergbaus im ganzen Reinerzauer Tal an. Die Konzentrationen liegen fast überall über dem Prüfwert (Pges) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser von 20 mg/kg. Der Medianwert nimmt mit der Tiefe deutlich ab. Das bedeutet, daß die Arsenanreicherung vor allem auf die oberflächennahen Bodenbereiche (0-10 cm Tiefe) begrenzt ist und der Boden nicht abgedeckt wurde. Trotzdem kommt es an wenigen Stellen bis in Tiefen von über 40 cm zu erhöhten Konzentrationen von Arsen. Die maximale Konzentration tritt am westlichen Ufer der Kleinen Kinzig im Bereich des Tiefen Moses Segen Stollen mit 83 mg/kg auf (RB3).

Tabelle 3.2.2 Statistische Parameter der Arsengehalte in den Bodenproben aus der Reinerzau (Abgaben in mg/kg)

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe 40 cm |
|------------------|------------------|----------------------|-------------------|
| n: | 9 | 9 | 7 |
| \bar{x} : | 3 | 28 | 29 |
| Q ₂ : | 27 | 25 | 20 |
| Max: | 83 | 47 | 59 |
| VK: | 57 | 33 | 59 |
| PW | 20 | | |
| NG: | 2 20 | | |

Sedimentproben:

Die Sedimentproben zeigen nur in der Kornfraktion < 0,063 mm gering erhöhte Konzentrationen an Arsen (41 mg/kg). Hinweise auf noch vorhandene Reste von Haldenmaterial geben sie nicht.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Das Gebiet der Reinerzau ist im wesentlichen nicht durch Kontamination infolge des alten Bergbaus beeinträchtigt. Arsen und Schwermetalle treten vorwiegend in den oberen Bodenbereichen (0-10 cm Tiefe) in gering erhöhten Konzentrationen auf. Die ehemaligen Stollen und Stollenausgänge liegen meist abseits der Siedlungsbereiche und den zugehörigen Hausgärten. Die Bodenparameter mit niedrigen pH - Werten tragen zu einer Fixierung des hier vorwiegend relevanten Arsens im Boden bei. Derzeit wird kein weiterer Handlungsbedarf gesehen.

3.3 Das Gebiet von Wittichen

Das ehemalige Bergbaurevier von Wittichen liegt im Nordteil des Triberger Granits in einem Seitental der Kleinen Kinzig etwa 4,5 km nördlich von Schenkenzell (Karte 3.1). Geologisch tritt Grundgebirge mit Granit und Gneis sowie darüberfolgendes Deckgebirge (Rotliegendes, Buntsandstein) auf. Der Granit, gekennzeichnet durch seine großen fleischroten Alkalifeldspäte wird durchzogen von kleinen Stöcken und Gängen aus leukokrater Biotitgranit und Zweiglimmergranit (FRITSCH 1980). Die Erzgänge von Wittichen liegen alle im Granit, nur selten lassen sie sich bis ins Deckgebirge verfolgen. Zwei Vererzungstypen werden unterschieden:

1. Mineralvergesellschaftung der Co-Ni-Bi-Ag-U-Formation. Die Gänge streichen NNW-SSO und bestehen aus drei annähernd parallelen Gangzügen mit einer Vielzahl gescharter Klüfte und Trümmer (KIRCHHEIMER, 1952, 1953, 1957). Erzmineralisation besteht in erster Linie aus Kobalt- und Nickelarseniden, Sulfide sind kaum anzutreffen, als Gangart tritt fleischroter Baryt auf.
2. Vererzungstyp mit gediegen Wismut und einer Reihe von Cu-Ni-Arseniden. Dieser streicht mit O-W und führt als Gangart vorwiegend weißen Baryt (WOLF 1942).^{1.)}

Wittichen ist durch die Größe der Gruben und ihrem dichten Auftreten auf einem relativ begrenzten Gebiet sicherlich das bedeutendste Bergbauggebiet im Mittleren Schwarzwald. Urkundlich erwähnt wird der Bergbau seit Anfang des 16. Jahrhunderts. Zu dieser Zeit wurden Silbererze abgebaut und die restlichen, damals nicht verwertbaren Erze auf die Halden geworfen. Im 18. Jahrhundert wurde Wittichen zu einem europäischen Zentrum in der Blaufarbenherstellung mit einem bedeutendem Blaufarbenwerk im Tal der Kleinen Kinzig (Kap 3.3.4). Durch das Sinken des Silberpreises und durch Herstellung von künstlichen, kobaltfreien Blaufarben (Ultramarin) kam es zum Niedergang des Bergbaus in Wittichen. 1856 wurde die letzte Wittichener Grube stillgelegt. Eine Untersuchung der Grube Sophia wurde 1865 eingestellt (METZ 1955). Die Untersuchungsarbeiten, die in diesem Jahrhundert zwischen 1935-1939 und nach dem zweiten Weltkrieg (KIRCHHEIMER 1952, 1953, 1957) stattfanden, konnten keine wirtschaftlich abbaubaren Erze mehr feststellen.^{2.)}

Anmerkungen:

- 1.) Das O-W streichende Nebensystem ist zumindest in den zur Verfügung stehenden oder ehemals vorhanden Aufschlüssen (Oberfläche, untertage, Bohrungen) als erzfrei zu bezeichnen. Lediglich an den Kreuzungspunkten beider Systeme traten die Erzfälle bevorzugt auf. Einzige Ausnahme ist der Daniel-Gang im Gallenbachtal.
- 2.) Letzte Untersuchungen auf Uranvererzungen in den 70er Jahren.

3.3.1 Untersuchungsumfang

Beprobung/Analysen

Haldenproben (15):

- Einzelproben (Wit-H4, Wit-H5, Wit-H8 - Wit-H15),
- Mischproben (Wit-H1 - Wit-H3, Wit-H6, Wit-H7), (Karte 3.3.4),
- Extrakt- bzw. Eluatanalysen

Wasserproben (31):

- im gesamten Wittichener Tal wurden die vorhandenen Bäche und Stollenwässer z.T. mehrmals beprobt (Wit-W1 - Wit-W31), (Karten 3.3.1, 3.3.3, 3.3.5),

Sedimentproben (2):

- entlang dem Böckelsbach (Karte 3.3.4),

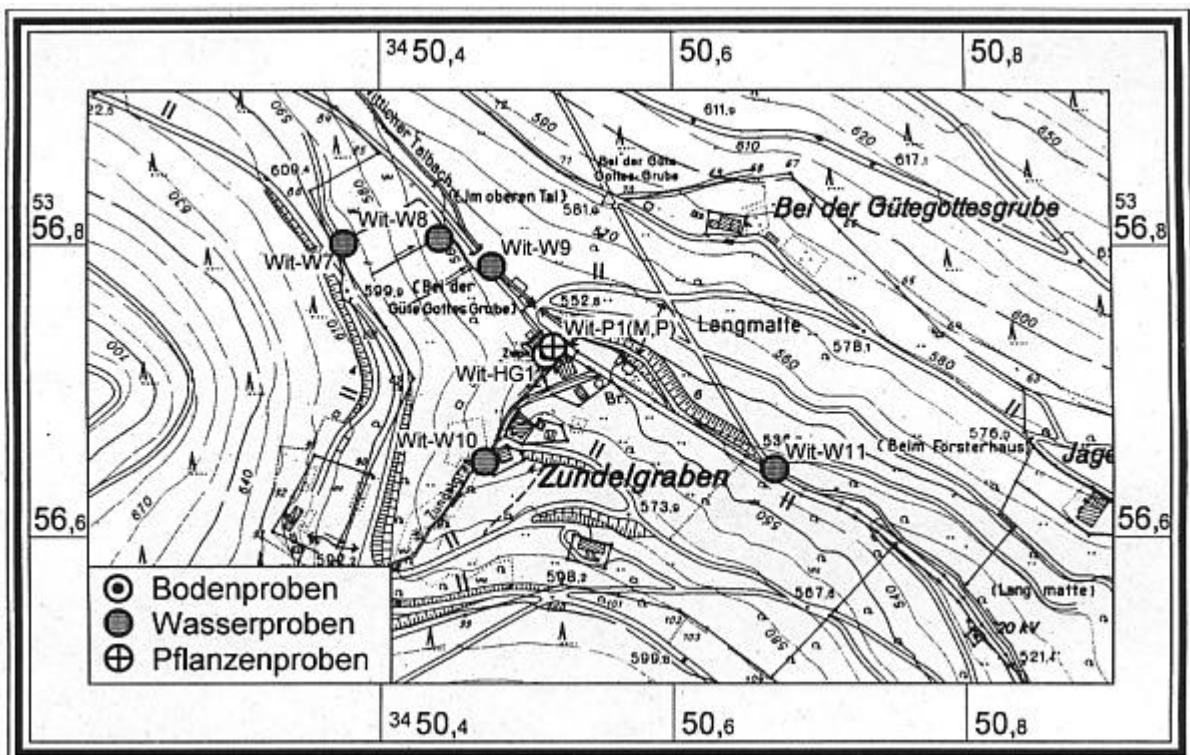
Bodenproben (60):

- im Zundelgraben (nördliches Wittichener Tal) wurde ein Bodenprobenraster (Wit-B14 - Wit-B44) angelegt, um die Ausdehnung der eingeebneten Halden der Güte Gottes Grube festzustellen (Karte 3.3.2.), Talhänge im Wüstenbachtal (Wit-B45 - Wit-B55, Wit-B68 - Wit-B72), (Karte 3.3.4),

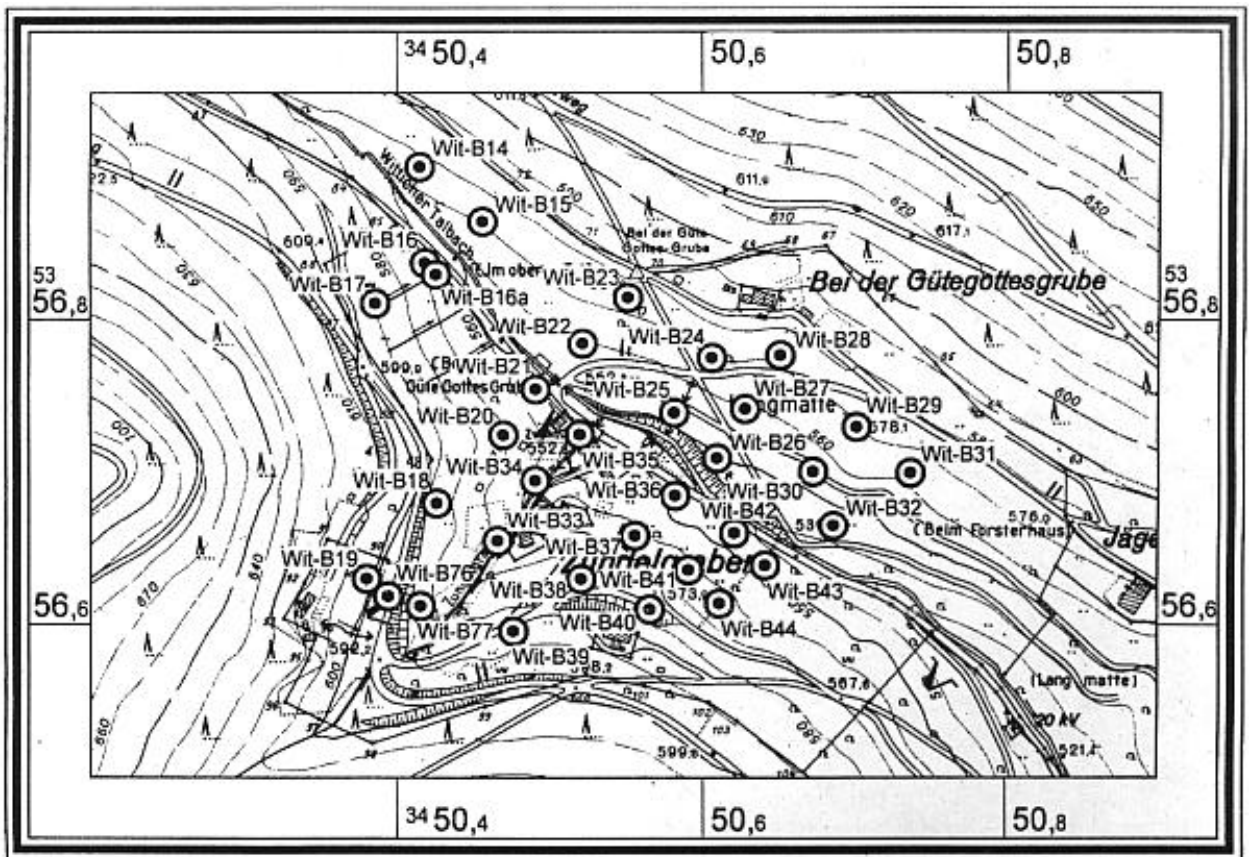
Pflanzenproben:

- Aus sechs Hausgärten wurden Proben von Petersilie und Mohrrüben untersucht (Karten 3.3.1, 3.3.3).

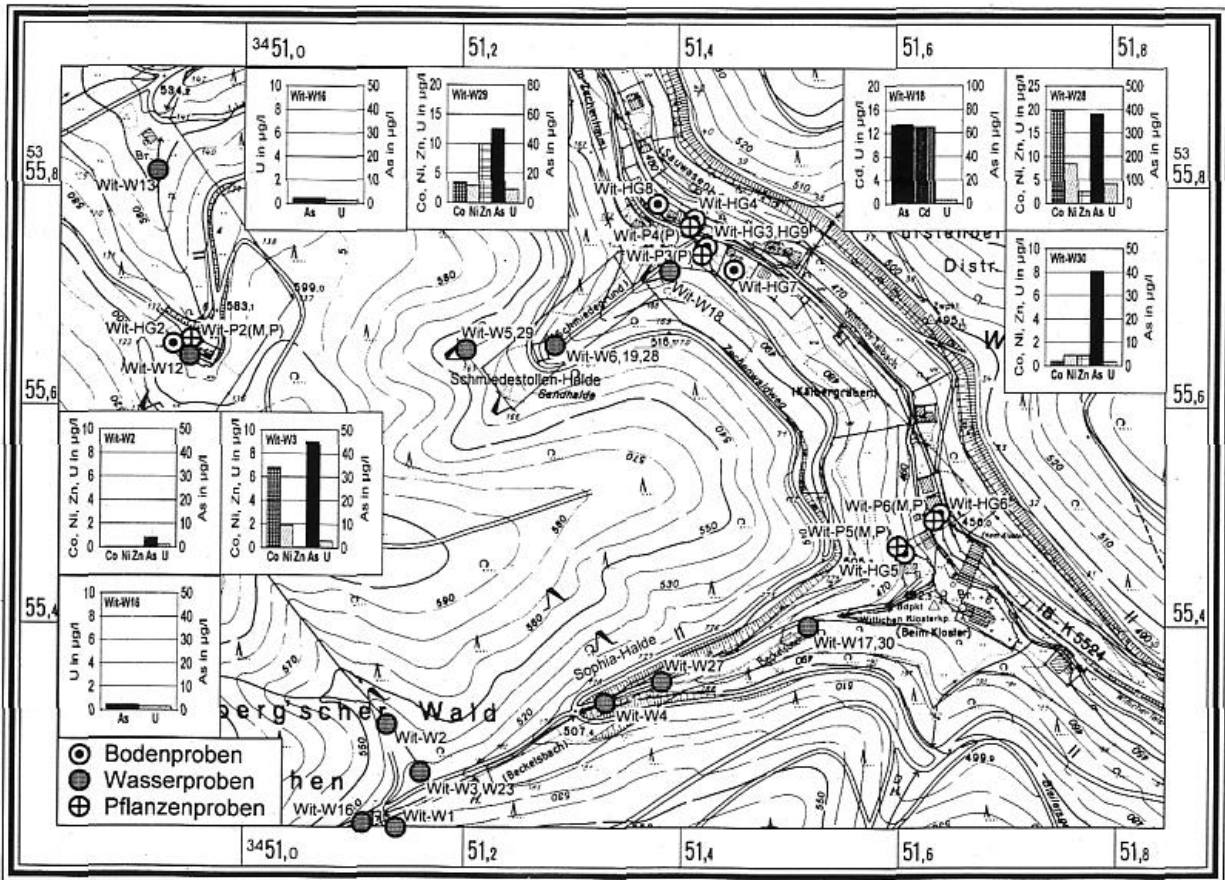
Karte 3.3.1 Übersichtskarte des nördlichen Wittichener Tals mit Probennahmepunkten sowie Arsen- und Urankonzentrationen in Bächen



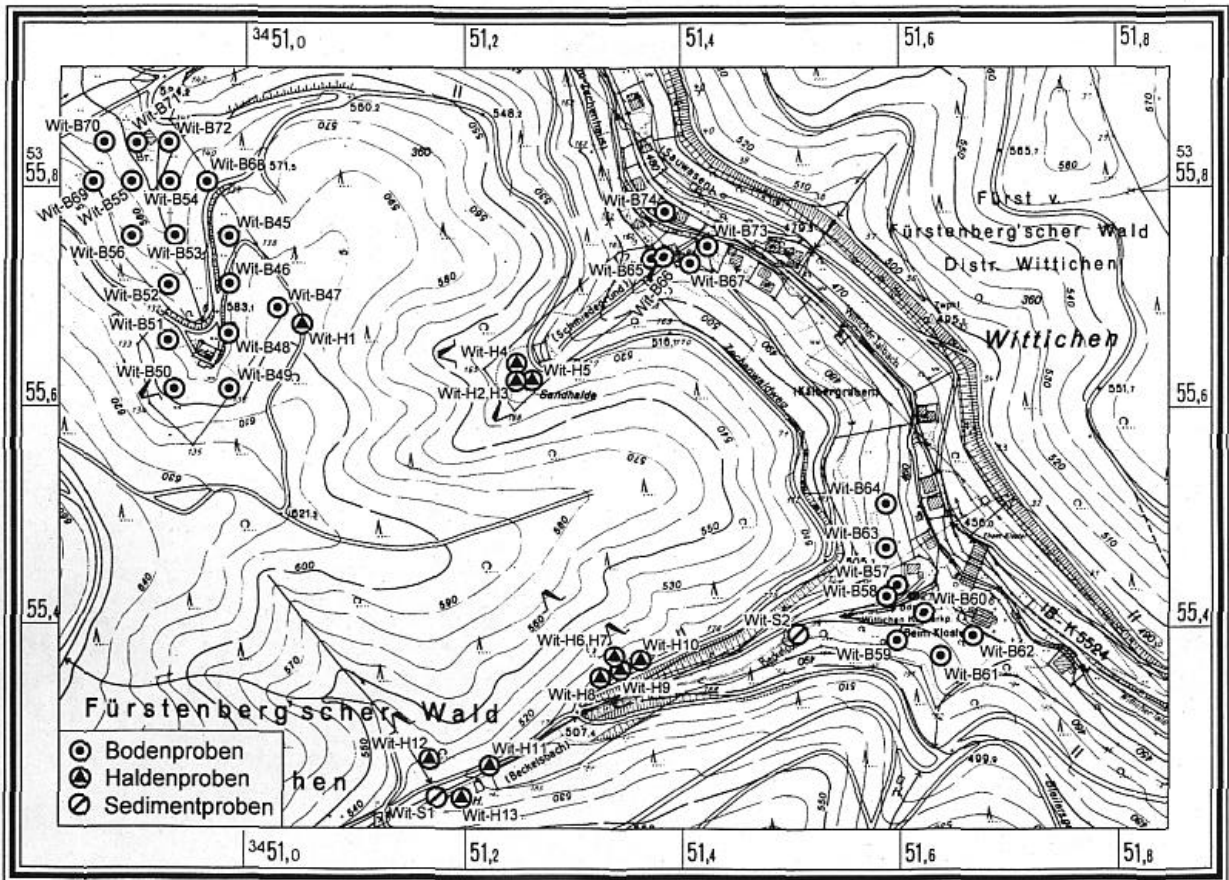
Karte 3.3.2 Übersichtskarte des nördlichen Wittichener Tals (Zundelgraben) mit den Bodenprobennahmepunkten



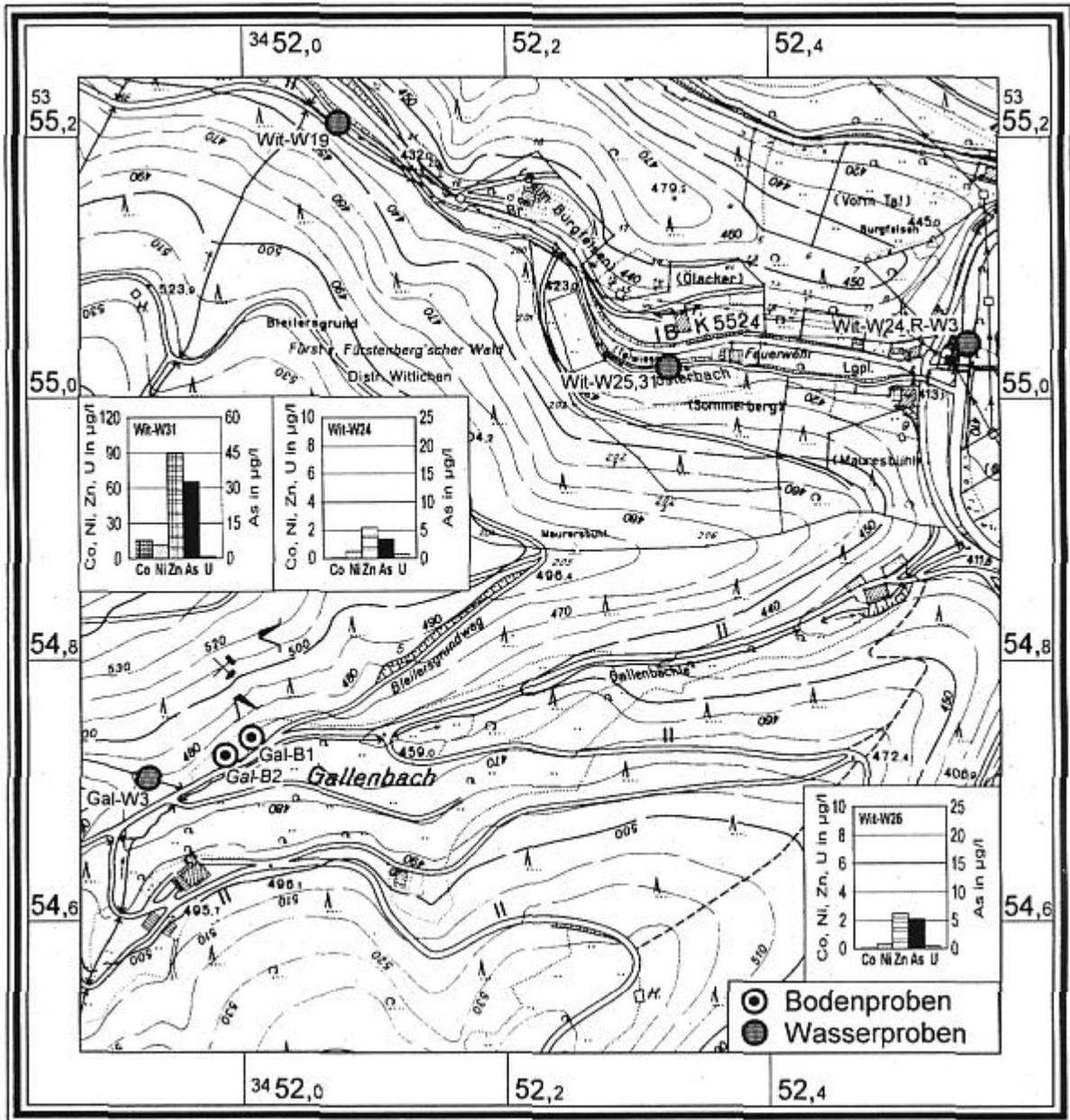
Karte 3.3.3 Übersichtskarte des südlichen Wittichener Tals mit Probennahmepunkten sowie Arsen und Schwermetallgehalte in Bächen und Stollenwässern



Karte 3.3.4 Übersichtskarte des südlichen Wittichener Tals mit den Probennahmepunkten



Karte 3.3.5 Übersichtskarte des östlichen Wittichener Tals und des Gallenbachtals mit den Probennahmepunkten. Die Wasserprobe WitW26 liegt außerhalb des oben dargestellten Kartenbereichs kurz vor dem Ortseingang von Schenkenzell



3.3.2 Ergebnisse

3.3.2.1 Haldenproben

| | |
|--------------------------------------|---|
| Schmiedestollen: | Arsen/Kobalt sehr hoch, Nickel/Uran hoch (Wit-H1 - Wit-H5), |
| Sophia- u. Neuglück: | Arsen/Kobalt hoch (Wit-H6 - Wit-H10), Wit-H11, Wit-H12), |
| Simson- u. Johann: | Arsen/Schwermetall gering (Karte 3.3.4), |
| Neu-Bergmannisch-Glück (Gallenbach): | Arsen/Schwermetall gering. |

Die größten Halden Schmiedestollen, Sophia, Neuglück und Simson wurden vermessen, um eine Mengenabschätzung für Arsen- und Schwermetallkonzentrationen zu erhalten. Die in Tabelle 3.3.1 aufgeführten Absolutgehalte sind eine groben Schätzung, die nach oben und unten um 30 % schwanken kann. Sie basieren auf einer ausgemessenen Haldenoberfläche, einer kalkulierten mittleren Mächtigkeit und einer angenommenen mittleren Dichte von 2,5 g/cm³. Korngrößenanalysen ergaben eine Zunahme der Co-Ni-As Gehalte mit abnehmender Korngröße und eine starke Anreicherung in der Fraktion < 0,063 mm.

Tabelle 3.3.1 Durchschnittskonzentrationen in mg/kg und Absolutgehalte in Tonnen (t) von Arsen und Schwermetallen in Wittichener Halden

| Halde | Abraum (t) | Co (mg/kg) | Co (t) | Ni (mg/kg) | Ni (t) | Cu (mg/kg) | Cu (t) |
|-----------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| Neuglück | 2500,00 | 222,00 | 0,56 | 35 | 9 | 35 | 9 |
| Schmiedestollen | 25000,00 | 579,00 | 14,50 | 177,00 | 443,00 | 135,00 | 338,00 |
| Sophia | 5000,00 | 190,00 | 2,38 | 52 | 65 | 59 | 74 |
| Simson | 2500,00 | n.a. | n.b. | 14 | 4 | 16 | 4 |
| | Abraum (t) | As (mg/kg) | As (t) | Ba (mg/kg) | Ba (t) | U (mg/kg) | U (t) |
| Neuglück | 2500,00 | 280 | 0,7 | 11000,00 | 27,5 | 9 | 0,20 |
| Schmiedestollen | 25000,00 | 1140,00 | 28,50 | 10500,00 | 263,00 | 229,00 | 5,71 |
| Sophia | 5000,00 | 483 | 6,0 | 11200,00 | 56 | 20 | 0,25 |
| Simson | 2500,00 | 120 | 0,3 | 3.600 | 9 | n.a. | n.b. |

Ausgang des Böckelsbachtals (Wit-B57 - Wit-B64), (Karte 3.3.4), Stollenausgang des Tiefen Clara-Stollens (Wit-B65 - Wit-B67, Wit-B73, Wit-B74), (Karte 3.3.4), Proben aus verschiedenen Hausgärten (Karte 3.3.3). Von den Bodenproben, die die Prüfwerte für Gesamtgehalte im Boden hinsichtlich Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993) überschritten, wurden NH₄NO₃-Extraktionen (Tiefe 0-10 cm und z.T. 10-40 cm) durchgeführt.

Extrakt- bzw. Eluatanalysen wurden am Haldenmaterial der Schmiedestollen-, der Sophia- und der Neuglück-Halde vorgenommen (DIN 38414 S. 4, DIN V 19730). Die Untersuchungen belegen eine hohe Mobilität für Arsen und Kobalt und erklären damit die erhöhten Arsen- und Schwermetallgehalte in den Bächen des Wittichener Tals. Im einzelnen ergab sich folgendes Bild:

- Mit NH₄NO₃ wurden Schwermetalle aus dem Haldenmaterial stärker herausgelöst als mit monodestilliertem Wasser. Bei Arsen ist das Gegenteil der Fall. Mit der NH₄NO₃-Lösung wurden nur 70 % des mit monodestilliertem Wasser löslichen Arsenanteils extrahiert.

- Das Haldenmaterial der Schmiedestollenhalde zeigt bei der Extraktion mit NH_4NO_3 bei den Schwermetallen eine bis zu 40 mal höhere Mobilität als die anderen beiden Halden. Bei Arsen ist die Mobilität etwas geringer.

