

Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft

**Untersuchungen zur
Belastungssituation von
Boden und Grundwasser in
den Flußauen unterhalb von
Marktredwitz**

Materialien Nr. 78 (Dezember 1998)

**Untersuchungen zur
Belastungssituation von
Boden und Grundwasser in
den Flußauen unterhalb von
Marktredwitz**

Materialien Nr. 78 (Dezember 1998)

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München,
eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung
und Umweltfragen

Gesamtredaktion: Dr. R. Röder, Chemiedirektor, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) B. Friedmann, Dipl.-Chem. Dr. M. Biersack,
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

Druck: Eigendruck
Für den Druck wurde Recycling-Papier aus 100% Altpapier verwendet.

Nachdruck und Wiedergabe – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers

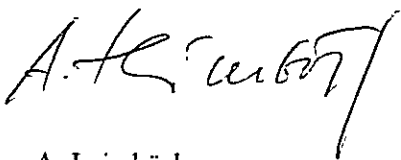
Vorwort

Aus verschiedenen Voruntersuchungen ist bekannt, daß im Umfeld der ehemaligen Chemischen Fabrik Marktredwitz (CFM), insbesondere in den Kösseine-Auen im Abstrombereich der CFM, Bodenbelastungen mit CFM-spezifischen Stoffen vorliegen. Das wassergefährdende Potential dieser Bodenbelastungen wurde bisher jedoch nicht hinreichend ermittelt. Vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und den Wasserwirtschaftsbehörden wurden deshalb ergänzende Untersuchungen zur Bewertung des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser im Überschwemmungsbereich der Kösseine und auch der Röslau für notwendig erachtet. Mit der Durchführung beauftragte das StMLU im Jahre 1996 das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), das die Untersuchungen gemeinsam mit dem WWA Bayreuth vornahm.

Mit diesen Untersuchungen konnte an Stellen mit bekannten oberflächennahen Bodenbelastungen, nachgewiesen werden, daß bislang keine nennenswerte Verlagerung der Kontaminanten in die Tiefe bzw. ins Grundwasser erfolgt ist. Es liegt somit ein nur geringes Gefährdungspotential für das Grundwasser vor, so daß derzeit eine Grundwasserüberwachung als ausreichende Maßnahme angesehen wird.

Wir danken allen Beteiligten an diesem Untersuchungsvorhaben, insbesondere Herrn Dr. Biersack und Frau Friedmann sowie Frau Bauer, Herrn Bastarows und Herrn Stoerner für die Durchführung der örtlichen Untersuchungen und Probenentnahme.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Abteilung Schutz des Grundwassers und wassergefährdende Stoffe
Dezember 1998



A. Leimböck

(Ltd. Baudirektor)



Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Historie	1
2	Bisheriger Kenntnisstand	3
2.1	Untersuchungsbereiche	3
2.2	Erkundungsberichte	3
2.2.1	Diplomarbeit Eber von 1991	4
2.2.2	Bericht Eber von 1992	5
2.2.3	LGA/GKSS-Schlußbericht von 1992	6
2.2.4	GSF-Bericht von 1995	8
2.2.5	Untersuchungen des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth	10
3	Natürliche Metallgehalte in Böden	12
3.1	Hintergrundwerte	12
3.2	Hintergrundwerte im Raum Marktredwitz	12
3.3	Bestimmung der Mobilität und Mobilisierbarkeit im Labor	13
3.3.1	DEV S4-Verfahren	14
3.3.2	pH _{stat} -Verfahren	14
4	Durchgeführte Maßnahmen	16
4.1	Errichtung der Grundwassermeßstellen	17
4.2	Rammkernsondierungen	17
4.3	Beprobung der Grundwassermeßstellen	18
4.4	Probenahme	19
4.4.1	Bodenproben	20
4.4.2	Eluatuntersuchungen	21
4.4.3	Wasserproben	22
5	Untersuchungsergebnisse	23
5.1	Geologie im Untersuchungsgebiet	23
5.1.1	Kösseine-Auen	23
5.1.2	Röslau-Auen	25
5.2	Örtliche hydrogeologische Verhältnisse	26
5.3	Ergebnisse der Boden- und Sedimentuntersuchungen	28
5.3.1	Kösseine-Auen	28

←

(

5.3.1.1	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen	28
5.3.1.2	Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen	32
5.3.2	Röslau-Auen	33
5.3.2.1	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen	33
5.3.2.2	Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen	35
5.4	Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen	36
5.4.1	Grundwasser aus den Kösseine-Auen	36
5.4.2	Grundwasser aus den Röslau-Auen	40
5.4.3	Oberflächenwasser aus Kösseine und Röslau	40
6	Bewertung der wesentlichen Ergebnisse	41
6.1	Bewertung der örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse	43
6.2	Bewertung der Untergrund- und Grundwasserkontaminationen	45
6.2.1	Quecksilber	45
6.2.2	Antimon	48
6.2.3	Arsen	49
6.2.4	Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink	50
6.2.5	Pflanzenschutzmittel und Chlorphenole	53
6.3	Abschätzung des Hg-Austrags	55
7	Weitere Maßnahmen	56
7.1	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	56
7.2	Wirkungspfad Sediment und Oberflächenwasser	56
8	Zusammenfassung	58
9	Literaturverzeichnis	63
10	Anlagen	65

←

(

Abbildungen

	Seite
Abb. 1 : Korngrößenverteilung und Hg-Gesamtstoffgehalte, [LGA/GKSS]	6
Abb. 2 : Jährlicher Hg-Austrag, [LGA]	7
Abb. 3 : Schematisches Bohrprofil der Kösseine-Auen	24
Abb. 4 : Schematisches Bohrprofil der Röslau-Auen	25
Abb. 5: Hg-Verteilung im Boden der Kösseine-Auen	29
Abb. 6 : Verteilung der Hg-Konzentrationen in den DEV S4-Eluaten der RKS	30
Abb. 7 : Sb-Verteilung im Boden der Kösseine-Auen	30
Abb. 8 : Schwermetallverteilung im Boden der Kösseine-Auen	31
Abb. 9 : Hg-Verteilung im Boden der Röslau-Auen	34
Abb. 10 : Korrelation der Fe- und As-Konzentrationen im Grundwasser	39
Abb. 11: Emissionsabschätzung bei Bodenbelastungen mit Schwer-und Halbmetallen	43
Abb. 12 : Teufenabhängige Hg- und Sb-Verteilung im Bereich F 9	46
Abb. 13 : Gesamtverteilung der Hg-Konzentrationen in den DEV S4-Eluaten	47
Abb. 14 : Gesamtverteilung der Sb-Konzentrationen in den DEV S4-Eluaten	49
Abb. 15 : Teufenabhängige Ni-Verteilung im Bereich F 9	54

←

(

Tabellen

	Seite
Tab. 1 : Stufe-1- und Stufe-2-Werte der Schwermetalle nach dem Merkblatt Nr. 3.8-10	4
Tab. 2 : Ubiquitäre regionale Grundbelastung, [GSF]	9
Tab. 3 : Natürliche Hintergrundwerte im Raum Marktredwitz, [GLA]	13
Tab. 4 : Entnahmestellen für Grund- und Oberflächenwasser	18
Tab. 5 : Anzahl der untersuchten Proben	19
Tab. 6: Untersuchungsparameter Boden	21
Tab. 7 : Untersuchungsparameter Grundwasser	22

←

(

1 Historie

Im Jahr 1788 wurde von Wolfgang Caspar Fikentscher in Marktredwitz die erste chemische Fabrik in Deutschland, die „Chemische Fabrik Marktredwitz“ (CFM), gegründet. Der Betrieb begann mit der Produktion von Phosphor, Salpeter- und Benzoesäure sowie rotem Quecksilber-Präzipitat (HgS). Bald darauf entstand ein kleines Laboratorium, das in kürzester Zeit zu einer ansehnlichen Fabrik expandierte.

Ab 1837 wurden in der CFM auch Antimonverbindungen produziert. Ein Produktionsschwerpunkt lag auf der Herstellung von Brechweinstein. Dieses antimonhaltige Derivat der Weinsäure wurde hauptsächlich in der Textil- und Lederindustrie als Beizmittel eingesetzt. Daneben wurden Mitte des 19. Jahrhunderts auch große Mengen an Salpeter-, Salz- und Schwefelsäure sowie Chlorkalk ($\text{CaCl}(\text{OCl})$), Glaubersalz (Na_2SO_4) und Quecksilberpräparate, insbesondere Zinnober (HgS), produziert und vertrieben. Zinnober wurde wegen seiner leuchtend roten Farbe vor allem in der Malerei verwendet.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts begann durch die Zusammenarbeit mit Professor Hiltner, dem Gründer der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in großem Maßstab der Einstieg in die Herstellung von quecksilberhaltigen Saatbeizmitteln. Aus Produktionslisten [GSF, 1995] geht hervor, daß nahezu alle bekannten anorganischen und organischen Quecksilberverbindungen bei der CFM produziert, gelagert oder umgeschlagen worden waren. Hier sind vor allem das breite Spektrum der Phenyl-Hg-Derivate und die hochtoxischen Methyl-Hg-Verbindungen, insbesondere Methylquecksilberchlorid, zu nennen. Von der CFM wurden mindestens 18 verschiedene Organo-Hg-Verbindungen vertrieben bzw. produziert. Die Produktpalette umfaßte auch arsen-, kupfer- und zinkhaltige Präparate.

Zusätzlich wurden von der CFM über 50 verschiedene organische und chlororganische Pflanzenschutzmittel (u.a. Herbizide, Insektizide) vertrieben.

Durch den nahezu 200-jährigen Produktionsbetrieb kam es durch unsachgemäßen Umgang mit den hergestellten Verbindungen, defekte Kanalsysteme und veraltete Produktionsanlagen nicht nur zu einer großflächigen Kontamination des CFM- und des benachbarten Stella-Geländes, sondern auch zu erheblichen Verunreinigungen des unmittelbar angrenzenden Vorfluters Kösseine. Sukzessive wurden dadurch auch die abstromigen Flußbereiche der Kösseine, Röslau und Eger sowie deren Überschwemmungsbereiche kontaminiert. Die genannten Bereiche und die in diesem Gebiet vorhandenen Wasserschutzgebiete sind aus dem Übersichtslageplan in der Anlage 1 zu ersehen.

Für die Quecksilber- und Antimonbelastungen muß nach einer historischen Recherche von U. PFEIL die CFM als Alleinverursacher angesehen werden. Bodenbelastungen mit Arsen und einigen Schwermetallen

(Blei, Kupfer, Zink) im CFM-Umfeld und im Abstrombereich sind auf verschiedene Verursacher (z.B. metallverarbeitende und keramische Betriebe) zurückzuführen.

Der Betrieb der Chemischen Fabrik Marktredwitz wurde im Juni 1985 aufgrund gravierender Umweltverstöße vom Landratsamt Wunsiedel untersagt.

Im Zuge der umfangreichen erkundungs- und sanierungsvorbereitenden Maßnahmen fanden Wissenschaftler der Universität Berlin auf dem Werksgelände 500 verschiedene Quecksilberverbindungen. Die mehrere Jahre dauernde Sanierung des CFM-Geländes sowie die Sanierung des benachbarten Stella-Grundstücks und der Außenstandorte (Gewächshaus, Kosselgelände) konnte 1996 abgeschlossen werden. Zeitgleich wurden die stark mit Schwermetallen belasteten Schlammablagerungen aus den Stauhaltungen und Mühlkanälen der Kösseine ausgehoben und entsorgt.

Trotz dieser Sanierungsmaßnahmen liegen im Umfeld der ehemaligen CFM, insbesondere in den Überschwemmungsgebieten der Kösseine-Auen, weiterhin Bodenbelastungen mit CFM-spezifischen Stoffen vor. Das wassergefährdende Potential dieser Verbindungen wurde bisher jedoch nicht hinreichend ermittelt. Vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und den Wasserwirtschaftsbehörden wurden deshalb ergänzende Untersuchungen zur Bewertung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser im Überschwemmungsbereich der Kösseine und auch der Röslau für notwendig erachtet.

Der für dieses Entwicklungsvorhaben relevante Kenntnisstand und die diesbezüglichen Untersuchungsberichte werden vorab unter Punkt 2 kurz erläutert.

2 Bisheriger Kenntnisstand

2.1 Untersuchungsbereiche

Im Zuge der Sanierungsvorbereitung und -überwachung der CFM wurden sowohl auf dem Betriebsgelände als auch auf den angrenzenden Grundstücken (Seeberger Parkplatz, Feuerwehrgasse, Stellengelände) sowie in den CFM-Außenstellen (Gewächshaus, Kesselgelände) und in den Fließgewässern umfangreiche Untergrund- und Wasseruntersuchungen durchgeführt. Anfang der 90er Jahre erfolgten auch Beprobungen der Aueböden im Überschwemmungsbereich der Kösseine sowie Bodenuntersuchungen im weiteren Umfeld von Marktredwitz.

Neben der Beprobung von Boden und Wasser (Grundwasser/Oberflächenwasser) liegen auch für die Bereiche Außenluft, Innenräume, Futter- und Lebensmittel Untersuchungsberichte vor [GSF, 1995]. An ausgewählten Personengruppen wurden zudem Blut- und Urinalysen vorgenommen.

2.2 Erkundungsberichte

Zu Untersuchungen im Umfeld der CFM, die für das hier vorgestellte Entwicklungsvorhaben von besonderer Bedeutung sind, liegen folgende Berichte vor:

- Diplomarbeit Eber von 1991; [EBER, 1991]
- Bericht Eber von 1992; [EBER, 1992]
- LGA/GKSS-Schlußbericht von 1992; [LGA/GKSS, 1992]
- GSF-Bericht von 1995; [GSF, 1995]

Zusätzlich wurden im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht vom Wasserwirtschaftsamt Bayreuth eine Vielzahl von Wasser- und Sedimentproben aus den Flußläufen untersucht. Weiterhin liegen Erkundungs- und Sanierungsberichte zur CFM und deren Außenstandorten vor. Diese Ergebnisse konnten bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse, die im Rahmen des Entwicklungsvorhabens zu erheben waren, mit einbezogen werden.

Um die Größenordnungen der nachfolgend genannten Konzentrationsangaben an Schwer- und Halbmetallen im Boden und im Grundwasser besser einordnen zu können, sind die jeweiligen Stufe-1 und Stufe-2-Werte dieser Metalle aus dem Merkblatt Slg LfW Nr. 3.8-10 [LfW, 1998a] in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1 : Stufe-1 und Stufe-2-Werte von Schwer- und Halbmetallen in Boden und Grundwasser [Lfw, 1998a]

Parameter	Boden		Grundwasser	
	Stufe-1-Wert [mg/kg]	Stufe-2-Wert [mg/kg]	Stufe-1-Wert [µg/l]	Stufe-2-Wert [µg/l]
Quecksilber (Hg)	2	10	1	4
Antimon (Sb)	10	50	5	20
Arsen (As)	10	50	10	40
Blei (Pb)	100	500	10	40
Cadmium (Cd)	10	50	5	20
Chrom, gesamt (Cr)	50	1000	50	200
Kupfer (Cu)	100	500	50	200
Nickel (Ni)	100	500	20	80
Zink (Zn)	500	2500	300	1200

2.2.1 Diplomarbeit Eber von 1991

Im Rahmen einer Diplomarbeit nahm A. Eber [EBER, 1991] eine bodenkundliche Kartierung der Kösseine-Auen im Bereich der Ortschaften Wölsau bis Brand vor. Zusätzlich wurden erste Ergebnisse über das Ausmaß der Kontamination durch Schwermetalle, insbesondere Quecksilber (Hg), in den Überschwemmungsbereichen der Kösseine ermittelt. Hierzu wurden an geeigneten Stellen verschiedene Bodentypen teufenabhängig und in unterschiedlicher Entfernung zum Vorfluter auf die relevanten Schwer- und Halbmetalle (Hg, Sb, As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) beprobt.

Vor allem im Bereich der Uferwälle der Kösseine wies EBER gravierende Hg-Konzentrationen mit Spitzenwerten von 963 mg/kg nach. Auch Antimon (bis 141 mg/kg) und Arsen (bis 33,6 mg/kg) waren in deutlich erhöhten Konzentrationsbereichen zu finden. Für Blei (bis 529 mg/kg) und Zink (bis 556 mg/kg) konnten ebenfalls Gesamtstoffgehalte über den jeweiligen Stufe-1-Werten festgestellt werden.

Zusätzlich wurde im Grundwasserabstrombereich der CFM innerhalb des Stadtgebietes durch 3 Flachbohrungen bis maximal 5,0 m die Schwermetallbelastung bis in den ersten Grundwasserleiter ermittelt. Hier zeigten vor allem die obersten Bodenschichten bis 0,2 m gravierende Hg-Kontaminationen bis 174 mg/kg sowie Belastungen mit Antimon bis 94 mg/kg und Blei bis 436 mg/kg. In einigen tieferliegenden

Bodenschichten (z.T. bis 5,0 m) trat zudem Kupfer in sehr hohen Konzentrationen bis 621 mg/kg auf. Arsen wurde lediglich mit einem Maximalwert von 31 mg/kg gemessen.

2.2.2 Bericht Eber von 1992

Im Jahr 1992 führte A. Eber [EBER, 1992] im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen eine Beprobungskampagne im Stadtgebiet und in den im Abstrombereich der CFM gelegenen Kösseine-Auen durch.

Im Stadtgebiet wurden in den untersuchten Böden im Mittel 33 mg/kg an Quecksilber gemessen, das zudem in hochmobiler Form vorlag. Durchschnittlich waren im Eluat Hg-Konzentrationen von 18 µg/l zu finden; der Maximalwert lag bei 356 µg/l. Der mittlere Gesamtstoffgehalt an Antimon betrug zwar nur 17 mg/kg, jedoch war der entsprechende Eluatmittelwert mit 37 µg/l deutlich erhöht. Die Blei- und Zink-Gesamtstoffgehalte waren ebenfalls an einigen Stellen mit Werten bis über 19 000 mg/kg Pb bzw. 2 500 mg/kg Zn ungewöhnlich hoch.

Die Bodenuntersuchungen in den Kösseine-Auen erfolgten an senkrecht zum Vorfluter gelegten Traversen mit definierter Entfernung der Probenahmepunkte zur Kösseine. Dadurch sollte ein Vergleich der Traversen untereinander und der Schwermetallverteilung in Abhängigkeit von der Entfernung zum Fließgewässer ermöglicht werden. Der Untersuchungsschwerpunkt lag im Auenbereich zwischen Wölsau und Brand.

Im gesamten beprobten Überschwemmungsbereich konnte Eber erhebliche Kontaminationen, insbesondere der humosen Oberböden, nachweisen. Die maximalen Stoffkonzentrationen wurden im Bereich der Uferwälle gemessen. Ein Rückgang der Belastungen war erst im Bereich der Talflanken und im mineralischen Unterboden (ab 50 cm Tiefe) festzustellen. Eine Abnahme der Stoffkonzentrationen in Fließrichtung konnte aus den ermittelten Daten nicht abgeleitet werden.

Die durchschnittlich gemessenen Bodenbelastungen an Quecksilber und Antimon lagen mit 117 mg/kg bzw. 51 mg/kg deutlich höher als im Stadtgebiet. Allerdings waren hier - bedingt durch den höheren Feinkorn- und Huminstoffanteil in den Böden der Kösseine-Auen - die Eluatwerte wesentlich geringer. Im Mittel wurden dennoch Quecksilber im Eluat mit einem sehr hohen Wert von 4,8 µg/l und Antimon mit 11,4 µg/l nachgewiesen. Arsen war trotz eines geringen mittleren Gesamtstoffgehalts von 14,2 mg/kg mit durchschnittlich 14 µg/l im Eluat nachweisbar. Für Blei und Zink waren lediglich die Gesamtstoffgehalte etwas auffällig.

2.2.3 LGA/GKSS-Schlußbericht von 1992

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens zur Gefährdungsabschätzung bei quecksilberkontaminierten Standorten in Bayern beprobten die Landesgewerbeanstalt Nürnberg (LGA) und das GKSS-Forschungszentrum u. a. auch Böden aus Hausgärten in Marktredwitz und aus den Kösseine-Auen [LGA/GKSS, 1992]. Weiterhin wurde in den obersten Bodenschichten das Transportverhalten von Hg-Verbindungen über den Luft- und Wasserpfad unter Langzeitaspekten an Labor- und Feldlysimetern untersucht.

Folgende Ergebnisse des LGA/GKSS-Schlußberichtes von 1992 sind festzuhalten :

Die Böden in den Kösseine-Auen enthalten in der Trockensubstanz (TS) durchschnittlich 30 - 70 mg/kg an Gesamtquecksilber. Für das hochtoxische Methyl-Quecksilberchlorid wurde ein maximaler Anteil von 131 µg/kg (0,1%) ermittelt. Ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Methyl-Hg⁺ und dem Gehalt an Gesamtquecksilber war nicht feststellbar. Die Hauptmenge des Quecksilbers ist dabei an die Feinkornfraktion des Bodens mit einem Korndurchmesser von < 63 µm gebunden (vgl. Abb. 1).

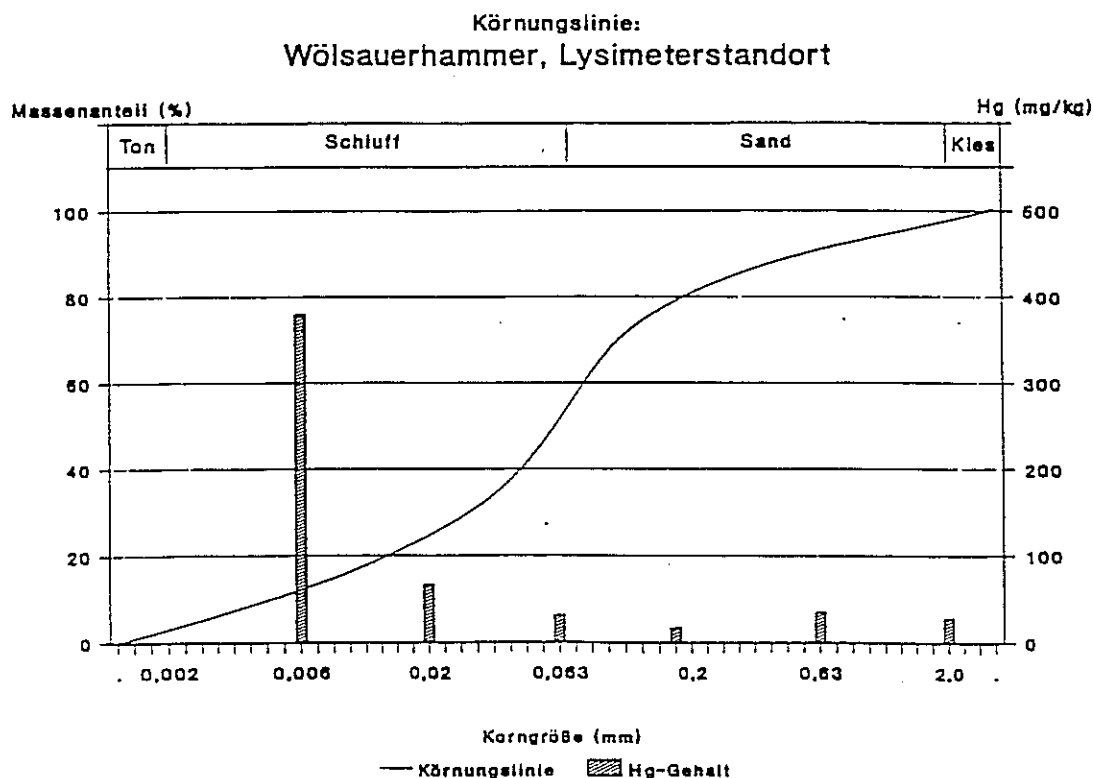


Abb. 1 : Korngrößenverteilung und Hg-Gehalt in den einzelnen Korngrößenfraktionen im Boden Kösseine-Aue, Wölsauerhammer, Lysimeterstandort [GKSS, 1992].

Das bedeutet, daß 60 - 90% des gesamten Quecksilbers in 3 - 24% der Gesamtmasse des Bodens (Ton- und Feinschluff-Fraktion) enthalten sind.

Die Untersuchungen der GKSS ergaben, daß der Hauptanteil des durch Sickerwasser mobilisierten Quecksilbers an hochmolekulare wasserlösliche Komplexe (z.B. Huminstoffe) gebunden ist. Der Hg-Austrag über den Wasserpfad korreliert dabei mit dem Hg-Gehalt im Boden.

Bei den Untersuchungen der LGA in den Kösseine-Auen (Wölsauerhammer) wurden in den Bereichen von 0 - 20 und von 20 - 40 cm im Mittel Hg-Gehalte von 44 bzw. 90 mg/kg festgestellt. In den obersten Bodenschichten (bis 35 cm Tiefe) konnten von LGA und GKSS für Hg Sickerwasserkonzentrationen von 0,06 bis 5,6 µg/l gemessen werden. Die mit dem Sickerwasser durchgeführten Biotests ergaben keine Toxizität gegenüber Leuchtbakterien.

Bei einer angenommenen mittleren Hg-Konzentration von 40 mg/kg werden somit der Bewertung der LGA zufolge 0,0024% des Gesamtquecksilbers im Boden jährlich über den Wasserpfad ausgetragen. Der aus der oberen Bodenschicht (0 - 15 cm) über den Wasserpfad mobilisierte Anteil liegt bei 0,43 mg/m² und Jahr, der über den Luftpfad ermittelte Anteil beträgt 1,6 mg/m² und Jahr. Die über den Luftpfad ausgetragene Hg-Menge besteht zu etwa 20% aus organischen Hg-Derivaten (z.B. Me-Hg-Cl); den Hauptanteil (ca. 80%) stellen anorganische Hg-Verbindungen (z.B. Hg⁰, HgCl₂).

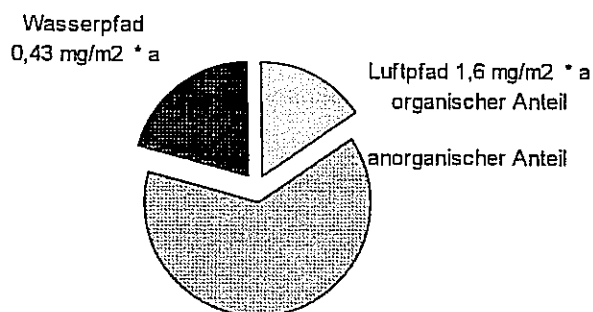


Abb. 2 : Graphische Darstellung des flächenbezogenen jährlichen Hg-Austrags aus dem Boden der Kösseine-Auen (0 - 15 cm), entsprechend den Angaben der LGA.

Ein Vergleich der LGA von Hg-Konzentrationen in Sickerwasserproben und von Eluaten nach dem DEV-S4-Verfahren zeigte bei identischen Bodenproben, daß bei der 24h-Elution durch die mechanische Bearbeitung des Bodens und das Spülen sonst unzugänglicher Bodenporen das 43- bis 215-fache der natürlichen Jahresausträge an Hg ausgelaugt wird.

Nach Ansicht der LGA kann aufgrund der im Durchschnitt geringen Hg-Konzentrationen im untersuchten Sickerwasser aus den Bodenschichten bis 35 cm eine Gefährdung des Grundwassers aus diesem Bereich des Bodens ausgeschlossen werden. Für das über den Luftpfad emittierte Quecksilber ist bei Langzeitexposition eine Gefährdung durch partikelgebundenes Hg gegeben.

Durch Untersuchungen der GKSS an Pflanzenproben aus den Kösseine-Auen ist ein erhöhter Quecksilbertransfer in die Pflanzen belegt. Die im Gras gefundenen Hg-Gesamtstoffgehalte mit Höchstwerten von 6,9 mg/kg liegen um das 2 bis 50 fache über den Gesamtstoffgehalten von nicht kontaminiertem Schnittgut.

2.2.4 GSF-Bericht von 1995

Das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit hat von 1992 bis 1994 im Rahmen des Projektes „Standortgerechte Bewertung der Belastung im Umfeld der Chemischen Fabrik Marktredwitz“ alle ihr vorliegenden Untersuchungsergebnisse aus der Umgebung der ehemaligen CFM in einer Datenbank (UMMADAT) zusammengefaßt und ausgewertet [GSF, 1995].

Soweit Meßbefunde vorlagen, führte die GSF für die Bereiche Boden, Wasser, Außenluft, Innenraum, Lebens- und Futtermittel eine qualitative Betrachtung der ermittelten Konzentrationen an Hg- und sonstigen Halb- und Schwermetalle durch. Für die Bewertung von Hg-Gehalten im Boden wurden Beurteilungswerte abgeleitet. Die für die Boden- und Grundwasseruntersuchungen in den Kösseine-Auen relevanten Untersuchungen und Aussagen der GSF werden nachfolgend kurz erläutert :

Anhand der vorgelegten Untersuchungsbefunde wurde von der GSF zunächst für den Raum Marktredwitz unter Ausschluß von Kontaminationsverdachtsflächen die ubiquitäre regionale (Boden-) Grundbelastung (URG) mit Quecksilber (Hg), Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb) und Zink (Zn) bestimmt. Hierbei wurde insbesondere auf Daten aus dem Bereich der Monodeponie Wölsau zurückgegriffen. Die Werte für die ortsspezifische Hintergrundbelastung sind in **Tabelle 2** wiedergegeben. Detaillierte Angaben zu den natürlichen Spurenmetallgehalten in den häufigsten Böden Bayerns sind in einem Fachbericht des Bayerischen Geologischen Landesamtes zusammengefaßt [GLA, 1991].

Die regionale Grundbelastung des Bodens (vgl. Tabelle 2) ist nach Aussage der GSF lediglich für Hg leicht erhöht, für Sb, As, Pb und Zn ergeben sich keine Auffälligkeiten. Die ermittelten URG-Werte können deshalb bei der Beurteilung von Kontaminationsverdachtsflächen im CFM-Umfeld als Vergleichsbasis herangezogen werden.

Tabelle 2: Übersicht über die ubiquitäre regionale Grundbelastung (URG) mit Hg, Sb, As, Pb, und Zn im Umfeld von Marktredwitz [GSF, 1995]

Schwermetall	Bodenhorizont	URG Marktredwitz nach GSF, 1995; 90. Perzentil [mg/kg TS]
Quecksilber (Hg)	0 - 10 cm	2,22
	0 - 30 cm	1,38
	30 - ...cm	0,26
Antimon (Sb)	0 - 10 cm	0,15
	0 - 30 cm	0,15
	30 - ...cm	0,11
Arsen (As)	0 - 10 cm	11,3
	0 - 30 cm	11,3
	30 - ...cm	9,7
Blei (Pb)	0 - 10 cm	71,8
	0 - 30 cm	67,8
	30 - ...cm	25,4
Zink (Zn)	0 - 10 cm	96
	0 - 30 cm	110
	30 - ...cm	137

Desweiteren lassen sich die von der GSF anhand der bisher vorliegenden Ergebnisse diskutierten Bewertungsergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Im Umfeld der CFM sind vor allem im Bereich der Kösseine-Auen hohe Hg- und Sb- Gehalte nachgewiesen.
- Für die Schwermetalle Pb, Cu und Zn sowie des Halbmetall As ist im CFM-Umfeld ein Eintrag belegt. Bei As, Pb, Cu und Zn bewegen sich die Bodengesamtgehalte meist im Bereich des geogenen Hintergrundes, jedoch sind insbesondere für As, Pb und Zn punktuelle Belastungen erkennbar.
- Die Überschwemmungsflächen flußabwärts der Ortschaft Brand sind nicht ausreichend untersucht.

- Im Stadtgebiet entlang der Kösseine (Bereiche im Grundwasserabstrom der CFM) sowie außerhalb der Stadt im Auenbereich liegen nur wenige Meßwerte für den Bereich Grundwasser vor.
- Für den Parameter Chlororganika liegen (schwache) Verdachtsmomente vor.
- Aufgrund der geringen Datenbasis und der Tatsache, daß es sich bei Arsen und Antimon um Stoffe mit karzinogenem Potential handelt, sind weitere Erkundungsmaßnahmen im CFM-Umfeld erforderlich.