3.3.2.2 Wasserproben (Tab. 3.3.3)

Klosterbach: Die Bäche im Wittichener Gebiet spiegeln deutlich die erhöhte Arsen- und Schwermetallbelastung durch den Bergbau wider. Bis auf Arsen liegen die Schwermetallkonzentrationen unter den Grenzwerten der TrinkwV 1992. Vom Talende mit $< 1.0 \mu\text{g/l}$ (Wit-W9, Karte 3.3.1) bis zum Talausgang und Mündung in die Kleine Kinzig mit $32.8 \mu\text{g/l}$ (Wit-W25, Karte 3.3.5) wurde eine kontinuierliche Erhöhung der Arsenkonzentration im Wasser des Wittichener Talbaches bzw. Klosterbaches festgestellt. In der Kleinen Kinzig werden die Arsenkonzentrationen des Wassers unter $10 \mu\text{g/l}$ verdünnt (Karte 3.3.5).

Böckelsbach: Mit einer dreimaligen Beprobung im Jahresrhythmus wurde festgestellt, daß durch die Aufschotterung des Weges entlang des Böckelsbachs mit Haldenmaterial der Gruben Neuglück und Sophia und der Verlagerung des Haldenmaterials in das Talbett die Arsenkonzentrationen im Böckelsbach stark angestiegen sind. (Karte 3.3.3)

| | | |
|---------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1. Beprobung: | Böckelsbach oberhalb der Halden | 2,5 $\mu\text{g/l}$ As |
| | Böckelsbach unterhalb der Halden | 25,0 $\mu\text{g/l}$ As |
| 2. Beprobung: | Böckelsbach unterhalb der Halden | 53,7 $\mu\text{g/l}$ As |

Schmiedestollen: Die höchsten Schwermetall- und Arsenkonzentrationen treten an einer gefaßten Wasserstelle unterhalb der Schmiedestollenhalde auf. Auch hier wurde im Jahresrhythmus (dreimal) (Wit-W6, Wit-W15, Wit-W28) beprobt und Arsengehalte zwischen $315 \mu\text{g/l}$ und $466 \mu\text{g/l}$ gefunden (Karte 3.3.3). Wie Beregnungsversuche an Haldenmaterial der Schmiedestollenhalde ergaben, können im Sickerwasser dieser Halde Arsenkonzentrationen bis zu 20mg/l auftreten.

Unterer Clara-Stollen: Hohe Gehalte ($13 \mu\text{g/l}$) an Cadmium wurden in dem Stollenwasser vorgefunden (Wit-W18, Karte 3.3.3). Da Zinkminerale in den Vererzungen des Wittichener Tals nur in geringem Maße auftreten und erhöhte Cadmiumgehalte auch in den Halden- und Bodenproben nicht gemessen wurden, konnte dafür bislang keine Erklärung gefunden werden.

Frisch-Glück-Stollen: Arsenkonzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV. von 1990 wurden im Stollenwasser gemessen (Wit-W5, Karte 3.3.3). Der Stollen wird nicht mehr als Wasserspeicher genutzt.

Tabelle 3.3.3 Ergebnisse ausgewählter Wasserproben aus dem Raum Wittichen

| Probe | Cr (µg/l) | Co (µg/l) | Ni (µg/l) | Cu (µg/l) | Zn (µg/l) | As (µg/l) | Cd (µg/l) | Sb (µg/l) | Ba (µg/l) | Hg (µg/l) | Tl (µg/l) | Pb (µg/l) | Bi (µg/l) | Th (µg/l) | U (µg/l) | pH | LF (µS/cm) | T (°C) | S (l/s) | Redox U _H (mV) |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------|---------------|-----------|------------|------------------------------|
| Wit-W3 | n.a. | 6,80 | < 4,0 | n.a. | < 10,0 | 45.0 | < 0.50 | < 0.50 | 316.0 | n.a. | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 0,6 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W4 | n.a. | 0,9 | < 4,0 | n.a. | < 10,0 | 25.0 | < 0.50 | < 0.50 | 170.0 | n.a. | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 0,4 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W5 | n.a. | 4,5 | < 4,0 | n.a. | 16,0 | 44.0 | < 0.50 | < 0.50 | 626.0 | n.a. | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 3,7 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W6 | n.a. | 25,1 | 6,0 | n.a. | < 10,0 | 315.0 | < 0.50 | < 0.50 | 535.0 | n.a. | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 6,6 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W9 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | < 10,0 | 0.8 | < 0.50 | < 0.50 | 53,0 | n.a. | 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 0,3 | 7,6 | 54,0 | 12,5 | 6,0 | 390 |
| Wit-W15 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | < 10,0 | 466.0 | < 0.50 | < 0.50 | 400.0 | n.a. | < 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 6,3 | 7,5 | 125 | 10,6 | < 0,1 | 400 |
| Wit-W16 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | < 10,0 | 2.5 | < 0.50 | < 0.50 | 70.0 | n.a. | 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 0,3 | 7,5 | 54,0 | 12,6 | 2,0 | 370 |
| Wit-W17 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | < 10,0 | 53.7 | < 0.50 | < 0.50 | 136.0 | n.a. | 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 0,5 | 7,6 | 66,0 | 13,5 | 2,0 | 390 |
| Wit-W18 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | < 10,0 | 67.0 | 13,0 | < 0.50 | 206.0 | n.a. | < 0,1 | < 0,1 | n.a. | 0,6 | 0,6 | 7,0 | 76,0 | 11,2 | <0,1 | 400 |
| Wit-W23 | n.a. | 4,7 | 1,9 | 0,9 | 3,5 | 66.2 | n.a. | n.a. | 337.0 | n.a. | 0,2 | 0,6 | n.a. | 0,6 | < 0,1 | 7,9 | 49,0 | 6,0 | 1,5 | 490 |
| Wit-W26 | 0,40 | < 0,1 | 0,3 | < 0,3 | 2,5 | 5.3 | < 0,10 | < 0,10 | 217.0 | < 1,50 | < 0,3 | 0,4 | < 0,10 | < 0,5 | 0,2 | 7,9 | 66,0 | 9,6 | 70 | 590 |
| Wit-W28 | < 0,3 | 19,7 | 8,4 | < 0,6 | 2,5 | 381.0 | < 0,30 | n.a. | 454.0 | n.a. | < 0,4 | < 0,4 | < 0,40 | < 0,8 | 4,11 | 6,8 | 121 | 9,7 | < 0,1 | 430 |
| Wit-W29 | < 0,3 | 3,5 | 3,0 | 3,8 | 10,0 | 50.4 | < 0,30 | n.a. | 753.0 | n.a. | 1,0 | 6,1 | 0,58 | < 0,8 | 2,35 | n.a. | n.a. | n.a. | < 0,1 | n.a. |
| Wit-W30 | < 0,3 | 0,4 | 0,9 | < 0,6 | 0,9 | 40.3 | < 0,30 | n.a. | 133.0 | n.a. | < 0,4 | < 0,4 | < 0,40 | < 0,8 | 0,35 | 7,3 | 58,0 | 12,7 | 3,0 | 380 |

Tabelle b

| Probe | Tl (µg/l) | Pb (µg/l) | Bi (µg/l) | Th (µg/l) | U (µg/l) | pH | LF (µS/cm) | T (°C) | S (l/s) | Redox U _H (mV) |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------|---------------|-----------|------------|------------------------------|
| Wit-W3 | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 0,6 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W4 | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 0,4 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W5 | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 3,7 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W6 | < 0,1 | < 1,0 | n.a. | < 0,5 | 6,6 | 6,0* | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Wit-W9 | 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 0,3 | 7,6 | 54,0 | 12,5 | 6,0 | 390 |
| Wit-W15 | < 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 6,3 | 7,5 | 125 | 10,6 | < 0,1 | 400 |
| Wit-W17 | 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 0,3 | 7,5 | 54,0 | 12,6 | 2,0 | 370 |
| Wit-W17 | 0,1 | < 0,1 | n.a. | < 0,5 | 0,5 | 7,6 | 66,0 | 13,5 | 2,0 | 390 |
| Wit-W18 | < 0,1 | < 0,1 | n.a. | 0,6 | 0,6 | 7,0 | 76,0 | 11,2 | <0,1 | 400 |
| Wit-W23 | 0,2 | 0,6 | n.a. | 0,6 | < 0,1 | 7,9 | 49,0 | 6,0 | 1,5 | 490 |
| Wit-W26 | < 0,3 | 0,4 | < 0,10 | < 0,5 | 0,2 | 7,9 | 66,0 | 9,6 | 70 | 590 |
| Wit-W28 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,40 | < 0,8 | 4,11 | 6,8 | 121 | 9,7 | < 0,1 | 430 |
| Wit-W29 | 1,0 | 6,1 | 0,58 | < 0,8 | 2,35 | n.a. | n.a. | n.a. | < 0,1 | n.a. |
| Wit-W30 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,40 | < 0,8 | 0,35 | 7,3 | 58,0 | 12,7 | 3,0 | 380 |

Zu Tabelle 3.3.3

| | |
|----------|--|
| Wit-W3: | Difuser Wasseraustritt unterhalb der Neuglück-Halde RW: 34 51165 HW: 53 55260 |
| Wit-W4: | Böckelsbach unterhalb der Sophia-Halde RW: 34 51335 HW: 53 55325 |
| Wit-W5: | Wasserfassung am Frisch-Glück-Stollen RW: 34 51200 HW: 53 55650 |
| Wit-W6: | Gefaßter Wasseraustritt unterhalb der Alten Schmiedestollen-Halde RW: 34 51285 HW: 53 55655 |
| Wit-W9: | Wittichener Talbach (Klosterbach) RW: 34 50475 HW: 53 56785 |
| Wit-W15: | Gefaßter Wasseraustritt unterhalb der Alten Schmiedestollen-Halde RW: 34 51285 HW: 53 55655 |
| Wit-W16: | Böckelsbach RW: 34 51110 HW: 53 55215 |
| Wit-W17: | Böckelsbach RW: 34 51520 HW: 53 55400 |
| Wit-W18: | Stollenwasser aus dem Tiefen Clara-Stollen RW: 34 50990 HW: 53 55725 |
| Wit-W23: | Bach quer durch die ehemalige Neuglück-Halde RW: 34 52880 HW: 53 53000 |
| Wit-W26: | Kleine Kinzig am Ortseingang von Schenkenzell RW: 34 51165 HW: 53 55260 |
| Wit-W28: | Wasserfassung unterhalb der Alten Schmiedestollen-Halde <i>RW: 34 51285 HW: 53 55655</i> |
| Wit-W29: | Stollenwasser des Frisch-Glück-Stollen RW: 34 51200 HW: 53 55650 |
| Wit-W30: | Böckelbach oberhalb des Klosters RW: 34 52325 HW: 53 55020 |

3.3.2.3 Sedimentproben

Die Bachsedimentproben weisen erhöhte Arsenkonzentrationen auf, die auf den ehemaligen Bergbaus zurückzuführen sind. Die maximalen Arsenkonzentrationen (255 mg/kg) liegen in der Kornfraktion < 0.063 mm vor.

3.3.2.4 Bodenproben

Bei den Bodenproben im Gebiet von Wittichen handelt es sich, abgesehen von den Hausgärten, um Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-Cv, die karbonatarm bis karbonatfrei sind.

| | |
|--|---|
| pH-Wert: | 3,2 - 7,7. Über 60 % aller Proben liegen im pH-Bereich zwischen 4,0 und 4,9, |
| Tongehalt: | < 8,0 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | < 0,5 Gew. % in Böden bei Grünlandwirtschaft, 2,17 Gew. % in Hausgärten, |
| C _{org.} | 3,5 %, in Hausgärten 4,8 Gew. %, |
| Fe ₂ O ₃ - Gehalt: | 2,1 Gew. %, |
| MnO-Gehalt: | < 0,5 Gew. %, mit geringen Konzentrationsunterschieden in Hausgärten und Wiesenböden. |

Die **Schwermetalle** Kobalt, Nickel und Uran liegen neben Arsen in den Bodenproben von Wittichen in erhöhten Konzentrationen vor. Die erhöhten Gehalte sind jedoch auf wenige Einzelpunkte beschränkt. Die höchsten gemessenen Schwermetallkonzentrationen in den Wiesenböden von Wittichen sind in der Tabelle 3.3.4 aufgeführt.

Tabelle 3.3.4 Ergebnisse ausgewählter Bodenproben aus dem Raum Wittichen (Gesamtgehalte)

| Probe | Tiefe (cm) | pH-Wert | Co (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Ag (mg/kg) | Cd (mg/kg) | Ba (mg/kg) | Pb (mg/kg) | U (mg/kg) |
|---------|------------|---------|------------|------------|------------|------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| Wit-B34 | 0-10 | 4,7 | n.a. | < 40 | < 10 | 17 | < 10 | <2 | < 2 | 478 | 30 | n.a. |
| Wit-B34 | 10-40 | 4,6 | 73 | < 40 | 14 | 35 | 143 | < 2 | < 2 | 2910 | 31 | 7 |
| Wit-B34 | > 40 | 4,8 | 36 | < 40 | 17 | 25 | 71 | < 2 | < 2 | 4130 | 26 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B35 | 0-10 | 4,9 | n.a. | < 40 | 17 | 88 | 47 | < 2 | < 2 | 1850 | 38 | n.a. |
| Wit-B35 | 10-40 | 5,0 | n.a. | < 40 | 19 | 69 | 66 | < 2 | < 2 | 4150 | 41 | n.a. |
| Wit-B35 | > 40 | 5,3 | n.a. | 132 | 19 | 38 | 92 | < 2 | < 2 | 5900 | 31 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B48 | 0-10 | 3,2 | 10 | 7 | 19 | 50 | 84 | 10 | < 2 | 3690 | 46 | 11 |
| Wit-B48 | 10-40 | 4,3 | 13 | < 40 | 24 | 43 | 111 | 7 | < 2 | 5800 | < 10 | 20 |
| Wit-B48 | > 40 | 4,9 | 18 | < 40 | 29 | 45 | 163 | < 2 | < 2 | 5700 | 31 | 10 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B49 | 0-10 | 5 | 32 | 11 | 26 | 59 | 97 | < 2 | < 2 | 2140 | 90 | n.a. |
| Wit-B49 | 10-40 | 4,70 | n.a. | < 40 | 22 | 42 | 107 | < 2 | < 2 | 1740 | 53 | n.a. |
| Wit-B49 | > 40 | 5,30 | n.a. | < 40 | 18 | 44 | 134 | < 2 | < 2 | 1440 | 21 | n.a. |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|------|------|-----------|------------|------------|-------------|------|------|------|------------|------|
| Wit-B57 | 0-10 | 4,90 | n.a. | < 40 | 748 | 10 | 76 | < 2 | < 2 | 783 | 141 | n.a. |
| Wit-B57 | 10-40 | 4,80 | n.a. | < 40 | 30 | 9 | 104 | < 2 | < 2 | 694 | 80 | n.a. |
| Wit-B57 | > 40 | 5 | n.a. | < 40 | 27 | 7 | 111 | < 2 | < 2 | 485 | 46 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B58 | 0-10 | 5,80 | 10 | 11 | 38 | 155 | 50 | < 2 | < 2 | 1520 | 68 | n.a. |
| Wit-B58 | 10-40 | 5,40 | n.a. | < 40 | 34 | 136 | 63 | < 2 | < 2 | 1270 | 66 | n.a. |
| Wit-B58 | > 40 | 5,70 | n.a. | < 40 | 28 | 88 | 71 | < 2 | < 2 | 1230 | 40 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B65 | 0-10 | 4,20 | 82 | 25 | 14 | 60 | 314 | < 2 | < 2 | 1980 | 68 | 16 |
| Wit-B65 | 10-40 | 4,50 | 31 | < 40 | 17 | 51 | 269 | < 2 | < 2 | 995 | 32 | 9 |
| Wit-B65 | > 40 | 4,40 | 17 | < 40 | 13 | 49 | 235 | < 2 | < 2 | 628 | 40 | 7 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B66 | 0-10 | 4,70 | 49 | 23 | 36 | 179 | 318 | 3 | < 2 | 801 | 72 | 11 |
| Wit-B66 | 10-40 | 4,80 | 36 | < 40 | 30 | 151 | 330 | < 2 | < 2 | 780 | 72 | 10 |
| Wit-B66 | > 40 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B73 | 0-10 | 5,80 | 99 | 40 | 28 | 139 | 202 | < 2 | < 2 | 5610 | 64 | n.a. |
| Wit-B73 | 10-40 | 5,90 | 95 | 48 | 25 | 109 | 249 | < 2 | < 2 | 5930 | 65 | n.a. |
| Wit-B73 | > 40 | 6,40 | 164 | 86 | 27 | 46 | 484 | < 2 | < 2 | 6290 | 28 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Wit-B74 | 0-10 | 6,50 | 37 | 15 | 17 | 70 | 171 | < 2 | < 2 | 4890 | 49 | n.a. |
| Wit-B74 | 10-40 | 6,70 | 65 | 20 | 26 | 30 | 310 | < 2 | < 2 | 7870 | 30 | n.a. |
| Wit-B74 | > 40 | 6,60 | 71 | 19 | 33 | 22 | 549 | < 2 | < 2 | 7540 | 28 | n.a. |

Arsen tritt in erhöhten Konzentrationen (Hintergrundwert in Wittichen < 20 mg/kg) in über 50 % der Bodenproben auf (Tab. 3.3.2).

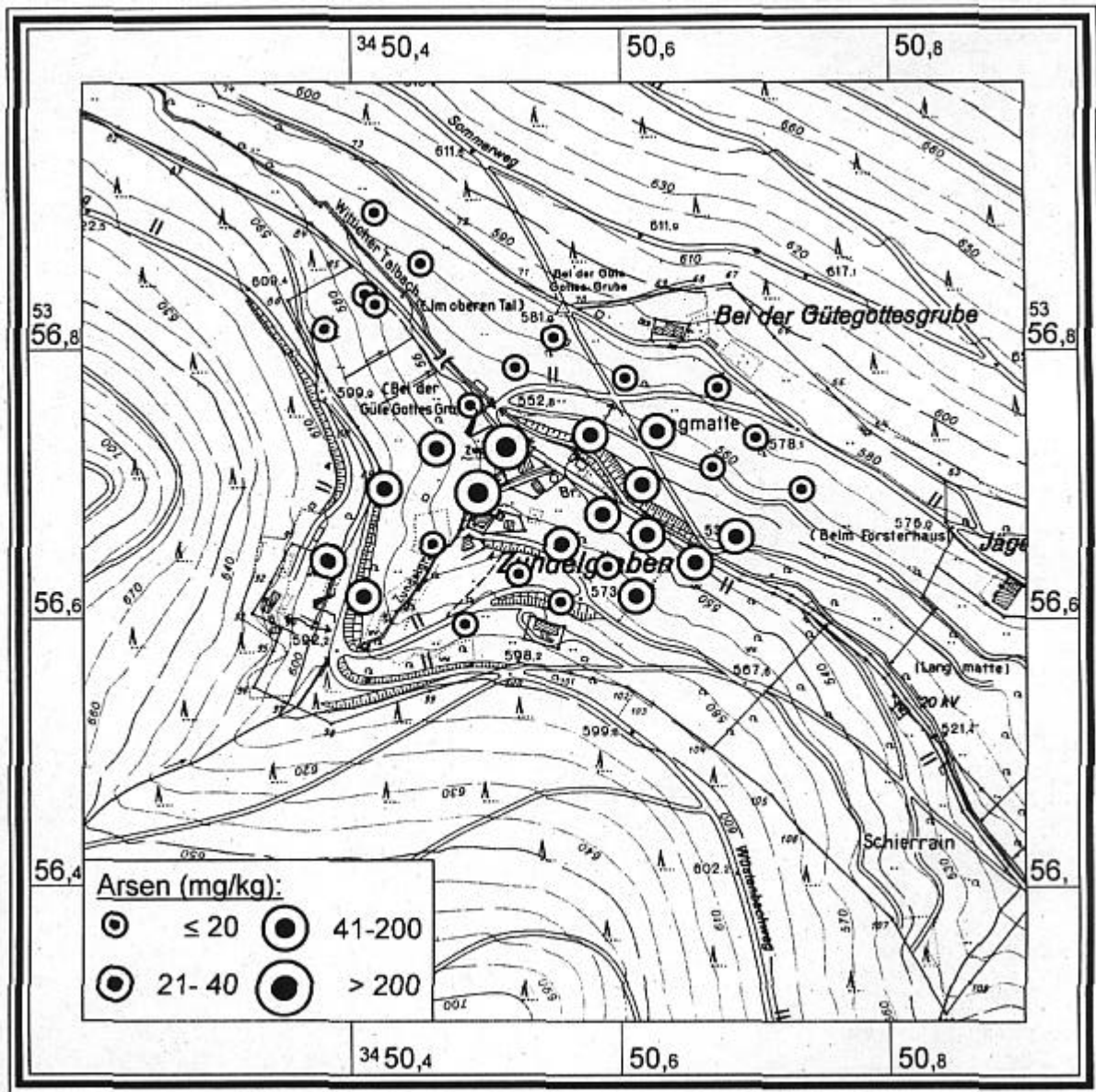
Tabelle 3.3.2 Statistische Parameter der Arsengehalte in den Bodenproben aus dem Wittichener Tal. (Angaben in mg/kg)

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| n: | 76 | 63 | 58 |
| \bar{x} : | 52 | 57 | 53 |
| Q ₂ : | 33 | 28 | 27 |
| Min: | < 10 | < 10 | < 10 |
| Max: | 259 | 382 | 257 |
| VK: | 105 | 124 | 103 |
| PW: | 20 | | |
| NG: | 2 – 20 | | |

Der Mittelwert der Proben in den verschiedenen Tiefen bleibt weitgehend gleich, der Medianwert dagegen nimmt mit der Tiefe ab. Die Arsenkonzentrationen nehmen also mit der Tiefe generell ab, an einigen Stellen treten jedoch hohe Arsenkonzentrationen im Boden bis in die Tiefe > 40 cm auf (Haldenmaterial !). An diesen Punkten treten auch die höchsten Kobalt- und Nickelkonzentrationen auf.

Eine Übersicht über die Arsenkonzentrationen der Tiefe 0-10 cm geben die Karten 3.3.6 und 3.3.7 (Karte 3.3.7 siehe Kap.3.3.4). Im Zundelgraben (nördliches Wittichener Tal) treten entlang des Wittichener Talbaches (Klosterbach) die höchsten Arsenkonzentrationen auf. Dies deutet darauf hin, daß das Haldenmaterial des Schmiedestollen der Grube Güte Gottes entlang des Talbachs verteilt worden ist. Das Haldenmaterial des Oberen Stollens der Grube Güte Gottes am Südwesthang des Zundelgrabens ist durch einen Erdbeben im Jahr 1882 mit Boden überdeckt worden (METZ 1955). Im Wüstenbachtal (nordöstlicher Kartenteil von Karte 3.3.7) verteilt sich entlang des Wüstenbächle das Haldenmaterial, das am Nordhang des Silberberges abgelagert wurde. Die hohen Arsenkonzentrationen im Ort Wittichen lassen sich durch die im Untergrund vorhandene Halde der Grube Gnade Gottes erklären. Mehrere Häuser von Wittichen wurden auf dieser Halde gebaut. Die erhöhten Schwermetall- und Arsenkonzentrationen am Ausgang des Böckelsbachtals sind vermutlich auf die Lagerung und Aufbereitung (Scheidstube, Poche) von Erzen zurückzuführen, bevor sie von den Gruben des Böckelsbachtals zur Silberschmelze und dem Blaufarbenwerk von Wittichen im Tal der Kleinen Kinzig transportiert wurden.

Karte 3.3.6 Arsengehalte in Bodenproben (0-10 cm Tiefe) aus dem nördlichen Wittichener Tal (Zundelgraben)



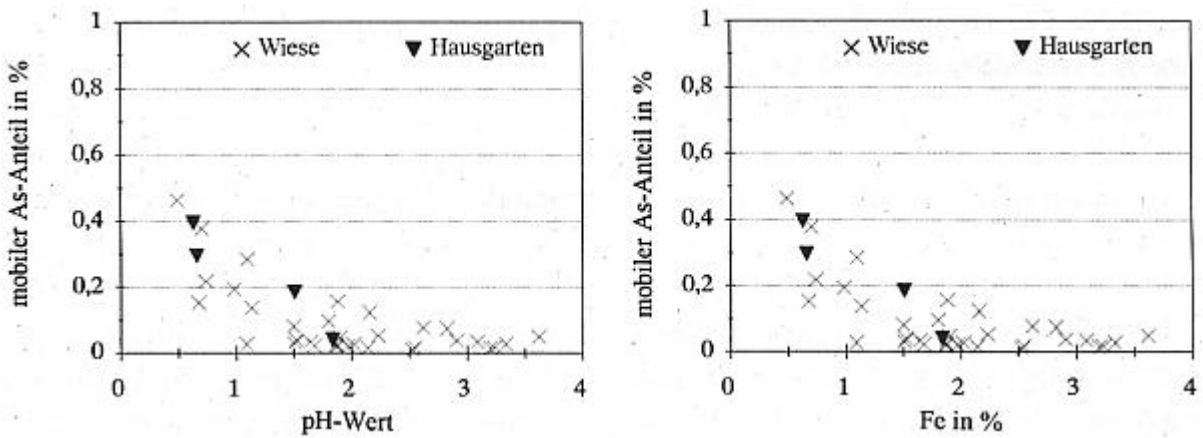
NH₄NO₃-Extraktionen zur Überprüfung der Verfügbarkeit des Arsens und der Schwermetalle wurden an Bodenproben der Tiefe 0-10 cm und 10-40 cm durchgeführt (Tab. 3.3.5).

Tabelle 3.3.5 Ergebnisse ausgewählter NH₄NO₃-Extraktionen von Bodenproben aus dem Raum Wittichen

| Probe | Tiefe (cm) | Co (µg/kg) | Ni (µg/kg) | Cu (µg/kg) | Zn (µg/kg) | As (µg/kg) | Cd (µg/kg) | Ba (µg/kg) | Tl (µg/kg) | Pb (µg/kg) |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Wit-B34 | 0-10 | 2680 | 886 | 57,7 | 1840 | 40,3 | 28,7 | 240000 | < 10 | 107 |
| Wit-B35 | 0-10 | 147 | 164 | 43,4 | 3330 | < 30 | < 25 | 204000 | < 40 | < 125 |
| Wit-B48 | 0-10 | 1080 | 474 | n.a. | 4480 | 132 | 80 | n.a. | 13 | 1740 |
| Wit-B48 | 10-40 | 462 | 531 | < 138 | 502 | < 25 | 30,6 | 288000 | < 25 | 218 |
| Wit-B49 | 0-10 | 45 | 110 | n.a. | 882 | 23 | 14 | n.a. | 24 | 10 |
| Wit-B49 | 10-40 | 50.8 | 242 | < 138 | 639 | < 25 | < 25 | 168000 | 32,4 | < 25 |
| Wit-B57 | 0-10 | 45.4 | 157 | < 138 | 1520 | 17 | 21 | 220000 | 31,9 | 156 |
| Wit-B57 | 10-40 | 35.6 | 164 | 57,5 | 875 | < 25 | < 30 | 148000 | < 40 | 110 |
| Wit-B58 | 0-10 | 21 | 111 | n.a. | 353 | 20 | < 10 | n.a. | 17 | < 10 |
| Wit-B58 | 10-40 | < 35 | 134.0 | 82,7 | 609.0 | < 25 | < 30 | 141000 | < 40 | < 45 |
| Wit-B65 | 0-10 | 700 | 1850 | n.a. | 3650.0 | 244.0 | 88 | n.a. | 23 | 685 |
| Wit-B65 | 10-40 | 2910 | 169000 | 69,5 | 897.0 | 94,6 | < 30 | 112000 | < 40 | 362.0 |
| Wit-B66 | 0-10 | 175.0 | 412.0 | n.a. | 8200.0 | 203.0 | 43 | n.a. | 27 | 62 |
| Wit-B66 | 10-40 | 337.0 | 625.0 | < 55 | 4840.0 | 73,4 | 29,8 | 143000 | < 40 | 57,2 |
| Wit-B73 | 0-10 | 140.0 | 190.0 | < 25 | 860.0 | 110.0 | < 25 | n.a. | < 25 | < 30 |
| Wit-B74 | 0-10 | 30.0 | 120.0 | 440.0 | < 230 | 490.0 | 65,5 | n.a. | < 25 | < 30 |
| Wit-B77 | 0-10 | 92.4 | 188.0 | < 138 | 8780.0 | < 25 | 187 | 185000 | < 25 | 5240.0 |

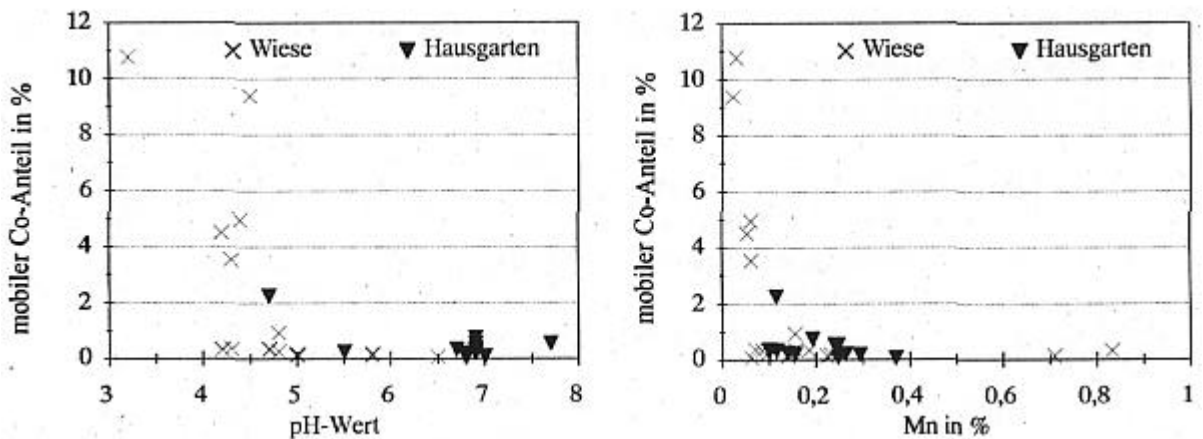
Für **Arsen** ergibt sich eine geringe Mobilität von max. 0,5 %. Ausschlaggebend für diese relativ geringe Mobilität sind die niedrigen pH-Werte in den Böden (Abb. 3.3.1). Zusätzlich hat die Eisenkonzentration einen wesentlichen Einfluß auf die Verfügbarkeit des Arsens (Abb. 3.3.1). Ab Eisenkonzentrationen < 1,5 % steigt die Mobilität des Arsens im Boden deutlich an.

Abbildung 3.3.1 Arsenmobilität in Abhängigkeit vom Boden pH-Wert (links oben) und Eisenkonzentration (rechts oben) in Böden aus dem Wittichener Tal



Bei **Kobalt** konnten bis zu 11 % der vorhandenen Gesamtgehalte des Bodens eluiert werden. Es zeigt sich, daß ab einem pH-Wert von 4,7 die Mobilität des Kobalts deutlich ansteigt (Abb. 3.3.2). Neben dem pH-Wert ist die Mobilität von Kobalt vom Mangangehalt im Boden abhängig. Bei Mangankonzentrationen von < 0,1 % und gleichzeitig niedrigem pH-Wert erfolgt ein starker Anstieg der Mobilität.

Abbildung 3.3.2 Kobaltmobilität in Abhängigkeit vom Boden pH-Wert (links oben) und Mangankonzentration (rechts oben) in Böden aus dem Wittichener Tal

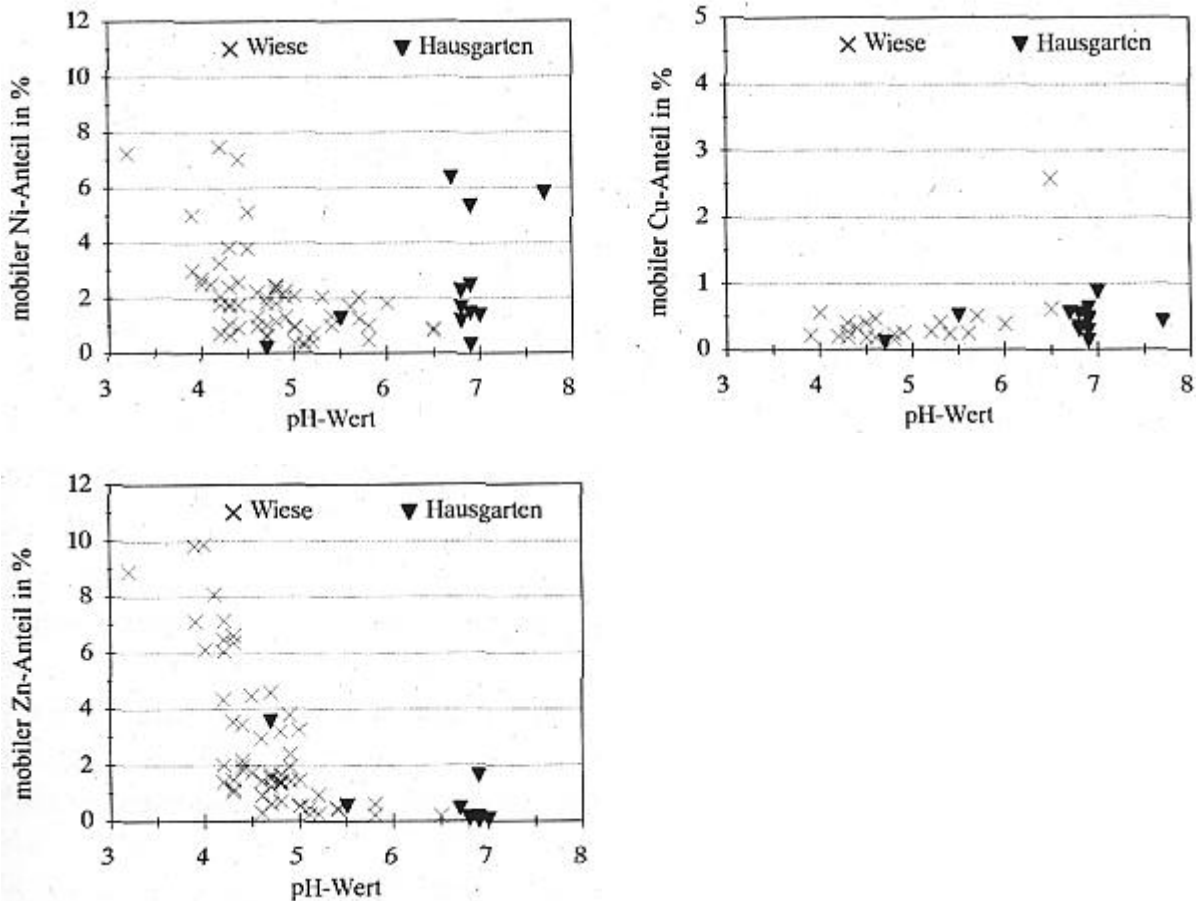


Nickel verhält sich ähnlich wie Kobalt. Zwei Proben überschreiten den Prüfwert ($P_{mob.}$) von 1200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Ni (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993) hinsichtlich der Schutzgüter Pflanzenwachstum und Bodensickerwasser. Anders als bei Kobalt nimmt die Verfügbarkeit mit steigendem pH-Wert nicht so deutlich ab. So liegen in Hausgärten mit einem pH-Wert von über 6,0 noch mobile Anteile von z.T. mehr als 3 % des im Boden vorhandenen Nickels vor (Abb. 3.3.3).

Kupfer ist nur wenig mobil (Abb. 3.3.3). Der nach SCHEFFER et al. 1992 beschriebene Anstieg der Mobilität des Kupfers bei pH-Werten < 5,0 wird nicht beobachtet. Es scheint vielmehr, daß bei höheren pH-Werten (pH-Werten > 6,5) der mobile Anteil zunimmt. Dies spricht gegen eine Fixierung des Kupfers an organische Substanz.

Bei **Zink** nimmt die Mobilität ab pH-Werten von 5,0 deutlich zu und erreicht maximal Werte von 10 % des Gesamtgehalts im Boden (Abb. 3.3.3).

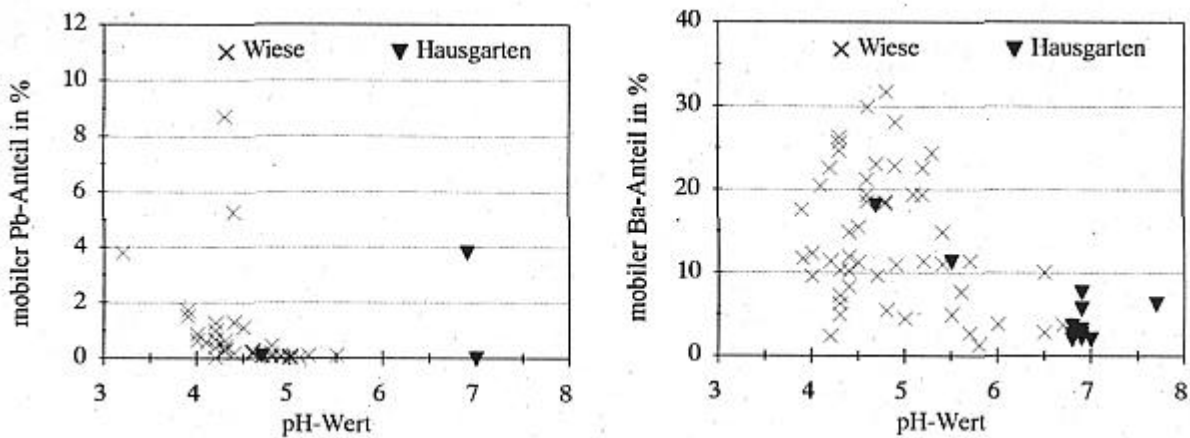
Abbildung 3.3.3 Mobiler Anteil der Schwermetalle Nickel (links oben), Kupfer (rechts oben) und Zink (links unten) in Abhängigkeit vom Boden pH-Wert in Böden aus dem Wittichener Tal



Der **Cadmium**-Gehalt liegt in den Böden des Wittichener Tals fast immer unter 2 mg/kg. Jedoch überschreiten mehr als 40 % der untersuchten Proben den Prüfwert von 25 µg/kg hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungspflanzen und Futterpflanzen. Eine Probe (Wit-B77, 187 µg/kg) liegt über dem Prüfwert von 100 µg/kg hinsichtlich des Schutzgutes Bodensickerwasser (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993). Hier macht sich besonders deutlich der niedrige Boden pH-Wert bemerkbar.

Die **Blei**-Mobilität nimmt ab pH-Werten < 4,5 zu (Abb. 3.3.4). Die maximale Konzentration wurde wiederum in der Probe Wit-B77 mit 5240 µg/kg gemessen. Bei einem Gesamtgehalt von lediglich 32 mg/kg im Boden berechnen sich 19,9 % mobiles Blei.

Abbildung 3.3.4 Mobiler Anteil von Blei (links oben) und von Barium (rechts oben) in Abhängigkeit vom Boden pH-Wert in Böden aus dem Wittichener Tal



3.3.2.5 Pflanzenproben

Da in einigen Hausgärten doch erhebliche Gesamtkonzentrationen an Arsen und Schwermetallen vorlagen, wurden in sechs Hausgärten (Karten 3.3.1, 3.3.3) die Kulturpflanzen Petersilie (P) und Mohrrübe (M) untersucht. Für die Bewertung der Ergebnisse wurden die Konzentrationen in den Pflanzen mit den Angaben von SAUERBECK 1989 und den auf Trockensubstanz umgerechneten ZEBS-Werten (Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien des Bundesgesundheitsamtes) verglichen ^{*)}.

Arsen, Kobalt und Nickel treten in den untersuchten Pflanzen kaum hervor. In drei Proben (Karte 3.3.6, Wit-P1(P), Wit-P2(P,M)) wird der Konzentrationsbereich von < 0,1 - 0,5 mg/kg TS, der von SAUERBECK 1989 für Kobalt als normale Konzentration in Pflanzen angeführt wird, um etwa 0,1 mg/kg überschritten.

Bei **Arsen** liegen alle gefundenen Konzentrationen im Normalbereich von < 0,1 - 1,5 mg/kg TS .

Nickel überschreitet nur in einer Probe (Wit-P2(M)) mit 5,36 mg/kg TS den von SAUERBECK 1989 angegebenen normalen Konzentrationsbereich für Pflanzen von < 0,1 - 5,0 mg/kg TS.

Für **Cadmium** finden sich normale Konzentrationen zwischen < 0,1 und 1,0 mg/kg TS. Zwei Proben (Wit-P2(M), Wit-P5(M)) weisen in Mohrrüben Cadmiumkonzentrationen in der Höhe des ZEBS-Richtwerts auf. Die Probe Wit-P2(M) überschreitet bei Blei mit 2,07 mg/kg TS den umgerechneten Richtwerte der ZEBS-Liste (2,00 mg/kg TS) geringfügig.

^{*)} Die Konzentrationen in Petersilie wurden nach der ZEBS-Liste mit dem Richtwert für Küchenkräuter beurteilt (Pb = 2,00 mg/kg, Cd = 0,1 mg/kg Frischsubstanz) und die Gehalte in der Mohrrüben mit dem Richtwert für Wurzelgemüse (Pb = 0,25 mg/kg, Cd = 0,1 mg/kg Frischsubstanz). Der Umrechnungsfaktor von der Frischsubstanz zur Trockensubstanz beträgt für Petersilie $F = 4$ und für Mohrrüben $F = 8$ (MANZ 1994). Daraus ergibt sich ein auf die Trockensubstanz bezogener Richtwert für Blei von 8,00 mg/kg in Petersilie und von 2,00 mg/kg in Mohrrüben. Für Cadmium ergibt sich nach Umrechnung ein Richtwert von 0,40 mg/kg TS für Petersilie und von 0,80 mg/kg TS für Mohrrüben.

3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Handlungsbedarf

Die **Halden** von Wittichen weisen hohe Arsen- und Schwermetallgehalte auf. Durch mittlere bis hohe pH-Werte in den Halden aber auch in den Vorflutern ist die Mobilität von Arsen sehr hoch, die der Schwermetalle mittel bis hoch. Es wird daher empfohlen, die Entnahme und Verwendung von Haldenmaterial zur Wegeschotterung zu untersagen um die weitere Verteilung belasteten Materials in die Fläche und damit das Entstehen neuer Bodenbelastungen zu vermeiden (§ 4 BodSchG). Mit dem eindringenden Niederschlagswasser werden aus den Halden erhebliche Mengen an Schwermetallen und Arsen herausgelöst. Sie gelangen letztlich in die Vorfluter und in die Aueböden der Tallagen. Um die Halden vor der Einwirkung des Niederschlags besser zu schützen, wäre eine Abdeckung, z.B. aus tonigem Bodenmaterial, erforderlich. Eine vollständige "Trockenlegung" der Halden ist damit jedoch nicht erreichbar (z.B. Hangzugswasser), darüber hinaus unterstreichen die offenen Halden als bevorzugte Ziele vieler Mineraliensammler die kulturelle Bedeutung dieses historischen Bergbaureviers. Vor diesem Hintergrund sowie aufgrund der Untersuchungsergebnisse, die auf das Vorliegen überwiegend lokaler oder punktueller Bodenbelastungen hinweisen, erscheinen aufwendige Maßnahmen zur Verminderung des Austrags von Schwermetallen und Arsen aus, bzw. zu ihrer Immobilisierung in den Halden kaum gerechtfertigt.

Die **Stollenwässer** bzw. **Haldenwässer** können, da ihre Schüttung geringe ist, über Eisenhydroxid geleitet werden. Durch die Hydroxidfällung des Arsens wird die Arsenkonzentration im Wasser verringert (SCHÄFER 1994) und eine einwandfreie Trinkwasserqualität auch des Stollenauslaufs und des Haldenabflusses gewährleistet.

Die **Böden** von Wittichen weisen stellenweise sehr hohe Gehalte an Arsen, Kobalt und Nickel auf, die auf den ehemaligen Bergbau zurückzuführen sind. Die Wiesenböden weisen größtenteils niedrige pH-Werte auf ($< 5,0$), so daß Schwermetalle leicht freigesetzt werden können, Arsen jedoch eher im Boden fixiert wird. Die Böden in den Hausgärten zeigen dagegen mittlere pH-Werte, so daß hier sowohl die Mobilität von Arsen als auch von Schwermetallen eingeschränkt ist.

In **Kulturpflanzen** wurden dementsprechend Arsen und Schwermetalle nur ganz vereinzelt in kritischen Konzentrationen nachgewiesen. Dennoch ist den Grundeigentümern zu empfehlen, auf die Einhaltung eines pH-Wertebereichs von 6 - 7 in Gartenböden zu achten, insbesondere dann, wenn der Garten zum Anbau von Gemüse für den Eigenverzehr genutzt wird. Dies kann durch Untersuchungen in regelmäßigen Abständen, ca. alle 2-3 Jahre und ggfls. durch Kalkgaben gewährleistet werden. Auf den Wiesenflächen des Wittichener Tals können, trotz meist niedriger Bodengehalte, erhöhte Schwermetallkonzentrationen im Aufwuchs auftreten. Die NH_4NO_3 -Extraktionen zeigen, daß insbesondere Schwermetalle wie Cd und Pb in den Wiesenböden nur schlecht fixiert werden und somit in den Aufwuchs, der als Futtermittel verwendet wird, gelangen können. Zur Quantifizierung sind weitere Untersuchungen, insbesondere Schwermetallbestimmungen des Aufwuchses, erforderlich.

3.3.4 Das Gelände der ehemaligen Farbmühle von Wittichen

Das Grundstück der ehemaligen Farbmühle von Wittichen liegt ca. 2 km nördlich von Schenkenzell im Tal der Kleinen Kinzig. Auf dem Gelände befindet sich heute der Bauhof von Schenkenzell. Von 1703 bis 1837 war hier die bedeutendste Farbmühle des Schwarzwalds in Betrieb. In ihr wurden neben den Kobalterzen aus Wittichener Gruben ab 1740 auch Kobalterze aus ganz Europa (Spanien, Frankreich, Schweden, etc.) verhüttet. Auf demselben Grundstück wurde dann in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine Silberschmelze errichtet. Danach befanden sich auf dem Gelände der Farbmühle noch eine Reihe von anderen Industriezweigen, wie z.B. eine Holzessig- und eine Textilfabrik.

Smalteherstellung: Rohstoffe für die Smalte waren Kobalterze, Quarz und Pottasche. Die Gesteinsbruchstücke wurden auf einer konusförmigen Walze zerkleinert und in Flammenöfen geröstet. Zum Abscheiden des Arseniks hatte man Giffänge eingebaut. Ein Zentner geröstetes Kobalterz wurde mit zweieinhalb Zentner Quarz und Pottasche geschmolzen. Dadurch erhielt man einen intensiv blaugefärbten Glasfluß, Kaliumkobaltsilikatglas. Die Glasgalle wurde abgeschöpft und in kaltes Wasser gegossen. Das erhaltene Glas wurde gepocht und auf der eigentlichen Farbmühle naß vermahlen. Am Grund der Schmelzöfen blieb die schwarze Speise aus Nickel, Eisen, Kupfer und Arsen zurück. Sie wurde vermutlich nahe der Farbmühle zusammen mit dem in den Giffängen aufgefangenen Arsen deponiert.

3.3.4.1 Untersuchungsumfang

Das Gelände der ehemaligen Farbmühle umfaßte mindestens eine Fläche von 10 000 m² auf beiden Seiten der Kleinen Kinzig. Auf dem Teil westlich der Kleinen Kinzig (Karte 3.3.7) steht heute der Bauhof von Schenkenzell, auf dem östlichen Ufergebiet befindet sich ein großes Wiesengelände, das zur Futtermittelgewinnung genutzt wird.

Beprobung/Analysen:

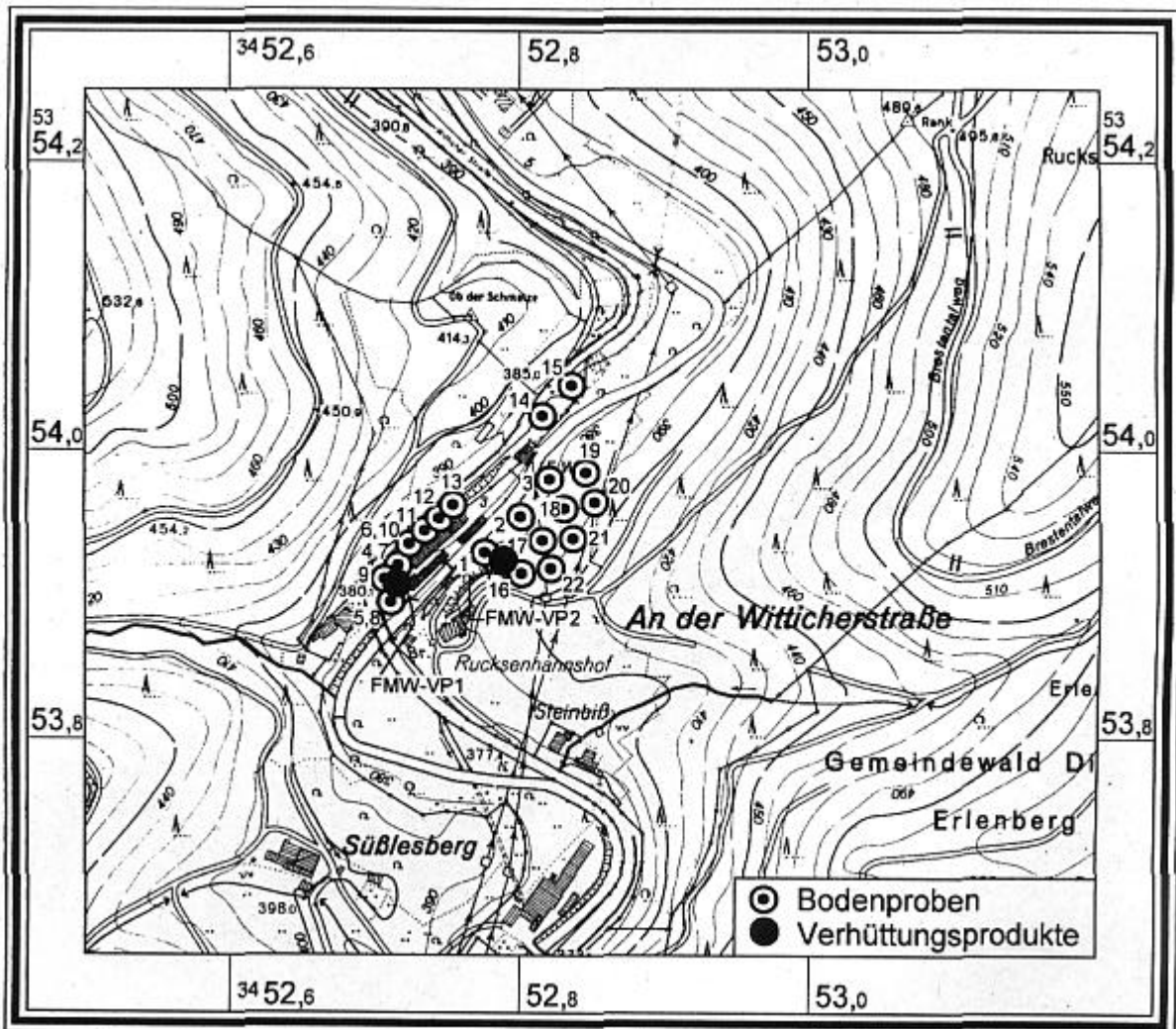
Wasserproben (1):

- Unterhalb der ehemaligen Farbmühle, vor dem Ortseingang Schenkenzell,

Bodenproben (22):

- Entlang eines Rasenstreifens zwischen dem Bauhof und der Straße, (Das Gelände des Bauhofs ist fast vollständig versiegelt und asphaltiert), Probenraster auf dem Wiesengelände (Abständen: 15 und 30 Meter), FMW-B7 - FMW-B10 sind Mischproben aus fünf Bohrstockeinstichen, die in kreuzförmiger Anordnung genommen wurden mit dem ersten Probenpunkt im Zentrum und 4 Probenpunkten in einem Meter Abstand zum ersten Punkt jeweils um 90° zueinander versetzt, In den Bodenproben FMW-B1 - FMW-B10 wurde die Mobilität des Arsens- und der Schwermetalle mit NH₄NO₃ untersucht.

Karte 3.3.7 Der Bereich der ehemaligen Silberschmelze und Farbmühle von Wittichen mit den Probennahmepunkten



3.3.4.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Wasserproben:

In der Wasserprobe am Ortseingang von Schenkenzell (Wit-W26) wurden keine erhöhten Schwermetall- oder Arsenkonzentrationen festgestellt. Dies war auch nicht zu erwarten, da ein Großteil des Wassers der Kleinen Kinzig zur Elektrizitätsgewinnung über Röhren am Gelände des heutigen Bauhofs vorbei geführt wird.

Bodenproben:

Die Böden auf dem Wiesengelände östlich der Kleinen Kinzig und nördlich des Bauhofs sind Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-IC. Die Böden im südlichen Bereich des Bauhofs sind als Kultosole oder Anthrosole anzusprechen. Ein auffallendes Merkmal dieser Bodenproben ist eine schwarze kohlige Schicht in etwa 40 cm Tiefe von 10-20 cm Mächtigkeit. Vermutlich tritt unter dem gesamten Bauhofgelände diese schwarze Schicht auf. Es handelt sich hierbei

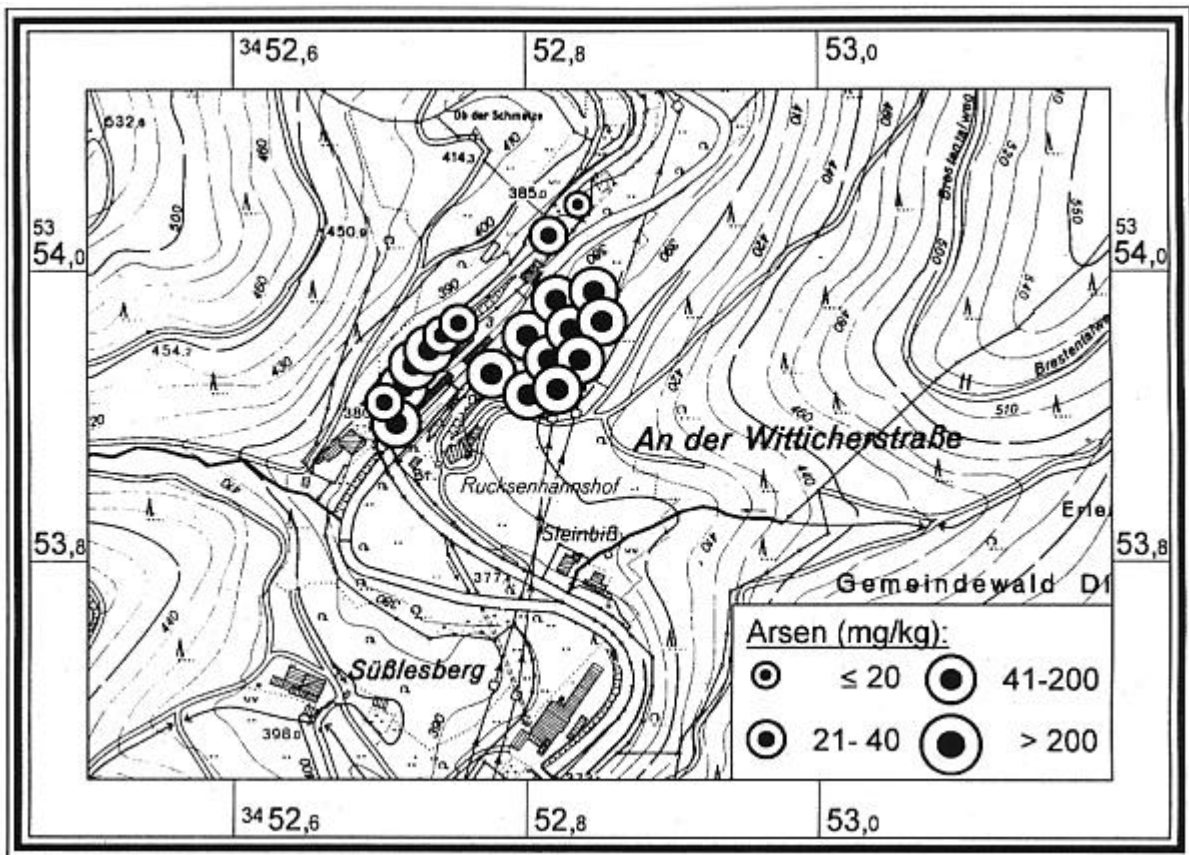
offensichtlich um Reste der Holzkohle, die für die Öfen und die Smaltheherstellung benötigt wurde.

| | |
|---|---|
| pH-Wert: | 4,4 - 7,9. Fast 80 % der Bodenproben weisen einen pH-Wert > 5,0 auf, |
| Tongehalt: | < 8,0 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | 0,2 - 6,4 Gew. %, Bodenproben mit erhöhten Schwermetallgehalten weisen auch erhöhte CaO-Konzentrationen auf, |
| Fe ₂ O ₃ -Gehalt: | < 1,0 - > 10 Gew. %, im Bereich des südlichen Bauhofs treten deutlich höhere Eisengehalte auf als nördlich des Bauhofs und auf dem Wiesengelände östlich der Kleinen Kinzig. Hier liegen die Konzentrationen überwiegend in einem engen Bereich von 2,0 bis 3,0 Gew. %, |
| MnO-Gehalt: | < 0,05 - 0,46 Gew. %, die hochkontaminierten Bodenproben FMW-B6 und FMW-B10 weisen Konzentrationen > 0,2 Gew. % auf. |

In fast allen Bodenproben treten in den unterschiedlichsten Tiefen erhöhte Gehalte an Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd, Sb, Sn und Pb auf. Dabei beschränken sich Bereiche erhöhter Konzentrationen im wesentlichen auf das Gebiet westlich der Kleinen Kinzig und den südlichsten Teil des Bauhofs. Die höchsten Schwermetall- und Arsengehalte wurden in der Probe FMW-B6 gemessen (Tab. 3.3.7). Die hier zusätzlich genommene Mischprobe (FMW-B10) erreicht zwar nicht die Gehalte der Probe Wit-B6, doch wird deutlich, daß an dieser Stelle in > 40 cm Tiefe stark kontaminiertes Material vorliegt. Auffällig ist, daß neben den typischen Elementen der Wittichener Paragenese auch Zinn, Antimon und Blei auftreten. Dies ist entweder auf die Verhüttung ausländischer Erze, oder auf Fabrikationsprozesse auf diesem Gelände nach Stilllegung der Farbmühle zurückzuführen.