GSF-Schlußfolgerung : Eine Bewertung des Überschwemmungsgebietes ist zum jetzigen Zeitpunkt (Februar 1995) nicht möglich.

2.2.5 Untersuchungen des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth

Im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Bayreuth seit 1982 Grundwasser- und Fließgewässerproben sowie Sedimentmaterial aus Kösseine und Röslau auf CFM-spezifische Parameter untersucht.

Von 1983 bis 1996 konnten im Grundwasser im Bereich Wölsauerhammer (vgl. Anlage 2) insbesondere nach Schneeschmelze und bei Hochwasser sehr hohe Hg-Belastungen mit bis zu 42 µg/l nachgewiesen werden. Allerdings enthielt das geförderte Grundwasser stets Bodenpartikel, die sehr wahrscheinlich für die hohen Hg-Konzentrationen verantwortlich gewesen sein dürften. Bei Untersuchungen an ausgewählten filtrierten Proben (Porenweite der Filter: 0,45 µm) war im Filtrat kein Hg nachweisbar.

Von 1982 bis 1996 wurden im Röslaubereich bei Oschwitz lediglich Hg-Konzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze gefunden.

Die ersten Untersuchungen der Fließgewässer durch das WWA Bayreuth in den Jahren 1971 und 1972 ergaben extrem hohe Quecksilberbelastungen bis 450 µg/l in der Kösseine und bis 350 µg/l in der Röslau. Nach dem Einbau einer Abwasserbehandlungsanlage im Jahr 1975 bei der CFM gingen die Hg-Konzentrationen in der Kösseine auf etwa 3 µg/l zurück. Ein weiterer Rückgang der Hg-Belastung auf 1 µg/l wurde durch den Einbau eines Ionentauschers erreicht (1981). Durch den Anschluß der CFM an die Kläranlage konnten die Hg-Konzentrationen in der Kösseine auf unter 1 µg/l gesenkt werden. Nach der Schließung der CFM im Jahr 1985 wurden im Fließgewässer die höchsten Belastungen in der

Kösseine 1994 während der von der Wasservirtschaftsverwaltung veranlaßten Entschlammungsmaßnahmen der abstromig gelegenen Stauhaltungen gemessen. Dabei waren im Bereich der Krippnermühle bis zu 18,5 µg/l Hg nachweisbar. In den Jahren 1985 bis 1995 konnten dagegen in der Kösseine unterhalb der CFM, im Bereich der Kläranlage Marktredwitz nur vereinzelte Belastungsspitzen für Quecksilber bis zu 4,2 µg/l gemessen werden. In der Röslau (Pegel Kieselmühle, Arzberg) lag in diesem Zeitraum die durchschnittliche Hg-Konzentration deutlich unterhalb 1 µg/l. Der höchste Einzelwert wurde 1987 mit 3,7 µg/l nachgewiesen.

In Fischern, vor dem Grenzübertritt nach Tschechien, wurden in der Röslau in den vergangenen Jahren mittlere Hg-Konzentrationen von 0,2 bis 0,3 µg/l ermittelt. Die durchschnittliche Hg-Belastung der im Gewässer mitgeführten Schwebstoffe ist relativ konstant und beträgt etwa 18 mg/kg.

Die vereinzelt gemessenen Belastungsspitzen der Fließgewässer Kösseine und Röslau traten in erster Linie bei Hochwasserereignissen bzw. während der 1994 durchgeführten Entschlammung der Stauhaltungen in der Kösseine auf. Die erhöhten Werte dürften auf eine Remobilisierung von Hg aus abgelagerten, z.T. hoch kontaminierten Flußsedimenten (s.u.) sowie auf mitgeführte und mit Quecksilber belastete Feinpartikel zurückzuführen sein.

Die Flußsedimente der Kösseine und Röslau wurden vom WWA Bayreuth in den Jahren 1982 bis 1991 mehrmals an insgesamt 17 Entnahmestellen beprobt. In der Kösseine lagen die Höchstkonzentrationen für Quecksilber und Antimon bei 728 bzw. 184 mg/kg, in der Röslau bei 110 bzw. 17,5 mg/kg.

Die Entschlammung der untersuchten Flußabschnitte im Auftrag der Wasservirtschaft erfolgte im Bereich der Kösseine während des zweiten Halbjahres 1994. Dabei wurden annähernd 4700 t kontaminierte Flußsedimente mit insgesamt etwa 300 kg Quecksilber aus den Stauhaltungen entfernt. Die 1995 bei der Entschlammung der Röslau ausgehobenen 5400 t an Sedimenten enthielten ebenfalls etwa 300 kg Quecksilber.

3 **Natürliche Metallgehalte in Böden**

3.1 **Hintergrundwerte**

Hintergrundwerte sind typisch für bestimmte Böden, Gebiete und Nutzungen. Sie bezeichnen die repräsentativen Stoffkonzentrationen (z.B. Schwermetalle) in Böden. Bei der Bestimmung von geogenen Gehalten im Oberboden sind jedoch anthropogene Effekte in Folge der Bodennutzung (Acker, Grünland, Wald) sowie anderweitige Stoffeinträge, z.B. durch Niederschläge, zu berücksichtigen. Die ubiquitären Hintergrundwerte, insbesondere die natürlichen Gehalte von Zink, Blei, Cadmium und Kupfer können stark von anthropogenen Einträgen überlagert werden.

Die natürlichen (geogenen) Gehalte an anorganischen Stoffen und Spurenelementen (z.B. Schwermetalle) im Boden sind maßgeblich durch die Zusammensetzung der Ausgangsgesteine, aus denen diese Böden entstanden sind und die bodenbildenden Prozesse bedingt. Im Verlauf der Bodengenese kann es zu Umverteilungen von Stoffen kommen; dies führt in bestimmten Bodenhorizonten zu einer Anreicherung oder Verarmung der verfrachteten Elemente. Bei einigen Bodentypen stellt sich auf diese Weise eine deutliche vertikale Differenzierung der natürlichen Gesamtstoffgehalte ein. In den oberen Bodenhorizonten können zudem Vermischungen mit äolisch und/oder hangabwärts verlagerten Verwitterungsmaterialien die Metallgehalte der Decklagen beeinflussen, so daß die ermittelten Gesamtstoffgehalte von denen des Ausgangsgesteins abweichen. Derartige meist schluffreiche Deckschichten sind in ganz Bayern ausgeprägt.

Die Bereiche natürlicher Spurenmetallgehalte in den häufigsten Böden Bayerns sind in einem Fachbericht des Bayerischen Geologischen Landesamtes zusammengefaßt [GLA, 1991]. Auf der Grundlage der standortkundlichen Landschaftsgliederung werden für die in den einzelnen Landschaftsteilen Bayerns vorkommenden Böden Spannbreiten für die natürlichen Spurenmetallgehalte angegeben, in denen mehr als 90 % der Werte liegen dürften.

3.2 **Hintergrundwerte im Raum Marktredwitz**

Das für dieses Entwicklungsvorhaben relevante Untersuchungsgebiet der Kösseine-Auen nordöstlich von Marktredwitz liegt in der "Selb-Wunsiedler-Bucht" und berührt im Süden zum Teil das "Mitterteicher Basaltgebiet". In diesen Landschaftsteilen werden im Fachbericht des GLA von 1991 als Bodentypen **Braunerden** und **Gleye** angegeben. Insbesondere im Überschwemmungsbereich der Kösseine sind nach Eber [EBER, 1991] Auengley und Auenpseudogley aus quartärem Auelehm sowie Brauner Auenboden aus stark humosem Auelehm anzutreffen.

Für diese Bereiche ergeben sich unter Zugrundelegung der im Umfeld von Marktredwitz charakteristischen Bodentypen die in Tabelle 3 aufgeführten Spannbreiten für die Gesamtstoffgehalte an Schwer- und Halbmetallen.

Tabelle 3: Natürliche Spurenmetallgehalte in Böden im Bereich Marktredwitz [nach GLA, 1991].

Angaben in mg/kg									
	Sb	As	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Zn
Oberboden	0,1 - 0,9	2 - 13	10 - 60	0,05 - 0,3	10 - 300	1 - 50	5 - 80	2 - 270	20 - 200
mineralischer Unterboden	0,1 - 0,8	1 - 15	2 - 90	0,01 - 0,33	1 - 740	1 - 90	2 - 280	2 - 550	10 - 450
Für Quecksilber (Hg) keine Angaben; in der Regel << 0,3 mg/kg.									

Die vom GSF Forschungszentrum im Umfeld von Marktredwitz ermittelte ubiquitäre regionale Grundbelastung mit Hg, Sb, As, Pb und Zn (vgl. auch Punkt 2.2.4) zeigt eine übereinstimmende Tendenz und liegt bis auf Quecksilber im Bereich der o.g. Werte.

Die Gesamtstoffgehalte an Schwer- und Halbmetallen können innerhalb z.T. recht großen Spannbreiten variieren. Erhöhte Gesamtstoffgehalte in Böden, d.h. signifikant höhere Konzentrationen als allgemein üblich, sind deshalb nicht immer auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen sondern können durchaus geogen bedingt sein.

3.3 Bestimmung der Mobilität und Mobilisierbarkeit im Labor

Die Bindungsformen von anorganischen und organischen Stoffen im Boden sind von der Zusammensetzung des Bodens und den speziellen chemischen Randbedingungen (pH-Wert, Redoxverhältnisse, Gehalt an Tonmineralen und organischer Substanz) abhängig. Insbesondere der pH-Wert im Boden beeinflusst das Lösungsverhalten und damit die Mobilität bzw. die Mobilisierbarkeit der jeweiligen meist in ionischer Form vorliegenden chemischen Elemente und Verbindungen in Böden und Bodenlösungen. Aufgrund der Komplexität der o.g. Randbedingungen ist jedoch die Nachahmung naturgetreuer Elutionsvorgänge im Labor nicht möglich. Um die reale Situation dennoch annähernd nachstellen und

Aussagen zum Gefahrenpotential einer Bodenkontamination z.B. hinsichtlich der Gefährdung des Grundwassers machen zu können, wird die Mobilität bzw. die Mobilisierbarkeit von Stoffen in Böden im Labor über zwei anerkannte Elutionsverfahren (DEV S4 und pH_{stat}) ermittelt. Die beiden Verfahren sind im neuen Merkblatt SlgLfW Nr. 3.8-5 [LfW, 1998b] als Elutionsmethoden anerkannt und werden nachfolgend kurz vorgestellt.

3.3.1 DEV S4 - Verfahren

Ziel des Verfahrens nach DEV S4 (DIN 38414 -S4) ist es, Aussagen zur momentan mobilen Stoffmenge zu erhalten und die unter den Bedingungen dieses Verfahrens aus den zu untersuchenden Materialien in Wasser gelösten Stoffe zu bestimmen. Die Erfassung nach Art und Masse soll Hinweise darauf geben, welche Beeinträchtigungen oder Gefährdungen von den untersuchten Materialien unter den momentanen Bedingungen z.B. für das Grundwasser ausgehen.

Nach DIN 38 414 - S4 wird eine Probe, die 100 g Trockenmasse enthält, mit 1 l Wasser versetzt und bei Raumtemperatur im Schütteltest 24 Stunden mit destilliertem Wasser ausgelaugt. Die Probe sollte vorher nicht gesiebt und auf keinen Fall gemahlen werden. Nach der Elution werden die festen Rückstände durch Zentrifugieren und Filtrieren (Porenweite 0,45 μm) abgetrennt und die jeweils relevanten Parameter im Filtrat analysiert.

Unter anderem durch das im Vergleich zu natürlichen Böden unübliche Verhältnis Feststoff/Flüssigkeit von 1:10 werden im S4-Eluat meistens niedrigere Konzentrationen als im natürlichen Sickerwasser gemessen. Allerdings kann das Verfahren in Einzelfällen z.B. aufgrund der beim Schütteln verursachten mechanischen Bearbeitung des Bodens sowie durch das Spülen normalerweise unzugänglicher Bodenporen auch Werte ergeben, die unter natürlichen Bedingungen nicht oder nur in langen Zeiträumen erreicht werden. Insgesamt gesehen ermöglicht es das Verfahren jedoch, reproduzierbare Ergebnisse zum wasserlöslichen Stoffanteil zu erhalten und Aussagen über die Mobilität von Stoffen bei Altlasten und Schadensfällen abzuleiten.

3.3.2 pH_{stat} - Verfahren

Das von [OBERMANN und CREMER, 1993] entwickelte pH_{stat} -Verfahren dient dazu, Hinweise auf den im ungünstigsten Fall ("worst case") maximal eluierbaren bzw. mobilisierbaren Anteil eines Stoffes zu erhalten. Bei diesem Elutionsversuch wird die zu untersuchende Probe bei einem konstanten pH-Wert und in Anlehnung an das DEV S4-Verfahren (24 h-Schüttelversuch, Feststoff-/Flüssigkeitsverhältnis 1:10)

eluiert, um die Vergleichbarkeit der gemessenen Eluatkonzentrationen zu gewährleisten. Die Dauer der pH_{stat} -Elution wurde auf 24 h festgelegt, da nach diesem Zeitraum die Mobilisierbarkeit der Schwermetalle im pH_{stat} -Versuch nur noch langsam zu bzw. sogar wieder abnahm.

In der Regel erfolgt die Elution bei einem pH-Wert von 4 oder einzelfallabhängig auch bei pH 11. Innerhalb der ersten 30 Minuten der Versuchsdurchführung muß der Soll-pH eingestellt und durch eine rechnergesteuerte Säure- bzw. Laugezugabe über den Elutionszeitraum konstant gehalten werden ($\text{pH} = \pm 0,2$). Die Aufarbeitung der Proben erfolgt analog dem DEV S4-Verfahren, wobei das Eluat des pH_{stat} -Versuchs innerhalb von 2 h nach Versuchsende hergestellt sein sollte. Als Titriermittel wird verdünnte Salpetersäure verwendet, da keine schwerlöslichen Nitrate entstehen können. Anhand des Säureverbrauchs läßt sich zusätzlich die Säureneutralisationskapazität der Probe nach 24 Stunden (SNK_{24}) berechnen. Die Säureneutralisationskapazität beschreibt das Pufferungsvermögen einer Feststoffprobe gegenüber Säuren (z.B. saurer Regen).

Mit dem pH_{stat} -Verfahren können Änderungen des pH-Wertes simuliert werden, die im Extremfall (z.B. saurer Regen) denkbar sind. Dadurch können Aussagen zur Mobilisierbarkeit von Schwermetallen gemacht und Unterscheidungen zwischen reversibel und irreversibel gebundenen Anteilen getroffen werden. Das Verfahren liefert deshalb wesentliche zusätzliche Anhaltspunkte für die Gefährdungsabschätzung bei Bodenkontaminationen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist bei einem relativ niedrigen SNK_{24} -Wert von unter 200 mmol/kg die Pufferwirkung gegen Protoneneintrag (z.B. saurer Regen) bereits nach einigen Jahren erschöpft, d.h. eine Mobilisierung vorhandener Bodenbelastungen kann relativ kurzfristig eintreten.

4 Durchgeführte Maßnahmen

Vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft wurden im Überschwemmungsbereich der Kösseine zwischen der Kläranlage Marktredwitz (östlich des Stadtgebietes) und der Krippnermühle (Mündung der Kösseine in die Röslau) sowie im Überschwemmungsbereich der Röslau vor und nach Zusammenfluß mit der Kösseine geeignete Untersuchungsbereiche festgelegt.

Als Untersuchungsbereiche wurden ausdrücklich die Überschwemmungsgebiete der Kösseine und Röslau (vgl. Anlage 2) ausgewählt, da

- die CFM-spezifischen Stoffe durch Überflutungsvorgänge bevorzugt in diesen Bereichen abgelagert wurden
- in diesen Bereichen bereits oberflächennahe Bodenkontaminationen bekannt waren
- hier am ehesten Auswirkungen der abgelagerten Stoffe auf das Grundwasser bzw. auf den Grundwasserbegleitstrom der Kösseine zu erwarten waren.

In diesen Bereichen (vgl. Anlage 2) wurden 9 Grundwassermeßstellen (F 1 - F 9) in der quartären Talfüllung zur Erfassung des oberflächennahen, ersten Grundwasserstockwerks errichtet und eine 10. Meßstelle (T 1) ins unterlagernde Festgestein abgeteuft, um das Grundwasser des zweiten Grundwasserstockwerks zu erfassen. Im Umfeld der zehn neuen Grundwassermeßstellen im Kösseinetal sowie an 5 Stellen im Überschwemmungsbereich der Röslau wurden zusätzlich Rammkernsondierungen durchgeführt und horizontiert Bodenproben entnommen.

Probenahme und Beprobungsparameter der entnommenen Boden- und Wasserproben sind unter Punkt 4.4 beschrieben. Die Analysen wurden in den Labors des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth und des LfW durchgeführt.

4.1 Errichtung der Grundwassermeßstellen

Die Errichtung der Grundwassermeßstellen, die Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen sowie die Erstellung eines diesbezüglichen Abschlußberichtes erfolgte nach den Angaben des LfW durch ein Fachbüro. Wesentliche Vorgaben waren:

- Ausbaudurchmesser DN 125
- Verfilterung von der Sohle bis ca. 2 m über den Grundwasserspiegel
- Hinterfüllung mit Filterkies bis auf Höhe der Meßstellenkopfabdichtung
- Einbetonieren des Meßstellenkopfes in die umgebende Bodenmatrix

Die Grundwassermeßstelle in das zweite Grundwasserstockwerk wurde neben der Meßstelle F 2 errichtet und gegen das oberflächennahe Grundwasservorkommen durch den Einbau eines Sperrohres und einer Ton-/Zementdichtung abgesperrt.

Die Bohrarbeiten und die Errichtung der Grundwassermeßstellen erfolgten im August 1996. Die Bohrungen F 1 - F 9 wurden als Rammkernbohrungen (Enddurchmesser 300 mm) bis maximal 5,0 m unter GOK und die Bohrung T 1 im Rotationsbohrverfahren (Enddurchmesser 220 mm) bis 20 m unter GOK abgeteuft. Die Lage der Bohransatzpunkte sowie die bereits bestehenden und bei der nachfolgenden Grundwasserbeprobung mitberücksichtigten Grundwassermeßstellen sind der Anlage 2 zu entnehmen.

An den neu errichteten Grundwassermeßstellen wurden Pumpversuche durchgeführt und mehrmals Proben zur Analyse entnommen.

4.2 Rammkernsondierungen

Um genauere Angaben zur Schwermetallbelastung im Bereich der Bohransatzpunkte zu erhalten, erfolgten durch das LfW im Umfeld der neuen Grundwassermeßstellen zusätzlich weitere Rammkernsondierungen. In einem Umkreis von etwa 8 m um die Meßstelle wurden 5 Rammkernsondierungen (RKS) bis maximal 3,0 m unter GOK abgeteuft. Weiterhin wurden im Überschwemmungsbereich der Rösau 5 ausgewählte Flächen nach dem o.g. Beprobungsschema untersucht.

4.3 Beprobung der Grundwassermeßstellen

Die 10 neuen Grundwassermeßstellen, 5 weitere bereits bestehende Grundwasseraufschlüsse in den Kösseine- und Röslau-Auen sowie die zugehörigen Vorfluter wurden 1996 und 1997 in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt Bayreuth insgesamt fünfmal beprobt. Aufgrund des z. T. gering mächtigen Aquifers, der geringen Durchlässigkeit des Untergrundes und des hohen Feinkornanteils in den wasserführenden Schichten konnten die Grundwassermeßstellen bei der Probenahme nur mit sehr geringen Förderraten und nicht immer bis zur vollständigen Trübefreiheit abgepumpt werden. Ein ein- bis dreimaliger Austausch der Wassersäule, wie im LfW Merkblatt Nr. 1.4-1 [LfW, 1991] vorgeschrieben, war aber in jedem Fall gegeben. Bei trüben Proben ist zudem ein erhöhter Zeitaufwand für die Filtration vor Ort erforderlich. In allen Fällen konnten einwandfreie und ausreichende Filtratmengen erhalten werden. Die Probenahme des Grund- und Oberflächenwassers erfolgte an den in **Tabelle 4** genannten Stellen:

Tabelle 4 : Entnahmepunkte für Grund- und Oberflächenwasserproben in den Kösseine- und Röslau-Auen (vgl. Anlage 2).

Gemarkung	1. Grundwasserstockwerk	2. Grundwasserstockwerk	Vorfluter
Wölsau	F 1 F 2 F 3	T 1	
Wölsauerhammer	16 A F 4		Kösseine in Wölsauerhammer
Brand	F 5 F 6 F 7	Tiefbrunnen Brand (Notversorgung)	
Seußén	F 8 F 9		Kösseine bei Krippnermühle
			Röslau bei Dötschenmühle
			Röslau nach Zufluß Kösseine
Oschwitz	21 A 22 A	Tiefbrunnen Oschwitz	

4.4 Probenahme und Beprobungsparameter

Insgesamt wurden 188 Bodenproben und 279 Wasserproben entnommen. Die Untersuchung der Bodenproben betraf die Bestimmung der Gesamtstoffgehalte der CFM-bürtigen Parameter Quecksilber (Hg) und Antimon (Sb). Zusätzlich wurden auch Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) bestimmt. Weiterhin wurde an 75 Bodenproben eine Elution nach dem DEV S4- und an 79 Bodenproben eine Elution nach pH_{stat}-Verfahren durchgeführt. Die Eluate und die Wasserproben wurden auf die o.g. Parameter und auf Basisparameter untersucht. Die Analyse auf Pflanzenschutzmittel und Chlorphenole erfolgte nur an ausgewählten Proben (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Boden-, Grund- und Oberflächenwasserproben aus den Kösseine- und Röslau-Auen.

Bodenproben					
	<i>Gesamt- stoffgehalt</i>	<i>Eluat</i>		<i>Gesamt- stoffgehalt</i>	
		<i>DEV S4</i>	<i>pH_{stat}</i>		
Kösseine	Leitparameter Hg, Sb, As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn			PSM, Chlorphenole	
Kernbohrungen	60	18	19	6	
RKS	87	36	36	4	
Sediment	9	9	9		
Röslau					
RKS	30	10	13		Summe aller Bodenproben
Sediment	2	2	2		
Gesamt	188	75	79	10	352
Wasserproben					
	unfiltriert	filtriert		unfiltriert	
Kösseine	Leitparameter Hg, Sb, As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn			PSM, Chlorphenole	
Pumpversuche	28				
Beprobungsreihe	70	70		48	
Röslau					
Beprobungsreihe	23	23		17	Summe aller Wasserproben
Gesamt	121	93		65	279

4.4.1 Bodenproben

Bei den Rammkernbohrungen (DN 300) im Zuge der Errichtung der Grundwassermeßstellen wurden aus den Bohrkernen horizontal repräsentative Bodenproben aus folgenden Teufenbereichen entnommen:

bei 0,3 m

bei 1,0 m

danach alle 2 m und/oder bei Gesteinswechsel.

Bei den zusätzlich durchgeführten Rammkernsondierungen (RKS) mit einem Durchmesser von 80 bzw. 60 mm wurden aus folgenden Teufenbereichen jeder RKS Einzelproben entnommen:

0 - 20 cm

20 - 40 cm

40 - 70 cm

70 - 100 cm

100 - 130 cm

130 - 200 cm

200 - 300 cm

Für jeden Untersuchungsbereich in den Kösseine- und Röslau-Auen wurden die Einzelproben jeweils eines Teufenbereichs zu Mischproben vereinigt. Zusätzlich wurden vor Ort für die Entnahme von Sonderproben folgende 3 Bereiche festgelegt:

- Übergangsbereich = humushaltiger Bodenbereich unterhalb des Mutterbodens
(bodenkundliche Bezeichnung: aA_baM)
- Oxidationsbereich = durch Eisenoxidanreicherungen einheitlich braun gefärbte Bodenschicht im oberen Aquiferbereich
- Reduktionsbereich = einheitlich grau gefärbte Bodenschicht im unteren Aquiferbereich.

Sofern diese Bereiche vorhanden und eindeutig ansprechbar waren, wurden daraus Sonderproben entnommen.

Zur Bestimmung des Gesamtstoffgehalts wurden die Bodenproben getrocknet, gesiebt und die Fraktion < 2 mm auf die in Tabelle 6 genannten Parameter analysiert.

Tabelle 6 : Untersuchungsumfang der Bodenproben.

Bodenproben			
Basisparameter	Gesamtstoffgehalt	Eluate nach DIN 38414-S4	pH_{stat}
Aussehen (Farbe, Konsistenz), Geruch	alle Proben		
Bodenart	alle Proben		
Färbung, Trübung, Geruch		ausgewählte Proben	ausgewählte Proben
pH-Wert		ausgewählte Proben	ausgewählte Proben
Leitfähigkeit		ausgewählte Proben	ausgewählte Proben
<u>anorganisch-chemische Leitparameter</u>			
Antimon, Arsen, Quecksilber, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink	alle Proben	ausgewählte Proben	ausgewählte Proben
<u>organisch-chemische Leitparameter</u>			
Pflanzenschutzmittel (PSM) : Dicamba, Mecoprop, MCPA, Dichlorprop, 2,4-D, Fenoprop, MCPB, 2,4,5-T, 2,4-DB, Bromoxynil, Triclopyr, Fluoroxypyr, Bentazon, Joxynil, Clofibrat, Haloxyfop	ausgewählte Proben		
Chlorphenole : 2-Chlorphenol, 4-Chlorphenol, 2,4- Dichlorphenol, 2,4,5-Trichlorphenol, Tetrachlorphenol, Pentachlorphenol			

4.4.2 Eluatuntersuchungen

Für die Eluate nach dem DEV S4 bzw. dem pH_{stat}-Verfahren kamen entsprechend der DIN 38414 ungesiebte Proben zum Einsatz. Zur Reduzierung des Untersuchungsumfangs wurde nur dann eine Analyse im Eluat nach DIN 38414 - S4 bzw. nach dem pH_{stat}-Verfahren durchgeführt, sofern die Gesamtstoffgehalte mindestens eines anorganisch-chemischen Parameters (vgl. Tabelle 6) über dem jeweiligen Stufe-1 bzw. Stufe-2-Wert des Merkblattes Slg LfW Nr. 3.8-10 (vgl. Tabelle 1) lagen. Zusätzlich wurden auch an ausgewählten unbelasteten Proben Eluatversuche durchgeführt. An einigen Bodenproben konnten Untersuchungen nach dem pH_{stat}-Verfahren aufgrund zu geringer Probenmenge nicht durchgeführt werden.

4.4.3 Wasserproben

Die Probenahme an den unter Punkt 4.3 genannten Stellen durch das Wasserwirtschaftsamt Bayreuth erfolgte i.d.R. mittels einer Tauchpumpe entsprechend dem Merkblatt Slg LfW Nr. 3.8-6 [LFW, 1998c]. Aus den Fließgewässern (Kösseine, Röslau) wurde mittels automatischer Probenehmer über einen Zeitraum von 24 h je Entnahmestelle eine Mischprobe gesammelt. Alle Wasserproben wurden auf die in Tabelle 7 genannten Basis- und Leitparameter untersucht.

Zusätzlich wurden bei den Analysen die anorganischen Leitparameter (Hg, Sb, As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) sowie ausgewählte Basisparameter (Ca, Mg, Na, K, Mn, Fe) auch in der filtrierten Probe bestimmt. Die erforderlichen Probenmengen wurden vor Ort mittels einer Vakuumpumpe über Teflonfilter (Porenweite 0,45 µm) filtriert.

Tabelle 7 : Untersuchungsumfang der Wasserproben.

W a s s e r p r o b e n		
Basisparameter (alle Proben)	Leitparameter	
	anorganisch-chemisch (alle Proben)	organisch-chemisch (ausgewählte Proben)
Aussehen (Färb., Trüb.), Geruch	Quecksilber (Hg)	Pflanzenschutzmittel (PSM) : Dicamba, Mecoprop, MCPA, Dichlorprop, 2,4-D, Fenoprop, MCPB, 2,4,5-T, 2,4-DB, Bromoxynil, Triclopyr, Fluoroxypyryl, Bentazon, Joxynil, Picloram, Haloxyfop
Temperatur	Antimon (Sb)	
Leitfähigkeit (20°)	Arsen (As)	
pH-Wert	Blei (Pb)	
Säurekapazität	Cadmium (Cd)	
Basekapazität	Chrom (Cr)	
Sauerstoff, gelöst	Kupfer (Cu)	
Calcium, Magnesium, Natrium	Nickel (Ni)	
Kalium, Ammonium	Zink (Zn)	
Mangan ges., Eisen ges.		
Chlorid, Sulfat, Nitrat, Nitrit, Phosphat		
Kieselsäure		
Oxidierbarkeit		
DOC		
Spektr. Absorptionskoeffizient 436 / 254 nm		Chlorphenole : 2-Chlorphenol 4-Chlorphenol 2,4-Dichlorphenol 2,4,5-Trichlorphenol Tetrachlorphenol Pentachlorphenol

5 Untersuchungsergebnisse

Das Untersuchungsgebiet der Kösseine-Auen liegt östlich von Marktredwitz. Der untersuchte Bereich weist eine Ost-West Erstreckung von etwa 4,5 km, eine durchschnittliche Breite von etwa 150 m und eine Gesamtfläche von ca. 720 000 m² auf. Der untersuchte Bereich in den Röslau-Auen erstreckt sich von Flußkilometer 17,0 (Seußen) bis 7,0 (Oschwitz).

5.1. Geologie im Untersuchungsgebiet

Grundlage für eine geologische Beurteilung des Untersuchungsgebietes ist die geologische Karte Bayreuth 1 : 100 000.

Regional betrachtet liegt das Untersuchungsgebiet im Bereich des kristallinen Fichtelgebirges. Der tiefere Untergrund wird aus granitoiden Gneisen aufgebaut. An die Hauptstörungsbahnen, die nordwest-südost verlaufen, sind Kalksilikatfelse des Wunsiedler Marmors gebunden.

Die Kösseine und Röslau fließen im Untersuchungsbereich in nordöstlicher Richtung und folgen damit der tertiären Senke, hier von Sand- und Kiessedimenten aufgebaut wird. Im Hangenden folgen schluffig, lehmige quartäre Auesedimente.

Genauere Erkenntnisse über den Aufbau des Untergrundes in den Untersuchungsgebieten wurden hauptsächlich anhand der neuen Bohrungen gewonnen.

5.1.1 Kösseine-Auen

Aufgrund der im Rahmen dieses Entwicklungsvorhabens durchgeführten Kernbohrungen und Rammkernsondierungen kann der Untergrundaufbau im Auenbereich der Kösseine anhand der Bohrprofile (wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt) zusammenfassend folgendermaßen beschrieben werden:

Die oberste Bodenschicht besteht aus einem ca. 20 cm mächtigen, sandig-schluffigen dunkelbraunen Mutterboden. Darunter folgt ein bis zu 1,8 m mächtiger (F 4) brauner bis grauer, sandig-kiesiger Schluff, dessen Mächtigkeit aber meist mit zunehmender Entfernung vom Vorfluter abnimmt. Die Schluffschichten, deren mittlere Mächtigkeit etwa 1,0 m beträgt, weisen im oberen Teufenabschnitt bereichsweise humose Anteile auf. In Wechsellagerung mit Fein- bis Mittelsand reichen die Schluffhorizonte vereinzelt bis 2,5 m Tiefe (F 2). An einigen Stellen (F 1, F 2, F 9) wurden zudem im Teufenbereich von etwa 1 m gering mächtige, durch Eisenoxidverbindungen rostbraun gefärbte Horizonte ("Oxidationsbereich") angetroffen.