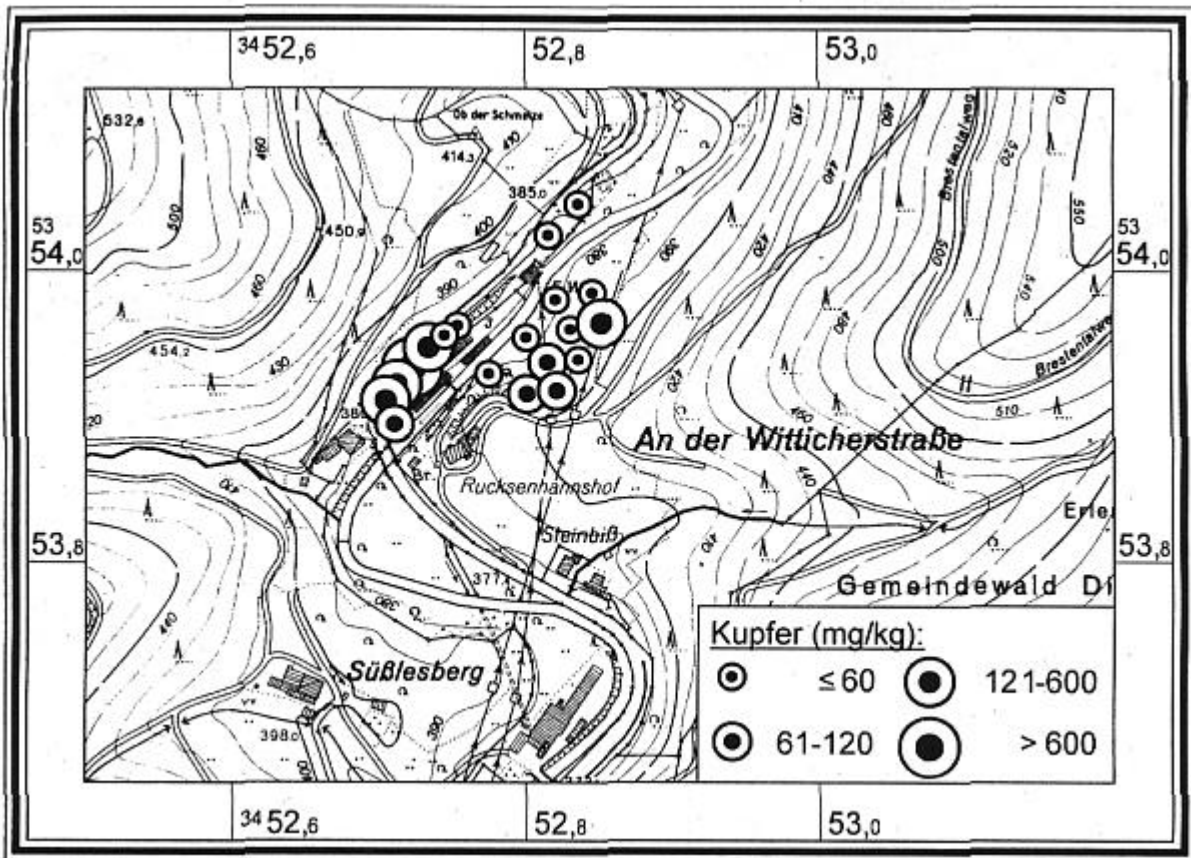
Die **Arsenwerte** übersteigen in den untersuchten Bodenproben die Gehalte der Böden des Wittichener Tals (Tab. 3.3.6). Dabei treten die höchsten Konzentrationen in der Tiefe > 40 cm auf, was durch die Zunahme des Medianwertes und das starke Ansteigen des Variationskoeffizients deutlich wird. Die hohen Konzentrationen sind nicht auf einen bestimmten Bereich des Geländes der ehemaligen Farbmühle begrenzt (Karte 3.3.8). Sie treten auch in den Randzonen des Wiesengeländes auf. Der höchste Gehalt im Boden des Wiesengelände betrug 153 mg/kg As (0-10 cm, FMW-B3).

Karte 3.3.8 Arsengehalte in Bodenproben der (Tiefe 0-10 cm) im Bereich der ehemaligen Farmmühle von Wittichen



Kupfer tritt nur punktuell in erhöhten Konzentrationen auf (Karte 3.3.9), so im südlichen Bereich des Bauhofes (FMW-B6 > 40 cm, 56000 mg/kg) und an zwei Stellen auf dem Wiesengelände (FMW-B20 0-10 cm, FMW-B16 > 40 cm, 125 mg/kg). Die Konzentrationen nehmen zur Tiefe ab (abnehmender Medianwert, Tab. 3.3.6). Die Kupferanreicherung kann mit der Mineralisation im Wittichener Gebiet erklärt werden. Die Kupfervererzungen im Gallenbachtal und in der Grube Johann am Burgfelsen am Ausgang des Wittichener Tals sind zwar nicht sehr bedeutend, doch kann es durch den Verhüttungsprozeß bei der Blaufarbenherstellung (siehe oben) zu einer Konzentration in den entsprechenden Rückständen kommen. Der Eintrag durch Fremderze spielte aber sicherlich auch eine Rolle.

Karte 3.3.9 Kupferkonzentrationen im Boden der Tiefe 0-10 cm im Bereich der ehemaligen Farmmühle von Wittichen



Blei stellt neben Arsen die Kontamination auf dem ehemaligen Gelände der Farmmühle dar (Tab. 3.3.11). Auch hier liegt der Kontaminationsschwerpunkt im Bereich des südlichen Bauhofs. Auf dem Wiesengelände treten dagegen erst ab 20 Meter Entfernung von der Kleinen Kinzig erhöhte Bleikonzentrationen auf (Karte 3.3.10). Die höchsten Bleigehalte finden sich auf der Westseite der Kleinen Kinzig in der Probe FMW-B6 (> 40 cm) mit 62 000 mg/kg und auf dem Wiesengelände in der Probe FMW-B1 (10-40 cm) mit 425 mg/kg. Die hohen Bleikonzentrationen sind nur schwer mit der Mineralisation im Wittichener Gebiet zu erklären, da Bleivererzungen größeren Ausmaßes dort nicht bekannt sind. Auch mit einer Anreicherung durch die Aufbereitung sind diese hohen Gehalte nicht erklärbar.

Karte 3.3.10 Bleigehalte in Bodenproben (Tiefe 0-10 cm) im Bereich der ehemaligen Farbmühle von Wittichen

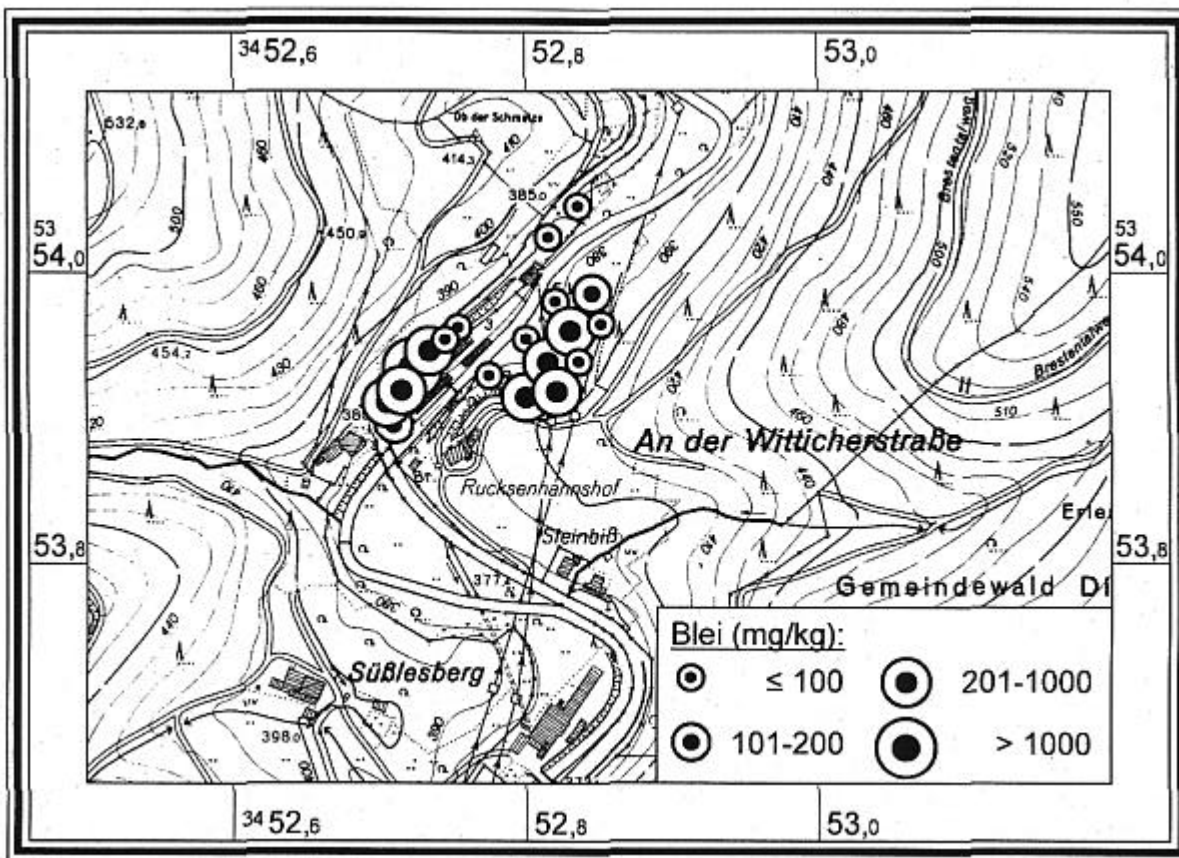


Tabelle 3.3.6 Statistische Parameter der Arsen-, Kupfer- und Bleigehalte in den Bodenproben der ehemaligen Farbmühle von Wittichen (Abgaben in mg/kg)

Arsen

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| n: | 22 | 22 | 22 |
| ∑: | 68 | 76 | 163 |
| Q ₂ : | 52 | 70 | 86 |
| Min: | 14 | 13 | 10 |
| Max: | 157 | 167 | 1380 |
| VK: | 60 | 58 | 174 |
| PW: | 20 | | |
| NG: | 2 – 20 | | |

Kupfer

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| n: | 22 | 22 | 22 |
| Σ: | 106 | 98 | 3100 |
| Q ₂ : | 61 | 67 | 48 |
| Min: | 16 | 15 | 15 |
| Max: | 610 | 525 | 56000 |
| VK: | 121 | 109 | 382 |
| PW: | 60 | | |
| NG: | 2 – 20 | | |

Blei:

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|----------------------|---------------------|
| n: | 22 | 22 | 22 |
| Σ: | 333 | 311 | 4920 |
| Q ₂ : | 124 | 130 | 94 |
| Min: | 35 | 29 | < 10 |
| Max: | 2820 | 2420 | 62000 |
| VK: | 177 | 159 | 308 |
| PW: | 100 | | |
| NG: | 2 - 60 | | |

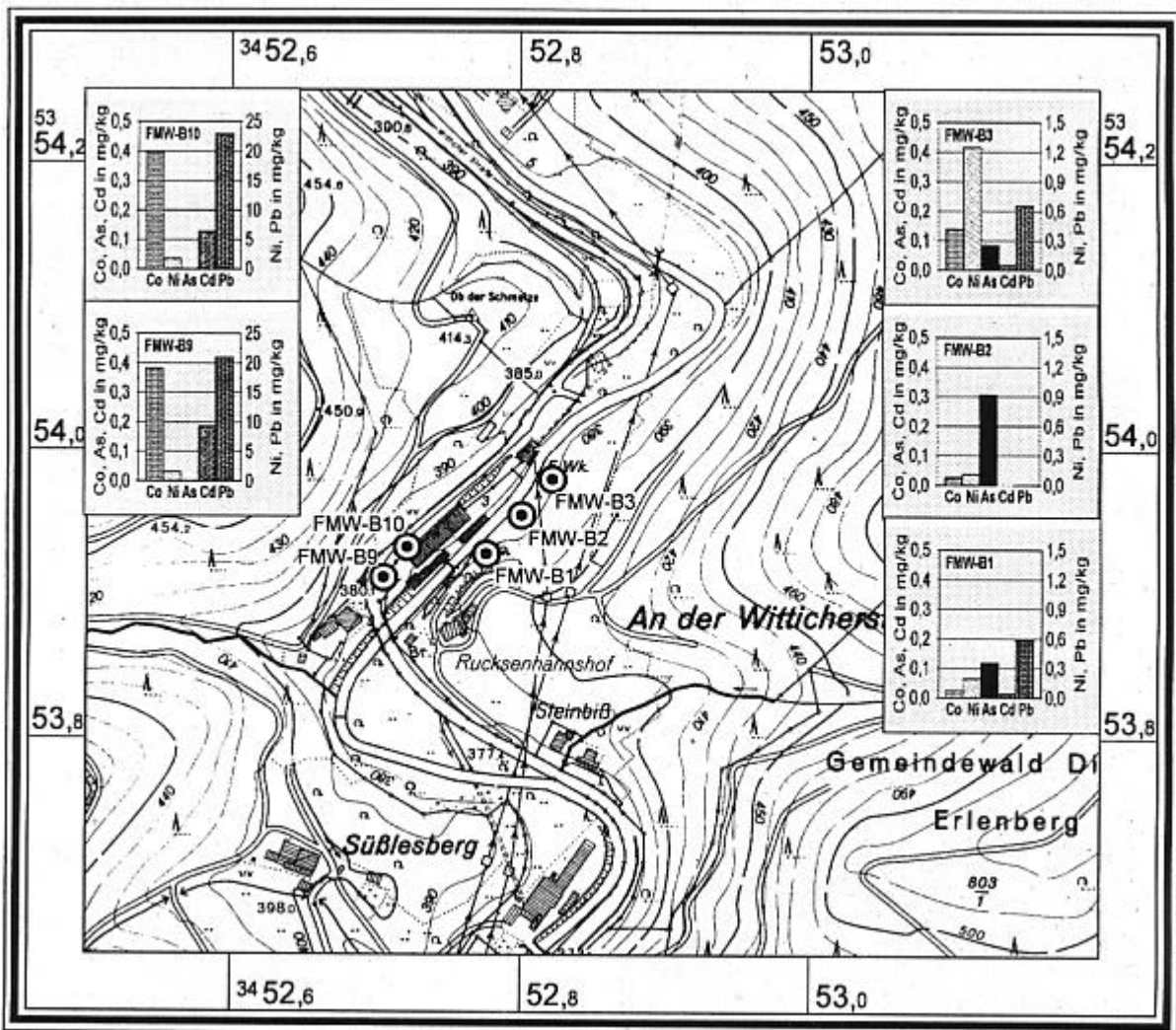
Tabelle 3.3.7 Elementgehalte, pH-Werte ausgewählter Bodenproben aus dem Bereich der ehemaligen Farbmühle Wittichen

| Probe | Tiefe (cm) | pH-Wert | Co (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Ag (mg/kg) | Cd (mg/kg) | Ba (mg/kg) | Pb (mg/kg) | U (mg/kg) |
|--------|------------|---------|------------|-------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|-----------|
| FMW-B5 | 0-10 | 5,3 | 21 | 49 | 107 | 271 | 52 | < 2 | < 2 | 681 | 295 | n.a. |
| FMW-B5 | 10-40 | 6 | 47 | 59 | 144 | 346 | 79 | 3 | 3,00 | 1730 | 458 | n.a. |
| FMW-B5 | > 40 | 5,7 | n.a. | 53 | 198 | 135 | 205 | 3, | < 2 | 1170 | 534 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| FMW-B6 | 0-10 | 4,7 | 40 | 56 | 277 | 249 | 99 | 7 | < 2 | 954 | 1100 | 6,00 |
| FMW-B6 | 10-40 | 4,7 | 48 | 67 | 204 | 180 | 136 | 5 | < 2 | 889 | 697 | 7,00 |
| FMW-B6 | > 40 | 5,3 | 315 | 1410 | 56500 | 83 | 1380 | 458 | < 2 | 2740 | 61800 | 11,00 |
| | | | | | | | | | | | | |
| FMW-B7 | 0-10 | 6,9 | n.a. | < 40 | 124 | 235 | 64 | 2 | < 2 | 857 | 299 | n.a. |
| FMW-B7 | 10-40 | 6,7 | n.a. | 41 | 111 | 119 | 76,00 | < 2 | < 2 | 758,0 0 | 401 | n.a. |
| FMW-B7 | > 40 | 6,7 | n.a. | 50 | 363 | 83 | 154 | 10 | < 2 | 1210 | 1750 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| FMW-B8 | 0-10 | 6,8 | n.a. | < 40 | 75 | 236 | 46 | < 2 | < 2 | 628 | 146 | n.a. |
| FMW-B8 | 10-40 | 6,8 | n.a. | < 40 | 69 | 128 | 41 | < 2 | < 2 | 590 | 96 | n.a. |
| FMW-B8 | > 40 | 6,6 | n.a. | < 40 | 34 | 101 | 102 | < 2 | < 2 | 595 | 56 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| FMW-B9 | 0-10 | 6,8 | n.a. | 71 | 213 | 182 | 38 | 3 | < 2 | 884 | 292 | n.a. |
| FMW-B9 | 10-40 | 7 | n.a. | 40 | 117 | 401 | 28 | < 2 | < 2 | 841 | 236 | n.a. |
| FMW-B9 | > 40 | 6,4 | n.a. | < 40 | 40 | 103 | 49 | < 2 | < 2 | 726 | 187 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|-----|------|-------------------|--------------------|------------|-------------------|-----|----------|-------|---------------------|------|
| FMW-B10 0-10 | | 5,3 | n.a. | 64 | <u>610</u> | 654 | 116 | 24 | < 2 | 1300 | <u>2820</u> | n.a. |
| FMW-B10 10-40 | | 5,4 | n.a. | 92 | 525 | 895 | 149 | 13 | 2 | 1660 | <u>2420</u> | n.a. |
| FMW-B10 > 40 | | 5,5 | n.a. | <u>561</u> | <u>9920</u> | 100 | <u>562</u> | 260 | < 2 | 4840 | <u>42000</u> | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| FMW-B11 0-10 | | 5,2 | n.a. | < 40 | 164 | 183 | 53 | 3 | < 2 | 682 | 480 | n.a. |
| FMW-B11 10-40 | | 5,6 | n.a. | < 40 | 194 | 142 | 115 | 2 | < 2 | 926 | 468 | n.a. |
| FMW-B11 > 40 | | 5,6 | n.a. | 111 | 226 | 68 | <u>217</u> | 4 | < 2 | 1.070 | 478 | n.a. |

Die Ergebnisse der **Ammoniumnitratextraktionen** zeigen fast an jedem Probenpunkt, ähnlich wie bei den Gesamtgehalten, erhöhte Schwermetall- oder Arsenkonzentrationen, die bei verschiedenen Elementen den Prüfwert (P_{mob}) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993) überschreiten. Die Mobilität ist wiederum deutlich vom Boden pH-Wert abhängig. Insgesamt sind die Ergebnisse mit den Daten aus dem Untersuchungsgebiet von Wittichen vergleichbar. Die prozentuale Verfügbarkeit liegt aber durch die im Mittel höheren pH-Werte auf dem Gelände der ehemaligen Farbmühle niedriger. In der Probe FMW-B9 (0-10 cm) wurden überdurchschnittliche Konzentrationen an Zn oder Pb extrahiert. So wurden bei einem Boden pH-Wert von 6,8 56 % des Gesamtgehalts (182 mg/kg Zn) extrahiert. In Karte 3.3.11 sind einige Ergebnisse der Ammoniumnitratextraktionen dargestellt.

Karte 3.3.11 Schwermetall- und Arsengehalte in Ammoniumnitratextrakten unterschiedlich kontaminierter Bodenproben (0-10 cm Tiefe, Angaben mg/kg)



Verhüttungsprodukte:

Im südlichen Bereich des Bauhofs findet man an der Oberfläche Schlacken (Karte 3.3.7, FMW-VP1). Sie sind schwarz, sehr leicht und besitzen nicht aufgeschmolzene Rückstände. Die Schlacke weist jedoch niedrige Schwermetall- und Arsenkonzentrationen auf. Aufgrund dieser chemischen Zusammensetzung ist es unwahrscheinlich, daß diese Schlacke aus der Zeit der Produktion der Wittichener Schmelze oder Farbmühle stammt. Die Rückstände wurden wahrscheinlich zu einem späteren Zeitpunkt dort abgelagert. Dafür spricht auch, daß die Schlacken an der Oberfläche liegen, die höchsten Schwermetall- und Arsenkontaminationen aber in der > 40 cm Tiefe auftreten. Auf dem Wiesengelände wurden in Bohrstockproben Smaltebruchstücke gefunden. Diese Funde belegen, neben den hohen Arsen- und Schwermetallkonzentrationen, daß das Wiesengelände zum Gelände der Farbmühle gehörte.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Die Ergebnisse der Untersuchung verdeutlichen, daß es sich bei der Kontamination auf dem Gelände um Verunreinigungen infolge der Aufbereitung und Verhüttung von Erzen handelt (industrielle Rohstoffverarbeitung). Die Kontamination durch anorganische Schadstoffe ist flächenhaft auf beiden Seiten der Kleinen Kinzig vorhanden. Die Mobilität der Schwermetalle und des Arsens ist in den schwach sauren Böden vergleichsweise gering, jedoch können, durch die punktuell hohen Gesamtgehalte an Kupfer und Blei, die künftig mobilisierbaren Anteile dieser Elemente ebenfalls sehr hoch sein. Die hohen Kupfer- und Bleikonzentrationen im südlichen Bereich des Bauhofs sind mit der Mineralisation des Wittichener Gebietes nicht zu erklären. Sie weisen vielmehr auf die Verhüttung von Fremderzen bzw. auf den Umgang mit anderen Stoffen auf dem Gelände nach Stilllegung der Farbmühle hin.

Bei der geplanten Neubebauung des Bauhofgeländes werden voraussichtlich größere Mengen an Erdaushub entstehen. Nach den vorliegenden Daten ist davon auszugehen, daß ein größerer Anteil dieses Aushubs hohe Kontaminationen durch Kupfer, Arsen und Blei aufweist. Untersuchungen des Aushubs auf diese Stoffe und die Prüfung entsprechender Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten sind daher unbedingt erforderlich.

3.4 Der Bergbau im Heubachtal

Das etwa 5 km lange N-S-streichende Heubachtal mündet am westlichen Stadtausgang von Schiltach (Karte 3.1) in das Kinzigtal. Die Erzgänge des Heubachtals sind an den Triberger Granit gebunden und erstrecken sich zum Teil bis in das Deckgebirge. Dieses besteht aus geringmächtigen Schichten des Rotliegenden und Gesteinen des Buntsandsteins. Die Erzgänge streichen NW - SE und setzen sich aus Schwespatgängen mit Co-Ni-Ag-Bi-U-Erzen und Cu-Bi-Erzen zusammen. Sie gehören damit zur gleichen Erzparagenese wie die Gänge im Wittichener Tal. Der Bergbau im Heubachtal begann in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts zuerst auf dem Katharinagang, im Trillengrund dann wurden im Jahr 1837 die reichen Erzmittel der Grube Anton erreicht, die das Heubachtal bekannt machten. 1865 der gesamten Bergbau im Heubachtal stillgelegt.

3.4.1 Untersuchungsumfang

Halden und offene Stollenmundlöcher bilden die Reste des alten Bergbaus. In den ausgedehnten Stollenanlagen der Grube Anton befindet sich seit den siebziger Jahren eine seismologische Forschungsstation der Universitäten Stuttgart und Karlsruhe zur Messung der Erdzeiten.

Beprobung/Analysen:

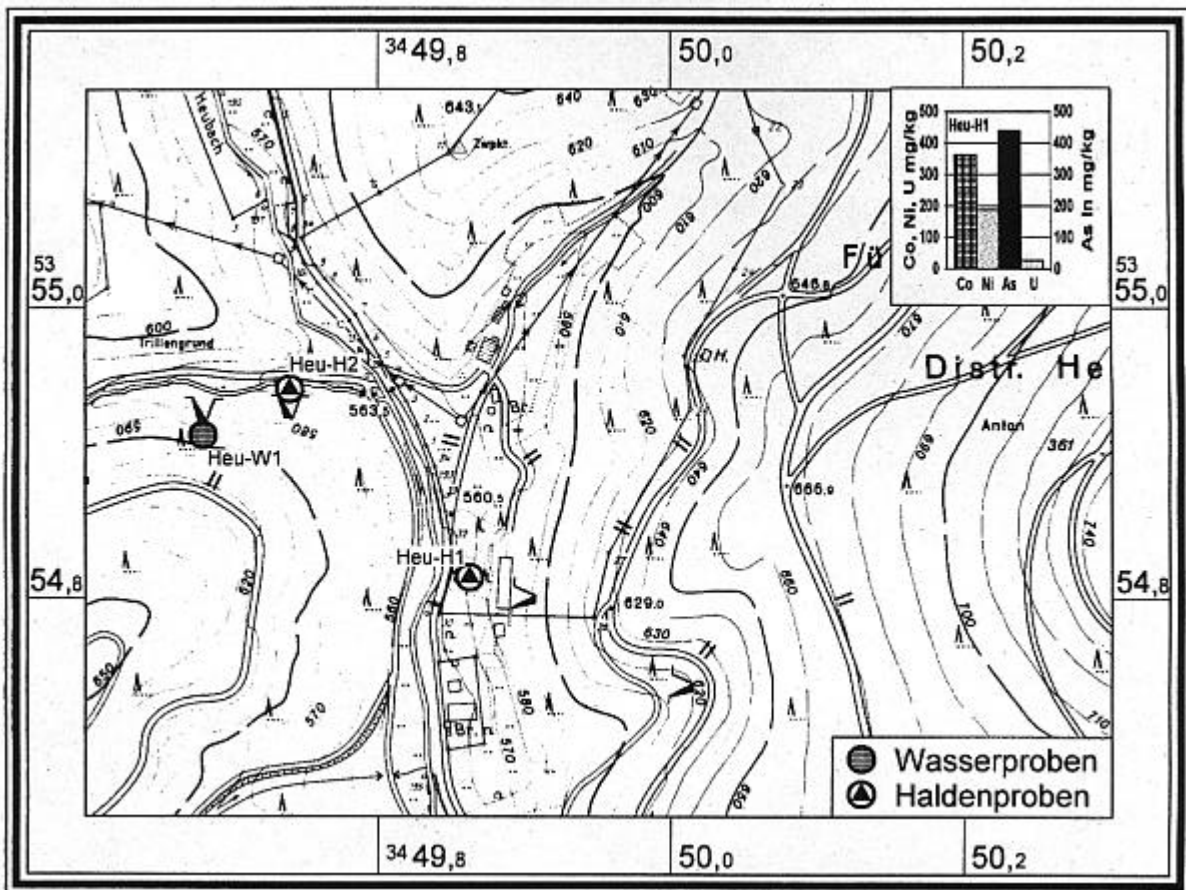
Haldenproben (2):

- Mischproben, Katharina-Stollen und Unterer Anton-Stollen. Die Halde des Unteren Anton-Stollens wurde vermessen und die Absolutgehalte abgeschätzt, Extrakt- bzw. Eluatanalysen,

Wasserproben (1):

- Heubach im unteren Talabschnitt.

Karte 3.4.1 Übersichtskarte des mittleren Heubachtals mit der Grube Anton rechts und der Grube Katharina links des Heubachs



3.4.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Haldenproben:

Die Halde der Grube Katharina enthält geringfügig erhöhte Kupfer- (115 mg/kg) und Arsenkonzentrationen (73 mg/kg). Die Halde der Grube Anton weist hohe Arsen- (440 mg/kg), Kobalt- (362 mg/kg) und Nickelkonzentrationen (188 mg/kg) sowie gering erhöhte Konzentrationen an Kupfer (102 mg/kg) und Uran (26 mg/kg) auf. Mit abnehmender Korngröße nimmt der Schwermetall- und Arsengehalt zu. Für die insgesamt ca. 300.000 t Haldenmaterial errechnen sich folgende Absolutgehalte:

Co = 11 t, Ni = 190 t, Cu = 3 t, As = 13 t, U = 0,8 t, Ba = 16.000 t.

Extrakt- bzw. Eluatanalysen des Materials der Antonhalde ergaben ein ähnliches Bild wie in Wittichen. Mit NH_4NO_3 wurden höhere Schwermetallanteile (Co = 38,2 mg/kg, Ni = 19,9 mg/kg,

As = 0,75 mg/kg), mit monodestilliertem Wasser mehr Arsen extrahiert (Co = 0,51 mg/kg, Ni = 0,27 mg/kg, As = 1,97 mg/kg). Die Konzentrationen liegen bei den Schwermetallen Kobalt und Nickel noch über den Gehalten der Schmiedestollenhalde von Wittichen. Dies kann auf den niedrigeren pH-Wert von 5,2 des Materials der Antonhalde zurückgeführt werden (Schmiedestollenhalde: pH 6,4).

Wasserproben:

Die Schwermetall- und Arsenkonzentrationen im Heubach liegen alle unterhalb der TrinkwV 1990. Der Arsengehalt zeigt mit 4,94 µg/l zwar den Einfluß des Bergbaus an, erreicht aber nicht die Konzentrationen, die im Klosterbach bei Wittichen gemessen wurden. Dies ist bedingt durch den fehlenden direkten Kontakt der Antonhalde zum Heubach. Zudem ist ein Teil der Haldenoberfläche durch die darauf errichtete seismologische Forschungsstation versiegelt.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf: Die Schwermetall- und Arsenkonzentrationen im Vorfluter Heubach liegen alle im unkritischen Bereich. Stollenwässer mit hohen Konzentrationen wurden nicht gefunden. Die Antonhalde weist als einzige Halde erhebliche Arsen- und Schwermetallkonzentrationen sowie eine hohe Mobilität dieser Elemente auf. Durch die fehlende direkte Verbindung der Halde zum Vorfluter und die teilweise Abdeckung ist der Austrag von Schwermetallen und Arsen aus der Halde offensichtlich gering. Aktuell wird hier kein weiterer Handlungsbedarf gesehen.

3.5 Das Gebiet zwischen Schiltach und Schenkenzell

Zwischen Schiltach und Schenkenzell (Karte 3.1) tritt eine Anzahl kleiner Vererzungen auf. Sie streichen fast alle von NW nach SE. Die Mineralisation besteht aus Schwespat- und Flußspatgängen mit vereinzelt Spuren von Kupfererzen. Der Bergbau in diesem Gebiet begann im 18. Jahrhundert. Man hoffte auf reiche Erzfunde, da die Gruben zwischen Schiltach und Schenkenzell in der Fortsetzung der Gänge von Wittichen liegen.

3.5.1 Untersuchungsumfang

Durch mehrmalige Geländebegehungen in diesem Gebiet wurden die Gegebenheiten vor Ort begutachtet. Eine Probenahme erschien aufgrund der Begehungen nicht erforderlich.

3.5.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Die Bestandsaufnahme der ehemaligen Bergbaugruben im Gebiet zwischen Schiltach und Schenkenzell hat ergeben, daß von den Gruben und den vorhandenen Halden aufgrund ihrer Lage im Wald sowie durch geringe Erzführung der abgebauten Gänge keine Gefährdungen für die Umwelt ausgehen.

3.6 Die Grube Friedrich - Christian und das Gebiet zwischen Schapbach und Bad - Rippoldsau

Das Untersuchungsgebiet wird unterteilt in die Bereiche von Schapbach und Wildschapbach im Südwesten und von BadRippoldsau im Nordosten. Die Erzgänge bestehen aus Quarz als vorherrschende Gangart, Schwerspat, Flußspat, Blei und Kupfererzen. Die wichtigsten Erze sind Bleiglanz (PbS) sowie Kupferkies (CuFeS_2) und ihre Oxidationsprodukte. Die Grube FriedrichChristian liegt bei Wildschapbach etwa 10 km nördlich von Wolfach. Sie baute auf einem Teilstück des ca. sechs Kilometer langen EW streichenden FriedrichChristianHerrensegenGang im Hirschbachtal bis zur Einmündung in das Wildschapbachtal. Der östlich von Wildschapbach anschließende Teil des Ganges wurde mit der Grube Herrensegen erschlossen. Der Bergbau auf dem FriedrichChristianGang reicht bis in das Mittelalter zurück (METZ et al. 1957). Bis ins 18. Jahrhundert hinein wurden hauptsächlich Silbererze abgebaut. Mitte des 18. Jahrhunderts verlagerte sich der Schwerpunkt des Abbaus auf die Blei und Kupfererze. In dieser Zeit wurde auch eine große Poche mit Erzwäsche errichtet. Im 19. Jahrhundert wurde in Oberwolfach unter dem Namen "MariannenWerke" eine Poche, Stoßherdwäsche, Schwerspatmühle und eine Schmelzhütte in Betrieb genommen. Nach dem 2. Weltkrieg von 1946 bis 1955 begann die letzte Betriebsperiode der Grube. Ab 1953 wurde der Betrieb auf Flußspatförderung umgestellt.

3.6.1 Untersuchungsumfang

Neben Halden und Pingen im Gangstreichen sind am Ausgang des Hirschbachtals noch Reste der letzten Aufbereitungsanlagen zu sehen.

Beprobung/Analysen :

Haldenproben (7):

- Mischproben, Bohrstockproben, am Haldenmaterial FC-H2 wurden Extrakt- bzw. Eluatanalysen durchgeführt,

Wasserproben (8):

- Hirschbachtal, Wildschapbachtal, Stollen, Quellen,

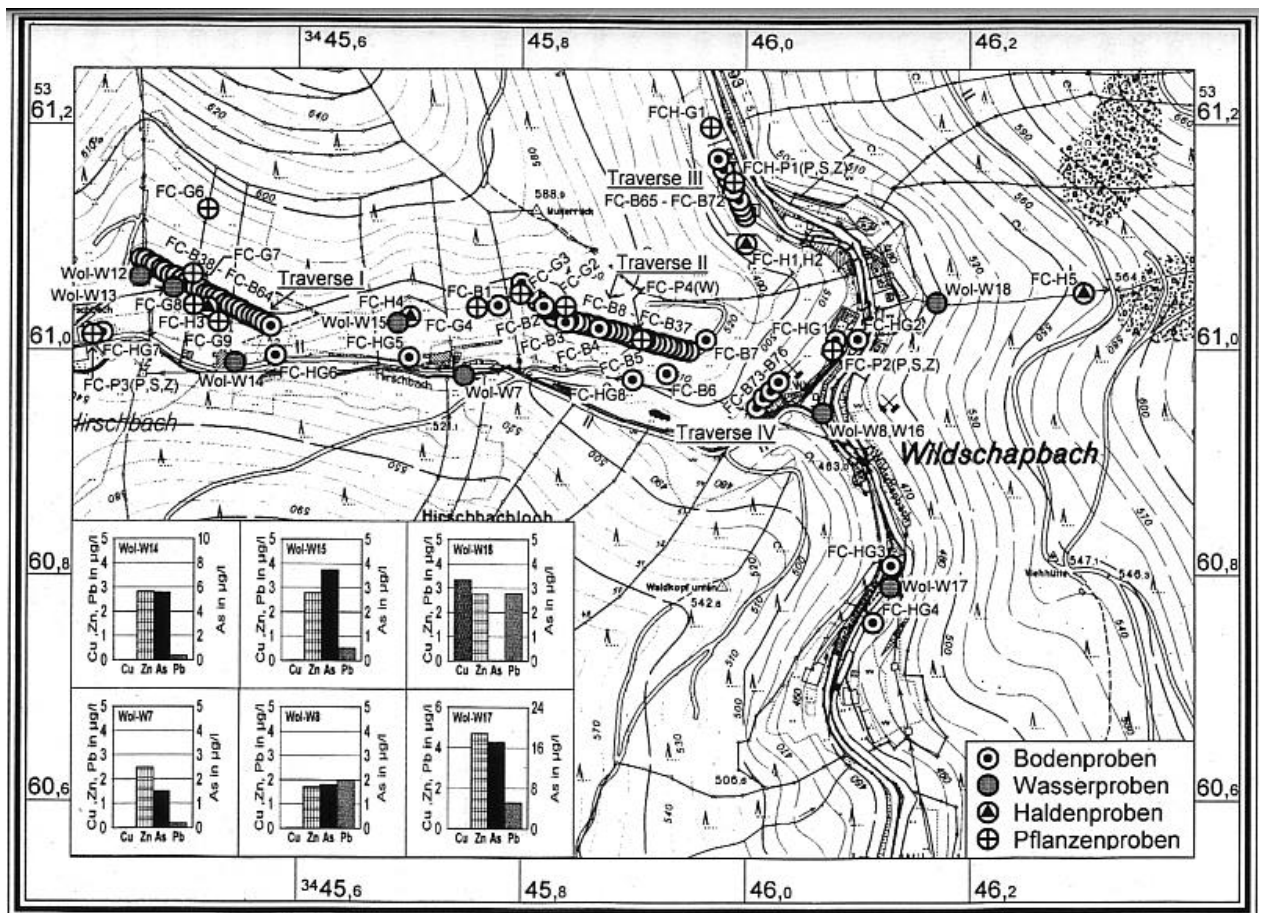
Bodenproben (88):

- Traversen mit einem sehr engen Probenpunkteabstand (5 - 10 Metern), die Traversen I (FC-B38 - FC -B64) und II (FC-B8 - FC-B37), liegen am nördlichen Hang des Hirschbachtals (Karte 3.6.1); diese Böden werden ackerbaulich und zur Grünlandwirtschaft genutzt, die Traversen III (FC-B65 - FC-B72) und IV (FC-B73 - FC-B76) liegen am westlichen Ufer des Wildschapbach und erfassen zwei Hausgärten (Karte 3.6.1), Einzelproben von weiteren Flächen (siehe Karten), NH_4NO_3 - Extraktionen von Böden verschiedener Nutzung (Gründlandwirtschaft, Ackerbau, Hausgärten),

Pflanzenproben (11):

- Glatthafer, Weizen, Petersilie, Kopfsalat, Zwiebel.

Karte 3.6.1 Übersichtskarte des östlichen Hirschbachtals mit den Probennahmepunkten sowie Schwermetall und Arsenkonzentrationen in Stollen, Quellen und Bächen



3.6.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Haldenproben:

Für vier Halden sind die Konzentrationen von Cu, Zn, As und Pb in Grafiken in der Karte 3.6.4 dargestellt. Die Halde FCH2 ist die größte, noch unbedeckte Halde im Gebiet der Grube FriedrichChristian. Sie weist hohe Blei(10800 mg/kg), Kupfer(667 mg/kg) und Arsenkonzentrationen (287 mg/kg) auf. Diese Konzentrationen lassen sich dadurch erklären, daß im Jahr 1953, zwei Jahre vor der endgültigen Stilllegung der Grube, der Betrieb auf Flußspatförderung umgestellt wurde. So wurden in den letzten beiden Betriebsjahren die Bleierze auf Halden abgelagert. Eine Auswertung der Schwermetall und Arsenkonzentrationen in Abhängigkeit von der Korngröße ergab, daß Cu, Pb, Ag und Sb nicht mit abnehmender Korngröße zunehmen, sondern weitgehend in gleichen Konzentrationen in der Grob- und in der Feinfraktion vorliegen. Aus ca. 7.500 t Haldenmaterial lassen sich folgende Absolutgehalte abschätzen:

Cu = 5 t, Zn = 1 t, As = 2 t, Pb = 81 t, Sb = 0,2 t, Ba = 13 t.

Extrakt- bzw. Eluatanalysen des Materials der Halde FCH2 ergaben ein ähnliches Bild wie bei der Untersuchung der Halden aus Wittichen. Mit NH_4NO_3 wurden mehr Schwermetalle

extrahiert (Cu = 1,08 mg/kg, Zn = 0,38 mg/kg, Pb = 11,1 mg/kg) als im Eluat mit monodestilliertem Wasser (Cu = 0,06 mg/kg, Zn = 0,06 mg/kg, Pb = 0,10 mg/kg). Die Halde FCH3 weist mit der Tiefe zunehmende Cu-Gehalte auf (805 mg/kg, > 40 cm Tiefe). Die Pb-Konzentrationen liegen bei 869 mg/kg (1040 cm Tiefe). Die Halde FCH4 zeigt nur geringfügig erhöhte, mit der Tiefe abnehmende Schwermetallkonzentrationen (Pb = 118 mg/kg, 010 cm Tiefe). In dieser Halde liegt eine Wasserfassung (WoW15), deren Arsen (3,73 µg/l) und Urankonzentrationen (1,8 µg/l) gegenüber dem geogenen Hintergrund geringfügig erhöht sind. Die Probe FCH5 von der Halde am unteren Kupferberg östlichen des Wildschapbach weist sehr hohe Kupfer (1510 mg/kg) und Bleikonzentrationen (6190 mg/kg) auf.

Wasserproben:

Einige Probenpunkte mit den Konzentrationen von Cu, Zn, As und Pb sind in der Karte 3.6.1 dargestellt. Um den geogenen Hintergrund festzustellen wurde der Hirschbach im Oberlauf beprobt (WoW11). Zu den charakteristischen Merkmalen des Wassers zählen, die niedrige Leitfähigkeit (39,0 µS/cm) und ein relativ niedriger pH-Wert von 5,7. Im Verlauf des Hirschbachs (WoW7) bis zur Einmündung in den Wildschapbach (WoW8, WoW16) nehmen die Leitfähigkeit, der pH-Wert, der Arsengehalt und die Schwermetallkonzentrationen geringfügig zu, d.h. der Einfluß der Vererzung bzw. des ehemaligen Bergbaus ist erkennbar. Die Quellen (WoW12, WoW13, WoW15) zeigen zum Teil geringfügig erhöhte Arsengehalte mit einem Maximalwert von 5,60 µg/l (WoW13). Von den untersuchten Stollenwässern enthält nur das Stollenwasser des Tiefen Stollens (WoW17) deutlich erhöhte Arsenkonzentrationen (17,2 µg/l) und gering erhöhte Schwermetallgehalte. Die Grenzwerte der TrinkwV 1990 werden in keiner der untersuchten Wasserproben überschritten. Der Arsengehalt übersteigt den Grenzwert der ab 1996 gültigen TrinkwV von 10 µg/l.

Bodenproben:

Die Böden im Hirschbachtal sind typische Braunerden. Zwei Hauptnutzungsarten können unterschieden werden: 1.) Böden unter Grünlandwirtschaft (Horizontierung AhBvCC) und 2.) Böden unter ackerbaulicher Nutzung (Horizontierung ApBvCC). Daneben treten Kultsole (Halden mit Bodenmaterial abgedeckt) und Hortisole (Hausgärten) auf.

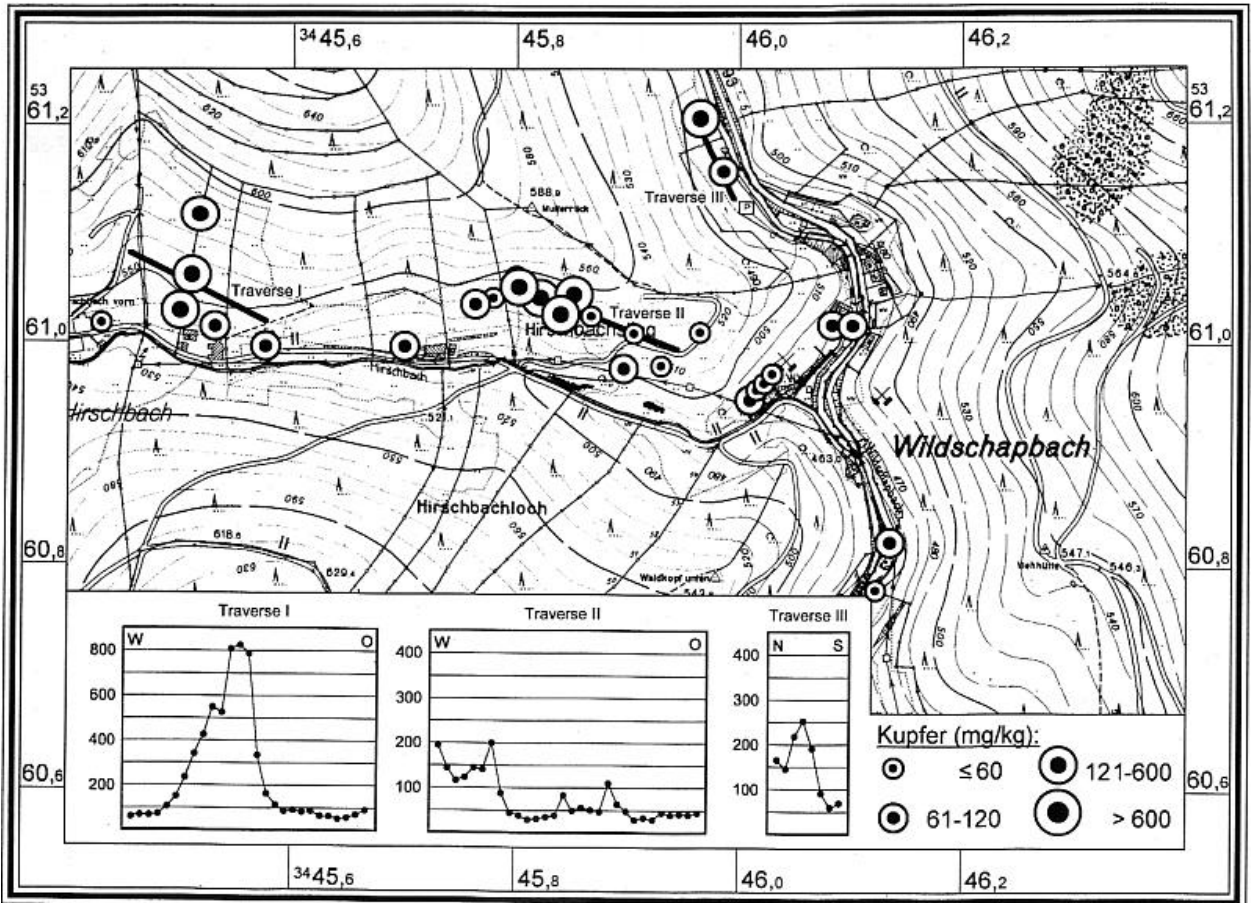
| | |
|---------------|---|
| pH-Wert: | 4,2 - 6,9. Die pH - Werte der Braunerden liegen durchschnittlich um 1,0 - 2,0 pH - Einheiten tiefer als die der Hortisole. Die Böden unter ackerbaulicher Nutzung zeigen zur Tiefe eine schwache Zunahme der pH - Werte. Dies ist auf die intensivere Düngung und Kalkung des Bodens zurückzuführen (LEHMANN 1993). |
| Tongehalt: | < 8 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO - Gehalt: | 2,25 Gew. % (50 % der Proben < 0,71 Gew. %), Böden unter überwiegend ackerbaulicher Nutzung (Traverse II): 3,01 Gew. % (50 % der Proben > 1,78 Gew. %), Böden Traverse I: 1,69 Gew. % (50 % der Proben < 0,71 Gew. %), Hausgärten: 2,78 Gew. % (50 % der Proben > 2,08 Gew. %), C _{org.} Oberböden der Wiesen und Ackerböden: 0,9 4,8 %, Hausgärten: 7,1 10,6 %. Der C _{org.} -Gehalt nimmt zur Tiefe hin bis auf < 0,1 % ab. |

| | |
|--|---|
| Fe ₂ O ₃ - Gehalt: | 0,40 Gew.% 15,9 Gew.% (68 % der Proben 4,00 - 8,00 Gew. %), |
| MnO - Gehalt: | 0,21 Gew. %. In Hausgärten: 0,26 Gew. %. |

Nickel tritt entlang der Traversen punktuell in erhöhten Konzentrationen auf (max. 167 mg/kg, FC-B49, > 40 cm Tiefe). Die Nickelgehalte im Oberboden (010 cm Tiefe) variieren im Bereich von 50 100 mg/kg. Zur Tiefe nehmen die Konzentrationen zu. In Tabelle 3.6.1 wird dies durch den zunehmenden Mittelwert und Medianwert deutlich. Entlang der Traverse I beträgt der durchschnittliche Nickelgehalt im Boden 65 mg/kg. 50 % der Proben liegen mit ihren Konzentrationen über dem Prüfwert (Pges = 50 mg/kg) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser. In den Böden der untersuchten Hausgärten liegen die Nickelgehalte bei < 40 mg/kg. Da nickelführende Minerale in der Paragenese des FriedrichChristianHerrensegenGanges nicht bekannt sind, bleiben die erhöhten Nickelkonzentrationen zur Zeit ungeklärt.

Kupfer wurde über Jahrhunderte als Kupferkies (CuFeS₂) und dessen Oxidationsprodukte abgebaut. Die maximale Konzentration wird in der Probe FC-B49 (1040 cm Tiefe) mit 886 mg/kg angetroffen wobei die Kupferkonzentrationen generell zur Tiefe abnehmen (Tab. 3.6.1). In der räumlichen Verteilung zeigen sich deutliche Unterschiede der Kupfergehalte im Boden (Karte 3.6.2). Entlang der Traverse I treten die höchsten Konzentrationen auf (durchschnittlich 205 mg/kg, 50 % der Proben > 77 mg/kg), sie liegen deutlich über dem Prüfwert (Pges = 60 mg/kg) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser. Weitere hohe Kupfergehalte beschränken sich auf Böden mit erheblichen Anteilen von Haldenmaterial, wie z.B. am westlichen Ende der Traverse II und auf der Traverse III. Die Hausgärten weisen durchschnittlich 78 mg/kg Kupfer im Boden auf. Auch hier überschreiten annähernd 50 % der Proben den Prüfwert (Pges = 60 mg/kg).

Karte 3.6.2 Kupfergehalte der Bodenproben (0- 10 cm Tiefe) aus dem Hirschbachtal und dem Wildschapbachtal. Die Kupferwerte (mg/kg) der Einzelproben aus den Traversen I - III sind graphisch dargestellt



Zink, das wie Nickel nicht als Primärerz in der Mineralparagenese des Ganges vertreten ist, zeigt nur mäßig erhöhte Konzentrationen im Boden (Tab. 3.6.1). Die Böden der Hausgärten weisen mit einem Mittelwert von 216 mg/kg Zink die höchsten Gehalte auf, wobei 50 % aller Proben über dem Prüfwert ($P_{ges} = 150$ mg/kg) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser liegen. Die Zinkgehalte sind vermutlich auf den Eintrag von Düngemitteln "Bodenverbesserungsmittel" zurückzuführen.

Blei wurde als Bleiglanz (PbS) und als dessen Sekundärminerale in der Grube abgebaut. Die höchsten Konzentrationen treten entlang der Traverse III auf (durchschnittlich 2100 mg/kg, 50 % aller Proben > 430 mg/kg). Diese Traverse liegt unterhalb der größten noch unbedeckten Halde (Karte 3.6.3). Im Vergleich dieser Bodenwerte mit Konzentrationen der Halde wird deutlich, daß die Traverse und der dabei erfaßte Hausgarten auf einer überdeckten Haldenzunge liegen. Der zweite Belastungsschwerpunkt befindet sich im Bereich der Traverse II (durchschnittlichen 1220 mg/kg, 50 % aller Proben > 140 mg/kg). Zwei Belastungsmaxima sind festzustellen: im Westen liegt im Untergrund eine Halde vor, im Osten wurden Bergschäden mit Haldenmaterial verfüllt (Karte 3.6.3). Die Traverse II führt zum Teil über ackerbaulich genutzte Flächen. Die Ausdehnung der kontaminierten Äcker schätzt LEHMANN 1993 auf ca. 700 m². Der nordöstliche oberhalb der offenen Halde FCH2 gelegene Acker wurde jedoch nur teilweise untersucht. Zur genaueren Abgrenzung der tatsächlich belasteten

Fläche sind hier weitere Untersuchungen erforderlich. Die Fläche mit kontaminierten Böden unter Gründlandwirtschaft ist voraussichtlich größer als die belastete Ackerfläche. Die Bodenproben der Traverse I zeigen deutlich niedrigere Bleikonzentrationen als die der anderen Traversen (durchschnittlich 83 mg/kg, 50 % aller Proben < 40 mg/kg). Die Traverse IV diente der Erfassung der Kontamination des Bodens im Gebiet der alten Aufbereitungsanlagen. Hier ergeben sich in allen Bodenschichten hohe Bleikonzentrationen. In den stärker belasteten Bereichen im Hirschbachtal und Wildschapbachtal liegen auch Hausgärten. Der durchschnittlichen Bleigehalt aller Bodenproben beträgt 502 mg/kg, 50% der Proben weisen Bleikonzentrationen von > 230 mg/kg auf.