GOK

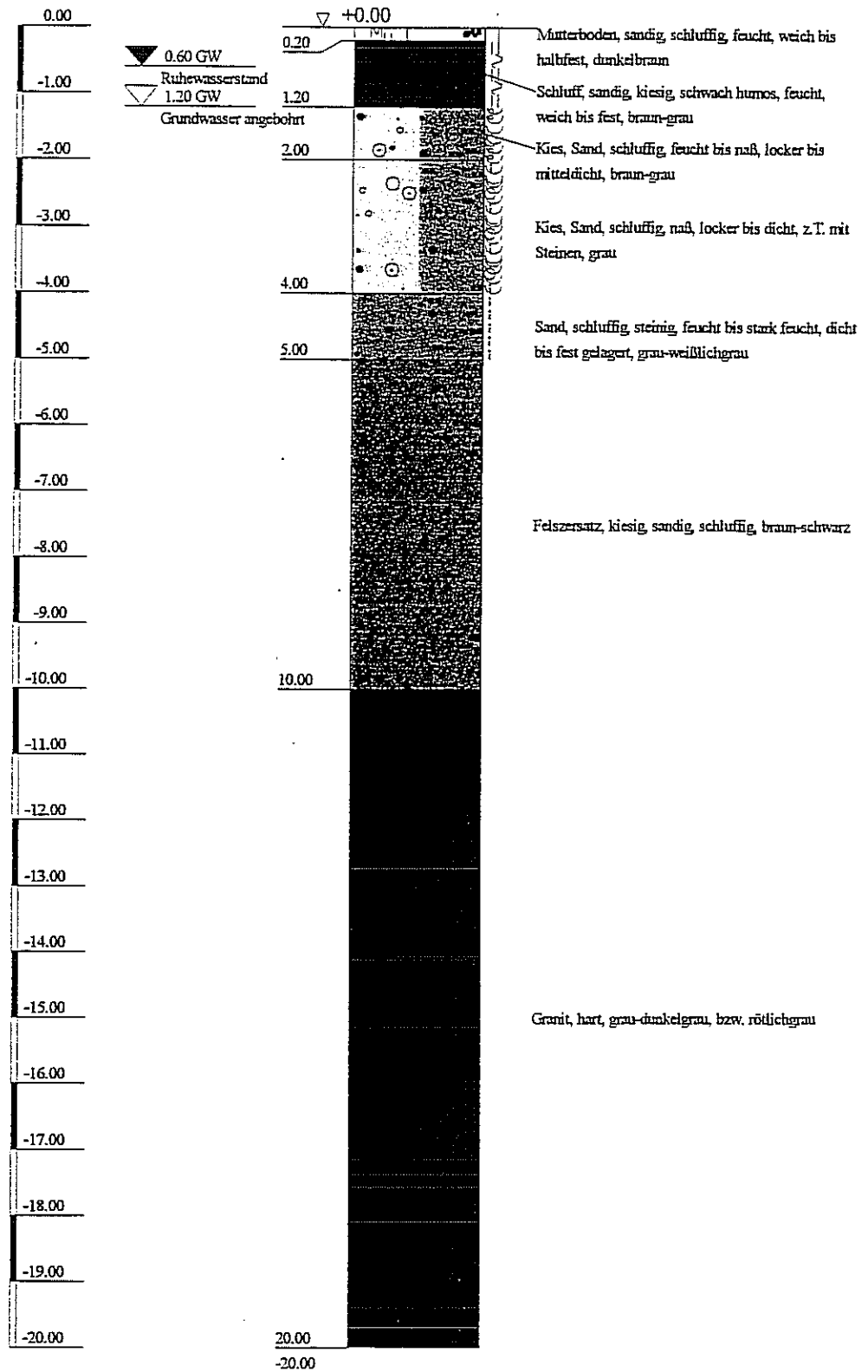


Abb. 3: Schematisches Bodenprofil der Kösseine-Auen

Dem Schluff unterliegen in meist wechselnder Abfolge bis maximal 5,1 m Tiefe (F 1) braun bis grau, mit zunehmender Tiefe vermehrt grau gefärbte, schluffige **Sand-** und/oder **Kies-**Horizonte, die z.T. mit Steinen bzw. Quarzgeröllen durchsetzt sind. Diese Kies- und Sandhorizonte fungieren als Porengrundwasserleiter für das oberflächennahe Grundwasserstockwerk. Im Sohlbereich dieses Grundwasserleiters sind die angetroffenen Bodenhorizonte meist einheitlich grau gefärbt ("Reduktionsbereich").

Bis zu einer Teufe von 10,6 m (T 1) unter GOK schließt sich sandig-kiesig-schluffiges teilweise stark steiniges braun bis schwarz gefärbtes **verwittertes Gestein** (Granit- bzw. Gneiszersatz) an. Unzersetzter **Granit** wurde in der Kernbohrung T 1 ab 10,6 m unter GOK angetroffen.

5.1.2 Röslau-Auen

Anhand der im Auenbereich der Röslau durchgeführten Rammkernsondierungen läßt sich der **Untergrundaufbau**, wie in Abbildung 4 schematisch dargestellt, vereinfacht folgendermaßen beschreiben:

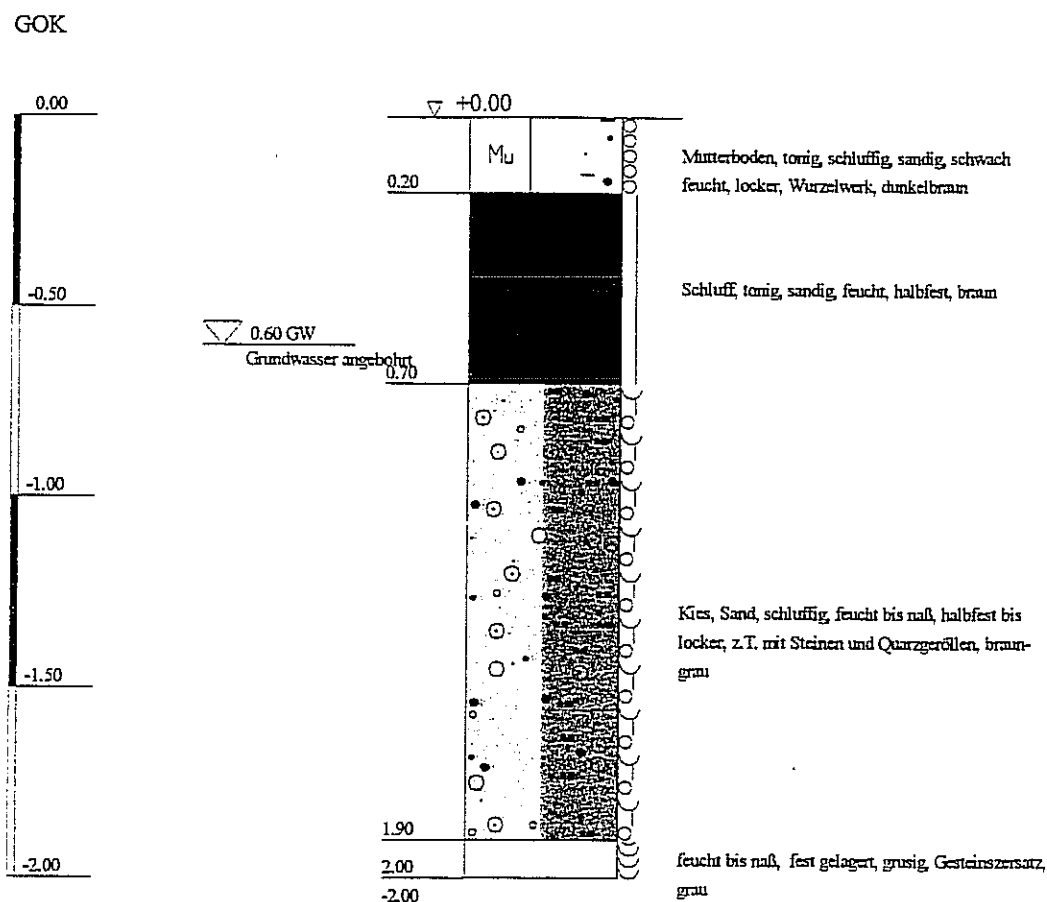


Abb. 4: Schematisches Bohrprofil der Röslau-Auen

Die oberste Bodenschicht besteht aus einem im Mittel ca. 20 cm mächtigen dunkelbraunen Mutterboden, der an mehreren Stellen Tonbeimengungen und vereinzelt auch sandig-schluffige Anteile enthält.

Darunter folgen im Mittel 0,5 m, z.T. bis 1,0 m mächtige braune, sandig-tonige Schluffhorizonte, die an einigen Stellen aber nur sehr geringe Mächtigkeiten aufweisen bzw. ganz fehlen. Vor allem im Bereich des Flußkilometers 17,0 schließen sich dem Schluff graue, sandig-schluffige Tonlagen teilweise mit Mächtigkeiten > 0,6 m an.

Dem Schluff bzw. Ton unterliegen in meist wechselnder Abfolge bis in Tiefen > 2,0 m braun bis grau, mit zunehmender Tiefe vermehrt grau gefärbte, schluffige Sand- und/oder Kies-Horizonte, die vereinzelt mit Steinen durchsetzt und von Schluff- oder Tonschichten durchzogen sein können. Diese Kies- und Sandhorizonte fungieren wie im Kösseinebereich als Porengrundwasserleiter für das oberflächennahe Grundwasserstockwerk. Im Liegenden wurde meist ein grauer, festgelagerter grusiger Gneiszersatz angetroffen.

5.2 Örtliche hydrogeologische Verhältnisse

Für den untersuchten Bereich der Kösseine-Auen können zwei Grundwasserleiter definiert werden: Ein erster oberflächennaher Porengrundwasserleiter bestehend aus sandig, kiesigen, z.T. schluffigen Auesedimenten und Gneiszersatz, der durch die flachen Grundwassermeßstellen erschlossen wird, sowie ein zweiter tieferliegender Kluftgrundwasserleiter im Festgestein (Granit) ab etwa 10 m unter GOK, der durch eine neu errichtete Meßstelle und den Tiefbrunnen Brand erschlossen wird.

Das Grundwasser wurde im Bereich von 1,0 bis 2,9 m unter GOK erbohrt und ist im untersuchten Auenbereich leicht gespannt. Der freie Grundwasserspiegel liegt je nach Grundwassermeßstelle im Bereich von 0,02 m bis 1,31 m unter GOK. Der mittlere Grundwasserstand liegt einschließlich der Grundwassermeßstellen bei etwa 0,7 m unter GOK.

Die Mächtigkeit des ersten Grundwasserstockwerks liegt zwischen 2,0 m und 4,0 m. Für den Bereich der Kösseine-Auen wurde ein mittlerer k_f -Wert von ca. 3×10^{-6} m/s berechnet. Die Förderströme lagen bei einer Absenkung von ca. 0,5 bis 2,0 m zwischen 0,01 und 0,1 l/s.

Für das zweite Grundwasserstockwerk wurde ein k_f -Wert von ca. $2,7 \times 10^{-6}$ m/s ermittelt. Bei einer Förderung von 0,5 bis 0,8 l/s fiel der Grundwasserspiegel bis 7,5 m unter den Ruhewasserspiegel. Wasserstandsmessungen im ersten Grundwasserstockwerk während des Pumpversuchs an der Tiefenmeßstelle (T1) zeigen zumindest in diesem Bereich einen hydraulischen Kontakt zwischen dem oberflächennahen und dem tiefen Grundwasserstockwerk.

Der Grundwasserspiegel des oberflächennahen Grundwasserstockwerks korrespondiert mit dem Wasserstand in der Kösseine.

Das Grundwasser im Bereich der Kösseine-Auen fließt in Richtung des Vorfluters und folgt im Untersuchungsbereich dem Verlauf der Kösseine.

Anhand des ermittelten k_f -Wertes und des gemessenen Grundwassergefälles wurde für das oberflächennahe Grundwasserstockwerk im Untersuchungsbereich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit (v_a) von 0,17 m/d bzw. 62,0 m/a berechnet. Die Abstandsgeschwindigkeit (v_a in m/s) ergibt sich aus der Filtergeschwindigkeit (v_f in m/s) dividiert durch die Porosität ($P=0,1$) des Aquifers.

$$v_a = v_f / P \quad [\text{ms}^{-1}]$$

Die Filtergeschwindigkeit (v_f) wird ermittelt aus dem k_f -Wert (k_f in m/s) und dem Grundwassergefälle dh / ds (dh = Differenz des Grundwasserspiegels zwischen 2 Meßpunkten; ds = Entfernung der beiden Meßpunkte):

$$v_f = k_f \times dh / ds \quad [\text{ms}^{-1}]$$

Hauptursache für die relativ geringe Abstandsgeschwindigkeit dürften der hohen Schluff- und Tonanteil in den Auesedimenten sein, die hier als Porengrundwasserleiter fungieren.

Es ist anzunehmen, daß die hydrogeologische Situation in den **Röslau-Auen** aufgrund des vergleichbaren Untergrundaufbaus und der ähnlichen Landschaftsform (Talaue) weitgehend den Verhältnissen im Auenbereich der Kösseine entspricht.

5.3 Ergebnisse der Boden- und Sedimentuntersuchungen

Es wurden insgesamt 177 Bodenproben und 11 Sedimentproben aus den Kösseine- und Röslau-Auen entnommen und auf die Schwer- und Halbmetalle Quecksilber (Hg), Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) untersucht. Eluatanalysen nach dem DEV S4-Verfahren und dem pH_{stat} -Verfahren wurde an ca. 80 Proben vorgenommen. Weiterhin wurden 10 Bodenproben auf organische Parameter untersucht (vgl. Tabelle 6 und 7). Eine Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse ist in den Anlagen 3 bis 7 enthalten.

5.3.1 Kösseine-Auen

In den Kösseine-Auen fielen insgesamt 150 Bodenproben aus den Bohrkernen der 10 Grundwassermeßstellen und aus den ergänzenden ca. 60 Rammkernsondierungen an. Zusätzlich erfolgte an 9 Stellen eine Beprobung der aus der Kösseine ausgetragenen Sedimente.

5.3.1.1 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse der 60 Bodenproben, die aus den Kernbohrungen beim Abteufen der Grundwassermeßstellen entnommen wurden (vgl. Punkt 4.1), geben zwar die punktuell vorliegenden Gesamtstoffgehalte an Schwer- und Halbmetallen wieder (vgl. Anlage 3), sie sind jedoch isoliert betrachtet zur Beurteilung der flächigen Untergrundbelastung im Grundwassereinzugsbereich der Grundwassermeßstellen nicht hinreichend aussagekräftig, da die Grundwassermeßstellen z. T. am äußersten Rand der Überschwemmungsgebiete errichtet wurden.

Die im Umfeld der Grundwassermeßstellen vorgenommenen Rammkernsondierungen (vgl. Punkt 4.3), die in geringerer Entfernung zur Kösseine und innerhalb der Überschwemmungsflächen abgeteuft wurden, liefern ein wesentlich differenziertes und aussagekräftigeres Bild der lokalen Untergrundbelastung. Deshalb werden hier nachfolgend nur die aus den Bodenproben der Rammkernsondierungen erhaltenen Untersuchungsergebnisse vorgestellt. Sie spiegeln die lokal vorliegende Verteilung der untersuchten Parameter auch in vertikaler Richtung wesentlich besser wider. Die Analyseergebnisse der Gesamtstoffgehaltsbestimmungen aus den Bereichen F1 - F9 sowie die Ergebnisse der Eluatuntersuchungen nach den DEV S4- und dem pH_{stat} -Verfahren sind in tabellarischer Form in Anlage 4 zusammengestellt. Untersuchungen auf organische Parameter wurden an insgesamt 10 Proben durchgeführt (vgl. Anlage 5).

In allen Untersuchungsbereichen der Kösseine-Auen wurden für **Quecksilber (Hg)** in den oberen Bodenschichten z.T. sehr hohe Gesamtstoffgehalte bis 170 mg/kg ermittelt. Die obere Bodenschicht (Mutterboden) von 0 - 20 cm enthielt Quecksilbergehalte von 2,5 bis 145 mg/kg, im Bereich von 20 - 40 cm lagen z.T. hohe Hg-Gehalte vor, es wurden Werte von 9 bis 170 mg/kg nachgewiesen. An mehreren Stellen waren auch im Teufenbereich von 40 - 70 cm noch erhebliche Hg-Gehalte bis 21 mg/kg nachzuweisen. Die Gesamtstoffgehalte nehmen i.a. unterhalb von 40 cm rasch ab (vgl. Abbildung 5).

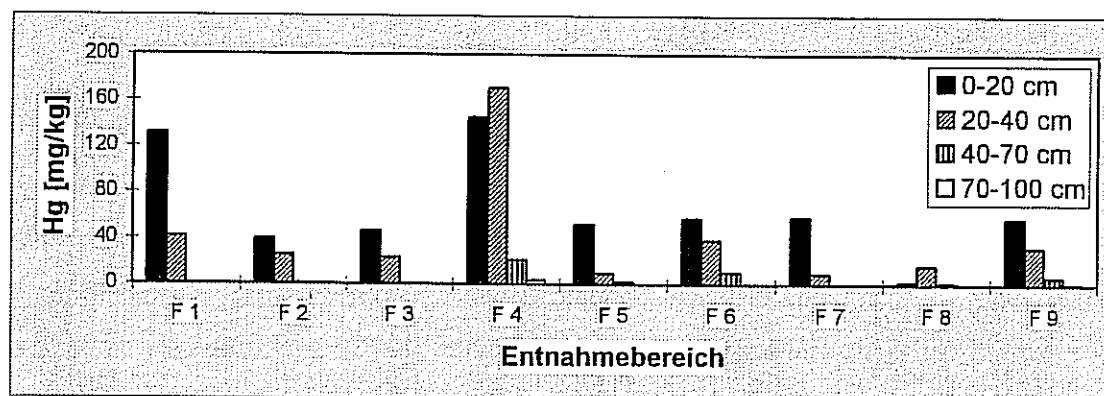


Abb. 5: Gesamtstoffgehalte an Quecksilber in den beprobten Bodenschichten (0 - 100 cm) aus den Kösseine -Auen (Angaben in Fließrichtung).

In den tieferen Schichten (> 100 cm) sowie in den Oxidations- und Reduktionsbereichen (Sonderproben, vgl. Punkt 4.5.1) wurden für Hg wesentlich geringere Konzentrationen mit Werten von < 0,05 mg/kg bis 0,8 mg/kg ermittelt. Dagegen konnten in den Übergangsbereichen, unterhalb des Mutterbodens hohe Gesamtstoffgehalte von 2 bis 70 mg/kg gemessen werden.

33 Bodenproben mit Gesamtstoffgehalten über dem Stufe-1-Wert (2 mg/kg) wurden auch im Eluat nach dem DEV S4- und dem pH_{stat}-Verfahren untersucht; zusätzlich erfolgten Eluatuntersuchungen an 3 unbelasteten Proben. Dabei lag Hg im S4-Eluat in 6 Proben zwischen dem Stufe-1- und dem Stufe-2-Wert, lediglich in einer Probe (F 4; 0 - 20 cm) konnte mit 4,9 µg/l eine Überschreitung des Stufe-2-Wertes festgestellt werden (vgl. Abb. 6).

Proben	< 0,1 µg/l	0,1 - 0,9 µg/l	1 - 4 µg/l	> 4 µg/l	Summe
Anzahl	9	20	6	1	36

Nachweisgrenze: 0,1 µg/l

Stufe-1-Wert: 1 µg/l

Stufe-2-Wert: 4 µg/l

Eine Korrelation von Gesamtstoffgehalt und Eluatkonzentration ist erkennbar. Die ermittelten Hg-Konzentrationen im DEV S4-Eluat und die gemessenen End-pH-Werte bei der S4-Elution korrelieren dagegen nicht. Die Elution nach dem pH_{stat}-Verfahren führte zu einer verminderten Mobilisierbarkeit von Quecksilber; maximal wurden im pH_{stat}-Eluat 0,3 µg/l gemessen.

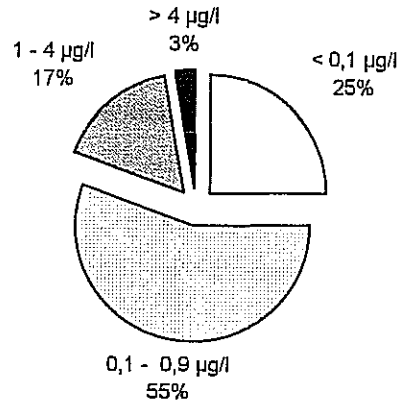


Abb. 6 : Verteilung der Hg-Konzentrationen in den DEV S4 - Eluaten aus den Bodenproben der Rammkernsondierungen.

Antimon (Sb) tritt in den Kösseine-Auen in erhöhten Konzentrationen vor allem in den obersten Bodenschichten von 0 - 40 cm auf. Erhebliche Gesamtstoffgehalte bis 60 mg/kg wurden in 13 von 87 Mischproben und in den Bodenschichten bis 40 cm vorgefunden. Die Gesamtstoffgehalte an Antimon korrelieren mit den Hg-Gehalten und nehmen mit der Tiefe rasch ab (vgl. Abb. 7).

Im DEV S4 - Eluat wurde Sb in erheblichen Konzentrationen nur an 3 von insgesamt 36 Proben mit 6 und 27 µg/l nachgewiesen. In lediglich zwei pH_{stat}-Eluaten wurde der Stufe-1-Wert von 5 µg/l erreicht bzw. überschritten. Wie bei Hg waren in der Regel die Sb-Konzentrationen im pH_{stat}-Eluat geringer als in den DEV S4 -Eluaten.

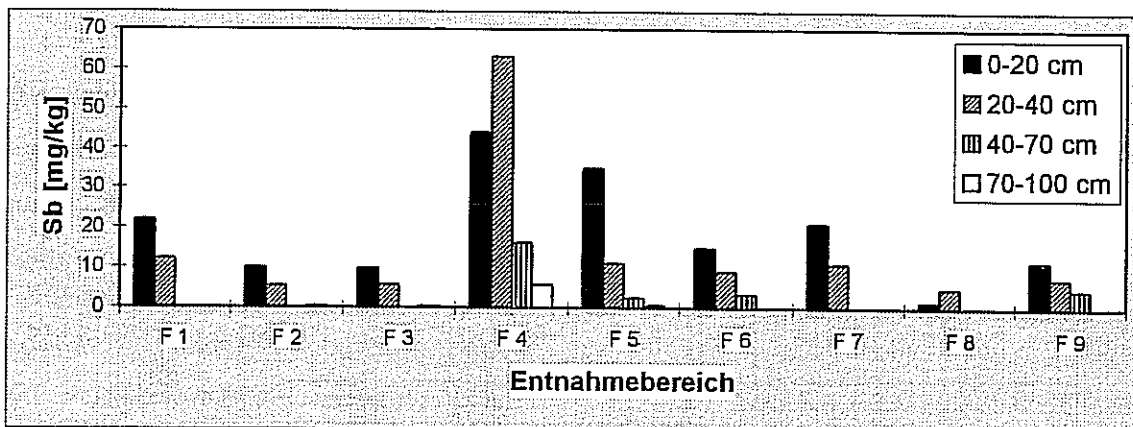


Abb. 7: Gesamtstoffgehalte an Antimon in den beprobten Bodenschichten (0-100 cm) aus den Kösseine-Auen (Angaben in Fließrichtung)

Arsen ist nur vereinzelt und in Bereichen von 20 - 40 cm bzw. im Oxidationsbereich (F 1) in erheblichen Konzentrationen bis 65 mg/kg zu finden. Zwar liegen die meisten Gesamtstoffgehalte über dem Stufe-1-Wert (10 mg/kg), jedoch im Bereich der für das Untersuchungsgebiet typischen Hintergrundwerte (vgl. Punkt 3.2).

Bei den 36 Eluatuntersuchungen wurden in der Regel As-Konzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze gefunden. Eine Ausnahme bilden lediglich die Bereiche F 1 und F 6; hier liegen die Konzentrationen im pH_{stat} -Eluat bei 190 bzw. 40 $\mu\text{g/l}$.

Blei tritt mit Gesamtstoffgehalten bis 400 mg/kg ebenfalls im gesamten Untersuchungsbereich und ähnlich wie Sb hauptsächlich an Stellen in den obersten Bodenschichten von 0 - 40 cm auf. Die ermittelten Konzentrationen im DEV S4-Eluat waren meist unauffällig. In den 36 Eluaten nach dem pH_{stat} -Verfahren wurde der Stufe-1-Wert zweimal und der Stufe-2-Wert viermal überschritten.

Chrom liegt im gesamten Untersuchungsbereich in vielen Proben, insbesondere in Proben aus den obersten Bodenschichten, in Konzentrationen oberhalb des Stufe -1-Wertes (50 mg/kg) vor. Es zeigte sich, daß das Chrom nicht als wassergefährdendes Chrom VI, sondern als immobiles geogenes Chrom III vorliegt. Die Gesamtstoffgehalte liegen wie bei Arsen im Bereich der typischen Hintergrundwerte (vgl. Punkt 3.2). DEV S4 -Eluate und pH_{stat} - Eluate lagen unterhalb der Stufe-1-Werte, im Bereich der Nachweisgrenze.

Die übrigen Gesamtstoffgehalte der Schwermetalle **Cd**, **Cu**, **Ni** und **Zn** lagen mit Ausnahme von Ni im Bereich F 8 unterhalb der jeweiligen Stufe-1-Werte. Pb, Cr, Cu, Ni und Zn waren jedoch in den oberen Bodenschichten von 0 - 40 cm verglichen mit den tieferen Bereichen meist in höheren Konzentrationen zu finden (vgl. Abb. 8).

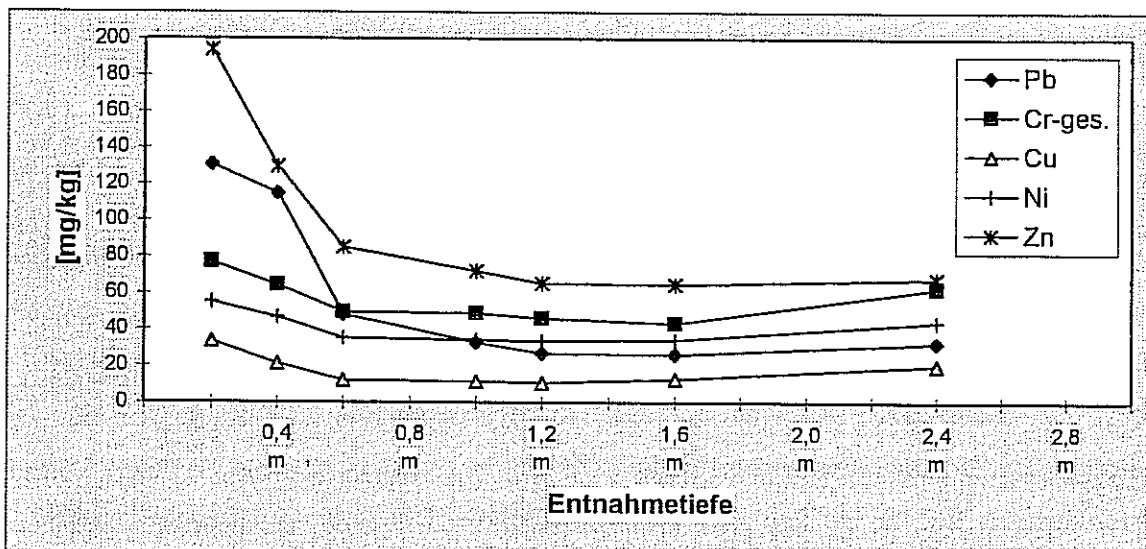


Abb. 8: Durchschnittliche Gesamtstoffgehalte an Pb, Cr, Cu, Ni und Zn in den beprobten Bodenschichten (0 - 300 cm) der Rammkernsondierungen.

Die Konzentrationen der Schwermetalle im DEV S4 -Eluat lagen stets deutlich unterhalb der jeweiligen Stufe-1-Werte. Im Eluat nach dem pH_{stat} -Verfahren waren dagegen in mehreren Proben aus unter-

schiedlichen Teufenbereichen Konzentrationen über dem Stufe-1 und Stufe- 2- Wert nachweisbar, wobei die Metallgesamtstoffgehalte dieser Proben unterhalb der entsprechenden Stufe-1-Werte lagen.

Die Säureneutralisationskapazität (nach 24 h (SNK₂₄)) beschreibt das Pufferungsvermögen des Bodens (vgl. Punkt 3.3.2). Sie liegt mit einem Mittelwert von etwa 60 mmol/kg in einem für kalkarme Bodentypen üblichen Bereich.

Die Ergebnisse der untersuchten **organischen Parameter** (Pflanzenschutzmittel, Chlorphenole) liegen im unauffälligen Bereich. Während Pflanzenschutzmittel (PSM) nicht nachgewiesen werden konnten, waren in den 10 für die Analyse ausgewählten Proben Spuren der als Abbauprodukte von Chlorphenoxyalkancarbonsäuren auftretenden Chlorphenole festzustellen (vgl. Anlage 5). Die gemessenen Konzentrationen lagen jedoch mit einem Höchstwert von 15,7 µg/kg deutlich unterhalb des Stufe-1-Wertes von 1 mg/kg.

5.3.1.2 Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen

Zur Ergänzung der Untersuchungsergebnisse wurden aus den Überschwemmungsbereichen der Kösseine und der Röslau insgesamt 11 Sedimentproben entnommen. Hierbei handelt es sich um feinkörnige Bodenbestandteile, die im Frühjahr 1997 durch Überflutungsvorgänge aus dem Flußbett gespült und auf den angrenzenden Wiesen abgelagert wurden. Gesamtstoffgehaltsbestimmungen der Schwer- und Halbmetalle sowie Eluatuntersuchungen nach dem DEV S4- und dem pH_{stat}-Verfahren (vgl. Anlage 6) erfolgten an 9 Proben aus dem Kösseine-Auen und 2 Proben aus den Röslau-Auen (siehe Punkt 5.3.2.2).

Die Ergebnisse zeigen, daß die Sedimente im gesamten Untersuchungsbereich der Kösseine (vgl. Anlage 2) immer noch gravierende Konzentrationen an Quecksilber bis 78 mg/kg (F 9) aufweisen. Die gemessenen Gesamtstoffgehalte liegen mit Ausnahme von F 9 meist im Konzentrationsbereich der entsprechenden Teilflächen oder darunter. Der im Vergleich zu den übrigen Sedimenten und den Bodenproben aus dem Bereich F 9 sehr hohe Gesamtstoffgehalt für Hg im Sedimentmaterial bei F 9 dürfte auf einen relativ hohen Anteil an sehr feinkörnigen Bodenpartikeln zurückzuführen sein. Die Gesamtstoffgehalte der übrigen Schwer- und Halbmetalle (Sb, As, Pb, Cr) liegen im Bereich der Stufe-1-Werte bzw. darunter (Cd, Cu, Ni, Zn). Auch die Hg-Gehalte der im Wasser der Kösseine mitgeführten Schwebstoffe (vgl. Kap. 2.2.5) sind mit 45 mg/kg sehr hoch.

In den DEV S4-Eluaten wurden jedoch für Quecksilber und Antimon erhebliche Konzentrationen bis 3,1 bzw. 24 µg/l gemessen. Dagegen war in den Eluaten nach dem pH_{stat}-Verfahren eine deutlich verminderte Mobilität von Hg und Sb festzustellen; Hg war nicht (< 0,1 µg/l) und Sb nur in geringfügigen

Konzentrationen bis 5 µg/l nachweisbar. In allen Proben der pH_{stat}-Eluate wurden für Cadmium erhebliche sowie für Nickel und Zink sehr hohe Konzentrationen bis 13 µg/l (Cd) bzw. 150 µg/l (Ni) und 1600 µg/l (Zn) gemessen. Bei den übrigen Parametern konnten mit Ausnahme von Blei sowohl in den DEV S4- als auch in den pH_{stat}-Eluaten keine Überschreitungen der entsprechenden Stufe-1-Werte festgestellt werden.

Die Säureneutralisationskapazität (SNK₂₄) der Sedimente beträgt durchschnittlich 90 mmol/kg.

5.3.2 Röslau-Auen

5.3.2.1 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Im Überschwemmungsbereich der Röslau wurden auf 5 Teilflächen (vgl. Anlage 2) insgesamt 22 Rammkernsondierungen niedergebracht und 30 Bodenproben entnommen; die Beprobungen erfolgten auf einer Fläche vor Zusammenfluß mit der Kösseine (Fluß-Km 17,0) und in 4 Bereichen nach Zufluß der Kösseine (Mühlwiese; Fluß-Km 15,0; Fluß-Km 14,0; Oschwitz). Unabhängig davon beprobte das Wasservirtschaftsamt Bayreuth im Sommer 1997 einen Teilbereich zwischen Flußkilometer 9,5 und 9,9 nordwestlich des Kraftwerks Arzberg (EVO). Dabei wurden 4 Proben etwa 10 m neben dem Flußufer aus einem Teufenbereich von 0 - 20 cm entnommen und auf Quecksilber analysiert.