Karte 3.6.3 Bleigehalte der Bodenproben (0-10 cm Tiefe) aus dem Hirschbachtal und dem Wildschapbachtal. Die Bleiwerte (mg/kg) der Einzelproben aus den Traversen I - III sind graphisch dargestellt

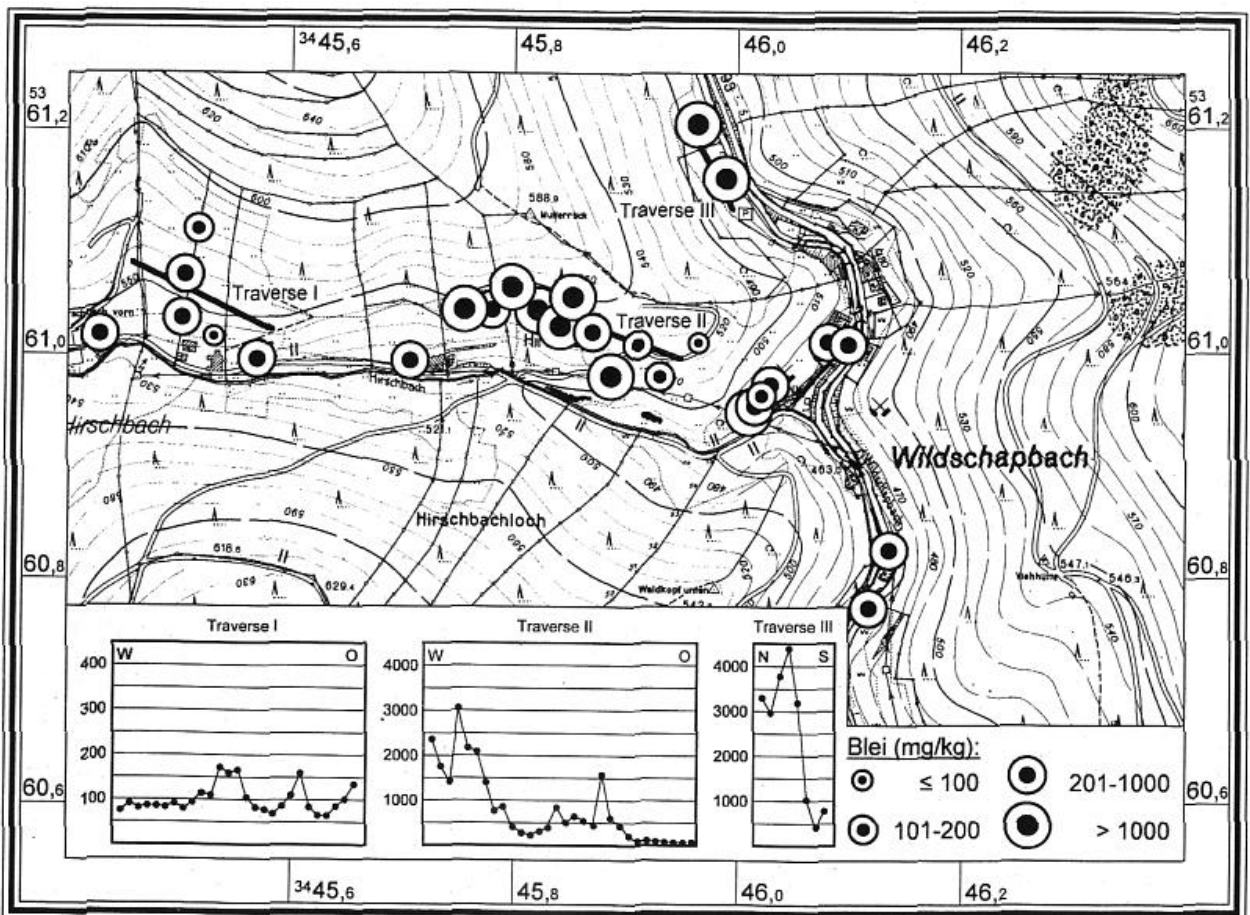


Tabelle 3.6.1 Statistische Parameter der Nickel-, Kupfer-, Zink- und Bleigehalte in den Bodenproben aus dem Gebiet der Grube Friedrich-Christian (Angaben in mg/kg)**Nickel:**

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| n: | 102 | 81 | 75 |
| \bar{x} : | 39 | 46 | 50 |
| Q ₂ : | 30 | 36 | 38 |
| Min: | < 40 | < 40 | < 40 |
| Max: | 90 | 136 | 167 |
| VK: | 64 | 62 | 69 |
| PW | 50 | | |
| NG: | 5 50 | | |

Kupfer:

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| n: | 102 | 81 | 75 |
| \bar{x} : | 138 | 140 | 122 |
| Q ₂ : | 83 | 72 | 62 |
| Min: | < 28 | < 27 | < 20 |
| Max: | 826 | 886 | 849 |
| VK: | 163 | 123 | 119 |
| PW | 60 | | |
| NG: | 2 40 | | |

Zink:

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| n: | 102 | 81 | 75 |
| \bar{x} : | 175 | 147 | 118 |
| Q ₂ : | 151 | 129 | 102 |
| Min: | < 85 | 21 | < 10 |
| Max: | 460 | 369 | 306 |
| VK: | 43 | 45 | 55 |
| PW | 150 | | |
| NG: | 10 80 | | |

Blei:

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| n: | 102 | 81 | 75 |
| \bar{x} : | 733 | 801 | 977 |
| Q ₂ : | 289 | 217 | 80 |
| Min: | < 54 | 29 | 12 |
| Max: | 4390 | 6510 | 36300 |
| VK: | 127 | 152 | 428 |
| PW | 100 | | |
| NG: | 2 60 | | |

NH₄ NO₃ - Extraktionen zeigen nur für Blei hohe verfügbare Gehalte (Abb. 3.6.2). So wurden in einer Ackerbodenprobe 9.390 µg/kg (8 % des Gesamtgehaltes) extrahiert, bei einem pHWert des Bodens von 5,6. Der höchste mobile Gehalt wurde in der Bodenprobe FCB2 mit 14.700 µg/kg gefunden. Dieser Wert liegt über dem Belastungswert (Bmob = 12.000 µg/kg). 50 % der untersuchten Bodenproben überschreiten den Prüfwert (Pmob = 400 µg/kg). Der Vergleich der Bleimobilität mit den Ergebnissen von Wittichen zeigt, daß die Mobilität von Blei in den Proben aus dem Gebiet der Grube FriedrichChristian bereits bei Boden pHWerten < 5 deutlich ansteigt (Abb. 3.6.2). Dies wird auf die bessere Löslichkeit der Sekundärminerale der Vererzung (z.B. Cerussit), in denen ein großer Teil des Bleis gebunden ist, zurückgeführt. Unter den anderen Schwermetallen zeigt lediglich Cadmium Konzentrationen über dem Prüfwert

($P_{mob} = 25 \mu\text{g/kg}$) und teilweise über dem Belastungswert ($B_{mob} = 40 \mu\text{g/kg}$). Diese Proben weisen stets pH-Werte zwischen 4,5 und 5,3 auf.

Abbildung 3.6.2 Bleimobilität in Abhängigkeit vom pH-Wert in Böden aus dem Hirschbachtal

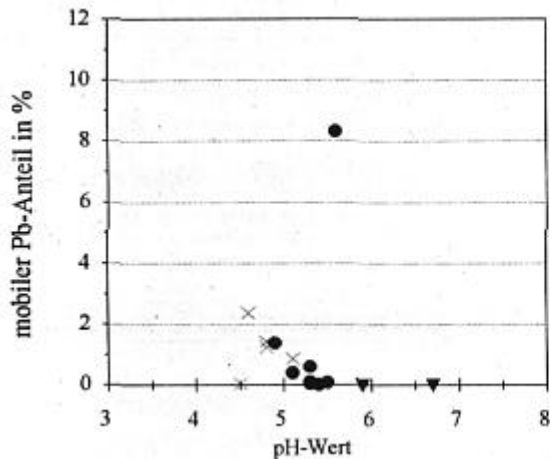


Abbildung 3.6.2:
Bleimobilität in Abhängigkeit vom pH-Wert
in Böden aus dem Hirschbachtal.

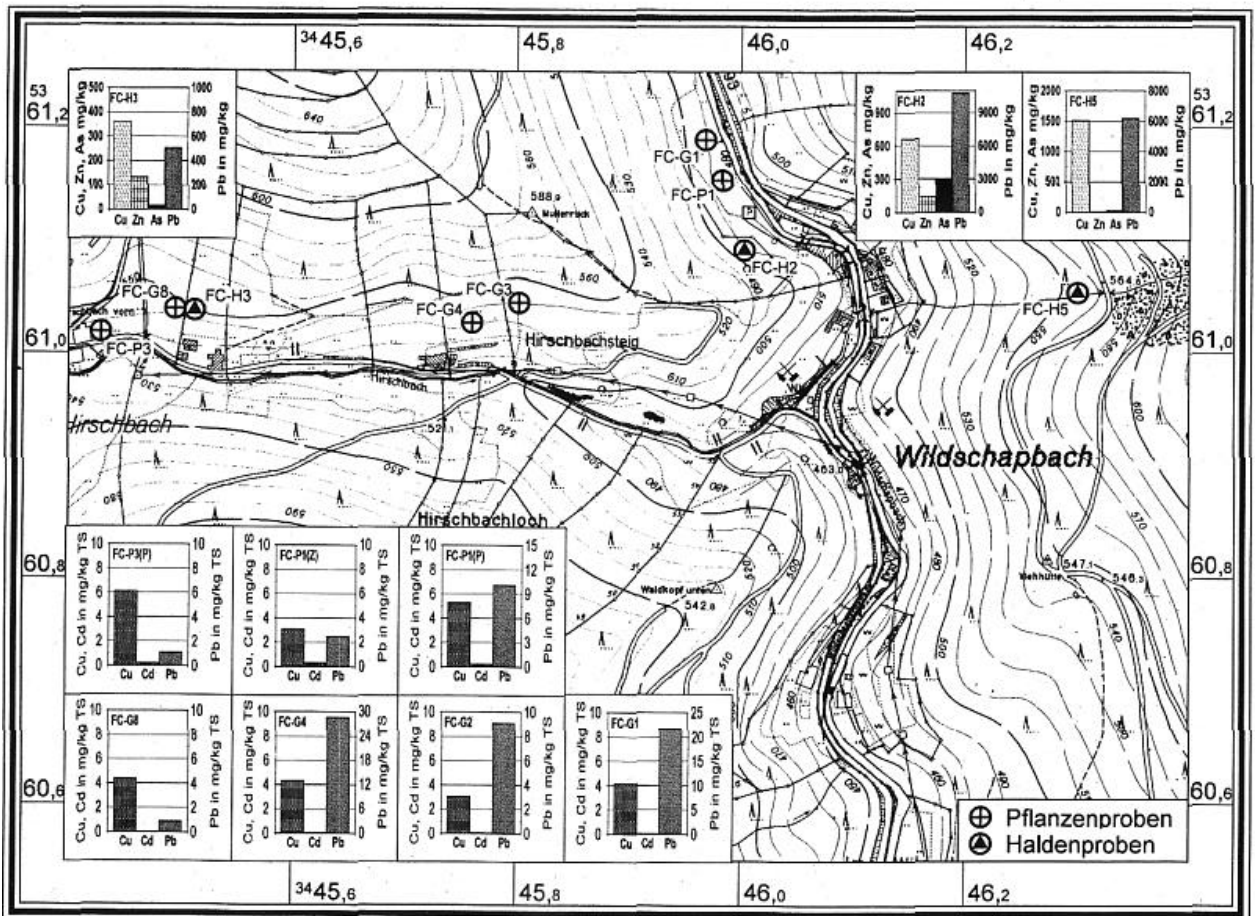
x Wiese
● Acker
▼ Hausgarten

Pflanzenproben:

In der Karte 3.6.4 sind die Ergebnisse der für Cu, Cd und Pb ausgewählter Pflanzenstandorte mit unterschiedlichen Schwermetall- und Arsengehalten im Boden dargestellt. Untersuchungen von Grünlandaufwuchs zeigen, daß die üblichen Gehalte in Pflanzen aus unbelasteten Bereichen (SAUERBECK 1989) deutlich überschritten werden. Der Grenzwert der Futtermittelverordnung (BUNDESMINISTERIUM DES INNERN 1988) für Blei von 40 mg/kg TS wird jedoch nicht erreicht. Der höchste Gehalt wurde am Standort FC-G4 mit 28,6 mg/kg TS gefunden. Die Bleigehalte in den Pflanzen sind positiv mit den Konzentrationen im Boden korreliert. Getrennte Untersuchungen der Halme und der Körner von Weizenpflanzen zeigten, daß im Korn die für die Pflanze essentiellen Elemente Cu und Zn, im Halm dagegen die toxischen Elemente wie As, Cd und Pb angereichert werden.

Zur Beurteilung der Schwermetallgehalte in den Kulturpflanzen wurden die Ergebnisse mit den auf Trockensubstanz umgerechneten ZEBSRichtwerten (BUNDESGESUNDHEITSAMT 1994) verglichen (siehe Kap. 3.3.2.5). In den Pflanzen sind allgemein die Bleigehalte erhöht, wobei im Hausgarten FC-P1 unterhalb der offenen Halde die Richtwerte für Petersilie (8 mg/kg TS) mit 10,1 mg/kg TS und für Zwiebel (2,00 mg/kg TS) mit 2,60 mg/kg TS überschritten werden. In den anderen untersuchten Hausgärten (FC-P2, FC-P3) wurden keine Überschreitungen der ZEBSWerte in den analysierten Kulturpflanzen gefunden.

Karte 3.6.4 Schwermetall- und Arsengehalte in Haldenproben und in Pflanzenproben aus belasteten und unbelasteten Hausgärten sowie von Grünlandflächen



Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Die **Halden** sind hauptsächlich mit Blei und Kupfer belastet. Während Kupfer weitgehend immobil reagiert, tritt Blei in Bindungsformen auf, aus welchen es u.U. rasch freigesetzt werden kann. Um den Austrag von Schwermetallen aus den offenen Halden zu minimieren, sollten die Halden mit einer unbelasteten Erdschicht abgedeckt werden. Der pH-Wert des abdeckenden Bodens soll dabei möglichst im neutralen Bereich liegen, da Blei dann sehr immobil ist. Die Überdeckung der Halden kann mit schwermetallresistenten Pflanzen befestigt werden (LEHMANN 1993).

Die **Bäche**, **Quellen** und **Stollenwässer** zeigen nur geringfügig erhöhte Schwermetall- und Arsenkonzentrationen unter den gültigen Richt- und Grenzwerten. Nur im Wasser des Tiefen Stollens wird der ab 1996 gültige Grenzwert der TrinkwV für As von 10 µg/l überschritten. Durch die Verdünnung des Stollenwassers mit dem Wasser des Wildschapbachs werden die Arsenkonzentrationen herabgesetzt, so daß eine Gefährdung der Umwelt auszuschließen ist. Eine Nutzung des Stollenwassers ist jedoch zu vermeiden.

Die **Böden** enthalten hohe Konzentrationen an Kupfer und Blei. Die Gehalte dieser Elemente überschreiten die Prüfwerte (Pges) (VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993) um ein

Vielfaches. Nickel und Zink liegen geringfügig über den jeweiligen Prüfwerten. Bei niedrigen pH-Werten kann im Gebiet der Grube Friedrich-Christian Blei freigesetzt und von Pflanzen aufgenommen werden. Überschreitungen des Prüfwerts (P_{mob}) und des Belastungswerts (B_{mob}) können nicht ausgeschlossen werden. Kupfer wird bei den gegebenen bodenchemischen Bedingungen kaum freigesetzt und liegt unter dem Prüfwert (P_{mob}). In mit Blei belasteten Hausgärten sind bei einzelnen Kulturpflanzen (Petersilie, Zwiebel) Überschreitungen des ZEBS-Richtwerts zu verzeichnen. Den Eigentümern der mit Blei kontaminierten Hausgärten sind als in Betracht kommende Maßnahmen entweder eine Kalkung des Bodens und künftige Kontrollen der Bleigehalten in Gemüsepflanzen oder der Verzicht auf den Anbau von bleianreichernden Gemüsearten (vergl. VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993) zu empfehlen. Die Bleikonzentrationen der Grasproben liegen zwar in den von SAUERBECK 1989 als kritisch für die Tierfutterverwendung angesehenen Konzentrationsbereichen, die Grenzwerte der Futtermittelverordnung werden jedoch nicht erreicht. In den Böden der Wiesenflächen ist Blei infolge der geringeren pH-Werte weitaus mobiler als in den Hausgärten. Auch hier sind weitere Maßnahmen erforderlich, da künftig Überschreitungen des Belastungswerts nach der VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993 bzw. des Grenzwerts der Futtermittelverordnung nicht ausgeschlossen werden können. Mit hohen Bodengehalten über den Prüfwert ggf. den Belastungswerten ist auch künftig auf den beiden großen Ackerflächen (Traverse II) zu rechnen. Die Mischprobe aus Weizenkörnern zeigte zwar aktuell keine kritischen Bleikonzentrationen, doch sind weitere Pflanzenuntersuchungen wegen des wechselnden Anbaus sinnvoll. Eine Kalkung und das Aufbringen von Phosphatdünger wird als geeignet zur Fixierung des Bleis im Boden angesehen. Zur Erfolgskontrolle derartiger Maßnahmen sind weitere Untersuchungen erforderlich.

3.6.3 Weitere Gruben zwischen Schapbach und Bad - Rippoldsau (ohne Karten)

Neben den Gruben Friedrich-Christian und Herrensegen wurden in der Vergangenheit noch andere Gruben im Gebiet zwischen Schapbach und BadRippoldsau betrieben. Der vergleichsweise unbedeutende Bergbau hinterließ Halden von geringem Umfang.

Im Wildschapbachtal waren die Gruben **Katharina** und **Erzengel Michael** von Bedeutung. An beiden Standorten sind kleinere Halden und Pingen im Wald erkennbar, sie wurden jedoch nicht weiter untersucht.

Das Stollenwasser des Tiefstollens der **Grube Erzengel Michael** (r: 3446370, h: 5358050, heute Wasserreservoir) weist, entsprechend der hier auftretenden Mineralisation, erhöhte Kupfer(8,60 µg/l) und Arsenkonzentrationen (4,40 µg/l) auf. Die Grenzwerte der TrinkwV 1990 werden nicht überschritten.

Vom Tiefstollen der **Grube St. Ferdinand** (r: 3446745, h: 5358050) und dem Tiefenbach wurde je eine Wasserprobe untersucht. Sie zeigen deutlich erhöhte Arsenkonzentrationen (27,5 µg/l bzw. 12,7 µg/l). Beide Proben überschreiten den Grenzwert der künftigen TrinkwV. Weiter auffällig ist die erhöhte Urankonzentration des Stollenwassers mit 5,00 µg/l, obwohl von dieser Grube keine Uranmineralisation beschrieben wird. Vor dem Tiefstollen ist eine größere Halde im Wald vorhanden. Das Gelände unterhalb im Tiefenbachtal wird zur Grünlandwirtschaft genutzt. Analysen wurden hier nicht durchgeführt.

Das Stollentropfwasser der **Grube Maria zum Trost** (r: 34490060, h: 5362090) zeigt keine auffälligen Befunde.

Die Halde vor dem Mittleren Stollen der **Grube Alt Herrensegen** bei Seebach weist hohe Kupfer(4780 mg/kg) und erhöhte Arsengehalte (246 mg/kg) auf. Der Boden pHWert auf der Halde liegt bei 4,3. Extraktionen zeigen eine höhere Mobilität von Kupfer (2430 µg/kg) als an den Standorten FriedrichChristian und Herrensegen. Wegen der geringen Größe der Halde und ihrer Lage im Wald wird derzeit kein Handlungsbedarf gesehen.

3.7 Das Bergbauggebiet zwischen Wolfach und Schapbach

Im Gebiet von Wolfach befanden sich die meisten Gruben des Mittleren Schwarzwalds. Dazu gehört auch die letzte noch im Abbau befindliche Grube Clara im hinteren Rankachtal. Die Mineralisationen streichen überwiegend NW-SE. Als Gangart tritt Schwerspat, Quarz und Flußspat auf. Dazu kommen Kupfer-, Blei-, Silber-, Eisen- oder Manganerze.

3.7.1 Die Grube Wenzel im Frohnbachtal

Das Frohnbachtal liegt etwa 5 km nördlich der Stadt Wolfach auf der westlichen Seite des Flusses Wolfach (Karte 3.1). Der Erzgang besteht aus Schwerspat, Calcit und Silbererzen. Erste Bergbauversuche auf der Grube Wenzel stammen aus dem Mittelalter. Die Hauptabbauperiode dauerte von 1760 bis 1823. In dieser kurzen Zeit entwickelte sich die Grube zu einer der bedeutendsten Silberzentren des Schwarzwalds. Es wurden etwa 4000 kg Silber, 400 kg Kupfer und 800 kg Blei aus der Grube gewonnen. Eine spätere Abbauperiode von 1839-1842 brachte keine große Ausbeute mehr. Die Erze der Grube Wenzel wurden zur Verhüttung ins Münstertal gebracht.

3.7.1.1 Untersuchungsumfang

Haldenproben (2):

- Mischproben von der Halde des Oberen Stollens (W-H1, W-H2),

Wasserproben (2):

- Frohnbach oberhalb des Bächleshofs und unterhalb der Grube Eintracht,

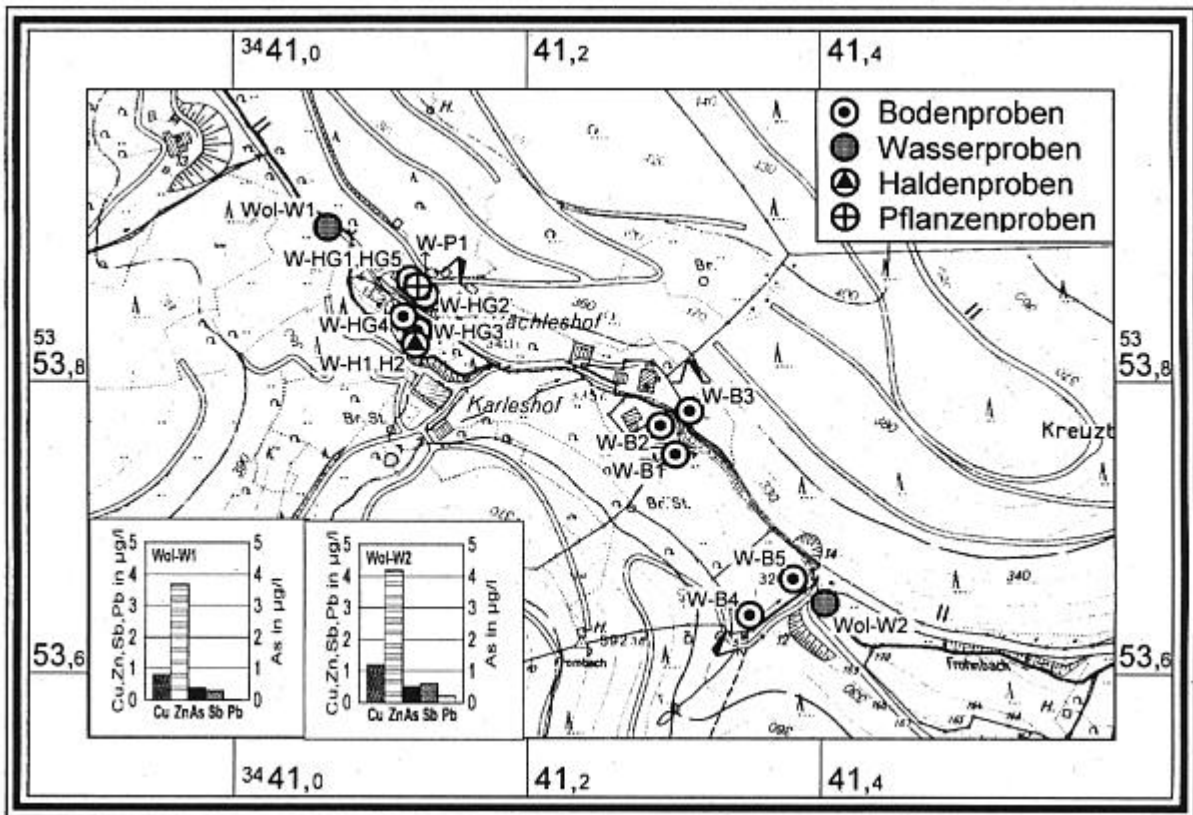
Bodenproben (10):

- 3 Proben gegenüber dem Tiefen Stollen (W-B1 - W-B3), 2 Bodenproben unterhalb des Eintracht Stollen (W-B4, W-B5), 5 Bodenproben in den Hausgärten auf der Halde des Oberen Stollens,

Pflanzenproben (1):

- Hausgarten auf der Halde des Oberen Stollens (Petersilie)(Karte 3.7.1),

Karte 3.7.1 Übersichtskarte des Frohnbachtals mit den Probennahmepunkten und Ergebnissen der beiden Wasserproben



3.7.1.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Haldenproben:

Die Probe (W-H1, W-H2) aus dem Bereich des Oberen Stollens zeigt hohe Blei- (1200 mg/kg) und Kupfergehalte (222 mg/kg) sowie gering erhöhte Konzentrationen an Zn, As, Ag und Sb. Aus ca. 10.000 t Haldenmaterial lassen sich folgende Absolutgehalte abschätzen:

Cu = 2 t, Zn = 1 t, As = 0,15 t, Sb = 0,2 t, Pb = 7,4 t.

Der pH-Wert des Haldenmaterials liegt mit 7,2 höher als in den Halden von Wittichen. Verursacht wird dies durch die Calcitführung des Wenzelganges. Die Ergebnisse der Extrakt- bzw. Eluatuntersuchungen zeigen für die Schwermetalle und Arsen nur eine geringe Mobilität. Die höchsten Konzentrationen wurden für Antimon und Blei gefunden: 210 µg/kg bzw. 140 µg/kg im Ammoniumnitratextrakt und 86,1 µg/kg bzw. 95,1 µg/kg im Wasser-Eluat.

Wasserproben:

Im Frohnbachtal ist eine geringe Erhöhung der Konzentrationen von Cu, Zn, As und Sb festzustellen (Karte 3.7.1). Die Gehalte liegen unter den Werten der TrinkwV 1990.

Bodenproben:

Bei den Wiesenböden im Frohnbachtal handelt es sich um Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-Cv. Die Böden der Hausgärten sind als Kultusole anzusprechen. Hier ist noch keine natürliche Horizontausbildung vorhanden, da die Hausgärten erst vor ca. 3 Jahren mit 30 - 40 cm mächtiger humusreicher Erde unmittelbar auf der Halde neu angelegt wurden.

| | |
|---|---|
| pH-Wert: | 4,8 - 7,2 (Tab. 3.7.2). Die pH-Werte der Wiesenböden nehmen mit der Tiefe ab. |
| Tongehalt: | < 8,0 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | Wiesenböden 1,0 Gew. %, Hausgärten 3,5 Gew. %, die Konzentrationen nehmen zur Tiefe ab, |
| Fe ₂ O ₃ -Gehalt: | ca. 5,0 Gew. %, |
| MnO-Gehalt: | Hausgärten 0,25 Gew. %, Wiesenböden 0,12 Gew. % |

Von den untersuchten Elementen treten Ni, Zn, As und Pb in erhöhten Konzentrationen auf. Die Bodenproben der Hausgärten (Tab. 3.7.2) sind durch die Lage der Gärten unmittelbar auf der Halde deutlich höher belastet als die Bodenproben des Wiesengeländes beim Eintracht Stollen.

Zink wurde gegenüber dem Ausgang des Tiefen Stollens mit maximal 1180 mg/kg (W-B1, 0-10 cm Tiefe) festgestellt.

Arsen liegt in allen Bodenproben in Konzentrationen < 50 mg/kg vor.

Blei zeigt hohe Konzentrationen (Tab. 3.7.1, 3.7.2, Karte 3.7.2), insbesondere sind die Hausgärten belastet. Die Untersuchungen der Gesamtgehalte zeigen, daß es im Frohnbachtal zu keiner Verteilung des Haldenmaterials gekommen ist. Die größte Menge wurde vor dem Oberen Stollen abgelagert, ein kleinerer Teil gegenüber dem Tiefen Stollen.

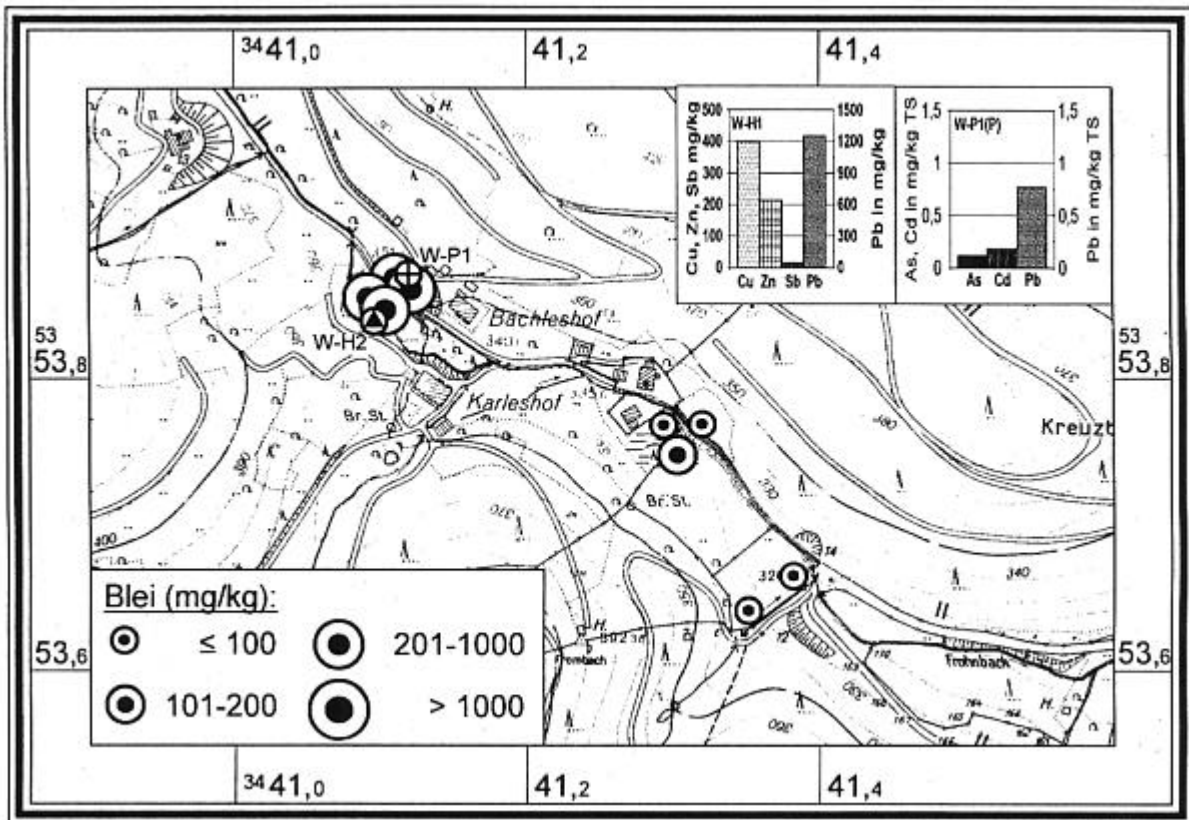
Tabelle 3.7.1 Statistische Parameter der Bleigehalte in den Bodenproben aus dem Frohnbachtal (Angaben in mg/kg)

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|------------------|----------------------|------------------|
| n: | 10 | 9 | 6 |
| \bar{x} : | 257 | 261 | 181 |
| Q ₂ : | 207 | 49 | 64 |
| Min: | 52 | 14 | 39 |
| Max: | 613 | 1150 | 570 |
| VK: | 77 | 133 | 109 |
| PW | 100 | | |
| NG: | 2 – 60 | | |

Tabelle 3.7.2 Elementgehalte und pH-Werte der Bodenproben aus Hausgärten bei der Grube Wenzel

| Probe | Tiefe (cm) | pH-Wert | Co (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Ag (mg/kg) | Cd (mg/kg) | Ba (mg/kg) | Pb (mg/kg) | U (mg/kg) |
|-------|------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-----------|
| W-HG1 | 0-10 | 6,9 | n.a. | < 40 | 60 | 331 | 42 | 8 | < 2 | 6730 | 320 | n.a. |
| W-HG1 | 10-40 | 6,9 | n.a. | < 40 | 63 | 300 | 36 | 3 | < 2 | 6620 | 326 | n.a. |
| W-HG1 | > 40 | 6,8 | n.a. | < 40 | 38 | 160 | 44 | 8 | < 2 | 5560 | 570 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| W-HG2 | 0-10 | 6,9 | n.a. | < 40 | 63 | 398 | 40 | < 2 | < 2 | 7680 | 298 | n.a. |
| W-HG2 | 10-40 | 7,0 | n.a. | < 40 | 66 | 331 | 49 | 2 | < 2 | 7220 | 268 | n.a. |
| W-HG2 | > 40 | 6,9 | n.a. | 46,00 | 54 | 252 | < 25 | < 2 | < 2 | 11400 | 308 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| W-HG3 | 0-10 | 7,2 | n.a. | < 40 | 81 | 253 | 31 | 3 | < 2 | 10300 | 454 | n.a. |
| W-HG3 | 10-40 | n.a. | n.a. | 87 | 118 | 135 | 27 | 2 | < 2 | 15800 | 419 | n.a. |
| W-HG3 | n.g. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| W-HG4 | 0-10 | 6,4 | n.a. | < 40 | 74 | 256 | 26 | 3 | < 2 | 9790 | 613 | n.a. |
| W-HG4 | 10-40 | 6,6 | n.a. | 70 | 97 | 269 | 35 | 4 | < 2 | 13200 | <u>1150</u> | n.a. |
| W-HG4 | n.g. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Karte 3.7.2 Blei- und Zinkgehalte der Bodenproben (0-10 cm Tiefe) aus dem Frohnbachtal sowie Schwermetall- und Arsenkonzentrationen in Halden- und Pflanzenproben



Ammoniumnitratextraktionen: Die Mobilität liegt wegen der mäßig sauren bis neutralen pH-Werte bei allen untersuchten Elementen < 5 % vom Gesamtgehalt. Die Probe W-B1 (0-10 cm Tiefe) überschreitet bei Zink mit 15,8 mg/kg die Prüfwerte ($P_{mob} = 5,00 - 10,0$ mg/kg) für Futterpflanzen, Pflanzenwachstum und Bodensickerwasser. Alle anderen Schwermetall- und Arsenkonzentrationen liegen unter den bestehenden Prüfwerten.

Pflanzenproben:

Bei der Petersilienprobe aus dem Hausgarten liegen alle untersuchten Elemente in Konzentrationsbereichen, die von SAUERBECK 1989 als normal bezeichnet werden und unter den umgerechneten ZEBS-Richtwerten bezogen auf die Trockensubstanz (siehe Kap. 3.3.2.5). Die wesentlichen Ergebnisse sind in der Karte 3.7.2 auf der vorherigen Seite dargestellt.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Die Schwermetallkonzentrationen in den Wiesenböden des Frohnbachtals liegen größtenteils unter den Prüfwerten (P_{ges}). Lediglich die Zinkgehalte der Probe W-B1 und W-B2 überschreiten den Prüfwert ($P_{ges} = 150$ mg/kg). Hierbei handelt es sich aber nicht um eine Kontamination durch den alten Bergbau, sondern offensichtlich um eine Ablagerung aus neuerer Zeit.

Die Hausgärten auf der Halde des Oberen Stollens weisen hohe Bleigehalte auf, die sich trotz der mindestens 40 cm mächtigen, aufgetragenen Erdschicht noch in den obersten 10 cm widerspiegeln. Es ist davon auszugehen, daß diese Konzentrationen in den nächsten Jahren noch weiter ansteigen, da mit der Bewirtschaftung des Gartens zunehmend Haldenmaterial aus der Tiefe in die oberen Bodenbereiche eingemischt wird. Wegen der neutralen pH-Werte des Haldenmaterials und des Gartenbodens ist die Mobilität der Schwermetalle sehr gering, gleichzeitig sind die Gesamtarsengehalte zu niedrig um künftig kritische mobilisierbare Konzentrationen zu ermöglichen. Mit dem Erreichen der Prüf- und Belastungswerte für Böden ist daher auch künftig kaum zu rechnen. Dennoch werden hier als Vorsorgemaßnahme Kontrolluntersuchungen der Böden innerhalb eines Zeitraums von ca. 3 Jahren empfohlen.

Eine Ausnahme bildet Antimon, das von allen untersuchten Elementen die größte Mobilität aufweist. Antimon wird, wenn es in löslicher Form verfügbar ist, leicht von Pflanzen aufgenommen (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 1985). Über die Toxizität von Antimon für Pflanzen, Tiere und Menschen ist bisher wenig bekannt, Prüfwerte für Böden liegen nicht vor. In Gebieten mit Antimonvererzungen können Konzentrationen in Pflanzen von 7-50 mg/kg TS auftreten (SHACKLETTE 1978).

3.7.2 Die Grube Fortuna im Gelbachtal

Das Gelbachtal liegt ca. 10 Kilometer nördlich von Wolfach. Bei den dort auftretenden Vererzungen handelt es sich um Schwerspatgänge oder Schwerspat-Flußspatgänge mit Bleierzen oder Eisenerzen. Von den Gruben, die im Gelbachtal im Abbau standen, hatte nur die Grube Fortuna eine wirtschaftliche Bedeutung. Der Bergbau auf dem Gang begann im 17. Jahrhundert zuerst auf Silber, in späteren Jahrhunderten dann auch auf Blei und Schwerspat. Im 18. Jahrhundert wurde ein Poch-, ein Waschwerk und eine Schmelze gebaut. Der Bergbau dauerte mit Unterbrechungen bis in dieses Jahrhundert. Letztmals wurde die Grube 1930 auf Schwerspat abgebaut, der in einer kleinen Aufbereitungsanlage konzentriert wurde. Der Betrieb mußte aber bald wieder eingestellt werden.

3.7.2.1 Untersuchungsumfang

Wasserproben (1):

- Gelbbach im unteren Talabschnitt,

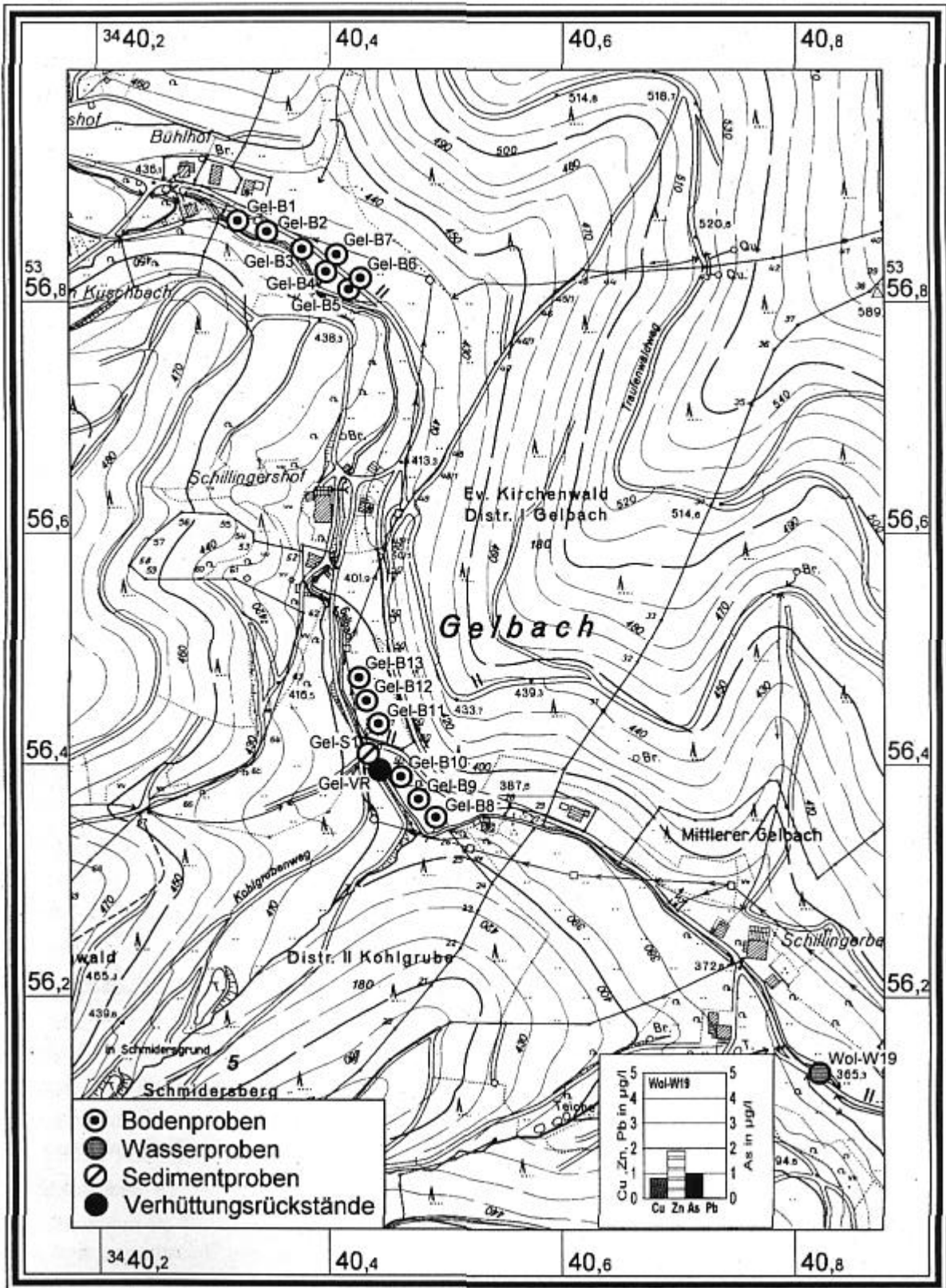
Sedimentproben (1):

- Gelbbach südlich Schillinger Hof,

Bodenproben (13):

- 5 Proben gegenüber dem Alten Stollen und der ehemaligen Schwerspataufbereitung (Gel-B1 - Gel-B5, 6 Proben südlich Schillingerhof (aufgrund von Schlackenfundten wird hier die Position von Poche, Waschwerk und Silberschmelze vermutete, vergl. Karte 3.7.3), 8 Ammoniumnitratextraktionen.

Karte 3.7.3 Übersichtskarte des mittleren Gelbachtals mit den Probennahmepunkten sowie Schwermetall- und Arsengehalte des Gelbachs



3.7.2.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Wasserproben:

Außer einer Zinkkonzentration von 1,9 µg/l liegen alle Schwermetall- und Arsengehalte unter 1 µg/l.

Sedimentproben:

In der Sedimentprobe wurden nur erhöhte Bariumkonzentrationen festgestellt

Bodenproben:

Bei den Wiesenböden im Gelbachtal handelt es sich um Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-Cv.

| | |
|---|---|
| pH-Wert: | 4,5 -5,5, |
| Tongehalt: | < 8,0 Gew. %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | < 1,0 % in 0 - 40 cm Tiefe (Gel-B2 - Gel-B5), > 1,0 Gew. % ab Tiefe > 40 cm (Gel-B2 - Gel-B5), der Bereich der ehemaligen Schwerspataufbereitungsanlage wurde mit einer ca. 40 cm mächtigen Bodenschicht überdeckt, |
| Fe ₂ O ₃ -Gehalt: | 5,0 Gew. % , |
| MnO-Gehalt: | 0,15 Gew. %. |

Arsen variiert mit wenige Ausnahmen in den Bodenproben unabhängig von der Tiefe zwischen 20 und 40 mg/kg. Der Maximalwert wurde mit 81 mg/kg in der Probe Gel-B5 (10-40 cm Tiefe) bestimmt.

Blei zeigt Konzentrationen bis 1920 mg/kg (Gel-B3, > 40 cm Tiefe). Die Belastungen sind auf dem Gebiet der ehemaligen Schwerspataufbereitungsanlage am höchsten (Karte 3.7.4). Die Bleikonzentrationen nehmen allgemein zur Tiefe ab (Abnahme des Medianwertes). Gleichzeitig nimmt der Mittelwert und der Variationskoeffizient zu (Tab. 3.7.3). Dies belegt die punktuelle Anreicherung von Pb in tieferen Bodenschichten (Gel-B2 - Gel-B5) (Tab. 3.7.4).

Karte 3.7.4 Blei-gehalte in den Bodenproben des Gelbachtals

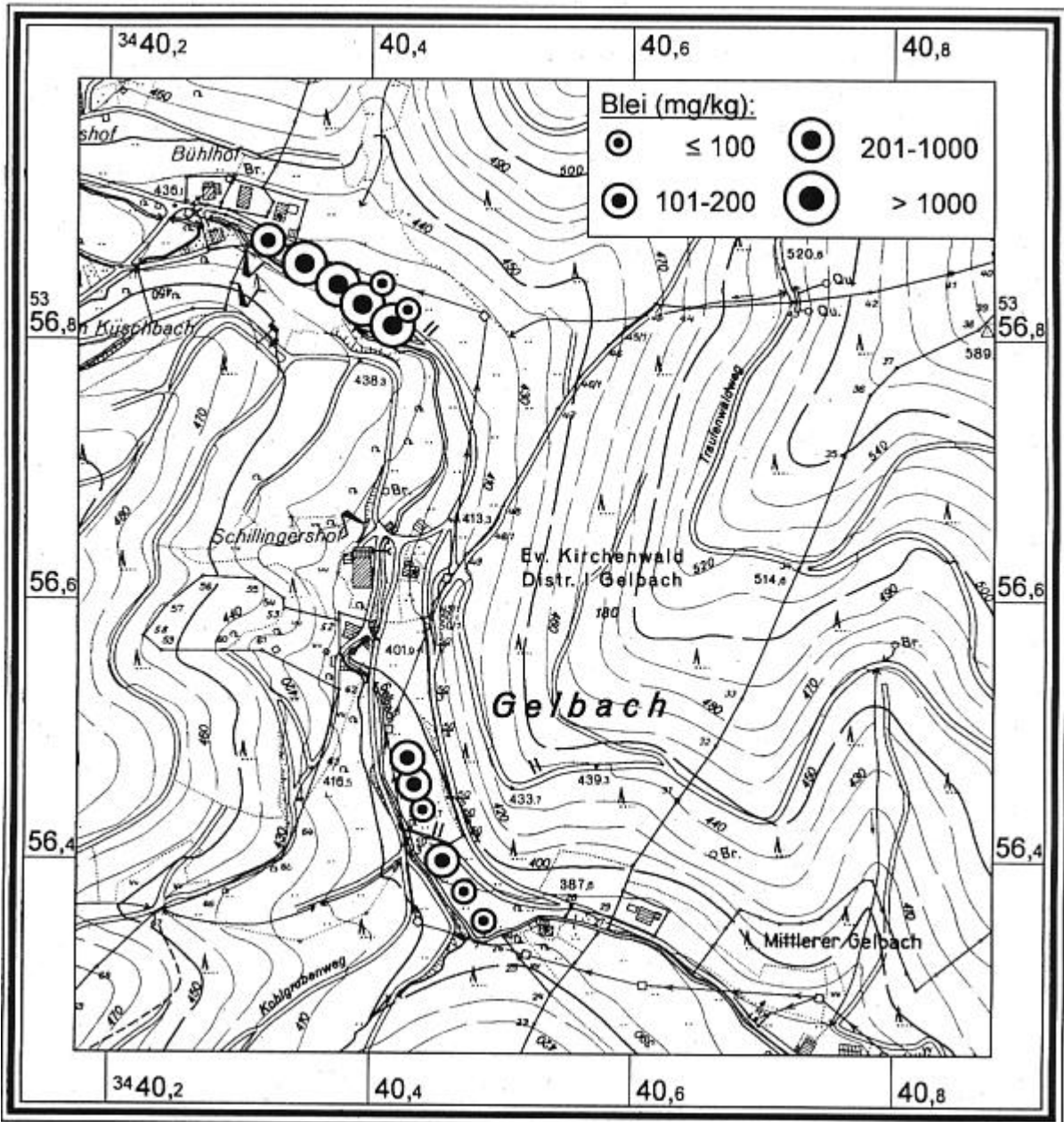


Tabelle 3.7.3 Statistische Parameter der Bleigehalte in den Bodenproben aus dem Gelbachtal (Angaben in mg/kg)

| | Tiefe 0-10 cm | Tiefe 10-40 cm | Tiefe > 40 cm |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| n: | 13 | 13 | 12 |
| \bar{x} : | 214 | 249 | 358 |
| Q ₂ : | 109 | 100 | 79 |
| Min: | 49 | 61 | 49 |
| Max: | 665 | 838 | 1920 |
| VK: | 92 | 107 | 155 |
| PW | 100 | | |
| NG: | 2 - 60 | | |

Tabelle 3.7.4 Elementgehalte und pH-Werte ausgewählter Bodenproben aus dem Gelbachtal

| Probe | Tiefe (cm) | pH- Wert | Co (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | As (mg/kg) | Ag (mg/kg) | Cd (mg/kg) | Ba (mg/kg) | Pb (mg/kg) | U (mg/kg) |
|--------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Gel-B1 | 0-10 | 5,1 | 15 | 23 | 34 | 118 | 19 | < 2 | < 2 | 62500 | 172 | n.a. |
| Gel-B1 | 10-40 | 5,1 | 17 | 24 | 25 | 107 | 33 | < 2 | < 2 | 7290 | 184 | n.a. |
| Gel-B1 | > 40 | 5,3 | n.a. | < 40 | 24 | 76 | 37,00 | < 2 | < 2 | 5860 | 101 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Gel-B2 | 0-10 | 4,5 | 18 | 29 | 36 | 112 | 62 | < 2 | < 2 | 7730 | 310 | n.a. |
| Gel-B2 | 10-40 | 4,6 | 19 | 30 | 25 | 94 | 29 | < 2 | < 2 | 7120 | 258 | n.a. |
| Gel-B2 | > 40 | 4,8 | n.a. | < 40 | 20 | 123 | 36 | < 2 | < 2 | 11800 | <u>1000</u> | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Gel-B3 | 0-10 | 4,9 | 15 | 23 | 42 | 134 | 49 | < 2 | < 2 | 10100 | 665 | n.a. |
| Gel-B3 | 10-40 | 4,9 | 17 | 26 | 39 | 150 | 58 | < 2 | < 2 | 12400 | 838 | n.a. |
| Gel-B3 | > 40 | 4,9 | n.a. | 62 | 60 | 180 | 69 | < 2 | < 2 | 15400 | <u>1920</u> | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Gel-B4 | 0-10 | 4,8 | 13 | 22, | 64 | 120 | 59 | < 2 | < 2 | 10400 | 570 | n.a. |
| Gel-B4 | 10-40 | 5,00 | 15,00 | 23,00 | 25 | 156,0 0 | 69,00 | < 2 | < 2 | 11800 ,00 | 610, | n.a. |
| Gel-B4 | > 40 | 5,50 | n.a. | < 40 | 48 | 210,0 0 | 68,00 | < 2 | < 2 | 15900 ,00 | 693 | n.a. |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|------|-------|-------|-------|------------|-------|------|------|--------------|------------|------|
| Gel-B5 | 0-10 | 4,70 | 14,00 | 23,00 | 26,00 | 133,0 0 | 58,00 | < 2 | < 2 | 10900 ,00 | 373,0 0 | n.a. |
| Gel-B5 | 10-40 | 5,50 | 17,00 | 25,00 | 47,00 | 215,0 0 | 81,00 | < 2 | < 2 | 16600 ,00 | 700,0 0 | n.a. |
| Gel-B5 | n.g. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Gel-B10 | 0-10 | 5,00 | n.a. | < 40 | 30,00 | 104,0 0 | 35,00 | < 2 | < 2 | 6920, 00 | 109,0 0 | n.a. |
| Gel-B10 | 10-40 | 4,90 | n.a. | < 40 | 26,00 | 81,00 | 31,00 | < 2 | < 2 | 6210, 00 | 107,0 0 | n.a. |
| Gel-B10 | > 40 | 5,00 | n.a. | < 40 | 22,00 | 66,00 | 27,00 | < 2 | < 2 | 4330, 00 | 71,00 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Gel-B12 | 0-10 | 4,70 | n.a. | < 40 | 25,00 | 108,0 0 | 33,00 | < 2 | 2,00 | 3180, 00 | 103,0 0 | n.a. |
| Gel-B12 | 10-40 | 4,50 | n.a. | < 40 | 24,00 | 82,00 | 38,00 | < 2 | < 2 | 3220, 00 | 87,00 | n.a. |
| Gel-B12 | > 40 | 4,50 | n.a. | < 40 | 17,00 | 69,00 | 35,00 | < 2 | < 2 | 2300, 00 | 73,00 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | |
| Gel-B13 | 0-10 | 4,70 | n.a. | < 40 | 24,00 | 118,0 0 | 55,00 | < 2 | < 2 | 3980, 00 | 113,0 0 | n.a. |
| Gel-B13 | 10-40 | 4,70 | n.a. | < 40 | 25,00 | 93,00 | 45,00 | < 2 | < 2 | 3720, 00 | 100,0 0 | n.a. |
| Gel-B13 | > 40 | 4,60 | n.a. | < 40 | 21,00 | 74,00 | 35,00 | < 2 | < 2 | 2820, 00 | 73,00 | n.a. |

Ammoniumnitratextraktionen: Von den acht extrahierten Bodenproben überschreiten sechs Proben den Prüfwert für Cadmium ($P_{mob} = 25 \mu\text{g/kg}$) und den Belastungswert ($B_{mob} = 40 \mu\text{g/kg}$) hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungspflanzen und Futterpflanzen. Die Cadmiumgehalte liegen stets in vergleichbaren Konzentrationsbereichen mit dem höchsten Wert von $80 \mu\text{g/kg}$ (Gel-B3). Ebenso überschreiten sechs Proben den Prüfwert für Thallium ($P_{mob} = 40 \mu\text{g/kg}$). Der höchste gemessene Wert liegt bei $83,0 \mu\text{g/kg}$ (Gel-B5). Der extrahierte Bleianteil ist bei allen Proben $< 1 \%$. Die höchste Konzentration wurde mit $2390 \mu\text{g/kg}$ (Gel-B3) gefunden. In dieser Probe sowie in den Proben Gel-B4 und Gel-B5 wird der Prüfwert für Blei ($P_{mob} = 400 \mu\text{g/kg}$) hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungspflanzen und Futterpflanzen überschritten. Die Konzentrationen der anderen untersuchten Schwermetalle (Co, Ni, Cu, Zn) und des Arsens liegen im Bereich der Hintergrundwerte.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Die Böden im Gelbachtal zeichnen sich durch punktuell hohe Bleigehalte aus, die Arsengehalte sind gering erhöht. Die pH-Werte in den Böden sind sehr niedrig, Cadmium und Thallium weisen hier eine hohe Mobilität auf. Überschreitungen des Prüfwerts (Pmob) und bei Cadmium des Belastungswerts (Bmob) für Nahrungs- und Futterpflanzen sind zu verzeichnen. Die Gehalte an mobilem Arsen sind sehr niedrig. Die Bleikonzentrationen überschreiten in einigen Proben den Prüfwert (Pmob) um ca. das 5-fache. Im Gelbachtal werden die belasteten Flächen als Grünland genutzt. Der Standort der Silberschmelze konnte nicht sicher lokalisiert werden, einziger Hinweis ist ein Schlackenfund. Da die Ausdehnung der kontaminierten Bereiche nicht groß ist, sind punktuell erhöhte Konzentrationen in Grünlandaufwuchs vermutlich nicht von maßgeblicher Bedeutung. Dennoch sind zur Klärung der Frage ob entsprechend der VwV ANORGANISCHE SCHADSTOFFE 1993 schädliche Schwermetallanreicherungen im Boden vorliegen weitere Untersuchungen erforderlich. Ggf. sind auch Analysen des Aufwuchses von Grünland auf Cd, Tl und Pb zu empfehlen.

3.8 Die Bergbaugebiete zwischen Wolfach und Steinach

Dieses Gebiet umfaßt das Untere Kinzigtal zwischen Wolfach im Osten und Steinach im Westen. Die Vererzungen streichen NE-SW (Quarzgängen mit Silbererzen) oder NW-SE und N-S (Schwerspat-Flußspatgänge mit Pb-, Cu- und Zn-Erzen). Der Bergbau begann hier auf vielen Gruben schon im 15. und 16. Jahrhundert, deshalb sind seine Spuren kaum noch aufzufinden. Die meisten Gruben aus diesem Gebiet wurden wegen ihrer geringen Erzführung nicht untersucht.

3.8.1 Die Grube Erzengel Gabriel im Schierengrund

Die Grube Erzengel Gabriel liegt im hinteren Einbachtal (Karte 3.1) ca. 5 km nordöstlich der Stadt Wolfach. Bei der Vererzung handelt es sich um Schwerspat-Flußspatgänge mit Bleierzen. Der Bergbau begann hier vermutlich schon im Mittelalter, nahm aber erst im 18. Jahrhundert größere Ausmaße an. Es wurde ein Pochwerk und ein Schmelzofen errichtet. Mit Unterbrechungen dauerte der Bergbau bis in das 19. Jahrhundert an. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Grube noch einmal geöffnet.

3.8.1.1 Untersuchungsumfang

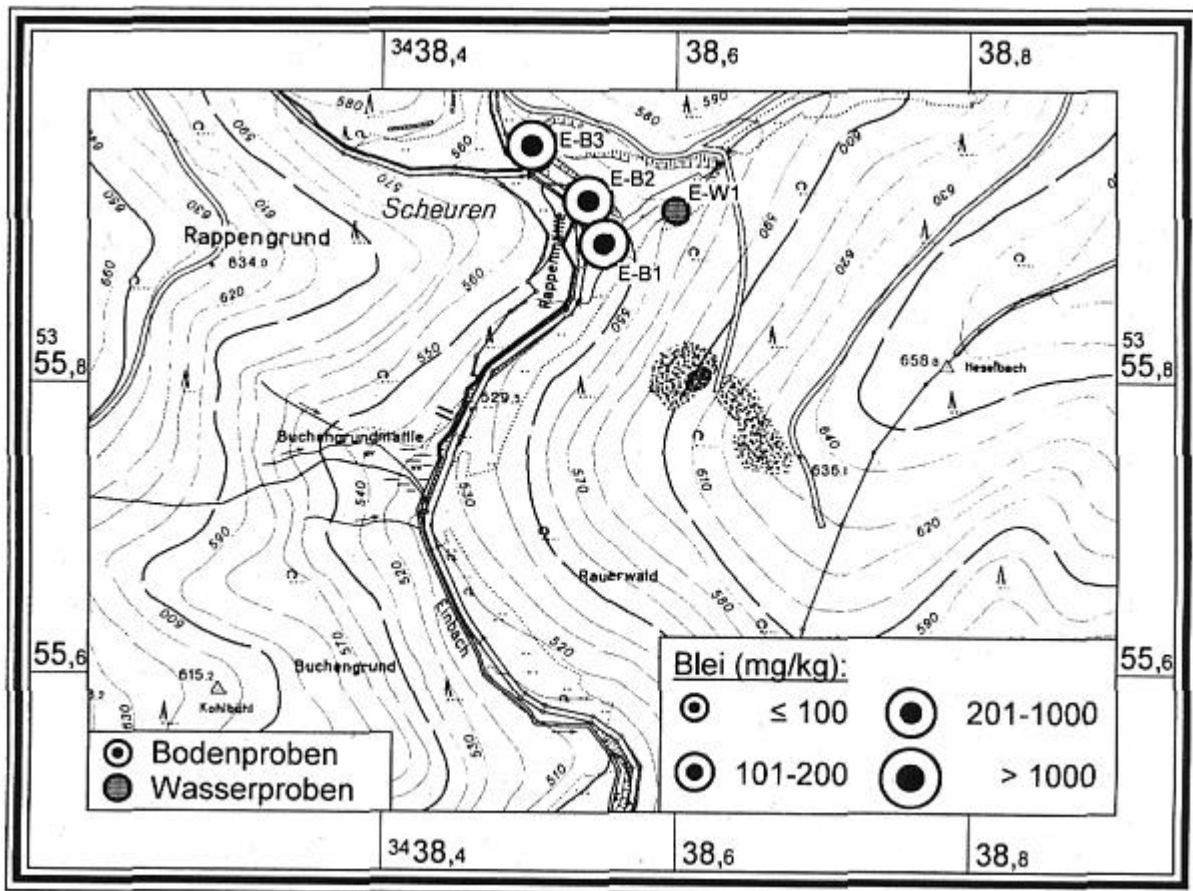
Bodenproben (3):

- auf dem Wiesengelände unterhalb der Halde (Pochwerk, Schmelze?), NH_4NO_3 - Extraktion an einer Probe,

Wasserproben (1):

- Schierengrund-Bach unterhalb der Halde.