Im Bereich des Flußkilometers 17,0 vor der Einmündung der Kösseine wurden erwartungsgemäß keine erhöhten Gesamtstoffgehalte an Schwer- und Halbmetallen gefunden (vgl. Anlage 7). Die Konzentrationen für Hg in den oberen Bodenschichten (0 - 70 cm) sind verglichen mit Höchstwerten von 0,55 mg/kg als nur unwesentlich höher als die ortstypischen geogenen Hintergrundwerte [GLA, 1991]. Überschreitungen der jeweiligen Stufe-1- bzw. Stufe-2-Werte wurden im pH_{stat}-Eluat für Cd (9 µg/l), Ni (70 µg/l) und Zn (330 bzw. 970 µg/l) gemessen.

Auf den Flächen unterhalb des Zulaufs der Kösseine in die Röslau sind die Stoffverteilung und die ermittelten Gesamtstoffgehalte mit den Verhältnissen in den Kösseine-Auen vergleichbar (vgl. Abb. 9).

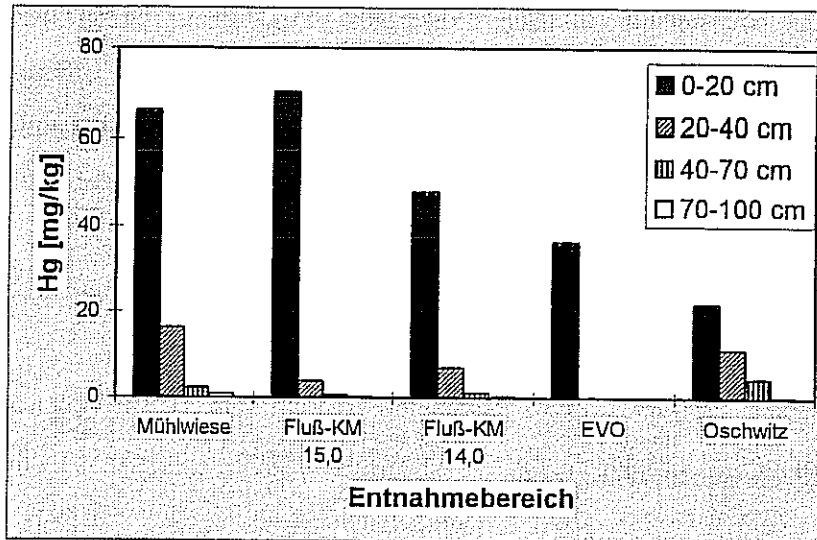


Abb. 9: Gesamtstoffgehalte an Quecksilber in den beprobten Bodenschichten (0 - 100 cm) aus den Röslau-Auen nach Zufluß der Kösseine (Angaben in Fließrichtung).

Die höchsten Hg-Gehalte bis zu 70 mg/kg wurden auch hier in der obersten Bodenschicht von 0 - 20 cm gefunden; die Gesamtstoffgehalte an Hg nehmen hier mit der Tiefe rascher ab als im Bereich der Kösseine. Auch im Fließrichtungsverlauf der Röslau deutet sich eine Konzentrationsabnahme an.

Die Gesamtstoffgehalte für As lagen geogen bedingt in nahezu allen Proben oberhalb des Stufe-1-Wertes. Für Sb wurde mit Gesamtstoffgehalten bis 35 mg/kg bei vier Proben überschritten.

Nur in einer von 10 Proben wurde im DEV S4-Eluat der Stufe-1-Wert für Hg erreicht. Sb und As waren in den Eluaten (DEV S4, pH_{stat}) nur im Bereich der Bestimmungsgrenze oder darunter nachweisbar. Pb war nur an zwei Stellen im obersten Horizont (0 - 20 cm) mit Konzentrationen von 170 mg/kg auffällig erhöht. Die Cr-Gehalte liegen im gesamten Untersuchungsbereich zwar teilweise über dem Stufe-1-Wert, jedoch im Bereich der Hintergrundwerte. Die übrigen Schwermetalle waren unauffällig. Im DEV S4 Eluat ergaben sich für Pb, Cd, Cr, Cu, Ni und Zn aber nur geringfügige Konzentrationen, unterhalb der jeweiligen Stufe-1-Werte. Lediglich im pH_{stat} -Eluat konnten allenfalls für Cd, Ni und Zn mehrmals Konzentrationen über den Stufe-1-Werten nachgewiesen werden. Die Höchstwerte lagen bei 5 $\mu\text{g/l}$ (Cd), 130 $\mu\text{g/l}$ (Ni) und 750 $\mu\text{g/l}$ (Zn).

Die Säureneutralisationskapazität ($\text{SNK}_{2,4}$) in den Röslau-Auen ist im Mittel mit 43 mmol/kg um fast ein Drittel geringer als im Kösseinebereich.

5.3.2.2 Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen

In den Röslau-Auen wurde an zwei Stellen nach Überschwemmungen abgelagertes Sedimentmaterial gesammelt und beprobt (vgl. Anlage 6). Die ermittelten Hg-Gesamtstoffgehalte nehmen in Fließrichtung und verglichen mit den Kösseine-Auen (vgl. Punkt 5.3.1.3) zwar ab, liegen jedoch immer noch deutlich über dem Stufe-2-Wert von 10 mg/kg.

Die übrigen Parameter und die DEV S4-Eluate waren unauffällig. Im Eluat nach dem pH_{stat} -Verfahren waren wie im Kösseinebereich erhöhte Konzentrationen für Cd, Ni und Zn zu finden.

Die Säureneutralisationskapazität (SNK24) ist mit 60 mmol/kg etwas niedriger als in den Kösseine-Auen.

5.4 Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen

Die im Rahmen dieses Vorhabens bei den Pumpversuchen sowie die bei 5 weiteren Beprobungen entnommenen Grund- und Oberflächenwasserproben wurden auf die vorgegebenen anorganischen Leit- und Basisparameter (vgl. **Tabelle 7**) analysiert. Dabei zeigten sich je nach Entnahmestelle unterschiedliche Auffälligkeiten. Die gesamten Ergebnisse der Grundwasseranalysen können der **Anlage 8 und 9** entnommen werden. Bei den anorganischen Leitparametern sind Überschreitungen der entsprechenden Stufe-1 und Stufe-2-Werten in unterschiedlichen Graustufen markiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen auf organische Leitparameter sind in **Anlage 10** zusammengefaßt.

5.4.1 Grundwasser aus den Kösseine-Auen

Das geförderte Grundwasser im Bereich der Kösseine-Auen ist mit Leitfähigkeiten von 120 - 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fast durchgehend gering mineralisiert und stark reduzierend. Erhöhte Leitfähigkeiten bis 1270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ waren nur an F 1, F 3 und F 6 festzustellen. Die erhöhte Mineralisation im Bereich F 1 und F 3 ist auf Streusalzeinflüsse nahegelegener Straßen und bei F 6 auf Überdüngung (KNO_3) zurückzuführen. Bei den untersuchten Basisparametern fällt auf, daß in mehreren Grundwassermeßstellen (F 1, F 2, F 4, F 5, F 7 - F 9) kein Nitrat und teilweise auch kein Nitrit über der Nachweisgrenze gefunden wurde, was im oberflächennahen Grundwasserstockwerk zusammen mit den stark erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen (F 1, F 4, F 5 und F 7 - F 9) sowie den geringen Sauerstoffgehalten auf zumindest zeitweise vorherrschende reduzierende Bedingungen schließen läßt.

Die in den entnommenen Grundwasserproben ermittelten Konzentrationen der Basisparameter (vgl. **Anlage 8**) liegen in einem aufgrund der Geologie des Untersuchungsgebietes zu erwartenden Bereich und spiegeln die lokal vorherrschenden Grundwasserverhältnisse wider. Signifikante jahreszeitliche Schwankungen der untersuchten Parameter sind bis auf die o.g. erhöhte Mineralisation in den Bereichen F 1, F 3 und F 6 nicht festzustellen. Auf eine ausführliche Bewertung dieser Basisparameter wird deshalb verzichtet. Allerdings ist zu erwähnen, daß durch störende Einflüsse von Eisenverbindungen an mehreren Proben die Parameter Ammonium, Basenkapazität und Permanganat-Index nicht bestimmt werden konnten.

Die neben der Meßstelle F 2 errichtete tiefe Grundwassermeßstelle T 1 weist im Gegensatz zu F 2 Belastungen mit Nitrit bis 0,3 mg/l und Nitratkonzentrationen bis 15,6 mg/l auf. Obwohl zwischen F 2 und T 1 beim Pumpversuch ein hydraulischer Kontakt nachgewiesen wurde, scheint bei T 1 ein Zufluß von nitratbelastetem Grundwasser aus anderen Bereichen (z. B. dem südlichen Hangbereich) zu erfolgen.

Den Untersuchungsschwerpunkt bildeten die anorganischen Leitparameter Quecksilber (Hg), Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn). An den insgesamt 14 Probenahmepunkten im Auenbereich der Kösseine (vgl. Anlage 2 und Tab. 4) waren an 7 Stellen (F 1, F 2, F 4 - F 8) ein oder mehrere Leitparameter mindestens einmal im Konzentrationsbereich über den entsprechenden Stufe-1-Werten des Merkblattes Slglfw Nr. 3.8-10 (vgl. Tabelle 1) zu finden.

In den insgesamt 98 unfiltrierten Wasserproben aus dem Kösseinebereich konnten Überschreitungen der Stufe-1-Werte für die CFM-typischen Parameter Hg und Sb nur an F 4 - einmal während des Pumpversuchs (Hg: 1,5 µg/l) und zweimal am Anfang der Beprobungsreihe (Sb: 13 µg/l; 7 µg/l) - nachgewiesen werden. Ansonsten lagen die im Grundwasser ermittelten Konzentrationen an Hg und Sb meist im Bereich der Nachweisgrenzen oder darunter. In den 70 filtrierten Proben war Sb nicht (< 2 µg/l) und Hg nur einmal mit 0,1 µg/l (F 1) nachweisbar.

An mehreren Grundwassermeßstellen wurden, insbesondere in unfiltrierten Proben, z.T. erhebliche Kontaminationen mit As (F 1, F 4, F 5, F 7, F 8) und Zn (F 2, F 4 - F 6) festgestellt (vgl. Anlagen 2 und 8); vereinzelt waren auch die Stufe-1-Werte für Pb und Cu (F 1, F 3; F 4, F 5, F 6; F 7; F 8) sowie Cd (F 1) und Ni (F 4; F 5; F 6; F 7) überschritten bzw. erreicht. Es ist hervorzuheben, daß z.T. nur sehr trübes Grundwasser gefördert werden konnte, so daß die unfiltrierten Proben aufgrund des hohen Anteils an feindispersen Schwebstoffen z.T. erhebliche Überschreitungen der tatsächlich gelösten Anteile an Schwermetallen liefern. In den filtrierten Proben lagen mit Ausnahme von As und Zn alle ermittelten Metallkonzentrationen wesentlich niedriger oder unterhalb der Nachweisgrenze.

Zusätzlich wurden insgesamt 42 Wasserproben aus den Kösseine-Auen auf Pflanzenschutzmittel und Chlorphenole (vgl. Tabelle 7) untersucht. In allen Proben lagen die untersuchten Parameter unterhalb der Nachweisgrenze von 0,08 bzw. 0,05 µg/l (vgl. Anlage 10).

Meßstellen mit auffälligen Schwermetallkonzentrationen in den entnommenen Wasserproben werden nachfolgend gesondert besprochen:

- F 1

An der Meßstelle F 1 lagen in 13 von 14 Grundwasserproben die Arsenkonzentrationen über dem Stufe-1 bzw. z.T. über dem Stufe-2-Wert. Die Maximalbelastung von 54 µg/l wurde dabei in einer unfiltrierten, stark trüben Probe vom 14.10.96 ermittelt; hier waren zudem Cd (5 µg/l) und Cu (58 µg/l) im Bereich der jeweiligen Stufe-1-Werte und Pb (41 µg/l) im Bereich des Stufe-2-Wertes zu finden. Hg konnte hier im Grundwasser nur mit maximal 0,6 µg/l in einer unfiltrierten Probe nachgewiesen werden.

Bereits in den Bodenproben aus dem Bereich F1 waren Kontaminationen mit As und Pb sowie Hg festgestellt worden, so daß die erhöhten Konzentrationen dieser Parameter im Grundwasser auf die vorgefundenen hohen Gesamtstoffgehalte zurückzuführen sein dürften.

- F 2

Hier waren nur zu Beginn des Pumpversuchs Hg (0,2 µg/l) und As (1 µg/l) oberhalb der Nachweisgrenze zu finden. Bei den letzten 4 Beprobungen dieser Meßstelle wurde hier Zn in erhöhter Konzentration von 310 bis 410 µg/l gemessen. Die Ursache dürfte in den wechselnden Grundwasserständen zu suchen sein; der Grundwasserschwankungsbereich erreicht teilweise das verzinkte Stahlrohr.

- F3

An der Meßstelle F3 wurde Pb in unfiltrierten Proben in Konzentrationen von 11 bis 32 µg/l festgestellt.

- F 4

An dieser Meßstelle wurden in unfiltrierten Proben die höchsten Konzentrationen an Hg (1,5 µg/l), Sb (13 µg/l), As (83 µg/l), Pb (130 µg/l), Cu (140 µg/l) und Zn (18 700 µg/l) gemessen. Im filtrierten Grundwasser waren diese Parameter bis auf As und Zn nicht mehr oder nur im Bereich der Bestimmungsgrenze nachweisbar. Für As konnten zweimal und für Zn durchgehend erhebliche Konzentrationen von maximal 13 µg/l bzw. 11 500 µg/l nachgewiesen werden. Die Ursachen für die hohen Konzentrationen an Pb, Cu und insbesondere Zn sind auf das nahezu vollständig im Grundwasser stehende, verzinkte Stahlrohr dieser Meßstelle zurückzuführen. Es ist zu betonen, daß ausschließlich an der unter Flur ausgebauten Meßstelle F 4 ein ständiger Kontakt zwischen verzinktem Stahlrohr und Grundwasser möglich ist; alle anderen Meßstellen sind über Flur ausgebaut, so daß o.g. Kontaktmöglichkeit nur bei Überschwemmungen oder sehr hohen Grundwasserständen gegeben ist. Die erheblichen Arsenbelastungen sind wie bei F 1 auf erhöhte Gesamtstoffgehalte im Boden zurückzuführen. Da jedoch sehr niedrige Eluatkonzentrationen ermittelt wurden, dürfte As hier im Grundwasser hauptsächlich partikulär gebunden vorliegen.

- F 5

Am Ende des Pumpversuchs wurde an F 5 ein leicht erhöhter Pb-Gehalt (21 µg/l) gemessen. Bei den weiteren Beprobungen waren dagegen in den unfiltrierten Proben Belastungen mit As von 10 bis 33 µg/l sowie je einmal mit Pb (42 g/l), Cu (53 µg/l) und Ni (53 µg/l) nachweisbar. Die filtrierten Proben waren unauffällig.

- **F 6**

In F 6 war bei der erstmaligen Beprobung die Konzentration an Ni ($25\mu\text{g/l}$) und Zn ($350\mu\text{g/l}$) erhöht. Bei den nachfolgenden Untersuchungen wurde einmal Pb ($16\mu\text{g/l}$) in einer unfiltrierten Probe oberhalb des Stufe-1-Wertes vorgefunden.

- **F 7**

Hg und Sb lagen bei insgesamt 13 Proben bis auf eine Ausnahme (Hg $0,1\mu\text{g/l}$) jedesmal unter der Nachweisgrenze; erhebliche As-Konzentrationen von 20 und $15\mu\text{g/l}$, Pb-Konzentrationen mit 11 und $31\mu\text{g/l}$ sowie Ni-Konzentrationen mit $33\mu\text{g/l}$ waren in unfiltrierten Proben nachweisbar.

- **F 8**

Bei 7 von 13 Analysen wurde an dieser Meßstelle Arsen mit Konzentrationen von $10 - 16\mu\text{g/l}$ im Bereich des Stufe-1-Wertes und darüber gefunden. Pb wurde in zwei Proben mit Konzentrationen von 13 und $21\mu\text{g/l}$ festgestellt. In keiner Probe konnten Hg und Sb nachgewiesen werden.

Bei der Aufbereitung der Untersuchungsergebnisse der Grundwasseranalysen wurde sowohl für die filtrierten als auch für die unfiltrierten Proben eine Korrelation der Eisen- und Arsenkonzentrationen festgestellt. Besonders deutlich zeigt sich dies in den Proben aus den Grundwassermeßstellen F 4 und F 5 (vgl. Abb. 10).

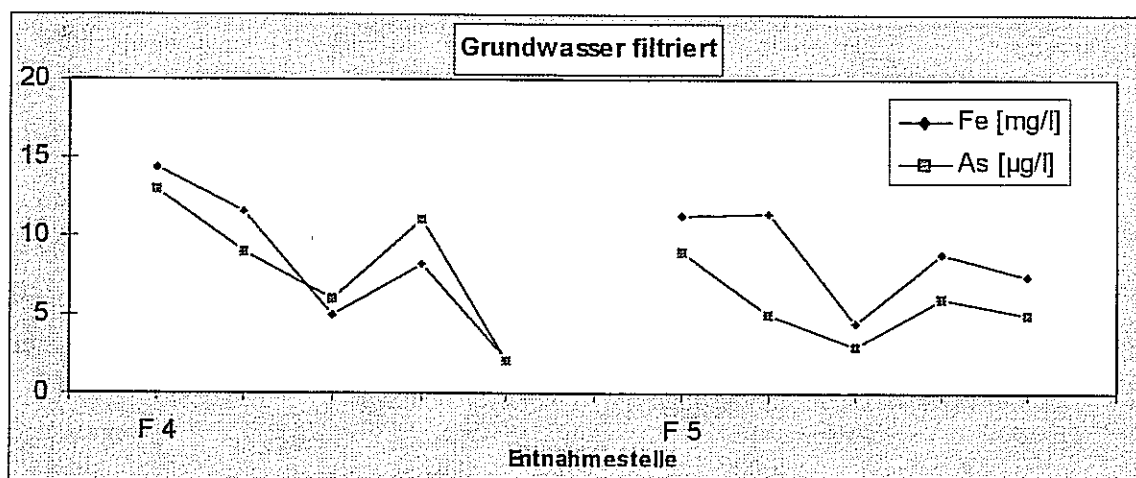


Abb. 10: Eisen- und Arsenkonzentrationen in den filtrierten Grundwasserproben der Grundwassermeßstellen F 4 und F 5 (Oktober 1996 - August 1997).

Die Korrelation der Eisen- und Arsengehalte im Grundwasser ist dadurch erklärbar, daß Arsen im Boden sowie im Grundwasser hauptsächlich als Arsenat bzw. Arsenit vorliegt und in dieser Form, ähnlich dem Phosphat, sehr gut an eisenoxidhaltige Verbindungen oder Oberflächen adsorbiert werden kann. Die hohen Arsenkonzentrationen sind deshalb in erster Linie auf eisenhaltige, feindisperse Schwebstoffe in den Grundwasserproben zurückzuführen. Die auch in filtrierten Proben erhöhten Eisen- und Arsengehalte

deuten darauf hin, daß im Aquifer reduzierende Bedingungen vorherrschen, die entweder zu einer vermehrten Bildung löslicher Eisenverbindungen führen oder daß Arsen hier an lösliche eisenhaltige Partikel mit einem Durchmesser von $< 0,45 \mu\text{m}$ gebunden ist.

5.4.2 Grundwasser aus den Röslau-Auen

Aufgrund der Geologie des Untersuchungsgebietes im Bereich Oschwitz (Pegel 21 A, 22 A, TB Oschwitz) liegen die in den entnommenen Grundwasserproben ermittelten Konzentrationen der Basisparameter (vgl. Anlage 9) in einem zu erwartenden Bereich und spiegeln die lokal vorherrschenden Grundwasserverhältnisse wider. Die im Frühjahr 1997 beobachtete Zunahme der Mineralisation im oberflächennahen Grundwasser ist auf Streusalz und Düngung landwirtschaftlicher Flächen im Umfeld der Grundwassermeßstellen zurückzuführen.

Hinsichtlich der untersuchten anorganischen Leitparameter Quecksilber (Hg), Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) waren sowohl in den filtrierten als auch in den unfiltrierten Proben keine Auffälligkeiten festzustellen. In allen 30 Proben lagen Hg und Sb unterhalb der Nachweisgrenze von $< 0,1 \mu\text{g/l}$ bzw. $< 2 \mu\text{g/l}$; auch die übrigen Metalle waren, wenn überhaupt, meist nur im Bereich der Bestimmungsgrenze nachweisbar.

Organische Parameter konnten in den 11 untersuchten Proben nicht nachgewiesen werden.

5.4.3 Oberflächenwasser aus Kösseine und Röslau

In der Kösseine wurden mit $1,0$ und $2,0 \mu\text{g/l}$ im Bereich Wölsauerhammer zweimal erhöhte Hg-Konzentrationen an unfiltrierten Proben gemessen. Im filtrierten Flußwasser war Sb nicht und Hg nur einmal mit $0,1 \mu\text{g/l}$ nachweisbar. As und die übrigen Schwermetalle lagen in allen 20 Proben nur in sehr geringen Konzentrationen vor.

In der Röslau nach Zufluß der Kösseine konnte Hg in unfiltrierten und filtrierten Proben mit maximal $0,4$ bzw. $0,2 \mu\text{g/l}$ bestimmt werden. Oberstromig im Bereich der Dötschenmühle wurde Hg in der Röslau nur einmal mit $0,1 \mu\text{g/l}$ in einer unfiltrierten Probe gemessen. Alle anderen anorganischen Leitparameter lagen in den 16 untersuchten Proben in unauffälligen Konzentrationen vor.

Organische Leitparameter (PSM, Chlorphenole) waren in Kösseine und Röslau nicht nachweisbar.

6 Bewertung der wesentlichen Ergebnisse

Die Toxizität von Quecksilber und anderen Schwer- und Halbmetallen ist stark abhängig von der Zusammensetzung des Bodens, den vorherrschenden Bindungsmechanismen sowie den potentiellen Mobilisierungs- und Remobilisierungsreaktionen im Boden. Auch die Form, in der das jeweilige Metall im Boden oder in der Bodenlösung vorliegt (z.B. ionisch, organisch oder anorganisch komplexiert), ist ausschlaggebend für die Mobilität und die toxischen Eigenschaften.

Bezüglich der im Rahmen dieses Entwicklungsvorhabens in den Kösseine- und Röslau-Auen untersuchten Schwer- und Halbmetalle sind folgende Untersuchungsergebnisse bei der Bewertung der vorgefundenen Kontaminationen zu berücksichtigen :

- Elementares **Quecksilber (Hg)** und Hg-Kationen werden im Boden an organische Substanzen (Huminstoffe, Fulvinsäuren), Tonminerale sowie Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxidverbindungen (Sesquioxide) adsorbiert. Die Sorptionsstellen an den organischen Bodenbestandteilen (Plätze hoher Bindungsenergie) werden dabei bevorzugt. Bei steigenden Hg-Konzentrationen erhöht sich auch die Adsorptionsrate an Tonminerale und Sesquioxide (Plätze niedriger Bindungsenergie). Da die Humin- und Fulvosäuren sehr stabile Komplexe mit Quecksilber bilden, können sie Hg und Hg-Kationen weitestgehend immobilisieren. Die Hg-Sorption im Boden wird somit entscheidend vom Angebot an organischen Komplexbildnern und damit von der Humusqualität beeinflusst.
- Das Adsorptionsverhalten ist pH-abhängig; der optimale Bereich für Hg liegt zwischen pH 4,5 und 6,5. Die pH-Werte der meisten DEV S4-Eluatproben liegen in diesem Bereich; auch von EBER wurden im Auenbereich der Kösseine pH-Werte von 5 - 6 gemessen [EBER, 1991].
- Die Mobilität von Hg in sauren Böden ist niedrig ($Cd > Zn > Ni > Cu > Pb > Hg$). Erst ab pH 4 wird verstärkt der an Tonminerale und Sesquioxide adsorbierte Anteil freigesetzt. Bei Extraktionsversuchen [ZVONAREV] mit 1 normaler Salzsäure (pH = 0) konnte der organisch gebundene Anteil nicht mobilisiert werden (vgl. auch [WALLSCHLÄGER et al. 1996]). Schwankungen der Redoxverhältnisse können zur Auflösung von Sesquioxiden und zur Freisetzung von eingelagerten bzw. sorbierten Hg-Ionen führen.
- Der Transport von Hg im Boden außerhalb des optimalen pH-Bereichs (s.o.) erfolgt in erster Linie durch wasserlösliche organische und anorganische Komplexe (z.B. $HgOH^+$; $HgCl_4^{2-}$) sowie z.T. durch partikuläre Verlagerung Hg-kontaminierter Bodenbestandteile. Insbesondere Huminstoffe bestimmen die Löslichkeit und den Transport von Hg. Erhöhte Chloridkonzentrationen begünstigen die Entstehung von Chlorokomplexen und führen zu einer vermehrten Löslichkeit von Hg.

- Schwach saure, reduzierende und schwach alkalische, oxidierende Bedingungen begünstigen die Löslichkeit von Hg. In den oberen Bodenhorizonten der Kösseine-Auen liegen im allgemeinen schwach saure, oxidierende Bedingungen vor ($\text{pH} = 5 - 6$; $E_h = + 600$ bis $+ 800$ mV), die aber bei hohen Grundwasserständen und Überflutungsereignissen rasch in reduzierende Verhältnisse ($E_h = \pm 0$ mV) umschlagen können [EBER, 1991].

Aufgrund der chemischen Verwandtschaft von **Arsen (As)** und **Antimon (Sb)** verhalten sich diese Halbmetalle sehr ähnlich; sie gleichen in ihren Reaktionen dem in der 5. Hauptgruppe vorangehenden Phosphor.

- Arsen und Antimon liegen im durchlüfteten Boden als gut wasserlösliche Arsenate bzw. Antimonate vor. Bei reduzierenden Bedingungen erfolgt die Ausfällung schwerlöslicher Sulfide.
- Arsen und Antimon zeigen eine hohe Affinität zu Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxidverbindungen und lagern sich dort als Arsenat oder Antimonat an endständige Fe- oder Al-Atome von Sesquioxiden an. Anionische Komplexe von Arsen und Antimon können eine hohe Mobilität aufweisen, da sie in dieser Form nicht von negativ geladenen Partikeloberflächen sorbiert werden.
- Saure Bedingungen und Schwankungen der Redoxverhältnisse führen zur Auflösung von Oxiden und Carbonatverbindungen, so daß die daran gebunden Halbmetallverbindungen mobilisiert werden. Für Arsen und sehr wahrscheinlich auch Antimon muß ab einem pH-Wert von 4,5 mit einer verstärkten Freisetzung gerechnet werden.

Bei der Kontaminationsbewertung der Schwermetalle **Blei (Pb)**, **Cadmium (Cd)**, **Chrom (Cr)**, **Kupfer (Cu)**, **Nickel (Ni)** und **Zink (Zn)** sind folgende Untersuchungsbefunde zu berücksichtigen :

- Böden mit hohem Schluff-, Ton- und Humusanteil können Schwermetalle gut sorbieren.
Die Bindungsstärke nimmt in der Reihe $\text{Zn} < \text{Ni} < \text{Cd} < \text{Cu} < \text{Cr} / \text{Pb}$ zu.
- Je höher in kontaminierten Feststoffen die Schwermetallgehalte, desto ausgeprägter sind in der Regel die Freisetzungseffekte durch sinkende pH-Werte.
Die Mobilität nimmt in der Reihe $\text{Cd} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb}$ ab.

Die Untersuchungsergebnisse aus den Kösseine- und Röslau-Auen lassen sich unter Berücksichtigung der vorgenannten Anmerkungen in der unter Punkt 6.2. bis 6.4 beschriebenen Weise bewerten. Die Bewertung der chemischen Untersuchungen erfolgte auf der Basis von Merkblatt Slg LfW Nr. 3.8-10 (siehe Abb. 11).

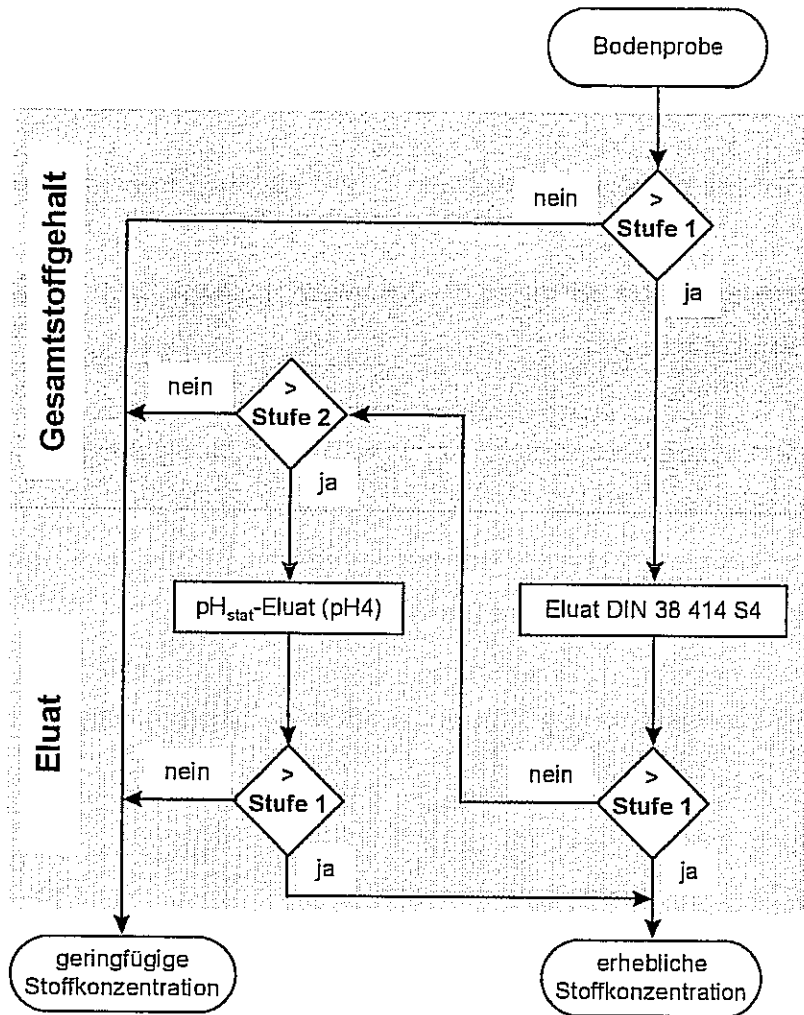


Abb. 11: Emissionsabschätzung bei Bodenbelastungen mit Schwer- und Halbmetallen nach Merkblatt Slg LfW 3.8-10

6.1 Bewertung der örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet der Kösseine-Auen liegt östlich von Marktredwitz. Der untersuchte Bereich weist eine Ost-West-Erstreckung von etwa 4,5 km, eine durchschnittliche Breite von etwa 150 m und eine Gesamtfläche von ca. 720 000 m² (Überschwemmungsbereich; vgl. Lageplan, Anlage 2) auf. Aufgrund der abgeteufte Bohrungen sowie mehrmaliger Stichtagsmessungen sind folgende hydrogeologischen Aussagen möglich:

- Im Untersuchungsbereich existieren zwei Grundwasserstockwerke (vgl. Punkt 5.1.1):

ein oberflächennaher Porengrundwasserleiter bestehend aus sandig, kiesigen, z.T. schluffigen Auesedimenten und Gneiszersatz mit einer Aquifermächtigkeit von 2,0 bis 4,0 m und ein tieferliegender Kluftgrundwasserleiter im Festgestein (Granit) ab etwa 10 m unter GOK. Grundwasser steht etwa 0,1 - 1,3 m unter GOK an.