Karte 3.8.1 Übersichtskarte des hinteren Einbachtals mit der Grube Erzengel Gabriel und den Probennahmepunkten



3.8.1.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Wasserproben:

Die wesentlichen Ergebnisse sind in der Karte 3.8.1 dargestellt. Die Wasserprobe weist keine kritischen Schwermetall- und Arsenkonzentrationen auf. Sie liegen unter den Grenzwerten der TrinkwV 1990. Der Einfluß der Vererzung ist jedoch deutlich am gegenüber dem Hintergrund erhöhten Barium- und Arsengehalten festzustellen.

Bodenproben:

Bei den Böden des Wiesengeländes im Schierengrund handelt es sich um Braunerden mit der Horizontierung Ah-B-Cv.

| | |
|-------------|--|
| pH-Wert: | 4,2 - 4,7, |
| Tongehalt: | < 8,0 %, Tongehaltsgruppe I, |
| CaO-Gehalt: | < 0,5 Gew. % (Wiesenproben E-B1 und E-B2), bis zu 10 Gew. % (Rand des Wiesengeländes neben den Grundmauern eines verfallenen Hauses, hoher Flußspatanteil (CaF ₂) im Boden, E-B3), |

| | |
|---|--|
| Fe ₂ O ₃ -Gehalt: | 3,0 Gew. %, |
| MnO-Gehalt: | < 0,1 Gew. %, Probe E-B3 < 0.1 Gew. %. |

Arsen tritt in Konzentrationen über dem Prüfwert (P_{ges} = 20 mg/kg) hinsichtlich der Schutzgüter Bodenorganismen, Pflanzen und Wasser auf. Die höchste Wert wurde in der Probe E-B1 (0-10 cm Tiefe) mit 48 mg/kg gefunden.

Blei überschreitet in der Probe E-B1 (10-40 cm Tiefe) mit einer Konzentration von 997 mg/kg den Prüfwert (P_{ges} = 100 mg/kg) deutlich. In der Tiefe von 0-10 cm wurde in der Probe E-B1 ein Cadmiumgehalt von 3 mg/kg gefunden (Prüfwert P_{ges} = 1 mg/kg).

NH₄NO₃-Extraktionen zeigen für Arsen Konzentrationen unter dem Prüfwerte (P_{mob} = 140 µg/kg). Cadmium überschreitet mit 45 µg/kg den Belastungswert (B_{mob} = 40 µg/kg). Grund dafür sind die niedrigen Boden pH-Werte der Wiesenböden. Blei weist mobile Gehalte bis zu 2970 µg/kg auf. Sie liegen über dem Prüfwert (P_{mob} = 400 µg/kg), aber unter dem Belastungswert (B_{mob} = 12000 µg/kg) hinsichtlich der Schutzgüter Nahrungs- und Futterpflanze.

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf:

Die Bodenproben der Grube Erzengel Gabriel im Schierengrund (Einbachtal) zeigen hohe Blei- und erhöhte Arsen- und Cadmiumkonzentrationen. Die Prüfwerte (P_{ges}) werden bei diesen Elementen überschritten. In den sauren Böden ist die Mobilität von Arsen gering, bei Blei jedoch deutlich erhöht. Bei Cadmium wird der Belastungswert (B_{mob}) überschritten. Die Lage der Poche und Schmelze war nicht sicher zu bestimmen. Sie wird am Standort des verfallenen Hauses u.a. wegen der günstigen Lage (Nähe zur Grube und zum Einbach) vermutet. Hohe Schwermetall- und Bariumkonzentrationen im Boden können ebenfalls als Hinweis darauf gewertet werden. Eine abschließende Bewertung ist nur durch weitere Bodenuntersuchungen möglich. Die Durchführung solcher Untersuchungen ist im Zusammenhang mit den erforderlichen Analysen des Wiesenaufwuchses zu empfehlen, um mögliche Kontaminationen der Fläche besser abgrenzen zu können.

3.8.2 Weitere Gruben westlich von Wolfach (ohne Karten)

Die Bergbaureste der Gruben auf dem Barberast und der Grube Ludwig im Adlersbach liegen im Wald. Von der Grube Bernhard im Hauserbach wurde nur noch der Eingang zum Tiefen Stollen vorgefunden. Die im Hauserbach vom ehemaligen Bergbau vermutlich betroffenen Gebiete liegen ebenfalls zum Teil im Wald, andere Bereiche werden zur Futtermittelgewinnung genutzt.

3.8.2.1 Untersuchungsumfang

Wasserproben (4):

- Vorfluter, Stollenwasser Heilige Dreifaltigkeit (Bar-W1, Barberast).

3.8.2.2 Ergebnisse, Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf

Wasserproben: Die beiden Proben aus dem Gebiet des Barberast zeigen erhöhte Arsengehalte (Bar-W1 = 30,1 µg/l, r: 3433370, h: 5352820; Bar-W2 = 15,9 µg/l, r: 3432890, h: 5353020), die den künftigen Wert der Trinkwasserverordnung ab 1996 (10 µg/l) überschreiten. In der Probe Adl-W1 aus dem Adlersbach (r: 3435595, h: 5359140) liegen die Schwermetallkonzentrationen unter der Nachweisgrenze, der Arsengehalt liegt bei 1,06 µg/l. Die Probe Hau-W1 aus dem Hauserbach (r: 3437625, h: 5347750) zeigt ebenfalls niedrige Schwermetall- und Arsenkonzentrationen (As = 1,08 µg/l).

Zusammenfassung und weiterer Handlungsbedarf: In den Bächen und Stollenwässern des Barberast sind geringfügig erhöhte Arsenkonzentrationen (> 10 µg/l) zu verzeichnen. Die Vorfluter Adlersbach und Hauserbach zeigen keine Beeinflussung durch den ehemaligen Bergbau. Aktuell wird hier kein weiterer Handlungsbedarf gesehen.

4 Literaturverzeichnis

- /1/ AG BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 3. Auflage, 321 S., Stuttgart.
- /2/ BERGFELDT, B. (1994): Lösungs- und Austauschprozesse in der ungesättigten Bodenwasserzone und Auswirkungen auf das Grundwasser. - Karlsruher Geochemische Hefte, **4**, 173 S. + Anh., 54 Abb., 35 Tab., Karlsruhe.
- /3/ BERGFELDT, T. (1995): Untersuchungen der Arsen- und Schwermetallmobilität in Bergbauhalden und kontaminierten Böden im Gebiet des Mittleren Schwarzwaldes. - Karlsruher Geochemische Hefte, **6**, (im Druck) Karlsruhe.
- /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/ BRAUHÄUSER, M. (1910): Altwürttembergs Bergbau im Alpirsbacher Klosteramt. - Württem. Jahrb. Stat. Landeskd., 2. Heft, S. 341-365.
- /6/ BÜLTEMANN, H.-W. (1965): Die Uranvorkommen Ellweiler in Rheinlandpfalz und Menzenschwand im Schwarzwald. - Z. f. Erzbergbau u. Metallhüttenwesen, **18**, S. 79-83, Weinheim.
- /7/ BUNDESGESUNDHEITSAMT (1994): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. - Bundesgesundhbl. 4/94, S. 230-231, Bonn, Berlin.
- /8/ BUNDESMINISTER DES INNERN (1988): Futtermittelverordnung. - Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 869-910, Bonn.
- /9/ DIEM, W. (1979): Bergbau und Mineralien im Wildschapbach/Schwarzwald. - Jh. ges. Naturkd. Württ., **134**, S. 58-84, Stuttgart.
- /10/ DIN V 19730 (1993): Ammoniumnitratextraktionen zur Bestimmung mobiler Spurenelemente in Mineralböden. - Beuth Verlag, Berlin.
- /11/ DIN 38414, T4 (1984): Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser. - Beuth Verlag, Berlin.
- /12/ FRANK, M. (1949): Technologische Geologie der Bodenschätze Württembergs. - Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, S. 446, Stuttgart.
- /13/ FRANK, M. (1952): Die Alpirsbacher und Reinerzauer Erzgänge im Württembergischen Schwarzwald. - Württ., Jahrb. Stat. Landeskunde 1951/52, S. 117-150,
- /14/ FRITSCHKE, R. (1980): Ergebnisse der Uranprospektion im historischen Bergbaurevier von Wittichen (mittlerer Schwarzwald). - Ber. naturf. Ges. Freiburg i, Br., S. 18-28, Freiburg i. Br..
- /15/ GEHLEN, K. v. (1982): Trias/Jura-Gangmineralisationen in der Bundesrepublik Deutschland?. - Fortschr. Mineral., **60**, Bh. 1: S. 82-84, Stuttgart.
- /16/ GEYER, O.F., & GWINNER, M.P. (1986): Geologie von Baden-Württemberg. - 3. Auflage, 472 S., 256 Abb., 26 Tab., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.
- /17/ HENGLEIN, M. (1924): Erz- und Minerallagerstätten des Schwarzwalds. - S. 196, Stuttgart.
- /18/ HOFMANN, R. & SCHÜRENBERG, H. (1979): Geochemische Untersuchungen gangförmiger Barytvorkommen in Deutschland. - Monogr. Ser. Miner. Deposits, **17**, S. 1-80, Stuttgart (Borntraeger).
- /19/ HÖLTING, B. (1989): Hydrogeologie. - 3. Auflage, 396 S., Enke Verlag, Stuttgart.
- /20/ KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. (1985): Trace Elements in Soils and Plants. - Library of Congress Cataloging in Publication Data, 3. Auflage, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.

- /21/ KIRCHHEIMER, F. (1952): Die Uranerzvorkommen im mittl. Schwarzwald. - Mitt.-Bl. bad. geol. Landesanst. f. 1951
- /22/ KIRCHHEIMER, F. (1953): Weitere Untersuchungen über das Vorkommen von Uran im Schwarzwald. - Abh. d. geol. Landesamtes in Baden-Württemberg. - Heft 1
- /23/ KIRCHHEIMER, F. (1957): Bericht über das Vorkommen von Uran in Baden-Württemberg. - Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 1-3, Freiburg i. Br.
- /24/ KRAUSKOPF, K.B. (1979): Introduction to Geochemistry. - 2. Auflage, McGraw-Hill Book Company, London, Paris.
- /25/ LAUFHÜTTE, D.W. (1954): Der Bleierzgang Friedrich Christian im Wildschapach. - Universität Freiburg i. Br., 94 S., [unveröff. Dissertation], Freiburg.
- /26/ LEHMANN, M. (1993): Untersuchung einer Bergbaualllast im Raum Wildschapbach/Hirschbach. - unveröff. Diplomarbeit, Institut Petrographie und Geochemie der Univ. Karlsruhe, VIII + 116 S., 27 Abb., 8 Tab., 5 Anl., Karlsruhe.
- /27/ MAISENBACHER, P. & PUCHELT, H. (1991): Schwermetallaufnahme durch Ackerpflanzen in versch. iedenen höher belasteten Gebieten Baden-Württembergs auf neutralen bis schwach alkalischen Böden. - KFK-PWAB-Berichte, 10, 188 S., Karlsruhe.
- /28/ 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 Univ. Karlsruhe, 201 S., 30 Abb., 17 Tab., 31 Taf., 5 Kt., Karlsruhe.
- /29/ MANZ, M. (1995): Umweltbelastungen durch Arsen und Schwermetalle in Böden, Halden, Pflanzen und Schlacken ehemaliger Bergbaugebiete des Mittleren und Südlichen Schwarzwalds. - Karlsruher Geochemische Hefte, 7, (im Druck) Karlsruhe.
- /30/ METZ, R. (1955): Der Silber-Kobaltbergbau im Wittichener Revier und die Kinzigtäler Blaufarbenwerke. - Alem. Jb., 3, S. 224-262, Lahr.
- /31/ METZ, R., RICHTER, M. & SCHÜRENBERG, H. (1957): Die Blei-Zink-Erzgänge des Schwarzwaldes. - Beih. Geol. Jb., 29, S. 277, Hannover.
- /32/ RITTER, J. (1991): Untersuchungen der Schwermetallverteilung in Kulturböden am Schauinsland - Ergebnis von 750 Jahren Bergbau. - unveröff. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie Univ. Karlsruhe, 93 S., 23 Abb., 9 Tab., 2 Bl., Karlsruhe.
- /33/ RÜDE, T. (1991): Umweltbelastungen durch alte Bergbauaktivitäten im Raum Lahr/Reichenbach. - unveröff. Diplomarbeit, Institut für Geochemie und Petrographie Univ. Karlsruhe, 89 S., 22 Abb., 2 Tab., 4 Bl., Karlsruhe.
- /34/ SAUERBECK, D. (1983): Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden. - Landwirtsch. Forsch. Sh. 39, S. 108-129.
- /35/ SAUERBECK, D. (1989): Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. - In: Behrens, D. u. Wiesner, J. (Hrsg.): Beurteilung von Schwermetallkontaminationen in Böden. Dechema-Fachgespräche Umweltschutz: S. 281-316, Frankfurt.
- /36/ SCHÄDEL, K. (1955): Neue Untersuchungen im alten Bergbaugebiet von Alpirsbach und Reinerzau (Schwarzwald). - Jh. geol. Landesamt B.-W., 1, S. 37-60, 2 Taf., Freiburg i. Br..
- /37/ SCHÄFER, J. (1994): Dekontaminationswirkung von Eisen- und Manganoxiden bzw. -hydroxiden auf arsenhaltige Wässer. - Unveröffent. Diplomarbeit, Institut für Petrographie und Geochemie, 75 S., 29 Abb., 6 Tab., Karlsruhe.
- /38/ SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., HARTGE, K.-H. & SCHWERTMANN, U. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. - 13. Auflage, 491 S., Stuttgart.

- /39/ SCHMITZ-HARTMANN, W. (1988): Wiesloch nach 2000 Jahren Bergbau - Geochemische Bestandsaufnahme an landwirtschaftlich genutzten, schwermetallkontaminierten Kulturböden und mögliche Sanierungsmaßnahmen. - unveröff. Diplomarbeit, Institut für Geochemie und Petrographie Univ. Karlsruhe, 124 S., 36 Abb., 41., Karlsruhe.
- /40/ SCHNEIDERHÖHN, H. (1949): Schwespatgänge und pseudomorphe Quarzgänge in Westdeutschland. - N. Jb. Mineral., Mh., Abt. A. **9**: S. 191- 202, Stuttgart.
- /41/ SCHNEIDERHÖHN, H (1953): Fortschritte in der Erkenntnis sekundärhydrothermalen und regenerierter Lagerstätten. - N. Jb. Mineral., Mh., Abt. **1953**: S. 224- 237, Stuttgart.
- /42/ SCHNÜRLIN, M. (1921): Geschichte des württembergischen Kupfer- und Silberbergbaus. - Tüb. Staatswissenschaftl. Abh., N.F., Heft **23**, S. 128, Tübingen.
- /43/ SHACKLETTE, H.T. (1978): Trace Elements in plant foodstuffs. - In: Toxicity of Heavy Metals in the Environments, Part I, Oehme, F.W., Hrsg., Marcel Dekker, New York.
- /44/ TrinkwV (1990): Deutsche Trinkwasserverordnung. - In Hein, H. und Schwedt, G. (Hrsg.) Richt- und Grenzwerte Luft - Wasser - Boden - Abfall - Chemikalien, Arbeitsmittel vom Umweltmagazin, 3. Auflage, 1991, Vogel Verlag und Druck KG, Würzburg.
- /45/ 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.
- /46/ WALENTA, K., & WIMMENAUER, W. (1961): Der Mineralbestand des Michael-Ganges im Weiler bei Lahr, Schwarzwald. - Jh. geol. Landesamt Bad.- Württ., **4**, S. 7-37, Freiburg i. Br.
- /47/ WALK, H. (1982): Die Gehalte der Schwermetalle Cd, Tl, Pb und Bi und weitere Spurenelemente in natürlichen Böden und ihren Ausgangsgesteinen Südwestdeutschlands. - Diss., Institut für Geochemie und Petrographie Univ. Karlsruhe, 170 S., Karlsruhe.
- /48/ WENDT, I., LENZ, H., HÖHNDORF, A. (1974): Das Alter des Bärhalde-Granites (Schwarzwald) und der Uranlagerstätte Menzenschwand. - Geol. Jb., **E 2**: S. 131-143, Hannover.
- /49/ WENDT, I., LENZ, H., HÖHNDORF, A., BLÜTEMANN, H. & BLÜTEMANN, W.-D. (1979): Das Alter der Pechblende der Lagerstätte Menzenschwand, Schwarzwald. - Z. deutsch. geol. Ges., **130**: S. 619-626, Hannover.
- /50/ WOLF, H. (1942): Die Gesteine und Erzgänge der Umgebung von Wittichen im mittleren Schwarzwald. - N. Jb. Min. Beit. Bd **77 A**, S. 176-237

Indexverzeichnis

B

| | |
|--|---|
| Bergbaustandorte Mittlerer Schwarzwald | |
| Ergebnisse der Untersuchungen | 5 |
| Schwermetallgehalte | 1 |

S

| | |
|--|---|
| Schwarzwald, mittlerer | |
| Bergbaustandorte | 1 |
| Geschichte des Bergbaus | 4 |
| Schwermetallgehalte | |
| Bergbaustandorte Mittlerer Schwarzwald | 1 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------------|---|----|
| TABELLE 3.1.1 | STATISTISCHE PARAMETER DER ARSENGEHALTE IN DEN BODENPROBEN AUS ALPIRSBACH (ANGABEN IN MG/KG)..... | 9 |
| TABELLE 3.2.2 | STATISTISCHE PARAMETER DER ARSENGEHALTE IN DEN BODENPROBEN AUS DER REINERZAU (ABGABEN IN MG/KG)..... | 14 |
| TABELLE 3.3.1 | DURCHSCHNITTSKONZENTRATIONEN IN MG/KG UND ABSOLUTGEHALTE IN TONNEN (T) VON ARSEN UND SCHWERMETALLEN IN WITTICHENER HALDEN | 21 |
| TABELLE 3.3.3 | ERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER WASSERPROBEN AUS DEM RAUM WITTICHEN | 23 |
| TABELLE B | | 24 |
| ZU TABELLE 3.3.3 | | 25 |
| TABELLE 3.3.4 | ERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER BODENPROBEN AUS DEM RAUM WITTICHEN (GESAMTGEHALTE) .. | 26 |
| TABELLE 3.3.2 | STATISTISCHE PARAMETER DER ARSENGEHALTE IN DEN BODENPROBEN AUS DEM WITTICHENER TAL. (ANGABEN IN MG/KG)..... | 28 |
| TABELLE 3.3.5 | ERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER NH ₄ NO ₃ -EXTRAKTIONEN VON BODENPROBEN AUS DEM RAUM WITTICHEN | 30 |
| TABELLE 3.3.6 | STATISTISCHE PARAMETER DER ARSEN-, KUPFER- UND BLEIGEHALTE IN DEN BODENPROBEN DER EHEMALIGEN FARBMÜHLE VON WITTICHEN (ABGABEN IN MG/KG) | 40 |
| TABELLE 3.3.7 | ELEMENTGEHALTE, PH-WERTE AUSGEWÄHLTER BODENPROBEN AUS DEM BEREICH DER EHEMALIGEN FARBMÜHLE WITTICHEN | 42 |
| TABELLE 3.6.1 | STATISTISCHE PARAMETER DER NICKEL-, KUPFER-, ZINK- UND BLEIGEHALTE IN DEN BODENPROBEN AUS DEM GEBIET DER GRUBE FRIEDRICH-CHRISTIAN (ANGABEN IN MG/KG) | 54 |
| TABELLE 3.7.1 | STATISTISCHE PARAMETER DER BLEIGEHALTE IN DEN BODENPROBEN AUS DEM FROHNBACHTAL (ANGABEN IN MG/KG)..... | 61 |
| TABELLE 3.7.2 | ELEMENTGEHALTE UND PH-WERTE DER BODENPROBEN AUS HAUSGÄRTEN BEI DER GRUBE WENZEL..... | 62 |
| TABELLE 3.7.3 | STATISTISCHE PARAMETER DER BLEIGEHALTE IN DEN BODENPROBEN AUS DEM GELBACHTAL (ANGABEN IN MG/KG)..... | 68 |
| TABELLE 3.7.4 | ELEMENTGEHALTE UND PH-WERTE AUSGEWÄHLTER BODENPROBEN AUS DEM GELBBACHTAL ... | 68 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----------------|--|----|
| KARTE 3.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES MITTLEREN SCHWARZWALDES (1200.000.....) | 5 |
| KARTE 3.1.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES BEREICHS NORDÖSTLICH VON ALPIRSBACH MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN SOWIE SCHWERMETALL- UND ARSENKONZENTRATIONEN IN BÄCHEN UND STOLLEN- WÄSSERN | 7 |
| KARTE 3.2.1 | ÜBERSICHTSKARTE DER REINERZAU MIT PROBENNAHMEPUNKTEN SOWIE SCHWERMETALL- UND ARSENGEHALTEN DER WASSERPROBE (R-W1)..... | 12 |
| KARTE 3.3.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES NÖRDLICHEN WITTICHENER TALS MIT PROBENNAHMEPUNKTEN SOWIE ARSEN- UND URANKONZENTRATIONEN IN BÄCHEN | 16 |
| KARTE 3.3.2 | ÜBERSICHTSKARTE DES NÖRDLICHEN WITTICHENER TALS (ZUNDELGRABEN) MIT DEN BODENPROBENNAHMEPUNKTEN..... | 17 |
| KARTE 3.3.3 | ÜBERSICHTSKARTE DES SÜDLICHEN WITTICHENER TALS MIT PROBENNAHMEPUNKTEN SOWIE ARSEN UND SCHWERMETALLGEHALTE IN BÄCHEN UND STOLLENWÄSSERN | 18 |
| KARTE 3.3.4 | ÜBERSICHTSKARTE DES SÜDLICHEN WITTICHENER TALS MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN | 19 |
| KARTE 3.3.5 | ÜBERSICHTSKARTE DES ÖSTLICHEN WITTICHENER TALS UND DES GALLENBACHTALS MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN..... | 20 |
| KARTE 3.3.6 | ARSENGEHALTE IN BODENPROBEN (0-10 CM TIEFE) AUS DEM NÖRDLICHEN WITTICHENER TAL | 29 |
| ABBILDUNG 3.3.1 | ARSENMObILITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VOM BODEN P H-WERT (LINKS OBEN) UND EISENKONZENTRATION (RECHTS OBEN) IN BÖDEN AUS DEM WITTICHENER TAL..... | 31 |
| ABBILDUNG 3.3.2 | KOBALTMObILITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VOM BODEN P H-WERT (LINKS OBEN) UND MANGANKONZENTRATION (RECHTS OBEN) IN BÖDEN AUS DEM WITTICHENER TAL | 31 |
| ABBILDUNG 3.3.3 | MOBILER ANTEIL DER SCHWERMETALLE NICKEL (LINKS OBEN), KUPFER (RECHTS OBEN) UND ZINK (LINKS UNTEN) IN ABHÄNGIGKEIT VOM BODEN P H-WERT IN BÖDEN AUS DEM WITTICHENER TAL | 32 |
| ABBILDUNG 3.3.4 | MOBILER ANTEIL VON BLEI (LINKS OBEN) UND VON BARIUM (RECHTS OBEN) IN ABHÄNGIGKEIT VOM BODEN P H-WERT IN BÖDEN AUS DEM WITTICHENER TAL | 33 |
| KARTE 3.3.7 | DER BEREICH DER EHEMALIGEN SILBERSCHMELZE UND FARBMÜHLE VON WITTICHEN MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN..... | 36 |
| KARTE 3.3.8 | ARSENGEHALTE IN BODENPROBEN DER (TIEFE 0-10 CM) IM BEREICH DER EHEMALIGEN FARBMÜHLE VON WITTICHEN..... | 38 |
| KARTE 3.3.9 | KUPFERKONZENTRATIONEN IM BODEN DER TIEFE 0-10 CM IM BEREICH DER EHEMALIGEN FARBMÜHLE VON WITTICHEN..... | 39 |
| KARTE 3.3.10 | BLEIGEHALTE IN BODENPROBEN (TIEFE 0-10 CM) IM BEREICH DER EHEMALIGEN FARBMÜHLE VON WITTICHEN..... | 40 |
| KARTE 3.3.11 | SCHWERMETALL- UND ARSENGEHALTE IN AMMONIUMNITRATEXTRAKTEN UNTERSCHIEDLICH KONTAMINierter BODENPROBEN (0-10 CM TIEFE, ANGABEN MG/KG)..... | 44 |
| KARTE 3.4.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES MITTLEREN HEUBACHTALS MIT DER GRUBE ANTON RECHTS UND DER GRUBE KATHARINA LINKS DES HEUBACHS..... | 46 |
| KARTE 3.6.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES ÖSTLICHEN HIRSCHBACHTALS MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN SOWIE SCHWERMETALLUND ARSENKONZENTRATIONEN IN STOLLEN, QUELLEN UND BÄCHEN | 49 |
| KARTE 3.6.2 | KUPFERGEHALTE DER BODENPROBEN (0- 10 CM TIEFE) AUS DEM HIRSCHBACHTAL UND DEM WILDSCHAPBACHTAL. DIE KUPFERWERTE (MG/KG) DER EINZELPROBEN AUS DEN TRAVERSEN I - III SIND GRAPHISCH DARGESTELLT | 52 |
| KARTE 3.6.3 | BLEIGEHALTE DER BODENPROBEN (0-10 CM TIEFE) AUS DEM HIRSCHBACHTAL UND DEM WILDSCHAPBACHTAL. DIE BLEIWERTE (MG/KG) DER EINZELPROBEN AUS DEN TRAVERSEN I - III SIND GRAPHISCH DARGESTELLT | 53 |
| ABBILDUNG 3.6.2 | BLEIMObILITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VOM P H-WERT IN BÖDEN AUS DEM HIRSCHBACHTAL..... | 56 |
| KARTE 3.6.4 | SCHWERMETALL- UND ARSENGEHALTE IN HALDENPROBEN UND IN PFLANZENPROBEN AUS BELASTETEN UND UNBELASTETEN HAUSGÄRTEN SOWIE VON GRÜNLANDFLÄCHEN..... | 57 |
| KARTE 3.7.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES FROHNBACHTALS MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN UND ERGEBNISSEN DER BEIDEN WASSERPROBEN | 60 |
| KARTE 3.7.2 | BLEIGEHALTE DER BODENPROBEN (0-10 CM TIEFE) AUS DEM FROHNBACHTAL SOWIE SCHWERMETALL- UND ARSENKONZENTRATIONEN IN HALDEN- UND PFLANZENPROBEN..... | 63 |
| KARTE 3.7.3 | ÜBERSICHTSKARTE DES MITTLEREN GELBACHTALS MIT DEN PROBENNAHMEPUNKTEN SOWIE SCHWERMETALL- UND ARSENGEHALTE DES GELBACHS | 65 |
| KARTE 3.7.4 | BLEIGEHALTE IN DEN BODENPROBEN DES GELBACHTALS | 67 |
| KARTE 3.8.1 | ÜBERSICHTSKARTE DES HINTEREN EINBACHTALS MIT DER GRUBE ERZENGEL GABRIEL UND DEN PROBENNAHMEPUNKTEN..... | 71 |