- Die beiden Aquifere gelten mit einem k_f -Wert von 3×10^{-6} m/s als gering durchlässig.
- Das oberflächennahe und das tieferliegende Grundwasserstockwerk sind zumindest im Bereich F 2 / T 1 hydraulisch gekoppelt.
- Das oberflächennahe Grundwasserstockwerk korrespondiert mit dem Wasserstand in der Kösseine.
- Das Grundwasser fließt in Richtung des Vorfluters und folgt großräumig dem Verlauf der Kösseine. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit beträgt ca. 62 m pro Jahr.
- In den Röslau-Auen herrschen aufgrund des vergleichbaren Untergrundaufbaus vermutlich ähnliche Verhältnisse.

6.2 Bewertung der Untergrund- und Grundwasserkontaminationen

Insgesamt wurden 188 Boden- und Sedimentproben sowie 279 Wasserproben entnommen. Die Untersuchung der 188 Bodenproben betraf die Bestimmung der Gesamtstoffgehalte der CFM-bürtigen Parameter Quecksilber (Hg) und Antimon (Sb). Zusätzlich wurden auch Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) bestimmt, obwohl diese Metall nicht als CFM-spezifische Leitparameter betrachtet werden können. Inwieweit Arsen (As) als für die CFM spezifischer Parameter zu betrachten ist, läßt sich nicht mehr mit hinreichender Sicherheit nachvollziehen. Die Beprobung auf Arsen und die Schwermetalle Pb, Cd, Cr, Cu, Ni und Zn erfolgte deshalb, um die ermittelten Ergebnisse mit den Daten früherer Untersuchungen, bei denen diese Parameter analysiert worden waren, vergleichen zu können. An 75 Bodenproben wurde eine Elution nach dem DEV S4- und an 79 Bodenproben eine Elution nach pH_{stat}-Verfahren durchgeführt. Die Eluate und die Wasserproben wurden auf die o.g. Parameter und auf Basisparameter untersucht. Die Analyse auf Pflanzenschutzmittel (PSM) und Chlorphenole erfolgte nur an ausgewählten Proben (vgl. Tabelle 5). Die Untersuchungsergebnisse der Boden- und Grundwasseruntersuchungen sind in den Anlagen 3 bis 10 zusammengefaßt.

Im Überschwemmungsbereich der Röslau vor Zufluß der Kösseine liegen keine erhöhten Konzentrationen an Schwer- und Halbmetallen vor. Die Belastungen der übrigen Untersuchungsbereiche in den Kösseine- und Röslau-Auen mit den o.g. Leitparametern (Hg, Sb, As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn; PSM und Chlorphenole) stellen sich unter Berücksichtigung sämtlicher Ergebnisse aus den Kernbohrungen, den Rammkernsondierungen und den Sedimentuntersuchungen sowie den Grund- und Oberflächenwasseranalysen wie folgt dar:

6.2.1 Quecksilber

Quecksilber (Hg) liegt mit sehr hohen Gesamtstoffgehalten im gesamten Untersuchungsbereich vor. Die Kontaminationen erstrecken sich im wesentlichen auf die obersten Bodenschichten von 0 - 40 cm, vereinzelt auch bis 70 cm bzw. 100 cm (F 4). Maximalgehalte wurden bis 171 mg/kg (F 4) ermittelt. Die Gesamtstoffgehalte im Bereich von 40 - 70 cm sind zwar an vielen Stellen immer noch deutlich erhöht, jedoch wesentlich niedriger als in den oberen Bodenbereichen; die Hg-Gehalte nehmen mit der Tiefe rasch ab. In den Röslau-Auen ist zudem eine Abnahme der Gesamtstoffgehalte in Fließrichtung erkennbar (vgl. Anlagen 2, 4 und 7).

Die charakteristische vertikale Verteilung von Quecksilber (Hg) und Antimon (Sb) in den Kösseine-Auen wird sehr gut durch die für den Bereich F 9 ermittelten Gesamtstoffgehalte wiedergegeben (vgl. Abbildung 12).

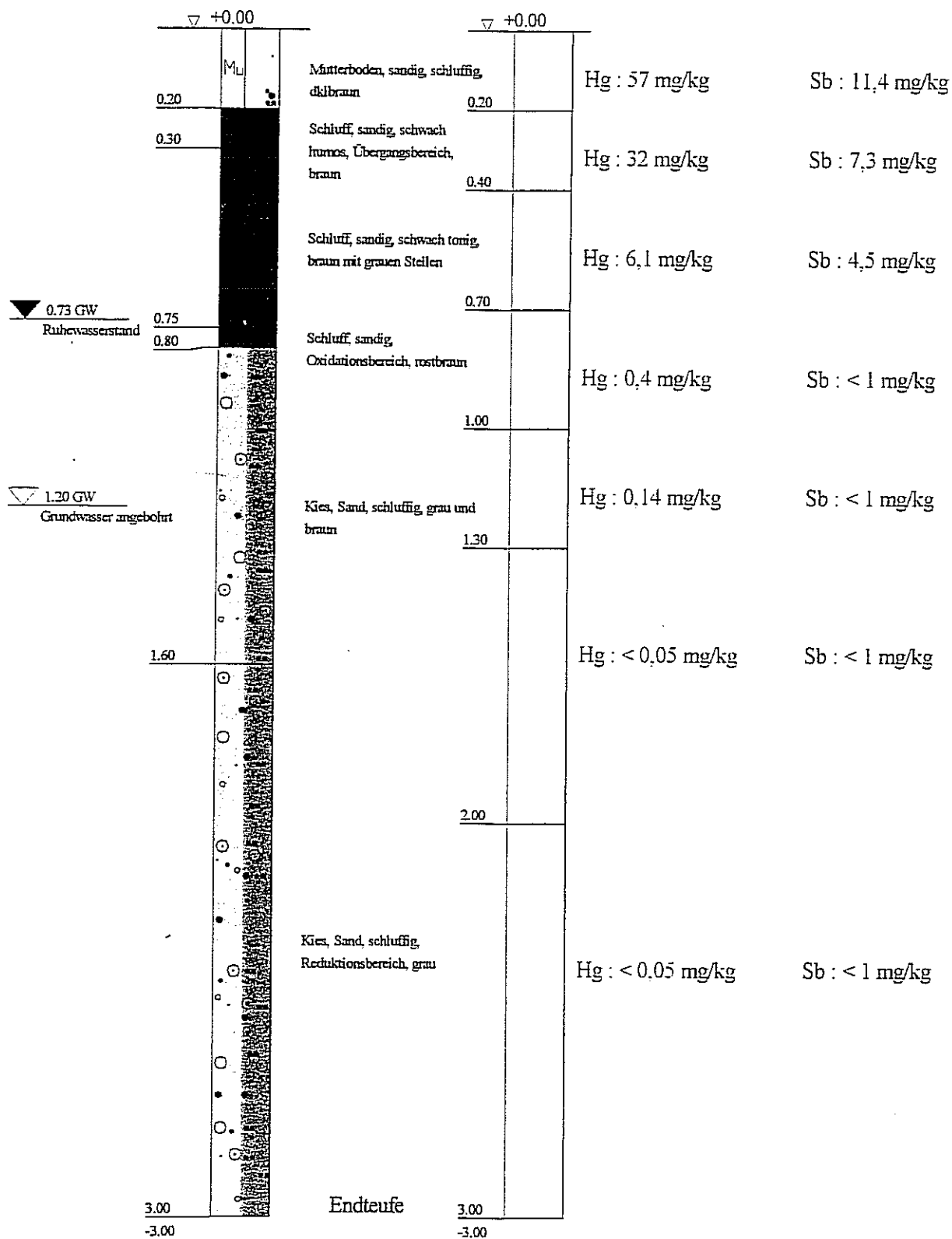


Abb. 12 : Typische Hg- und Sb-Verteilung in den Kösseine-Auen; Mischproben aus dem Bereich F 9.

Auch die aus der Kösseine und Rösrlau ausgetragenen Flußsedimente weisen im gesamten Untersuchungsbereich hohe Hg-Gesamtstoffgehalte von 20 - 78 mg/kg auf (vgl. Anlage 6). Wie die Gesamtstoffgehalte der Sedimente belegen, wird auch nach der Sanierung der CFM und der Entlandung der Stauhaltungen weiterhin Quecksilber in nicht unerheblichen Mengen auf die Überschwemmungsflächen und die dort vorhandene Vegetation ausgetragen. Als Ursache für die hohen Belastungen des ausgetragenen Sedimentmaterials dürften in erster Linie Vermischungen mit kontaminierten Sedimenten aus nicht entlandeten Bereichen sowie durch starke Strömungen abgespülte Bodenbestandteile aus den bekanntermaßen hoch kontaminierten Uferböschungen in Frage kommen.

Die vorgefundenen Gesamtstoffgehalte an Quecksilber sind immer mit erhöhten Antimonkonzentrationen verbunden (Korrelationskoeffizient = 0,90). Dies belegt, daß Hg und Sb als CFM-bürtige Kontaminanten anzusehen sind.

Die hohen Humusgehalte und die tonige Beschaffenheit des Auelehms im Untersuchungsbereich der Kösseine- und Rösrlau-Auen bieten gute Sorptionsbedingungen für Schwermetalle, insbesondere für Hg. Die schwach sauren, meist oxidierenden Bedingungen bewirken eine nur geringe Löslichkeit des Quecksilbers. Die Verdrängung von Hg aus seinen Verbindungen durch andere Metalle ist von untergeordneter Bedeutung.

Die Eluatuntersuchungen nach dem DEV S4 -Verfahren zeigen, daß Hg nur wenig mobil vorliegt.

Proben	< 0,1 µg/l	0,1 - 0,9 µg/l	1 - 4 µg/l	> 4 µg/l	Summe
Anzahl	27	36	11	1	75

Nachweisgrenze: 0,1 µg/l

Stufe-1-Wert: 1 µg/l

Stufe-2-Wert: 4 µg/l

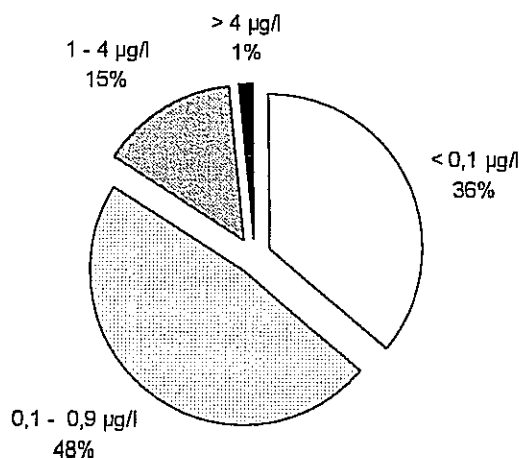


Abb. 13 : Verteilung der Hg-Konzentrationen in den DEV S4 - Eluaten aus den Boden- und Sedimentproben.

Erhebliche Konzentrationen mit Werten zwischen dem Stufe-1- und dem Stufe-2-Wert waren lediglich in 11 von 75 Eluatproben nach dem DEV S4-Verfahren festzustellen, nur in einer Probe konnte mit 4,9 µg/l eine Überschreitung des Stufe-2-Wertes nachgewiesen werden (vgl. Abb. 13). Die bei pH 4 durchgeführte Elution nach dem pH_{stat}-Verfahren führte im Vergleich zum DEV S4-Eluat zu deutlich geringeren Konzentrationen. Bei 72 von 76 Eluatproben war eine verminderte Mobilisierbarkeit von Hg festzustellen; maximal wurden im pH_{stat}-Eluat 0,3 µg/l gemessen.

Die geringe Mobilität und Mobilisierbarkeit von Hg wird durch die im Grundwasser gemessenen Konzentrationen bestätigt. Obwohl die kontaminierten Bereiche im Untersuchungsgebiet bei ortsabhängigen Grundwasserhöchstständen von 0 - 1,0 m unter GOK an mehreren Stellen (F 1, F 2, F 4, F 5, F 7, F 9; vgl. Anlagen 2) zumindest zeitweise vom Grundwasser erfaßt werden, war in allen filtrierten Grundwasserproben ein Eintrag des CFM-spezifischen Parameters Hg in das Grundwasser während des Untersuchungszeitraums nicht feststellbar. Die ermittelten Konzentrationen lagen bei insgesamt 75 Proben nur einmal im Bereich der Nachweisgrenze (F 1: 0,1 µg/l), ansonsten darunter.

Aufgrund der Bodenbeschaffenheit und den Ergebnissen der pH_{stat}-Versuche ist zu erwarten, daß bei zunehmender Versauerung des Untergrundes eine geringere Mobilisierbarkeit für Hg eintritt, so daß zukünftig nicht mit einer Verschlechterung der Grundwassersituation, sondern ggf. sogar mit einer Verringerung des Eintrags von Hg in das Grundwasser zu rechnen ist. Dieser Effekt dürfte für Hg darauf zurückzuführen sein, daß lösliche Huminstoffe (Humate) mit komplex gebundenem Hg an ihren negativ geladenen Carboxylgruppen Protonen aufnehmen und damit in eine weniger lösliche Form übergeführt werden können. Dadurch wird der huminstoffgelöste Anteil an Hg in der Bodenlösung vermindert. Die in unfiltrierten Proben (vgl. Punkt 5.4) nachgewiesenen und z.T. erhöhten Hg-Konzentrationen sind ursächlich auf den relativ hohen Schwebstoffanteil in den unfiltrierten Grundwasserproben zurückzuführen.

6.2.2 Antimon

Antimon (Sb) liegt in erheblichen Konzentrationen bis 63 mg/kg in mehreren Teilbereichen (vgl. Anlagen 2, 4 und 7) in den Bodenschichten bis 40 cm vor. Die Gesamtstoffgehalte nehmen wie beim Hg mit der Tiefe rasch bis auf Werte im Bereich der Hintergrundbelastung ab (vgl. Abb. 12). Die Sb-Gehalte der Sedimente sind zwar vereinzelt (> Stufe-1-Wert) erhöht, liegen jedoch im unauffälligen Bereich.

Hinsichtlich der Mobilität und Mobilisierbarkeit zeigt Antimon ein dem Quecksilber analoges Verhalten. Im DEV S4 - Eluat wurde Sb in erheblichen Konzentrationen nur in 18 von 75 Proben mit bis zu 27 µg/l nachgewiesen (vgl. Abb. 14).

Proben	< 2 µg/l	2 - 4 µg/l	5 - 20 µg/l	> 20 µg/l	Summe
Anzahl	38	19	16	2	75

Nachweisgrenze: 2 µg/l
 Stufe-1-Wert: 5 µg/l
 Stufe-2-Wert: 20 µg/l

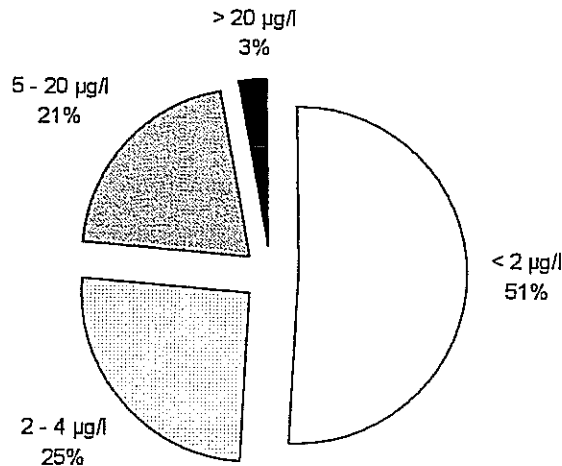


Abb. 14 : Verteilung der Sb-Konzentrationen in den DEV S4 - Eluaten aus den Boden- und Sedimentproben.

Wie bei Hg waren in der Regel die Sb-Konzentrationen im pH_{stat}-Eluat geringer als in den DEV S4 - Eluaten; nur in drei Proben nach dem pH_{stat}-Eluat war der Stufe-1-Wert von 5 µg/l erreicht bzw. überschritten.

In den filtrierten Grundwasserproben lag Sb immer unterhalb der Nachweisgrenze (< 2 µg/l). Wie bei Hg ist hier aufgrund der Bodenbeschaffenheit und den Ergebnissen der pH_{stat}-Versuche keine Verschlechterung der Grundwassersituation zu erwarten. Für Sb, das bevorzugt in anionischer Form vorliegt, ist bei zunehmender Versauerung eine verstärkte Adsorption an durch Protonierung positiv geladene Oberflächen denkbar. Die vereinzelt in unfiltrierten Proben (vgl. Punkt 5.4) auftretenden erhöhten Sb-Konzentrationen sind ursächlich auf Schwebstoffanteile in den unfiltrierten Grundwasserproben zurückzuführen.

6.2.3 Arsen

Arsen (As) ist nur vereinzelt in den Kösseine-Auen (vgl. Anlagen 2, 3 und 4) in sehr hohen Konzentrationen bis 74 mg/kg in Teufenbereichen unterhalb 20 cm zu finden. In den übrigen Bereichen und in den Sedimenten liegen die Gesamtstoffgehalte mit 10 - 20 mg/kg zwar oberhalb des Stufe-1-Wertes, jedoch im Bereich der Hintergrundwerte (vgl. Punkt 3.2) oder darunter.

Im allgemeinen liegt As im Untergrund von Altstandorten mit Arsenkontaminationen (z.B. Glashütten) in hoch mobiler Form vor. Im Gegensatz hierzu ist in den Proben aus dem Untersuchungsbereich die Mobilität von As stark eingeschränkt. Bei nahezu allen 154 Eluatuntersuchungen wurden sowohl nach dem DEV S4 - als auch nach dem pH_{stat}-Verfahren nur As-Konzentrationen im Bereich bzw. unterhalb der Nachweisgrenze festgestellt. Eine Ausnahme bilden lediglich die Bereiche F 1 und F 6. Bei F 1 wurde in einer Probe nach dem DEV S4-Verfahren As mit 15 µg/l und in einer Probe nach dem pH_{stat}-Verfahren mit 190 µg/l analysiert. Im Bereich F 6 war As einmal im pH_{stat}-Eluat mit 40 µg/l erhöht.

An mehreren Meßstellen (F 1, F 4, F 5, F 7, F 8; vgl. Anlagen 2 und 8) im Untersuchungsbereich konnte As sowohl in den filtrierten als auch in den unfiltrierten Grundwasserproben mit Konzentrationen bis zu 37 µg/l bzw. bis zu 83 µg/l festgestellt werden; die Löslichkeit korreliert mit den gemessenen Eisenkonzentrationen (vgl. Abb. 10).

Diese Befunde sprechen für eine stark geogene Komponente der ermittelten As-Konzentrationen. Wie für Sb so ist auch für As, das ebenfalls bevorzugt in anionischer Form vorliegt, bei zunehmender Versauerung eine verstärkte Adsorption an durch Protonierung positiv geladene Oberflächen denkbar.

6.2.4 Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink

Blei (Pb) tritt in erheblichen Konzentrationen bis 400 mg/kg ebenfalls in mehreren Teilbereichen jedoch ähnlich wie Sb hauptsächlich in den obersten Bodenschichten von 0 - 40 cm auf. Auch auf den verbleibenden Untersuchungsflächen sind die Gesamtstoffgehalte in den oberen Bodenschichten höher als in den tieferliegenden Bereichen.

Die Konzentrationen an **Pb** im DEV S4 -Eluat lagen meist deutlich unterhalb des Stufe-1-Wertes. Im Eluat nach dem pH_{stat}-Verfahren waren dagegen in mehreren Proben aus unterschiedlichen Teufenbereichen z.T. erhebliche Konzentrationen dieses Schwermetalls bis 1900 µg/l nachweisbar, wobei die Gesamtstoffgehalte dieser Proben unterhalb des Stufe-1-Wertes lagen.

Erhebliche Konzentrationen im Grundwasser konnten im Bereich F1 und F3-F8 in unfiltrierten Proben nachgewiesen werden. An allen anderen Stellen und in den filtrierten Grundwasserproben war Pb nur in unauffälligen Konzentrationen bzw. unterhalb der Nachweisgrenze zu finden.

Die Gesamtstoffgehalte für **Cadmium (Cd)** lagen bis auf zwei Proben immer unterhalb der Nachweisgrenze von 2 mg/kg. Unter den Bedingungen des DEV S4-Verfahrens ist Cd nicht mobil.

Dagegen waren in 18 von 75 Eluaten nach dem pH_{stat} -Verfahren z.T. erhebliche Konzentrationen bis 40 $\mu\text{g/l}$ festzustellen. Insbesondere in den Sedimenten lag Cd in mobilisierbarer Form vor (vgl. Anlage 6). Die Cd-Konzentrationen im Grundwasser sind bis auf eine unfiltrierte Probe unauffällig.

Für **Chrom_{gesamt} (Cr)** wurden in vielen Proben Gesamtstoffgehalte oberhalb des Stufe-1-Wertes (50 mg/kg) ermittelt. Die Cr-Gehalte waren vor allem in den oberen Bodenschichten von 0 - 40 cm höher als mit den tieferen Bereichen, lagen jedoch im Bereich der typischen Hintergrundwerte. Die Konzentrationen in den DEV S4- und den pH_{stat} -Eluaten lagen nahezu immer im Bereich der Nachweisgrenze oder darunter (vgl. Anlagen 3 und 4). Es zeigte sich bei den Eluatuntersuchungen, daß das Chrom in keinem Fall als wassergefährdendes Chrom IV, sondern als Chrom III vorliegt. Auswirkungen auf das Grundwasser waren nicht feststellbar.

Die Gesamtstoffgehalte für **Kupfer (Cu)** waren in den oberen Bodenschichten von 0 - 40 cm meist etwas höher als in den tieferen Bereichen, lagen jedoch in sämtlichen Proben unterhalb des Stufe-1-Wertes (100 mg/kg). Unter den Bedingungen des DEV S4-Verfahrens ist Cu nicht mobil. Auch die Mobilisierbarkeit ist stark eingeschränkt; in nur zwei Proben der pH_{stat} -Eluate konnten erhebliche Konzentrationen bis 73 $\mu\text{g/l}$ nachgewiesen werden. Im Bereich F 1, F 4 und F 5 (vgl. Anlagen 2 und 8) waren in einigen unfiltrierten Grundwasserproben Cu-Konzentrationen oberhalb des Stufe-1-Wertes zu finden. An allen anderen Stellen und in den filtrierten Proben lag Cu nur in unauffälligen Konzentrationen vor.

Mit Ausnahme des Bereiches F 8 ist **Nickel (Ni)** nur im Rahmen der Hintergrundwerte mit etwas höheren Gesamtstoffgehalten in den oberen als in den tiefen Bodenschichten zu finden. In allen DEV S4-Eluaten war Ni nicht nachweisbar ($< 20 \mu\text{g/l}$). Allerdings lag Nickel in allen 11 Eluaten der Sedimente sowie in mehreren Eluaten nach dem pH_{stat} -Verfahren in sehr gut mobilisierbarer Form mit Konzentrationen bis 150 $\mu\text{g/l}$ in den Sedimenten bzw. bis 630 $\mu\text{g/l}$ in den Bodenproben vor (vgl. Anlagen 3, 4, 6 und 7). Im Grundwasser wurden bis auf einige unfiltrierte Proben aus dem Bereich F4-F7 nur unauffällige Konzentrationen gemessen.

Die Gesamtstoffgehalte für **Zink (Zn)** waren wie bei den o.g. Schwermetallen in den oberen Bodenschichten von 0 - 40 cm höher als in den tieferen Bereichen. Sie lagen jedoch in sämtlichen Proben und in den Sedimenten unterhalb des Stufe-1-Wertes (500 mg/kg). Unter den Bedingungen des DEV S4-Verfahrens ist Zn nicht mobil. Dagegen wurde Zink in allen 11 Eluaten der Sedimente sowie in mehreren Eluaten nach dem pH_{stat} -Verfahren in sehr gut mobilisierbarer Form mit Konzentrationen bis 1600 $\mu\text{g/l}$

(Sedimente) bzw. 1000 µg/l (Bodenproben) vorgefunden (vgl. Anlagen 3, 4, 6 und 7). Im Grundwasser lag Zn bis auf die Bereiche F 2 und F 4 in unauffälligen Konzentrationen vor (vgl. Anlage 8). Die mehrmals an F 2 oberhalb des Stufe-1-Wertes nachgewiesenen Zn-Konzentrationen sind darauf zurückzuführen, daß bei hohen Grundwasserständen das verzinkte Stahlrohr in das Grundwasser eintaucht. Die Ursache für die extrem hohen Konzentrationen an der Grundwassermeßstelle F 4 ist ebenfalls in dem verzinkten Stahlrohr zu suchen, das hier aufgrund des unterflurigen Ausbaus nahezu vollständig und ganzjährig im Grundwasser steht. Sowohl in unfiltrierten als auch in filtrierten Proben wurden hier Maximalkonzentrationen bis 18 700 µg/l bzw. 11 500 µg/l gemessen. Es ist anzunehmen, daß sich die reduzierenden Bedingungen im Grundwasser negativ auf das Lösungsverhalten von Zink auswirken.

Pb, Cd, Cr, Cu, Ni und Zn sind, wie oben gezeigt, unter den Bedingungen des DEV S4-Verfahrens nur gering (Pb) bzw. nicht mobil; die Konzentrationen im DEV S4-Eluat lagen bis auf Pb stets unterhalb der jeweiligen Stufe-1-Werte. Dies zeigt sich auch daran, daß bisher kein Eintrag ins Grundwasser erfolgt ist. Die Konzentrationen dieser Schwermetalle in den filtrierten Grundwasserproben lagen in der Regel unterhalb oder im Bereich der Nachweisgrenze (vgl. Anlagen 8 und 9). Auffällige Zn-Konzentrationen waren aus o.g. Gründen nur in den Grundwassermeßstellen F 2 und F 4 zu finden. Die z.T. sehr hohen Konzentrationen von Pb, Cd, Cr, Cu, Ni und Zn in einigen unfiltrierten Grundwasserproben sind ursächlich auf den relativ hohen Schwebstoffanteil der Grundwasserproben zurückzuführen und somit nicht charakteristisch für die Grundwasserqualität.

Die z.T. deutlich höheren Konzentrationen dieser Schwermetalle im pH_{stat}-Eluat im Vergleich zum S4-Eluat können dadurch erklärt werden, daß sich ein pH-Wert von 4 viel stärker auf die Löslichkeit dieser Metalle auswirkt als dies bei Hg der Fall ist. Weiterhin erfolgt zumindest für Cd, Cu, Ni und Zn die Bindung an Bodenbestandteile (Humus, Ton, Sesquioxide) weniger fest als bei Hg, Pb und Cr. Mit zunehmender Versauerung ist deshalb mit einer verstärkten Mobilisierbarkeit von Pb, Cd, Cr, Cu, Ni und Zn zu rechnen. Das Pufferungsvermögen der untersuchten Böden ist mit SNK_{2,4}-Werten unter 200 mmol/kg zwar relativ niedrig, liegt jedoch in einem für kalkarme Bodentypen üblichen Bereich. Allerdings ist trotz der z.T. höheren Konzentrationen dieser Schwermetalle in den Eluaten nach dem pH_{stat}-Verfahren eine erhebliche und nachhaltige Gefährdung des Grundwassers nicht zu erwarten, da die zugrunde liegenden Gesamtstoffgehalte im Bereich der typischen Hintergrundwerte liegen und die Konzentrationen im DEV S4-Eluat gering sind.

Die vertikale Verteilung der Schwermetalle Pb, Cr, Cu, Ni und Zn in den Kösseine-Auen ist in allen untersuchten Bereichen sehr ähnlich. Die Gesamtstoffgehalte dieser Schwermetalle waren in den oberen Bodenschichten von 0 - 40 cm höher als in den tieferen Bereichen. Exemplarisch für die charakteristische

vertikale Verteilung dieser Schwermetalle sind in **Abbildung 15** die Ni-Gesamtstoffgehalte in den untersuchten Bodenschichten aus dem Bereich F 9 dargestellt.

Die vorgefundenen Konzentrationen der Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Ni, Zn und meist auch Pb sind entsprechend dem Bewertungsschema in **Abb. 11** nur als geringfügig anzusehen.

6.2.5 Pflanzenschutzmittel und Chlorphenole

Die Gesamtstoffgehalte der untersuchten organischen Parameter lagen mit Höchstwerten von 15,7 µg/kg im unauffälligen Bereich (vgl. **Anlage 5**) und deutlich unterhalb des Stufe-1-Wertes von 1 mg/kg. Eine Belastung des Grundwassers durch Pflanzenschutzmittel bzw. deren Abbauprodukte (Chlorphenole) konnte im Beprobungszeitraum von Oktober 1996 bis April 1997 nicht nachgewiesen werden. Die Konzentrationen im Grund- und Oberflächenwasser lagen in allen 65 Proben immer unterhalb der Nachweisgrenze von < 0,08 bzw. < 0,05 µg/l (vgl. **Anlage 5**).

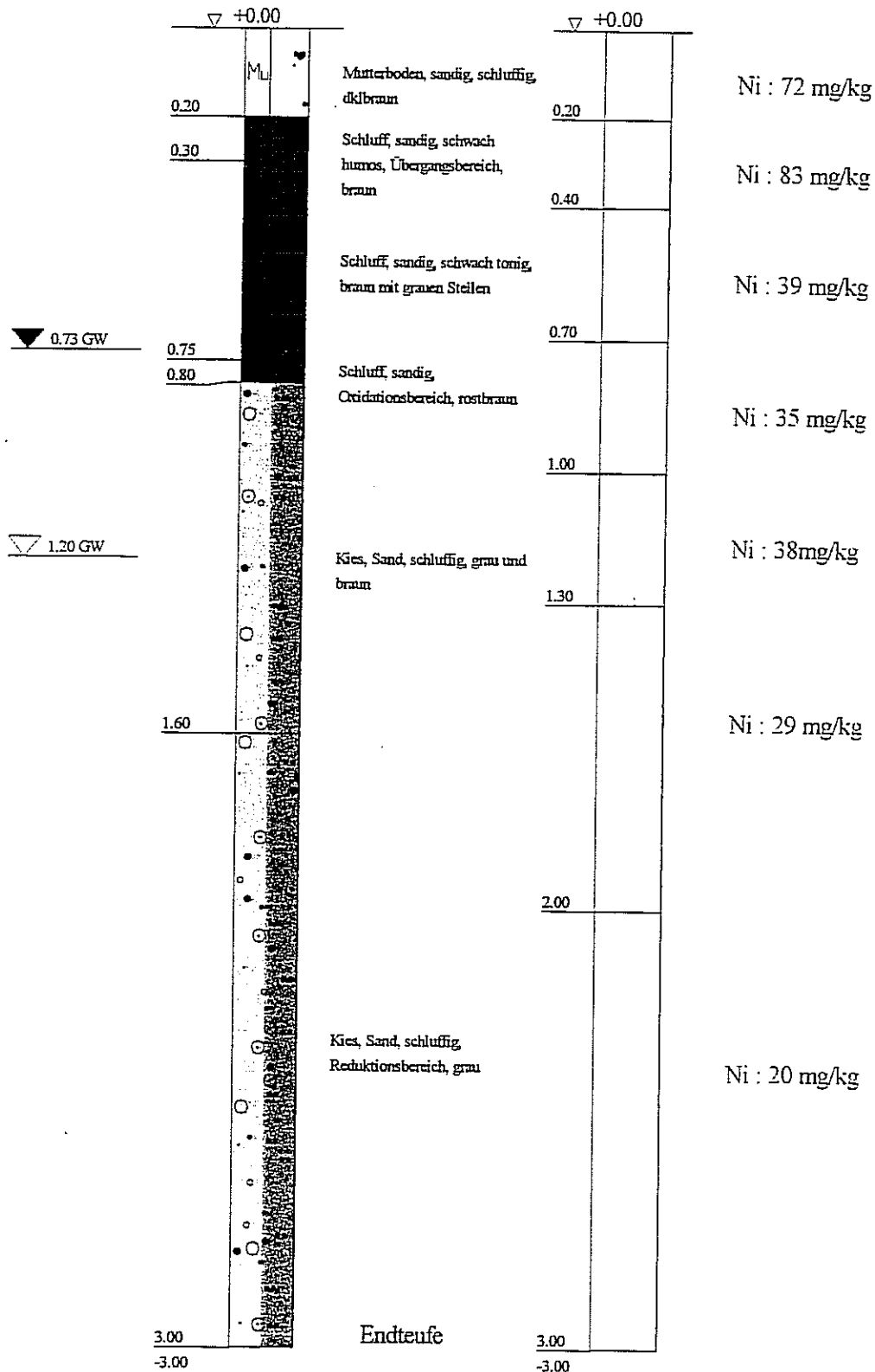


Abb. 15 : Typische Ni-Verteilung in den Kösseine-Auen; Mischproben aus dem Bereich F 9.

6.3 Abschätzung des Hg-Austrags

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens zur Gefährdungsabschätzung bei quecksilberkontaminierten Standorten in Bayern beprobten die Landesgewerbeanstalt Nürnberg (LGA) und das GKSS-Forschungszentrum u.a. auch Böden aus Hausgärten in Marktredwitz und aus den Kösseine-Auen (vgl. Punkt 2.2.3). Zusätzlich wurde in den obersten Bodenschichten das Transportverhalten von Hg-Verbindungen über den Luft- und Wasserpfad unter Langzeitaspekten an Labor- und Feldlysimetern untersucht.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse und der im Rahmen des vorliegenden Entwicklungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen können die mobilen bzw. mobilisierbaren Hg-Anteile in den Kösseine- und Röslau-Auen näherungsweise quantifiziert werden. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

Unter der Annahme, daß im oberflächennahen Grundwasserstockwerk der Kösseine-Auen stationäre Bedingungen vorliegen und der über das Sickerwasser verfrachtete Anteil vollständig in das Grundwasser gelangt, müßte im Aquifer eine Hg-Konzentration von ca. 8 µg/l zu finden sein. Dies ist entsprechend der im Rahmen des vorliegenden Entwicklungsvorhabens ermittelten Ergebnissen nicht der Fall. Hg-Konzentrationen bis 4,9 µg/l wurden jedoch in einigen wenigen DEV S4-Eluaten der untersuchten Bodenproben gefunden.

Mit einer Ausnahme wurden in den untersuchten Grundwasserproben aus den Kösseine- und Röslau-Auen immer Hg-Konzentrationen $< 0,1 \mu\text{g/l}$ gemessen. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen würden somit rein rechnerisch über das Grundwasser aus dem Auenbereich der Kösseine weniger als 9 g (!) und über das Grundwasser aus dem Auenbereich der Röslau weniger als 16 g im Jahr an Hg verfrachtet.

Aufgrund dieser Abschätzung, der Ergebnisse der DEV S4- und pH_{stat} -Analysen sowie der vertikalen Verteilung der Gesamtstoffgehalte (mit der Tiefe abnehmende Hg-Gehalte in den Kösseine- und Röslau-Auen) kann davon ausgegangen werden, daß keine wesentliche Verlagerung von Hg im Boden im Bereich der Kösseine- und Röslau-Auen stattfindet. Auch zukünftig bzw. bei zunehmender Versauerung des Untergrundes ist aufgrund der Bodenbeschaffenheit und den o.g. Ergebnissen nicht mit einer Verschlechterung der Grundwassersituation, sondern ggf. sogar mit einer Verringerung des Eintrags von Hg in das Grundwasser zu rechnen.

7 Weitere Maßnahmen

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse werden für die zwei, aus wasserwirtschaftlicher Sicht wesentlichen Wirkungspfade Boden-Grundwasser und Sediment-Oberflächenwasser, die nachfolgenden Maßnahmen vorgeschlagen.

7.1 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Im Untergrund der Kösseine- und Röslau-Auen wurden sehr hohe Gesamtstoffgehalte der CFM-bürtigen Kontaminanten Quecksilber (Hg) und Antimon (Sb) gemessen. Weiterhin waren auch erhöhte Gesamtstoffgehalte an Arsen (As) sowie der nicht CFM-typischen Parameter Blei (Pb) und Chrom (Cr) nachzuweisen. Grundwasserbelastungen durch Hg, Sb, Pb und Cr konnten bisher nicht nachgewiesen werden und sind aufgrund der Mobilitäts- und Mobilisierbarkeitsabschätzung auch zukünftig nicht zu erwarten. Um diese wesentliche Aussage nachhaltig zu belegen, werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- In den Kösseine-Auen sollte insbesondere bezüglich der CFM-spezifischen Parameter Hg und Sb eine längerfristige Grundwasserbeobachtung in den kontaminierten Bereichen (F 1 - F 9) durchgeführt werden. Zur abschließenden Klärung und Bewertung der Emissionen und Immissionen von Arsen ist eine weitergehende Beobachtung der As-Kontamination im Grundwasser notwendig. Die vorhandenen Grundwasseraufschlüsse (vgl. Tabelle 4) sollten einmal jährlich, in Bereichen mit As-Kontaminationen zumindest einmal jährlich beprobt werden. Das Grundwassermonitoring wäre vorläufig auf 5 Jahre auszulegen.

7.2 Wirkungspfad Sediment und Oberflächenwasser

Die über die Kösseine und Röslau ausgetragenen Flußsedimente bzw. die im Oberflächenwasser mitgeführten Schwebstoffe weisen im gesamten Untersuchungsgebiet hohe Gesamtstoffgehalte an Quecksilber bis 78 mg/kg auf. Das bedeutet, daß diese belasteten Sedimente (vgl. Punkt 6.3.1) bei Hochwasserereignissen in bisher nicht quantifizierten Mengen auf die Überschwemmungsflächen der Kösseine und Röslau und die dort vorhandene Vegetation ausgetragen werden. Ein ebenfalls unbekannter Anteil an Sediment und Schwebstoffen wird im Flußbett stromabwärts verfrachtet. Eine Beobachtung der Austräge bzw. der Verfrachtungen wird empfohlen.

Hierzu wären folgende Maßnahmen geeignet :

- Fortsetzung der Hg-Bestimmungen in den Flußsedimenten und Schwebstoffen sowie - falls technisch möglich - eine überschlägige Abschätzung der ausgetragenen Mengen.
- Hg-Bestimmungen an Pflanzen und Schnittgut sowie Bewertung der ermittelten und/oder bereits vorhandenen Untersuchungsergebnisse durch die zuständigen Behörden.

8 Zusammenfassung

Von Juli 1996 bis Dezember 1997 wurden durch das Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (Lfw) in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) Bayreuth im Überschwemmungsgebiet der Kösseine- und Röslau-Auen Boden- und Grundwasserproben entnommen und untersucht. Ziel dieser wasserwirtschaftlichen Untersuchungen unterhalb der ehemaligen Chemischen Fabrik Marktredwitz (CFM) zwischen der Kläranlage Marktredwitz und dem Dorf Oschwitz an der Röslau war es, zu klären, ob von den dort vorhandenen Bodenbelastungen mit CFM-spezifischen Stoffen eine Gefahr für das Grundwasser ausgeht, ob bereits Grundwasserverunreinigungen eingetreten und ob Maßnahmen zum Grundwasserschutz erforderlich sind.

Untersuchungsumfang

Zur Klärung der vorgenannten Fragen wurden 10 neue Grundwassermeßstellen errichtet und zusammen mit 5 weiteren vorhandenen Meßstellen bzw. Brunnen sowie der Kösseine und der Röslau über ein Jahr in ca. vierteljährlichem Abstand beprobt. Insgesamt wurden ca. 280 Wasserproben entnommen. Der Analysenumfang erstreckte sich auf 27 wasserchemische Basisparameter sowie 10 anorganisch- und bis zu 22 organisch-chemische Leitparameter. Bei Erstellung der Grundwassermeßstellen und zusätzlich mittels Rammkernsondierungen wurden bis in eine Tiefe von ca. 2 bis 3 m ca. 190 Bodenproben entnommen und auf ihren Gesamtstoffgehalt an Leitparametern untersucht. Desweiteren wurden mit ca. 150 Bodenproben Auslaugversuche (Eluate mit dest. Wasser und mit angesäuertem Wasser bei pH 4 nach dem pH_{stat}-Verfahren) durchgeführt, um die Mobilität und Mobilisierbarkeit der Stoffe abzuschätzen. Folgende Leitparameter wurden ausgewählt: Quecksilber (Hg), Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Zink (Zn) und Bor (B) sowie 16 chlororganische Pflanzenschutzmittel (PSM) und 6 Chlorphenole (Abbauprodukte). Als CFM-spezifische Leitparameter waren Hg, Sb, PSM und Chlorphenole von besonderem Interesse.

Untersuchungsergebnisse

Hydrogeologie und Bodenbeschaffenheit

In Untersuchungsbereich existieren zwei Grundwasserstockwerke:

- ein oberflächennaher Porengrundwasserleiter (1. Grundwasserstockwerk), bestehend aus sandig, kiesigen, z.T. schluffigen Auesedimenten, Granit- und Gneiszersatz. Die Aquifermächtigkeit beträgt 2,0 bis 4,0 m. Grundwasser steht bei etwa 0,1 - 1,3 m unter GOK an.
- ein tieferliegender Kluftgrundwasserleiter im Festgestein (Granit/Gneis) ab etwa 10 m unter GOK.

Beide Aquifere sind mit einem k_f -Wert von $3 \cdot 10^{-6}$ m/s als gering durchlässig anzusehen. Die Grundwasserstockwerke stehen zumindest im Bereich der Grundwassermeßstellen F2/T1 hydraulisch in Verbindung. Für das obere Grundwasserstockwerk ist die Kösseine die Vorflut.

Die Bodenbeschaffenheit im Untersuchungsbereich (vorherrschend Auelehm) mit hohen Humus- und Tonanteilen bietet gute Sorptionsbedingungen für Schwermetalle, insbesondere für Quecksilber. Die grundwasserstauende Schicht aus schluffhaltigem Gneiszersatz, die das erste vom zweiten Grundwasserstockwerk trennt, kann weitestgehend eine Stoffverfrachtung in die Tiefe verhindern. Eine Beeinträchtigung des zweiten Grundwasserstockwerks ist daher auch zukünftig wenig wahrscheinlich.

Bodenbelastungen und ihre Tiefenverteilung

Quecksilber (Hg) liegt im gesamten Untersuchungsbereich oberflächennah durchweg in erheblichen Gesamtstoffgehalten mit Konzentrationen bis zu ca. 170 mg/kg vor. Die Hg-Kontaminationen erstrecken sich im wesentlichen auf die oberste Bodenschicht von 0 - 40 cm und nehmen mit der Tiefe rasch ab. In den Röslau-Auen ist zudem eine Abnahme der Hg-Gehalte in Fließrichtung erkennbar.

Antimon (Sb) zeigt ein dem Hg analoges Verhalten, wobei aber insgesamt niedrigere Konzentrationen festzustellen sind. Sie liegen mit einer Ausnahme (ca. 60 mg/kg) unterhalb des Stufe-2-Wertes von 50 mg/kg im Bereich des Stufe-1-Wertes von 10 mg/kg. Sie nehmen von den obersten Bodenschichten wie bei Hg mit der Tiefe rasch bis auf Werte unterhalb der Nachweisgrenze ab.

Arsen (As) ist nahezu überall in den beprobten Bodenschichten des Untersuchungsgebietes vorzufinden. Es dürfte überwiegend geogen bedingt sein, da z.B. kein Konzentrationsgefälle von oben nach unten besteht. Die geogene Herkunft des As wurde auch durch Angaben des GLA bestätigt, wonach ortstypische Hintergrundwerte bis 50 mg/kg (= Stufe-2-Wert) möglich sind. Vereinzelt waren sogar Gesamtstoffgehalte etwas über dem Stufe-2-Wert, z.B. zwischen der B15 und Wölsau (Meßstelle F1 in 1,0 m Tiefe), festzustellen.

Bei **Blei (Pb)** liegen die Gesamtstoffgehalte unterhalb des Stufe-2-Wertes von 500 mg/kg. Erhebliche Gehalte bis zu 400 mg/kg sind nur in der Nähe von Straßen und dort oberflächennah in den Bodenschichten von 0 - 40 cm festzustellen. Die Gehalte in tieferen Bereichen sind geringfügig.

Chrom liegt im gesamten Untersuchungsgebiet in mehreren Proben, insbesondere in den obersten Bodenschichten in Konzentrationen oberhalb des Stufe-1-wertes (50 mg/kg) vor. Es zeigte sich, daß das

Chrom nicht als wassergefährdendes Chrom VI, sondern als immobiles geogenes Chrom III vorliegt. Die Gesamtstoffgehalte liegen wie bei Arsen im Bereich der typischen Hintergrundwerte.

Bei den Schwermetallen Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) konnten bis auf eine Ausnahme (Ni im Bereich F8) in allen Tiefenbereichen keine Überschreitungen der jeweiligen Stufe-1-Werte festgestellt werden.

Belastungen des Bodens mit **chlororganischen Pflanzenschutzmitteln (PSM)** bzw. deren Abbauprodukten (Chlorphenole) konnten im gesamten Untersuchungsgebiet nicht, bzw. nur in geringfügigen Gehalten weit unter dem Stufe-1-Wert von 1 mg/kg nachgewiesen werden.

Mobilisierbarkeit der Bodenbelastungen

Hg liegt überwiegend in nicht mobiler Form vor. Dies zeigen die Elutionen mit dest. Wasser, die nur bei einem untergeordneten Anteil der Bodenproben teilweise mobile Anteile ($>$ Stufe-1-, aber $<$ Stufe-2-Wert) ergaben. Im saueren pH_{stat} -Eluat zeigt sich sogar eine, im Vergleich zum Verfahren mit dest. Wasser, geringere Mobilisierbarkeit. Auch zukünftig ist daher nicht mit einer Verschlechterung der Gefährdungslage für das erste Grundwasserstockwerk zu rechnen.

Im Eluat mit dest. Wasser wurde Sb mit Konzentrationen oberhalb des Stufe-1-Wertes von 5 $\mu\text{g/l}$ nachgewiesen, der Stufe-2-Werte wurde zweimal überschritten. Im saueren Eluat ist in der Regel wie bei Hg eine verminderte Mobilisierbarkeit festzustellen. Eine künftige erhebliche Verunreinigung des Grundwassers ist daher weitestgehend auszuschließen.

As liegt in derzeit nicht mobiler Form vor, die Eluate mit dest. Wasser wiesen ausschließlich Konzentrationen weit unterhalb des Stufe-1-Wertes von 10 $\mu\text{g/l}$ auf. Die saueren Eluate erbrachten an zwei Meßstellen (F1, F6) erhebliche As-Konzentrationen im Bereich bzw. deutlich über dem Stufe-2-Wert von 40 $\mu\text{g/l}$. Bei zunehmender Bodenversauerung wären daher in diesen Bereichen mit wahrscheinlich geogen erhöhten As-Belastungen erhebliche Grundwasserverunreinigungen nicht auszuschließen.

Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn liegen - soweit vereinzelt merkbare Bodenbelastungen vorliegen - in derzeit geringer (Pb) bzw. nicht mobiler Form vor. Bei zunehmender Versauerung des Bodens wäre zwar mit einer Mobilisierung dieser Stoffe zu rechnen, wie die saueren Eluate zeigen. Dennoch besteht keine Besorgnis einer künftigen erheblichen oder nachhaltigen Verunreinigung des Grundwassers, da die Gesamtstoffgehalte durchweg geringfügig sind und keine nennenswerten Frachten bewirken können.

Grundwasserverunreinigungen

Verunreinigungen des Grundwassers mit den CFM-typischen Hauptkontaminanten Hg und Sb konnten im Untersuchungszeitraum weder im oberflächennahen Porengrundwasserleiter (1. Grundwasserstockwerk) noch im Kluftgrundwasserleiter (2. Grundwasserstockwerk) nachgewiesen werden. Sie belegen damit die geringe Mobilität von Hg und Sb, wie sie aufgrund der Auslaugversuche und der Bodenbeschaffenheit zu erwarten war. Auch Verunreinigungen mit chlororganischen PSM bzw. mit deren Abbauprodukten (Chlorphenole) konnten nicht festgestellt werden.

Die lokal im Boden vorliegenden nicht CFM-bürtigen **Schwermetallbelastungen** führten ebenfalls zu keinen nachweisbaren Stoffgehalten in den filtrierten Grundwasserproben.

Lediglich As konnte im sauerstoffarmen Grundwasser der Meßstellen F1, F4 und F8 in erheblichen Konzentrationen zwischen Stufe-1- und Stufe-2-Wert (10 - 40 µg/l) gemessen werden. Die Korrelation der As-Gehalte mit den ermittelten, für sauerstoffarme Wässer typischen hohen Eisenkonzentrationen spricht neben den o.a. Gründen ebenfalls für eine überwiegend geogene Herkunft des As.

Oberirdische Gewässer. Flußsedimente

Die aus der Kösseine und Röslau ausgetragenen Flußsedimente weisen im gesamten Untersuchungsbereich, trotz der Sanierung der oberstromig gelegenen, bereits sanierten CFM- und Stella-Standort und trotz der Entschlammungsmaßnahmen im Kösseinebett, noch erhöhte Hg-Gesamtstoffgehalte von 20 - 80 mg/kg auf. Auch die Sb-Gehalte sind gegenüber den ortsüblichen Hintergrundwerten leicht erhöht (bis 15 mg/kg).

Schlußfolgerung

Die umfangreichen Bodenuntersuchungen zeigen auf, daß im Untersuchungsbereich sowohl die CFM-typischen Stoffe Hg und bereichsweise Sb, als auch As, Pb und Cr zwar mit auffälligen Gesamtstoffgehalten über dem jeweiligen Stufe-1- bzw. Stufe-2-Wert vorliegen. Aufgrund der Abschätzung der Mobilität und der Mobilisierbarkeit dieser Parameter ist aber davon auszugehen, daß derzeit und auch in Zukunft kein erheblicher Eintrag insbesondere der CFM-typischen Stoffe Hg und Sb ins Grundwasser erfolgt bzw. erfolgen wird. Dies wird durch die Grundwasseruntersuchungen bestätigt, die in keinem Fall erhebliche Verunreinigungen mit CFM-bürtigen Stoffen erbrachten.

Stellenweise vorhandene As-Belastungen des Bodens und auch des Grundwassers sind offenbar nicht in Zusammenhang mit der CFM zu sehen, sondern sind geogenen Ursprungs. Die untersuchten Stoffe Cd, Cu, Ni und Zn sind für die Bewertung der Grundwassergefährdung ohne Belang.

Zur Absicherung dieser wesentlichen Schlußfolgerungen und zur Beobachtung der bereichsweise auftretenden nicht CFM-bürtigen Arsenverunreinigungen wird eine längerfristige jährliche Grundwasserüberwachung an repräsentativen Meßstellen vorgeschlagen. In diese Maßnahme sind die nach wie vor belasteten Flußsedimente mit einzubeziehen, wobei hier zusätzlich die Herkunft und Ausbreitung dieser offenbar nachhaltigen Belastung zu ermitteln und ihr weitere Entwicklung zu beobachten wäre. Desweiteren sollte die Tiefenverteilung der Bodenbelastungen an einigen aussagekräftigen Stellen durch Sondierungen in ca. fünfjährigem Abstand überwacht werden.

9 Literaturverzeichnis

- BLUME H.-P. und BRÜMMER G., Mitteilungen der dt. bodenkundl. Ges., 35, 31-42 (1987).
- BLUME H.-P. und BRÜMMER G., Mitteilungen der dt. bodenkundl. Ges., 35, 111-117 (1987).
- CALMANO W., Schwermetalle in kontaminierten Feststoffen, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989.
- EBER A., Diplomarbeit an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen/Nürnberg, 1991.
- EBER A., Abschlußbericht zur Beprobungskampagne in Marktredwitz, 1992.
- FESTSCHRIFT zum 150-jährigen Bestehen der Chemischen Fabrik Marktredwitz; Verlag Hoppenstedt & Co., Berlin, 1938
- GAMBRELL R.P. et al., Amer. Chem. Soc. 14, 431-436, (1980).
- GLA, Fachberichte 5, Bayer. Geolog. Landesamt, München 1991.
- GSF (1995), Zusammenfassung zum Projektvorhaben „Standortgerechte Bewertung der Belastung im Umfeld der Chemischen Fabrik Marktredwitz“.
- HEMPEL M., Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Gefährdungsabschätzung quecksilberkontaminierter Standorte, Dissertation, TU Hamburg-Harburg, 1993.
- HERMS U. und BRÜMMER G., Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 147, 400-427, (1984).
- LFW, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Die Grundwasserneubildung in Bayern, Heft 5/96, München 1996.
- LFW, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft,
Merkblätter, 1998:
- a) Nr. 3.8-10 „Bewertung von Grundwasserverunreinigungen und Bodenbelastungen für den Wirkungspfad Boden-Wasser“
 - b) Nr. 3.8-5 „Bestimmung löslicher Anteile bei Untergrundverunreinigungen“
 - c) Nr. 3.8-6 „Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Untergrundverunreinigungen mit wassergefährdenden Stoffen“

LFW, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Dr. Biersack; Schlußbericht zu „Wasserwirtschaftliche Untersuchungen zur Belastungssituation von Boden und Grundwasser in den Kösseine- Auen unterhalb von Marktredwitz“, 1998.

LGA/GKSS Schlußbericht zur „Untersuchung des Gefährdungspotentials von quecksilberkontaminierten Standorten in Bayern“, 1992.

LINDSAY W.L., Chemical equilibria in soils, New York, Springer Verlag, 1979.

LUBAG Untersuchungsbericht zu Pegelbohrungen und Pumpversuchen in den Kösseine-Auen vom 29.10.1996.

MERIAN E., Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim, 1984.

NAGASE H. et al., Eisei Kagaku 29, 55 (1983).

OBERMANN P. und CREMER S., Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagekräftigen Elutionsverfahrens. Band 6. Hrsg.: Landesamt für Wasser und Abfall NRW; Essen, 1993.

PFEIL U., Vortrag zum Umfeld der Chemischen Fabrik Marktredwitz beim GSF-Statusseminar in Neuherberg, 2.2.1996.

SCHEFFER F. und SCHACHTSCHABEL P., Lehrbuch der Bodenkunde, Enke-Verlag Stuttgart, 1982.

WALLSCHLÄGER D., DESAI M.V.M. und WILKEN R.-D., Water, Air and Soil Pollution, 90, 507 - 520 (1996).

ZVONAREV B.A., Moscow University soil science bulletin, 37, 56-58, (1982).

10 Anlagen

- Anlage 1 :** Übersichtslageplan (1 : 40 000)
- Anlage 2 :** Übersichtslagepläne mit Bohransatzpunkten der Grundwassermeßstellen und den Entnahmestellen der Bodenproben in den Kösseine- und Röslau-Auen
- Anlage 3:** Untersuchungsergebnisse der Bodenproben aus den Kernbohrungen (Kösseine-Auen)
- Anlage 4 :** Untersuchungsergebnisse der Bodenproben aus den Rammkernsondierungen (Kösseine-Auen)
- Anlage 5 :** Untersuchungsergebnisse der organischen Parameter im Boden
- Anlage 6 :** Untersuchungsergebnisse der Sedimentproben
- Anlage 7 :** Untersuchungsergebnisse der Bodenproben aus den Rammkernsondierungen (Röslau-Auen)
- Anlage 8 :** Untersuchungsergebnisse Grundwasser (Kösseine-Auen)
- Anlage 9 :** Untersuchungsergebnisse Grundwasser (Röslau-Auen)
- Anlage 10 :** Untersuchungsergebnisse der organischen Parameter im Grundwasser

Projekt: Wasserwirtschaftliche Untersuchungen in den Kösseine-Auen

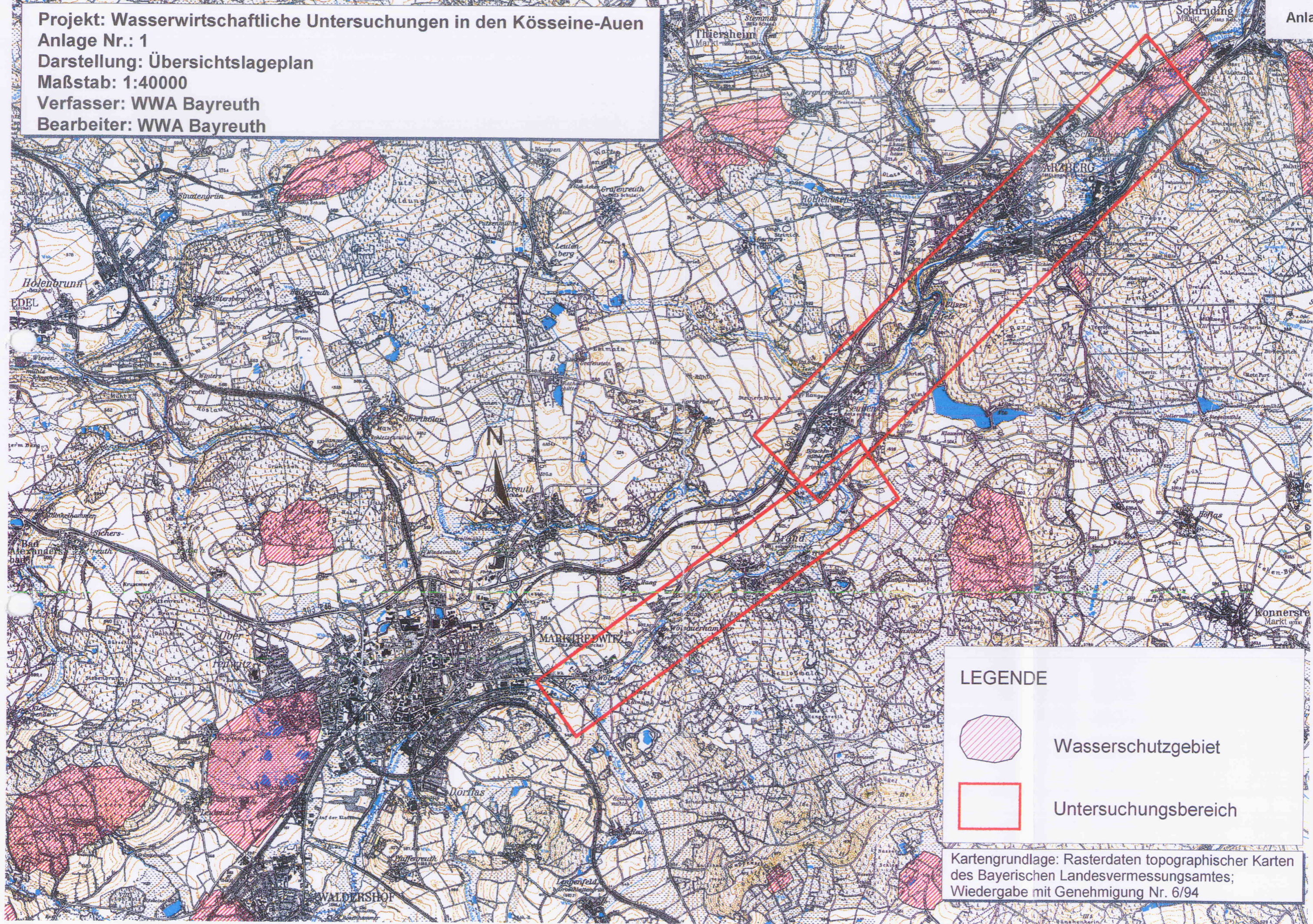
Anlage Nr.: 1

Darstellung: Übersichtslageplan

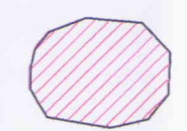
Maßstab: 1:40000

Verfasser: WWA Bayreuth

Bearbeiter: WWA Bayreuth



LEGENDE

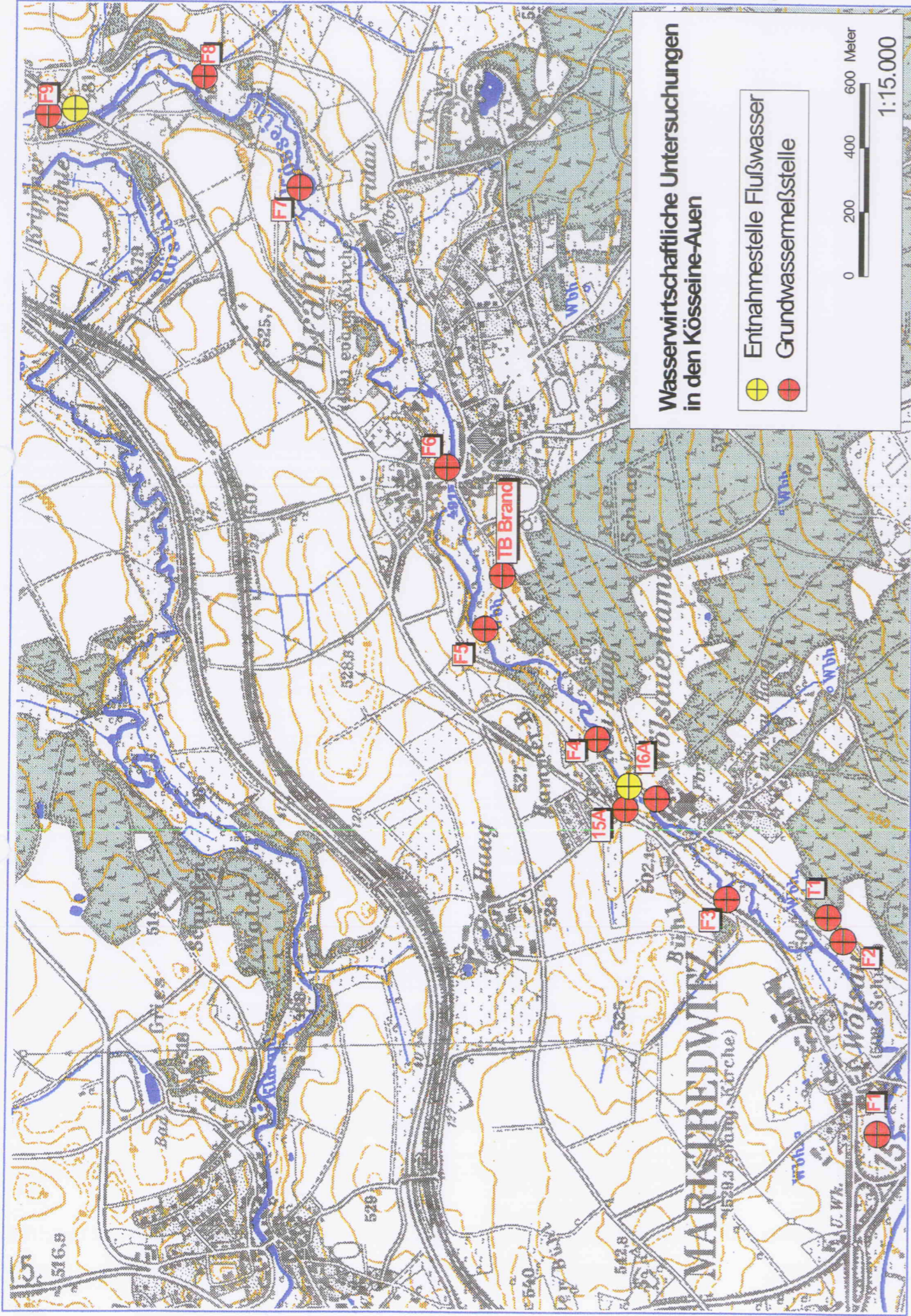


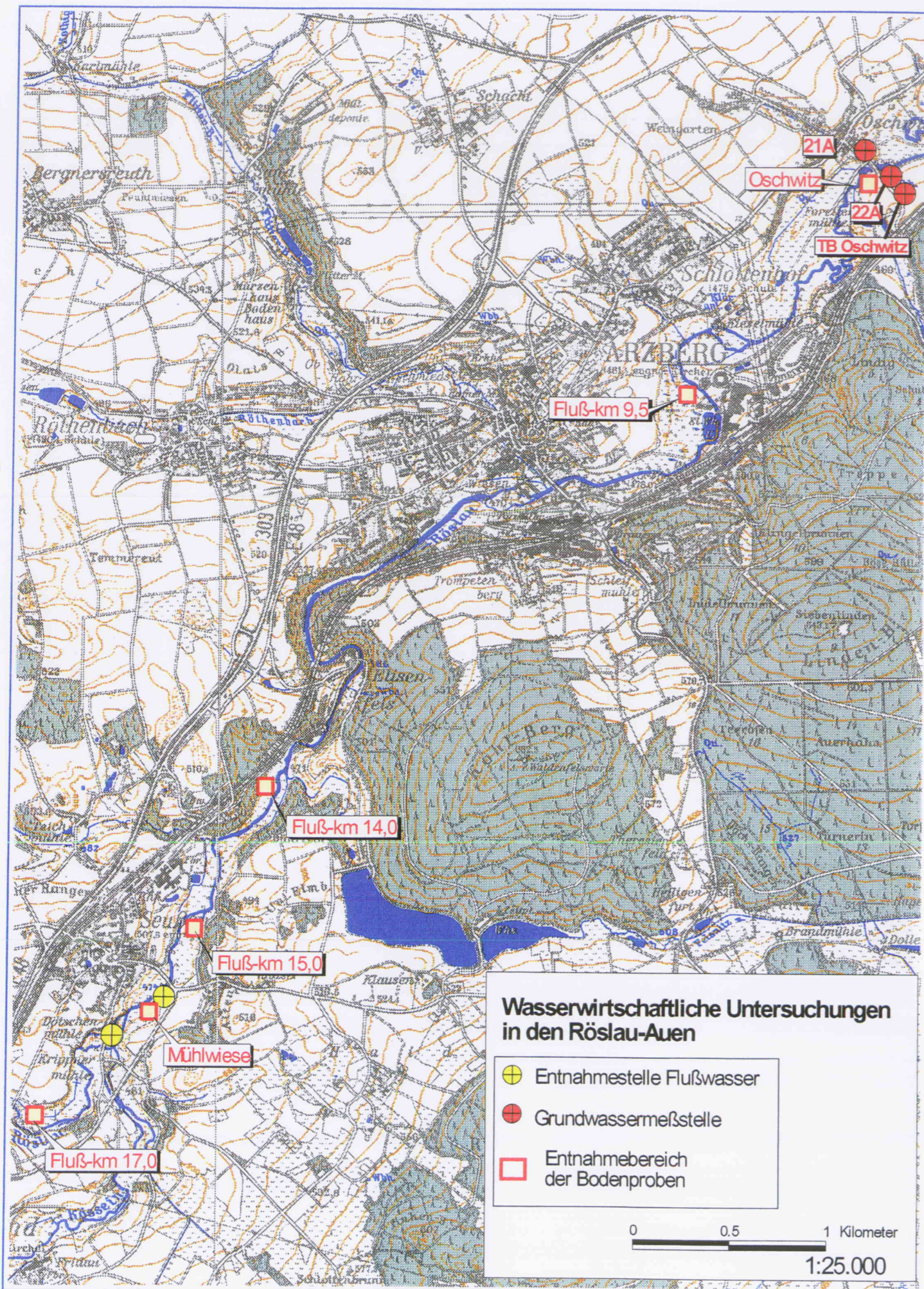
Wasserschutzgebiet



Untersuchungsbereich

Kartengrundlage: Rasterdaten topographischer Karten
des Bayerischen Landesvermessungsamtes;
Wiedergabe mit Genehmigung Nr. 6/94





**Schwermetallkonzentrationen im Boden in mg/kg TS
Eluate in µg/l**

SNK = Säure-
neutralisations-
kapazität

Proben der Kernbohrungen

Profil	Tiefe	Hg		Sb		As		Pb		Cd		Cr _{geo.}		Cu		Ni		Zn		pH _{Eluat}	pH _{Eluat}	SNK ₂₅ [mmol/kg]	
		Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}	Eluat	pH _{Eluat}				
F 1: 0,30 m	1,0 m	0,19	<0,1	<1	<2	23	<1	199	10	12	<0,1	5	54	<5	<1	25	<10	34	<20	165	10	270	
	2,0 m	0,07	<0,1	<1	<2	15	<1	24	1,5	1	<2	0,3	28	<5	<1	14	<10	20	<20	47	10	10	
	3,0 m	0,05	<0,1	<1	<2	4,9	<1	16	2,3	<2	<0,1		22	<5	<1	18	<10	28	<20	54	10		
	4,0 m	<0,05	<0,1	<1	<2	7,3	<1	45	2,0	<2	<0,1		45	<5	<1	12	<10	23	<20	37	10		
F 2: 0,30 m	1,0 m	0,47	<0,1	<1	<2	2,3	<1	29	<1	<2	<0,1		41	<5	<1	14	<10	24	<20	87	20		
	2,0 m	0,1	<0,1	<1	<2	3,0	<1	23	<1	<2	<0,1		27	<5	<1	4,0	<10	23	<20	61	10		
	3,0 m	<0,05	<0,1	<1	<2	4,4	<1	24	<1	<2	<0,1		29	<5	<1	3,0	<10	14,0	<20	77	10		
	4,0 m	1,9	<0,1	<1	<2	1,4	<1	32	<1	<2	<0,1		184	<5	<1	<3	<10	48	<20	84	10		
F 3: 0,30 m	1,0 m	0,51	0,1	<1	<2	2,8	<2	44	4,4	<2	<0,1		30	<5	<1	9,0	<10	18,0	<20	93	10	44,4	
	2,0 m	0,06		<1	<2	14,2		24		<2		36		<1	12,0		22		47				
	2,5 m	0,42		<1	<2	19,2		27		<2		36		<1	14,6		24		48				
	3,0 m	<0,05		<1	<2	<1		44		<2		19,8		<1	19,0		8,2		77				
F 4: 0,30 m	1,0 m	6,9	0,1	3,5	2	14,2	1	89	3	1	<2	0,6	83	<5	31	<10	49	<20	141	20	80	50,4	
	2,0 m	0,16	<0,1	fehlt	7,8	13,2	<1	60	<1	2	<2	<0,1	51	<5	17,0	<10	40	<20	136	30	160	59,9	
	3,0 m	0,47		<1	<2	12,5		19,0		<2		30		<1	18,0		34		46				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	10,1		11,0		<2		28		<1	9,0		20		34				
F 5: 0,30 m	1,0 m	0,25	<0,1	11,8	2	18,6	<1	41	1	9	<2	0,3	4	<5	9,0	<10	13,0	<20	72	10	220	24,8	
	2,0 m	0,22		<1	<2	5,7		17,6		<2		26		<1	10,0		25		43				
	3,0 m	0,05		<1	<2	8,7		15,5		<2		24		<1	10,9		26		35				
	4,0 m	0,05		<1	<2	1,1		14,0		<2		8,9		<1	3,5		7,7		28				
F 6: 0,30 m	1,0 m	0,26	0,3	24	10	2,1	1	183	3	14	<2	0,4	8	<5	47	<10	75	<20	270	40	770	129,4	
	2,0 m	<0,05		<1	<2	18,9		22		<2		30		<1	15,0		28		40				
	3,0 m	<0,05		<1	<2	10,7		20		<2		24		<1	13,0		22		38				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	7,1		25		<2		34		<1	11,0		24		52				
F 7: 0,30 m	1,0 m	0,57	0,1	6,0	<1	6,0	<1	79	<1	<2	0,8	47	<5	1	15	<10	31	<20	153	20	20	43,5	
	2,0 m	0,44	0,1	<1	<2	16,4	<1	49	<1	<2	1,3	49	<5	<1	11	<10	33	<20	136	40	40	67,4	
	3,0 m	0,11		<1	<2	8,0		20		<2		36		<1	13		30		48				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	3,7		26		<2		33		<1	21		20		65				
F 8: 0,30 m	1,0 m	0,08	<0,1	fehlt	1,3	7,8	<1	4	<1	<2	0,4	0,5	80	<5	8,0	<10	16	<20	94	<10	30	36,6	
	2,0 m	<0,05		<1	<2	8,5	<1	26	<1	<2	0,5	103	<5	3	12	<10	59	<20	76	30	30	36,6	
	3,0 m	<0,05		<1	<2	25,0		26		<2		46		<1	18		55		109				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	4,6		42		<2		70		<1	48		75		156	30	65,1		
F 9: 0,30 m	1,0 m	0,08	0,1	0,3	1,8	7,1	<1	70	<1	5	<2	0,4	3,2	<5	17	<10	9	<20	115	<10	200	46,0	
	2,0 m	<0,05		<1	<2	9,0		27		<2		66		<1	13		31		56				
	3,0 m	<0,05		<1	<2	6,2		33		<2		26		<1	20		19		87				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	6,8		39		<2		22		<1	35		10		101				
T 1: 0,30 m	1,0 m	0,09	<0,1	<1	<2	8,6	<1	32	<1	<2	<0,1	30	<5	<1	<3	<10	17,0	<20	62	<10	<10		
	2,0 m	<0,05		<1	<2	4,6		24		<2		30		<1	<3		15,4		65				
	3,0 m	<0,05		<1	<2	3,2		33		<2		167		<1	<3		5		102			43,7	
	4,0 m	<0,05		<1	<2	3,1		29		<2		101		<1	<3		33		86			49,8	
T 2: 0,30 m	1,0 m	0,05	<0,1	<1	<2	2,8	<1	19,0	<1	<2	<0,1	147	<5	<1	<3	<10	14,0	<20	59	<10	<10		
	2,0 m	<0,05		<1	<2	<1		20		<2		123		<1	<3		29		60				
	3,0 m	<0,05		<1	<2	1,6		16,0		<2		52		<1	<3		14,7		33				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	<1		23		<2		141		<1	<3		4		92			34,9	
T 3: 0,30 m	1,0 m	0,13		<1	<2	2,2		27		<2		100		<1	<3		30		64				
	2,0 m	<0,05		<1	<2	<1		28		<2		196		<1	<3		30		77				
	3,0 m	<0,05		<1	<2	<1		28		<2		17		<1	<3		40		44				
	4,0 m	<0,05		<1	<2	<1		28		<2		17		<1	<3		13		44				
Maximalwert:		1,6	0,3	24	10	15	1	199	10	350	<2	0,4	6	197	<5	48	31	<20	270	40	770	129	
Minimalwert:		<0,05	<0,1	<1	<2	<1	<2	11	1	<1	<2	0,3	8,9	<5	<3	<10	<1	7,7	<20	<1	28	<10	24,8
Stufe-1-Wert:		2	1	10	5	10	10	100	10	10	10	5	50	50	100	50	100	20	500	300			
Stufe-2-Wert:		10	4	50	20	50	40	500	40	50	50	20	1000	200	500	80	500	80	2500	1200			

Wert > Stufe-1
Wert > Stufe-2

**Schwermetallkonzentrationen im Boden
und in Eluaten**
Proben der Kernbohrungen aus den Kösseine-Auen

Schwermetallkonzentrationen im Boden in mg/kg TS

SNK = Säure-
neutralisations-
kapazität

Mischproben aus 5 RKS (Kösseine-Auen)

Eluate in µg/l

Table with 31 columns: Sampling location, depth, and concentrations of Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, and SNK24. Includes sub-tables F1-F9 and F3-F9 for different soil types.

Schwermetallkonzentrationen im Boden und in Eluaten
Rammkernsondierungen in den Kösseine-Auen

Wert > Stufe-1
Wert > Stufe-2

Beprobung des Bodens auf organische Leitparameter

Alle Analysen am LfW durchgeführt.

Entnahmestelle	4-Chlorphenol	4-Chlor-2-methylphenol	Pentachlorphenol	übrige Parameter
	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]
F 1, 0 - 20 cm	n.n.	n.n.	1,5	< 1 bis < 0,1
F 1, 30 cm	1,2	2,9	2	
F 1, 40 - 70 cm	n.n.	4,4	1	
F 1, 100 cm	n.n.	n.n. (< 1)	0,7	
F 2, 0 - 20 cm	12	2,5	1,2	
F 2, 30 cm	n.n. (< 1)	12	1	
F 3, 0 - 20 cm	n.n.	n.n.	1,2	
F 3, 30 cm	n.n.	6	1	
F 4, 30 cm	n.n.	11	0,8	
F 4, 100 cm	n.n.	2,4	1,2	

Untersuchte organische Leitparameter

Pflanzenschutzmittel (PSM) und Chlorphenole

<u>PSM</u> :	Dicamba	<u>Chlorphenole</u> :	2-Chlorphenol
	Mecoprop		4-Chlorphenol
	MCPA		2,4-Dichlorphenol
	Dichlorprop		2,4,5-Trichlorphenol
	2,4-D		2,3,4,6-Tetrachlorphenol
	Bromoxynil		Pentachlorphenol
	Triclopyr		4-Chlor-2-methylphenol
	Fenoprop		
	MCPB		
	2,4,5-T		
	2,4-DB		
	Fluroxypyr		
	Bentazon		
	Joxynil		
	Clofibrat		
	Haloxypop		

Schwermetallkonzentrationen in den Sedimenten in mg/kg TS

Eluate in µg/l

Sedimentproben (nach Überflutungsvorgängen im Bereich der Uferwälle abgelagerte Sedimente)

SNK = Säure-
neutralisations-
kapazität

Kösseine-Auen

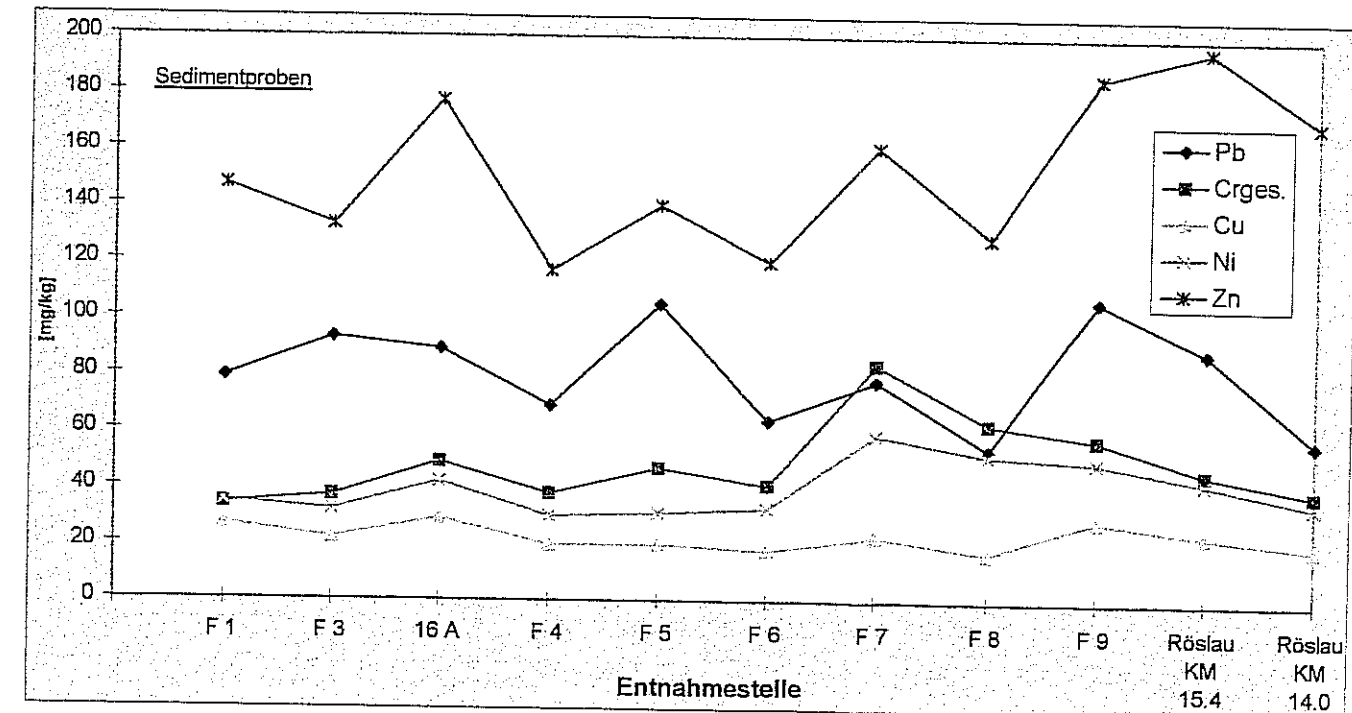
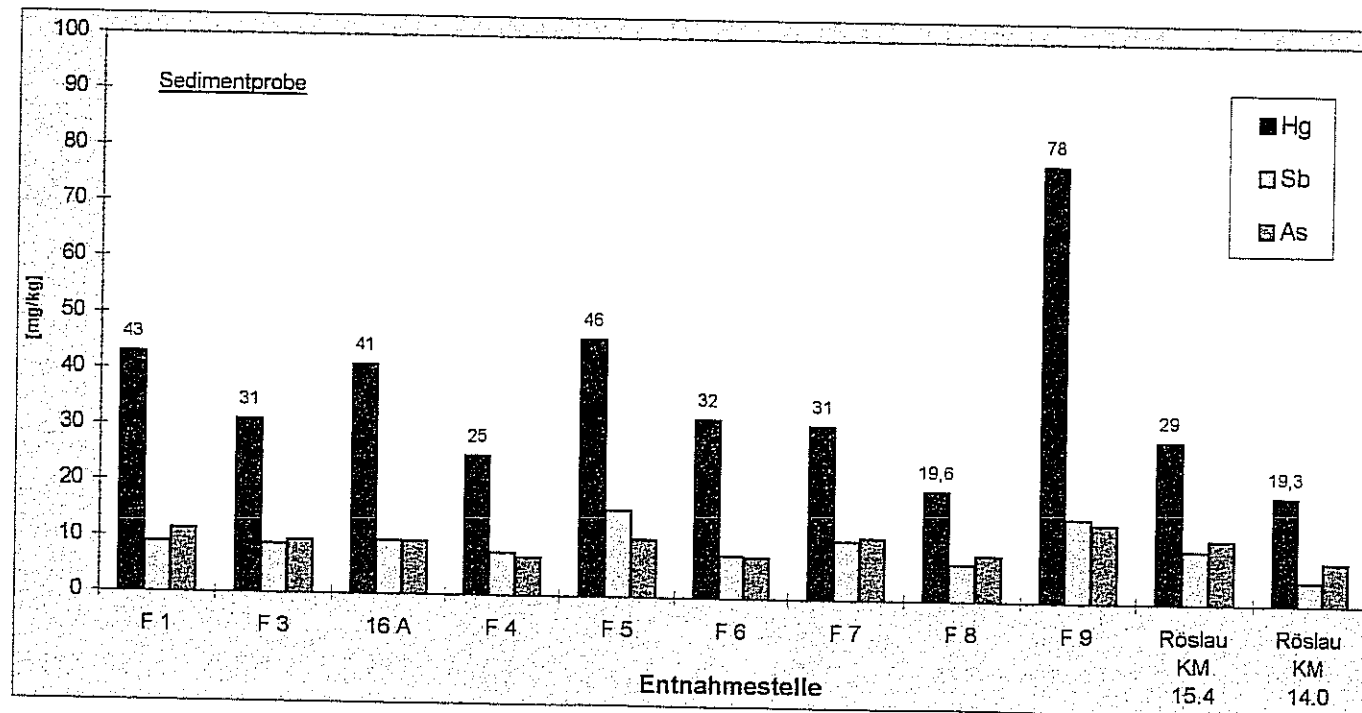
Bei F 2 / T 1 keine Probenahme möglich.

	Hg	Eluat	pH _{stat}	Sb	Eluat	pH _{stat}	As	Eluat	pH _{stat}	Pb	Eluat	pH _{stat}	Cd	Eluat	pH _{stat}	Cr _{ges.}	Eluat	pH _{stat}	Cu	Eluat	pH _{stat}	Ni	Eluat	pH _{stat}	Zn	Eluat	pH _{stat}	SNK ₂₄ [mmol/kg]
F 1	43	3,1	<0,1	9,0	12	4	11,4	2	1	79	4	5	<2	0,3	8	34	<5	3	27	<10	13	35	<20	36	147	10	850	88,1
F 3	31	0,7	<0,1	8,8	12	4	9,5	<1	1	93	2	5	<2	0,3	7	37	<5	1	22	<10	12	32	<20	30	133	10	880	51,4
16 A	25	0,8	<0,1	9,6	8	4	9,5	1	2	89	2	8	<2	0,2	11	49	<5	2	29	<10	14	42	<20	30	177	20	1600	81,9
F 4	25	1,4	<0,1	7,7	8	4	6,9	1	2	69	<1	10	<2	<0,1	13	38	<5	2	19,7	<10	17	30	<20	27	117	<10	100	132,7
F 5	46	1,1	<0,1	15,6	11	3	10,4	2	1	105	4	5	<2	<0,1	7	47	<5	2	19,9	<10	9	31	<20	27	140	20	1100	59,4
F 6	32	0,6	<0,1	7,7	8	2	7,4	<1	1	64	1	4	<2	<0,1	8	41	<5	2	17,9	<10	10	33	<20	28	120	20	1100	52,2
F 7	31	0,3	<0,1	10,5	9	5	11,1	2	2	78	<1	4	<2	<0,1	8	84	<5	2	23	<10	10	59	<20	28	161	10	1500	152,5
F 8	19,6	0,4	<0,1	6,6	7	2	8,3	<1	1	54	1	4	<2	<0,1	7	63	<5	2	17,3	<10	9	52	<20	28	129	10	1100	106,1
F 9	78	0,2	<0,1	15	12	3	14	1	1	107	<1	3	<2	0,2	5	58	<5	1	29	<10	8	50	<20	27	186	10	960	66,2
Mittelwert	38,5	1,0	<0,1	10,1	11,0	3,4	9,8	1,5	1,3	82,0	2,3	5,3	<2	0,3	8,2	50,1	<5	1,9	22,8	<10	11,3	40,4	<20	31,4	146	13,8	1166	87,8

Röslau-Auen

**Schwermetallkonzentrationen in den
Sedimenten und in Eluaten**

	Hg	Eluat	pH _{stat}	Sb	Eluat	pH _{stat}	As	Eluat	pH _{stat}	Pb	Eluat	pH _{stat}	Cd	Eluat	pH _{stat}	Cr _{ges.}	Eluat	pH _{stat}	Cu	Eluat	pH _{stat}	Ni	Eluat	pH _{stat}	Zn	Eluat	pH _{stat}	SNK ₂₄ [mmol/kg]
Röslau KM 15.4	29	0,4	<0,1	9,5	8	2	11,5	1	1	89	<1	2	<2	0,3	7	46	<5	1	24	<10	9	43	<20	35	196	10	1000	57,5
Röslau KM 14.0	19,3	0,1	<0,1	4,2	3	1	7,7	<1	1	57	<1	1	<2	0,3	4	39	<5	1	20	<10	9	35	<20	65	170	20	790	64,1
Mittelwert	24,2	0,3	<0,1	6,9	5,5	1,5	9,6	1,0	1,0	73,0	<1	1,5	<2	0,3	5,5	42,5	<5	1,0	22,0	<10	9,0	39,0	<20	75,5	183	15	895	60,8



Schwermetallkonzentrationen im Boden in mg/kg TS
Eluate in µg/l

SNK = Säure-
neutralisations-
kapazität

Mischproben aus 5 RKS (Röslau-Auen)

Entnahmetiefe	Hg	Eluat	pH _{stat}	Sb	Eluat	pH _{stat}	As	Eluat	pH _{stat}	Pb	Eluat	pH _{stat}	Cd	Eluat	pH _{stat}	Cr-ges.	Eluat	pH _{stat}	Cu	Eluat	pH _{stat}	Ni	Eluat	pH _{stat}	Zn	Eluat	pH _{stat}	SNK ₂₄ [mmol/kg]
Fluß-Km 17,0																												
0 - 20 cm	0,55		< 0,1	0,9		< 1	13,9		1	72		3	< 2	9		51		1	28		7	37		70	210		970	66,2
20 - 40 cm	0,52		< 0,1	0,8		< 1	16,6		< 1	73		1	< 2	2		46		< 1	23		4	36		35	164		330	59,0
40 - 70 cm	0,30			0,4			15,8			57			< 2			51			21			40						
70 - 100 cm	0,10			0,2			11,9			45			< 2			53			12			37						
100 - 130 cm	0,06			0,1			11,4			36			< 2			34			7,7			22						
130 - 200 cm	0,08			< 0,1			6,7			36			< 2			36			8,4			24						
Mühiwiese																												
0 - 20 cm	0,6	< 0,1	< 0,1	35	3	2	24	< 1	< 1	173	< 1	4	< 2	0,4	3	107	< 1	2	35	< 10	6	65	< 20	70	216	90	580	58,7
20 - 40 cm	15,4	0,4	< 0,1	15,6	1	1	16,7	< 1	< 1	99	< 1	2	< 2	< 0,1	0,6	84	< 1	< 1	21	< 10	2	60	< 20	26	126	30	120	42,6
40 - 70 cm	2,2	< 0,1	< 0,1	2,1	< 1	< 1	10,5	< 1	< 1	36	< 1	1	< 2	< 0,1	0,8	46	1	< 1	8,1	< 10	1	34	< 20	23	77	20	40	24,3
70 - 100 cm	0,77			1,0			8,6			25			< 2			42			6,4			32						
100 - 130 cm	0,22			0,5			4,5			23			< 2			42			8,2			26						
130 - 200 cm	0,06			0,2			2,4			14			< 2			43			6,4			38						
Fluß-Km 15,0																												
0 - 20 cm	7,0	0,3	< 0,1	21,6	1	1	24,4	< 1	< 1	165	< 1	5	< 2	0,8	4	83	< 1	1	38	< 10	5	53	< 20	82	230	100	550	54,7
20 - 40 cm	3,9	< 0,1	< 0,1	3,5	< 1	1	15,2	< 1	< 1	78	< 1	2	< 2	< 0,1	0,8	52	< 1	< 1	18	< 10	2	40	< 20	28	113	10	100	50,0
40 - 70 cm	0,54			0,35			8,7			26			< 2			29			5,7			21						
70 - 100 cm	0,09			< 0,1			4,0			19			< 2			21			3,0			16,5						
100 - 130 cm	0,11			< 0,1			2,4			15			< 2			27			4,9			21						
130 - 200 cm	0,08			0,1			2,3			13			< 2			21			5,6			15,6						
Fluß-Km 14,0																												
0 - 20 cm	4,6	0,4	< 0,1	12,5	< 2	2	18,5	1	1	97	< 1	2	< 2	0,3	5	68	< 5	1	32	< 10	10	47	< 20	85	206	90	750	50,0
20 - 40 cm	7,0	0,3	< 0,1	3,6	< 2	< 1	8,9	< 1	< 1	47	< 1	1	< 2	< 0,1	0,9	47	< 5	< 1	13,4	< 10	3	30	< 20	24	101	10	110	27,2
40 - 70 cm	1,1		< 0,1	0,9		< 1	5,6		< 1	23		< 1	< 2		0,9	34		< 1	8,0		2	19,9		30	62		60	31,1
70 - 100 cm	0,3			0,6			10,0			24			< 2			33			7,0			18,5						
100 - 130 cm	0,1			0,1			2,5			20			< 2			29			6,1			18,1						
130 - 200 cm	< 0,1			< 0,1			4,4			23			< 2			23			11,1			19						
Oschwitz																												
0 - 20 cm	2,2	0,6	< 0,1	3,8	2	1	17,9	2	< 1	73	2	2	< 2	< 0,1	4	52	1	1	38	< 10	8	44	< 20	110	183	20	520	58,9
20 - 40 cm	11,3	1,0	< 0,1	2,5	1	< 1	17,6	1	< 1	55	4	2	< 2	< 0,1	2	35	1	< 1	25	< 10	8	32	< 20	98	105	20	220	23,3
40 - 70 cm	4,5	< 0,1	< 0,1	1,8	< 1	< 1	12,6	< 1	< 1	38	< 1	2	< 2	0,1	2,9	32	< 1	< 1	20	< 10	14	25	< 20	130	70	10	210	13,2
70 - 100 cm	0,09			< 1			11,3			32			< 2			23			16			21						
100 - 130 cm	< 0,05			< 1			6,4			19			< 2			23			12			25						
130 - 200 cm	0,09			< 1			8,3			22			< 2			25			12			22						
	Hg	Eluat	pH_{stat}	Sb	Eluat	pH_{stat}	As	Eluat	pH_{stat}	Pb	Eluat	pH_{stat}	Cd	Eluat	pH_{stat}	Cr-ges.	Eluat	pH_{stat}	Cu	Eluat	pH_{stat}	Ni	Eluat	pH_{stat}	Zn	Eluat	pH_{stat}	SNK₂₄ [mmol/kg]
Maximalwert	7,0	1	< 0,1	35	3	2	24,4	2	1	173	4	5	< 2	0,8	9	107	1	2	38	< 10	14	65	< 20	110	230	100	970	66,2
Minimalwert	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 1	< 1	< 1	2,3	< 1	< 1	13	< 1	< 1	< 2	< 0,1	0,6	21	< 1	< 1	3	< 10	1	15,6	< 20	23	37	10	40	13,2

Fluß-Km 9,5 -9,9	Probenahme WWA Bayreuth
Bereich Arzberg	
Entnahmetiefe	Hg
0 - 20 cm	2,2
	11,3
	4,5
	0,09
	< 0,05
	0,09
Mittelwert	30,2

**Schwermetallkonzentrationen
im Boden und in Eluaten**

Mischproben aus 5 RKS (Röslau-Auen)

Anlage 8

Tabelle 1 - 14

Untersuchungsergebnisse
aus den Kösseine-Auen:
- Grundwasserproben
- Proben aus der Kösseine

Anlage 8
Tabelle 2

Wasserproben												
Grundwasser												
Bezeichnung: Wasserverschmutzende Untersuchungen in den Kössener-Auen unterhalb von Markkredwitz												
Entnahmepunkt: Walsen / Point, Fl. Nr. 53												
Ländlkreis: Vorpommern												
Entnahmestelle: F 2												
Pumpversuch												
Datum	02.09.96	03.09.96	04.09.96	15.10.96	25.11.96	03.03.97	24.04.97	05.08.97				
Zeitpunkt	1h	24h	48h	20 min	20 min	20 min	20 min	20 min	20 min	20 min	20 min	
Farbung	farblos	farblos	farblos	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	
Turbung	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	schw. gelbl.	
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	leicht trüb	
Temperatur	* C	15,6	14,1	12,5	10,7	21,1	19,5	19,5	13,0	6,0	6,3	6,2
Leitfähigkeit	µS/cm	299	271	215	211	211	195	195	130	117	117	117
pH-Wert		6,4	6,3	6,4	6,1	6,0	6,0	6,0	0,85	0,75	0,7	6,3
Säurekapazität	mmol/l	0,65	0,70	0,70	1,05	0,2	0,2	0,25	0,25	0,7	0,7	0,7
Basenkapazität	mmol/l	0,30	0,40	0,35	0,2	1,55	1,55	0,25	0,25	0,7	0,7	0,95
O ₂ gelöst	mg/l	8,0	6,5	7,0	2,3	7,8	9,5	9,5	10,2	9,3	9,3	3,3
Ca ⁺⁺	mg/l	15,6	13,6	13,2	17,5	14,9	14,9	10,7	10,2	9,3	9,3	14,3
Mg ⁺⁺	mg/l	9,4	8,3	8,2	9,9	9,1	9,1	7,1	6,2	6,3	6,3	8,5
Na ⁺	mg/l	10,4	8,0	7,8	7,9	7,3	7,3	5,4	5,4	4,9	4,8	8,4
K ⁺	mg/l	22,8	17,9	6,5	1,1	0,5	0,5	0,2	0,2	0,5	0,5	1,0
Mn	mg/l	0,062	0,051	0,048	0,35	0,35	0,11	0,13	0,10	0,088	0,073	0,52
Fe	mg/l	0,65	0,058	0,13	0,61	0,27	0,58	0,10	1,8	0,26	1,55	0,087
NH ₄ ⁺	mg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,05	< 0,03	< 0,03	0,03	0,03	< 0,03	< 0,03	0,06
Cl ⁻	mg/l	26,4	21,8	21,8	20,4	19,7	19,7	5,9	5,9	4,4	4,4	7,8
F ⁻	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,10	< 0,10	0,11
SO ₄ ²⁻	mg/l	22,3	19,0	18,2	17,3	19,2	14,3	14,3	14,3	12,6	12,6	20,8
NO ₂ ⁻	mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
NO ₃ ⁻	mg/l	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,035	0,036	0,043	0,122	0,034	0,260	0,260	0,260	0,225	0,225	0,44
SiO ₂	mg/l	12,3	13,1	12,8	21,1	13,2	24,4	12,4	12,4	12,4	12,4	20,3
MnO ₂ -Index	mg/l	1,3	1,4	1,4	1,4	1,2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,5
DOC	mg/l	4,0	4,2	3,8	1,7	1,7	2,7	2,7	2,7	4,0	4,0	2,8
SPAK 254	l/m	5,7	6,1	5,8	5,6	5,6	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	6,4
SPAK 436	l/m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Bor	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Hg	µg/l	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert
Sb	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
As	µg/l	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb	µg/l	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Cd	µg/l	< 0,1	< 0,1	0,4	< 0,1	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr	µg/l	< 1	< 1	< 1	1	2	4	4	4	4	4	4
Cu	µg/l	13	6	8	4	4	4	4	4	4	4	4
Ni	µg/l	7	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Zn	µg/l	110	20	20	20	410	430	430	330	340	340	240

Grundwassermeßstelle F2

Grundwasser

Wasserproben

Bezeichnung: Wasservirtschaftliche Untersuchungen in den Kösseine-Auen unterhalb von Mankredwitz

Entnahmestort: Wölsau / Point, Fl.Nr. 53

Landkreis: Vorpommern

Entnahmestelle: T 1

Datum	Pumpversuch					Beprobung WWA BT				
	09.09.96	10.09.96	10.09.96	11.09.96	15.10.96	25.11.96	03.03.97	24.04.97	05.08.97	
Zeitpunkt	1h	18h	30h	45h	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min	
Färbung	farblos	farblos	farblos	farblos	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	
Trübung	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	klar	klar	klar	klar	klar	
Temperatur °C	9,9	8,4	9,8	8,6	8,2	5,2	8,0	8,4	9,5	
Leitfähigkeit µS/cm	285	296	385	316	269	256	260	260	264	
pH-Wert	7,19	6,93	7,37	7,04	6,5	6,9	6,4	6,5	6,5	
Säurekapazität mmol/l	1,25	1,20	1,30	1,30	1,15	1,05	1,2	1,2	1,15	
Basekapazität mmol/l	0,15	0,15	0,15	0,20	0,2	0,25	0,2	0,35	0,35	
O ₂ gelöst mg/l	5,6	4,7	6,7	3,3	1,4	2,9	1,6	0,9	1,3	
Ca ²⁺ mg/l	19,4	17,6	18,6	18,0	17,3	17,0	17,2	17,7	17,4	
Mg ²⁺ mg/l	17,2	17,0	17,8	17,8	16,6	14,9	16,0	16,1	16,6	
Na ⁺ mg/l	9,6	8,4	9,8	8,8	8,1	7,5	7,5	7,5	7,9	
K ⁺ mg/l	1,5	7,6	1,0	13,7	1,4	1,2	1,1	1,3	1,2	
Mn mg/l	0,83	0,85	0,86	0,91	0,85	0,79	0,81	0,83	0,85	
Fe mg/l	0,40	0,051	0,40	0,043	0,21	0,009	0,015	0,050	0,053	
NH ₄ ⁺ mg/l	0,11	Sättigung	0,05	< 0,03	0,03	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	
Cl ⁻ mg/l	14,6	13,6	14,1	13,2	13,7	13,8	12,1	12,4	11,6	
F ⁻ mg/l	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,12	0,14	
SO ₄ ²⁻ mg/l	37,2	35,5	34,8	34,1	38,7	36,9	39,2	36,5	39,0	
NO ₃ ⁻ mg/l	11,8	13,4	13,3	15,6	13,3	8,9	11,1	10,4	12,5	
NO ₂ ⁻ mg/l	0,296	0,212	0,209	0,197	0,153	0,096	0,097	0,092	0,125	
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,12	0,16	0,16	0,066	0,083	0,039	0,12	0,084	0,039	
SiO ₂ mg/l	12,9	13,6	14,0	13,6	19,2	21,0	15,4	17,3	19,5	
MnO ₂ -Index mg/l	0,5	0,5	0,5	0,3	< 0,5	0,7	1,0	0,7	0,5	
DOC mg/l	0,6	0,4	0,4	0	0,4	< 1	0,4	1,5	0,9	
SpAK 254 1/m	1,9	1,6	1,7	1,1	1,4	1,7	1,5	1,9	1,4	
SpAK 436 1/m	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,0	< 0,1	< 0,1	0,0	
Bor mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	
Hg µg/l	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	
Sb µg/l	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
As µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
Pb µg/l	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Cd µg/l	1	< 1	< 1	< 1	4	1	< 1	< 1	< 1	
Cr µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Cu µg/l	5	1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Ni µg/l	4	2	7	2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Zn µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Zn µg/l	10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	40	10	< 10	

Grundwasser

Bestimmung: Wasserverschmutzliche Untersuchungen in den Kaserne-Auen unterhalb von Markredwitz
 Entnahmepunkt: Walsau/ Erdewiesen, Fl.Nr. 45
 Landkreis: Wunsiedel
 Entnahmestelle: F 3

Datum	Pumpversuch		Beprobung WWA BT											
	1h	6h	14.10.96		25.11.96		03.03.97		24.04.97		05.08.97			
Zeitpunkt	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Farbung	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	trüblich	trüblich	trüblich	trüblich	schw. gelbl.	leicht trüb
Trübung	leicht trüb	trüb	klar	klar	leicht trüb		leicht trüb		trüblich		trüblich		schw. gelbl.	leicht trüb
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur °C	15,1	16,0	9,5	6,1	6,1	5,0	6,4	6,4	7,7	12,70	6,2	14,2	10,09	14,2
Leitfähigkeit µS/cm	925	940	614	835	690	690	6,4	6,4	7,7	12,70	6,2	14,2	10,09	14,2
pH-Wert	6,43	6,40	6,5	6,5	6,5	6,4	6,4	6,4	6,2	6,2	6,0	6,0	6,0	6,0
Säurekapazität mmol/l	1,05	0,95	1,45	1,20	1,20	1,10	1,10	0,2	0,80	0,80	0,45	0,45	0,90	0,90
Basekapazität mmol/l	0,15	0,2	0,35	0,45	0,45	0,2	0,2	0,2	0,45	0,45	0,75	0,75	0,75	0,75
O ₂ gelöst mg/l	8,4	3,4	3,5	3,4	3,4	4,4	4,4	4,4	7,2	7,2	2,0	2,0	7,5	7,5
Ca ²⁺ mg/l	67,1	64,2	46,2	46,2	61,4	61,4	53,2	53,2	100	99	75,4	75,4	32,5	31,9
Mg ²⁺ mg/l	28,4	26,9	21,2	21,2	27,7	27,7	22,2	22,2	42,2	39,5	42,2	42,2	56,6	56,3
Na ⁺ mg/l	60,0	56,6	35,3	35,3	43,7	43,7	34,8	34,8	65,1	64,4	64,4	64,4	3,8	3,2
K ⁺ mg/l	4,0	13,4	2,9	2,8	3,3	3,3	3,5	3,5	4,3	3,2	3,8	3,8	0,55	0,33
Mn mg/l	0,94	0,76	0,36	0,36	0,67	0,64	0,20	0,18	0,57	0,19	0,55	0,55	0,33	0,33
Fe mg/l	2,3	5,6	0,43	0,21	0,87	0,038	1,41	0,021	9,4	0,030	2,1	2,1	0,015	0,015
NH ₄ ⁺ mg/l	0,053	0,028	0,04		< 0,03				< 0,03				< 0,03	
Cl ⁻ mg/l	207	204	105	105	176	176	149	149	333	333	239	239	0,14	0,14
F ⁻ mg/l	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,10	0,10	0,14	0,14	42,7	42,7
SO ₄ ²⁻ mg/l	42,6	41,5	51,9	51,9	44,3	44,3	30,2	30,2	33,7	33,7	33,7	33,7	31,5	31,5
NO ₃ ⁻ mg/l	31,1	36,3	8,7	8,7	18,4	18,4	13,9	13,9	24,8	24,8	0,031	0,031	0,120	0,120
NO ₂ ⁻ mg/l	0,07	0,04	0,024	0,024	0,017	0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	0,031	0,031	0,120	0,120
PO ₄ ³⁻ mg/l	< 0,015	< 0,015	0,067	0,067	0,017	0,017	0,110	0,110	0,117	0,117	0,120	0,120	0,120	0,120
SiO ₂ mg/l	18,3	18,5	14,5	14,5	18,1	18,1	8,0	8,0	16,5	16,5	18,5	18,5	1,3	1,3
MnO ₂ -Index mg/l	1,2	0,9	2,8	2,8	1,3	1,3	2,5	2,5	1,1	1,1	1,3	1,3	3,1	3,1
DOC mg/l	2,4	2,2	5,3	5,3	1,9	1,9	3,5	3,5	2,5	2,5	3,6	3,6	6,5	6,5
SPAK 254 1/m	3,6	3,3	10,1	10,1	6,4	6,4	9,7	9,7	3,6	3,6	0,1	0,1	0,2	0,2
SPAK 436 1/m	< 0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Bor mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,02	0,02	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02
Hg µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As µg/l	2	2	< 1	< 1	3	< 1	< 1	< 1	7	< 1	3	< 1	< 1	< 1
Pb µg/l	7	< 1	9	2	13	< 1	4	< 1	92	< 1	11	< 1	< 1	< 1
Cd µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,6	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr µg/l	4	< 1	2	1	3	< 1	2	< 1	11	< 1	4	< 1	< 1	< 1
Cu µg/l	42	8	6	5	5	3	4	3	13	2	5	5	2	2
Ni µg/l	6	7	2	2	4	3	2	2	11	5	7	7	6	6
Zn µg/l	50	40	20	20	30	20	70	70	90	50	30	30	20	20

Grundwassermeßstelle F3

Grundwasser

Wasserproben

Bezeichnung: Wasservirtschaftliche Untersuchungen in den Käseine-Auen unterhalb von Marktredwitz

Entnahmearart: Wölsaurehammer, Fetterwehrlinus

Landkreis: Wunsiedel

Entnahmestelle: 16 A

Datum	Beprobung WWA BT					
	15.10.96	25.11.96	03.03.97	22.04.97	05.08.97	
Zeitpunkt	20 min	20 min	30 min	20 min	20 min	
Färbung	unfiltriert farblos	unfiltriert farblos	unfiltriert farblos	unfiltriert farblos	unfiltriert farblos	
Trübung	filtriert	filtriert	filtriert	filtriert	filtriert	
Geruch	klar	klar	klar	klar	klar	
Temperatur	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	
Leitfähigkeit	10,1	7,2	7,7	8,0	11,1	
pH-Wert	232	250	300	240	230	
Säurekapazität	6,8	6,8	7,3	6,9	7,2	
Basekapazität	1,45	1,05	1,80	1,45	1,45	
O ₂ gelöst	0,10	0,20	0,20	0,20	0,25	
Ca ²⁺	6,9	7,3	6,0	7,4	6,8	
Mg ²⁺	19,1	20,9	28,3	20,5	18,8	
Na ⁺	11,5	11,7	13,9	11,9	11,8	
K ⁺	9,3	9,6	10,9	9,0	9,2	
Mn	1,6	1,8	1,8	1,5	1,7	
Fe	0,009	0,008	0,007	0,005	0,008	
NH ₄ ⁺	0,054	0,017	0,055	0,043	0,050	
Cl ⁻	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,03	
F ⁻	7,0	9,1	12,3	7,2	6,0	
SO ₄ ²⁻	0,2	0,1	0,2	0,15	0,14	
NO ₃ ⁻	26,4	26,9	30,9	25,7	26,1	
NO ₂ ⁻	4,3	5,8	8,0	4,2	3,6	
PO ₄ ³⁻	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	
SiO ₂	0,21	0,126	0,15	0,124	0,138	
MnO ₂ -Index	29,7	30,1	11,7	25,1	28,2	
DOC	1,4	0,9	0,8	< 0,5	0,7	
SpAK 254	2,9	< 1	0,7	0,8	0,9	
SpAK 436	0,7	0,7	1,4	0,9	0,8	
Bor	< 0,1	0,00	< 0,1	< 0,1	0	
	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	
Hg	unfiltriert < 0,1	unfiltriert < 0,1	unfiltriert < 0,1	unfiltriert < 0,1	unfiltriert < 0,1	
Sb	filtriert < 2	filtriert < 2	filtriert < 2	filtriert < 2	filtriert < 2	
As	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	
Pb	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	
Cd	unfiltriert < 0,1	unfiltriert 0,2	unfiltriert < 0,1	unfiltriert < 0,1	unfiltriert 0,6	
Cr	filtriert 1	filtriert 1	filtriert < 1	filtriert 1	filtriert 1	
Cu	unfiltriert < 1	unfiltriert 2	unfiltriert < 1	unfiltriert 1	unfiltriert < 1	
Ni	unfiltriert < 1	unfiltriert < 1	unfiltriert 1	unfiltriert 1	unfiltriert < 1	
Zn	unfiltriert 40	unfiltriert 10	unfiltriert 60	unfiltriert 20	unfiltriert 50	

Anlage 8
Tabelle 6

Wasserproben	<i>Pflanzgewässer</i>
Bezeichnung: Wasserverschmutzende Untersuchungen in den Kösseine-Auen unterhalb von Marktrechitz	
Entnahmestelle: Wolfslammer, Feuerweihaus	
Landkreis: Würzburg	
Entnahmestelle: Kösseine	

Datum	16.10.96		27.11.96		04.03.97		24.04.97		05.08.97	
	24h-Mischprobe unfiltriert	filtriert	24h-Mischprobe unfiltriert	filtriert	24h-Mischprobe unfiltriert	filtriert	Silichprobe unfiltriert	filtriert	24h-Mischprobe unfiltriert	filtriert
Färbung	schw. gelbl.		farblos		farblos		schw. gelbl.		schw. gelbl.	
Trübung	klar		leicht trüb		leicht trüb		klar		leicht trüb	
Geruch	ohne		ohne		ohne		ohne		ohne	
Temperatur	10,0		0		4,6		8,2		18,1	
Leitfähigkeit	µS/cm	423	363	7,4	250		350		316	
pH-Wert		7,5	7,4	0,95	6,6		7,3		7,4	
Säurekapazität	mmol/l	1,40	0,95	0,05	0,6		0,95		1,10	
Basekapazität	mmol/l	< 0,05	0,05	0,05	0,05		0,05		0,15	
O ₂ gesätt.	mg/l	8,7	11,6	11,0	11,0		12,1		9,1	
Ca ²⁺	mg/l	33,9	32,9	24,5	24,0	20,1	19,4	28,4	28,1	29,6
Mg ²⁺	mg/l	6,5	6,5	5,6	5,5	5,1	5,1	6,1	6,0	5,9
Na ⁺	mg/l	36,8	36,8	31,1	30,7	16,7	16,6	28,0	27,6	21,0
K ⁺	mg/l	7,0	7,0	4,6	4,2	3,4	4,4	4,4	4,4	5,1
Mn	mg/l	0,054	0,049	0,13	0,12	0,049	0,043	0,043	0,038	0,18
Fe	mg/l	0,16	0,1	0,49	0,1	0,40	0,1	0,15	0,058	1,38
NH ₄ ⁺	mg/l	1,25	0,94	0,94		1,46	0,66	0,66	0,03	0,03
Cl ⁻	mg/l	40,2	41,9	0,1		26,2	20,9		30,7	
F ⁻	mg/l	0,1	0,1			0,1	0,10		0,10	
SO ₄ ²⁻	mg/l	47,1	32,6	26,5		26,5	48,6		27,7	
NO ₃ ⁻	mg/l	26,3	21,5	19,1		19,1	29,1		21,3	
NO ₂ ⁻	mg/l	0,254	0,166	0,097		0,097	0,162		0,131	
PO ₄ ³⁻	mg/l	1,165	0,481	0,408		0,408	0,485		0,480	
SiO ₂	mg/l	15,8	14,6	19,9		19,9	11,4		15,1	
MnO ₂ -Index	mg/l	4,4	3,8	3,9		3,9	3,0		4,1	
DOC	mg/l	4,8	4,2	6,6		6,6	4,1		4,9	
SPAK 254	l/m	14,4	12,6	18,5		18,5	9,1		14,7	
SPAK 436	l/m	1,2	0,8	1,1		1,1	0,6		1,0	
Bor	mg/l	0,24	0,24	0,11		< 0,05	0,12		0,15	0,15
Hg	µg/l	unfiltriert 0,1	filtriert < 0,1	unfiltriert 0,2	filtriert < 0,1	unfiltriert 1,0	filtriert < 0,1	unfiltriert < 0,1	filtriert < 0,1	unfiltriert 2,0
Sb	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As	µg/l	1	1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	2	< 1
Pb	µg/l	1	1	2	< 1	2	< 1	< 1	5	< 1
Cd	µg/l	0,1	< 0,1	0,8	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr	µg/l	< 0,1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	2	< 1
Cu	µg/l	5	3	3	1	4	3	3	7	3
Ni	µg/l	3	3	4	3	4	4	4	5	3
Zn	µg/l	30	30	20	20	30	20	20	50	10

Entnahmestelle Kösseine

Grundwasser

Wasserprouben

Dezeichnung: Wasservirtschaftliche Untersuchungen in den Kässine-Auen unterhalb von Mückredwitz

Entnahmestort: Wölsauerhammer / Hammerwiesen, Fl.Nr. 297

Landkreis: Wunsiedel

Entnahmestelle: F 4

Datum Zeitpunkt	Beprobung WWA BT					
	04.09.96		05.09.96		06.09.96	
	1h	24h	45h	15 min	26.11.96 15 min	04.03.97 25 min
Färbung	farblös	farblös	farblös	filtriert	filtriert	filtriert
Trübung	trüb	leicht trüb	leicht trüb	braun	farblös	bräunlich
Geruch	ohne	ohne	ohne	stark trüb	stark trüb	stark trüb
Temperatur °C	20,9	17,5	16,0	ohne	ohne	ohne
Leitfähigkeit µS/cm	484	378	381	448	430	342
pH-Wert	6,86	6,90	6,97	6,6	6,6	6,5
Säurekapazität mmol/l	1,05	1,35	1,20	2,55	2,5	1,55
Basekapazität mmol/l	0,30	0,40	0,30	Störung durch Fe	1,4	0,20
O, gelöst mg/l	7,0	5,8	6,5	0,9	2,5	3,9
Ca ²⁺ mg/l	36,4	28,7	25,5	40,3	40,5	37,0
Mg ²⁺ mg/l	10,5	11,1	10,7	15,8	13,2	15,3
Na ⁺ mg/l	20,0	13,3	11,9	16,5	16,0	13,4
K ⁺ mg/l	3,3	7,8	14,9	2,5	2,1	3,8
Mn mg/l	4,9	3,4	3,1	6,2	5,3	4,1
Fe mg/l	7,4	14,8	13,3	38	14,3	11,5
NH ₄ ⁺ mg/l	Störung durch Fe	< 0,03	Störung durch Fe	0,28	Störung durch Fe	0,53
Cl ⁻ mg/l	27,5	27,7	27,1	31,2	26,8	24,0
F ⁻ mg/l	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
SO ₄ ²⁻ mg/l	51,5	38,9	37,0	38,3	40,6	31,1
NO ₃ ⁻ mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	6,3
NO ₂ ⁻ mg/l	< 0,017	< 0,017	< 0,017	0,017	0,019	0,021
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,027	< 0,015	< 0,015	0,074	< 0,015	0,240
SiO ₂ mg/l	15,5	21,8	21,6	19,5	18,8	19,4
MnO ₂ -index mg/l	1,95	0,8	0,7	2,2	1,9	1,2
DOC mg/l	9,1	3,3	2,9	1,1	1,3	3,2
SpAK 254 1/m	6,5	2,8	2,5	11,3	7,8	4,7
SpAK 436 1/m	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,5	1,7	0,2
Bar mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,08	0,05	0,05
Hg µg/l	1,5	< 0,1	0,1	0,6	< 0,1	< 0,1
Sb µg/l	2	< 2	< 2	13	< 2	7
As µg/l	13	< 1	13	85	48	6
Pb µg/l	0,5	0,6	< 0,1	130	< 1	25
Cd µg/l	5	< 1	< 1	18	0,7	0,3
Cr µg/l	18	1	< 1	140	18	11
Cu µg/l	14	15	12	40	29	44
Ni µg/l	4900	410	220	18700	10700	3500
Zn µg/l				15400	11500	2100
				5200	3300	9270
				870	7	8
				7	7	7
				0,8	< 0,1	< 0,1
				< 2	< 2	< 2
				4	4	4
				< 1	< 1	< 1
				0,3	< 0,1	0,7
				< 1	< 1	< 1
				52	< 1	3
				42	7	8
				5200	3300	9270
				870	7	8
				7	7	7
				< 0,1	< 0,1	< 0,1
				< 2	< 2	< 2
				4	4	4
				< 1	< 1	< 1
				0,3	< 0,1	0,7
				< 1	< 1	< 1
				52	< 1	3
				42	7	8
				5200	3300	9270
				870	7	8
				7	7	7
				< 0,1	< 0,1	< 0,1
				< 2	< 2	< 2
				4	4	4
				< 1	< 1	< 1
				0,3	< 0,1	0,7
				< 1	< 1	< 1
				52	< 1	3
				42	7	8
				5200	3300	9270
				870	7	8
				7	7	7

Anlage 8
Tabelle 8

Grundwasser

Bezeichnung: Wasservirtschaftliche Untersuchungen in den Kässen-Auen unterhalb von Marktreutwitz
 Ort: Brand / Mühlwiesen, Fl.Nr. 218
 Landl.vers.: Wunsiedel
 Entnahmestelle: F 5

Datum	Pumpversuch		Beprobung WWA BT					
	06.09.96	06.09.96	14.10.96	26.11.96	04.03.97	22.04.97	05.08.97	
Zeitpunkt	1h	5h	15 min	15 min	15 min	20 min	20 min	
Färbung	unfiltriert	grünbraun	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	
Turbung	farblos	grünbraun	grau	farblos	grau	schwarzbr.	schw. gelbbraun	
Geruch	stark trüb	trüb	stark trüb	trüb	trüb	stark trüb	leicht trüb	
Temperatur	ohne	ohne	faulig	leicht faulig	faulig	leicht faulig	ohne	
pH-Wert	15,8	15,8	11,1	5,5	5,0	8,5	14,8	
Leitfähigkeit	µS/cm	318	313	300	230	300	305	
Säurekapazität	mmol/l	6,72	6,8	6,9	6,5	7,1	6,7	
Basikapazität	mmol/l	2,05	1,8	1,75	1,15	2,45	1,70	
O ₂ gelöst	mg/l	0,40	0,25	0,80	0,15	0,15	0,55	
Ca ⁺⁺	mg/l	8,3	1,6	2,0	1,5	1,9	1,2	
Mg ⁺⁺	mg/l	26,5	23,8	22,7	22,2	18,4	21,3	
Na ⁺	mg/l	14,5	14,9	12,9	12,6	9,8	13,4	
K ⁺	mg/l	28,0	10,4	10,4	8,9	7,3	10,2	
Mn	mg/l	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,1	
Fe	mg/l	3,7	2,9	3,7	3,6	1,9	2,4	
NH ₄ ⁺	mg/l	8,4	17,4	11,3	13,3	6,5	3,2	
Cl ⁻	mg/l	Störung durch Fe	0,29	Störung durch Fe	0,23	0,31	0,25	
F ⁻	mg/l	7,2	7,1	6,3	6,2	6,0	5,5	
SO ₄ ²⁻	mg/l	0,2	0,1	0,1	0,1	0,13	0,15	
NO ₂ ⁻	mg/l	38,2	42,6	40,7	37,0	50,7	49,4	
NO ₃ ⁻	mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	
PO ₄ ³⁻	mg/l	< 0,017	0,017	< 0,017	0,021	< 0,017	< 0,017	
SiO ₂	mg/l	0,015	0,2	< 0,015	0,217	0,398	0,114	
MnO ₂ -Index	mg/l	15,4	11,9	16,0	14,4	16,5	11,4	
DOC	mg/l	2,4	Störung durch Fe	4,0	4,7	1,5	1,4	
SPAK 254	l/m	9,6	2,9	4,4	7,0	3,4	2,3	
SPAK 436	l/m	17,3	8,4	15,2	18,7	7,3	5,3	
Bor	mg/l	2,7	0,2	0,7	1,5	0,9	0,2	
Hg	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	
Sb	mg/l	< 0,1	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	
As	mg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
Pb	mg/l	6	18	9	10	3	3	
Cd	mg/l	8	13	< 1	7	4	4	
Cr	mg/l	0,3	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	0,6	
Cu	mg/l	8	21	< 1	4	< 1	< 1	
Ni	mg/l	36	11	< 1	5	< 1	43	
Zn	mg/l	8	13	< 1	9	1	53	
	mg/l	16	12	1	7	8	58	
	mg/l	70	30	10	40	50	180	

Grundwassermeßstelle F5

Grundwasser

Wasserproben
Bezeichnung: Wasserverschärfliche Untersuchungen in den Kössine-Auen unterhalb von Märktredwitz
Entnahmegerät: Brand / Mühlwiesen, Fl.Nr. 209
Landkreis: Wunsiedel
Entnahmestelle: TB Brand

Datum Zeitpunkt	Beprobung WWA BT											
	16.11.96		26.11.96		04.03.97		22.04.97		05.08.97			
	1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h	1h	
Färbung	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	
Trübung	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	
Temperatur °C	8,0	6,3	7,8	8,8	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	
Leitfähigkeit µS/cm	300	305	300	300	300	300	300	297	297	297	297	
pH-Wert	6,8	6,7	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	6,6	6,6	6,6	6,6	
Säurekapazität mmol/l	1,55	1,60	1,60	1,55	1,55	1,55	1,55	1,50	1,50	1,50	1,50	
Basikapazität mmol/l	< 0,05	0,25	0,05	0,30	0,30	0,30	0,30	0,45	0,45	0,45	0,45	
O ₂ gelöst mg/l	5,5	6,6	5,6	5,4	5,4	5,4	5,4	6,6	6,6	6,6	6,6	
Ca ²⁺ mg/l	25,3	28,1	27,4	26,9	26,6	26,7	26,5	26,0	25,4	25,4	25,4	
Mg ²⁺ mg/l	15,8	15,7	15,6	15,6	15,5	15,5	15,5	15,5	15,4	15,4	15,4	
Na ⁺ mg/l	10,2	10,0	9,9	9,9	9,8	9,8	10,0	10,4	10,4	10,4	10,4	
K ⁺ mg/l	1,2	1,5	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	
Mn mg/l	0,009	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,009	0,009	0,009	0,009	
Fe mg/l	1,04	0,041	0,20	0,026	0,60	0,038	0,35	0,84	0,84	0,84	0,84	
NH ₄ ⁺ mg/l	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	
Cl ⁻ mg/l	5,5	5,3	4,8	4,8	5,1	5,1	5,1	4,6	4,6	4,6	4,6	
F ⁻ mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	
SO ₄ ²⁻ mg/l	57,2	55,2	53,8	53,8	56,6	56,6	56,2	56,2	56,2	56,2	56,2	
NO ₃ ⁻ mg/l	5,9	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	
NO ₂ ⁻ mg/l	0,01	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,117	0,086	0,112	0,112	0,083	0,083	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	
SiO ₂ mg/l	24,2	24,3	16,5	16,5	24,5	24,5	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	
MnO ₂ -Index mg/l	0,3	0,6	0,7	0,7	< 0,5	< 0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
DOC mg/l	0,2	0,2	1,6	1,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
SpAK 254 1/m	0,9	1,9	2,9	2,9	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
SpAK 436 1/m	< 0,1	0,0	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bor mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Hg µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Sb µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
As µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Pb µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Cd µg/l	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Cr µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Cu µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Ni µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Zn µg/l	50	40	60	60	50	70	50	60	50	60	50	

15.07.95
< 0,1

Anlage 8
Tabelle 10

Grundwasser

Wasserproben
Bezeichnung: Wasserwirtschaftliche Untersuchungen in den Kösse-Auen unterhalb von Mankredwitz
Entnahmepunkt: Brand / Pennl. Fl. Nr. 25
Landkreis: Vorpommern
Entnahmestelle: F 6

Datum	Pumpversuch		Beprobung WWA/BT									
	1h	5h	14.10.96		25.11.96		05.03.97		24.04.97		05.08.97	
Zeitpunkt	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Färbung	farblos	graubraun	schw. gelbl.	farblos	schw. gelbl.	leicht trüb	leicht trüb	schw. gelbl.	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb
Trübung	trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb	leicht trüb
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur	19,9	20,8	11,4	11,4	6,6	8,1	5,5	5,5	8,1	7,65	8,1	14,4
Leitfähigkeit	221	626	576	576	593	670	670	670	765	765	8,1	650
pH-Wert	6,5	7,13	6,4	6,4	6,8	6,7	6,7	6,7	6,6	6,6	6,7	6,7
Säurekapazität	1,50	1,50	2,85	2,85	3,25	2,85	2,85	2,85	2,6	2,6	3,05	3,05
Basiskapazität	0,15	0,20	0,4	0,4	0,30	0,20	0,20	0,20	0,70	0,70	0,80	0,80
O ₂ gelöst	8,3	5,5	1,8	1,8	3,4	5,2	5,2	5,2	4,0	4,0	3,2	3,2
Ca ²⁺	4,5	4,0	43,0	43,0	47,1	46,5	53,1	52,1	62,0	62,0	49,4	49,3
Mg ²⁺	5,4	13,2	13,1	13,1	13,9	13,9	17,1	16,8	19,6	19,6	15,0	14,7
Na ⁺	15,5	22,8	20,7	20,4	20,8	20,8	20,4	20,4	22,0	21,8	21,5	21,5
K ⁺	14,8	80	58	55	53	53	55	54	59,0	59,0	59,8	59,7
Mn	0,21	0,70	0,27	0,21	0,27	0,27	0,76	0,51	0,35	0,085	0,26	0,030
Fa	2,0	0,52	0,83	0,023	0,78	0,025	2,4	0,015	2,4	0,020	1,35	0,014
NH ₄ ⁺	< 0,03	0,31	0,19		0,08	0,05	0,05				< 0,03	
Cl ⁻	14,1	15,8	13,2		10,5	17,3			39,5		28,2	
F ⁻	0,1	0,2	0,1		0,1	0,1			0,12		0,13	
SO ₄ ²⁻	65,8	67,9	72,8		70,4	63,5			67,2		49,4	
NO ₃ ⁻	46,4	46,5	35,9		34,1	89,5			119		55,9	
NO ₂ ⁻	0,062	0,297	0,028		< 0,017	< 0,017			0,024		< 0,017	
PO ₄ ³⁻	0,35	0,17	0,51		0,444	0,466			0,455		0,494	
SiO ₂	15,3	14,7	16,2		17,8	20,9			15,5		19,0	
MnO ₂ -Index	3,2	3,3	0,8		2,9	3,3			3,2		3,1	
DOC	7,2	7,2	5,0		4,6	5,7			6,4		6,3	
SpAK 254	15,5	14,5	13,6		13,6	14			14,2		16,2	
SpAK 436	0,5	0,4	0,4		0,3	0,3			0,4		0,4	
Bor	< 0,05	0,18	0,18		0,16	0,16			0,14		0,18	
Hg	< 0,1	0,1	0,1		< 0,1	< 0,1			0,2		0,2	
Sb	< 2	< 2	< 2		< 2	< 2			< 2		< 2	
As	4	3	3		3	4			2		3	
Pb	1	1	8		8	1			9		6	
Cd	< 0,1	< 0,1	< 0,1		0,7	< 0,1			< 0,1		< 0,1	
Cr	1	2	1		2	< 1			4		2	
Cu	26	14	7		7	3			7		7	
Ni	25	7	2		2	4			4		4	
Zn	360	80	10		10	60			30		20	

Grundwassermeßstelle F 6

Grundwasser

Wasserproben

Bezeichnung: Wasservirtschaftliche Untersuchungen in den Kässine-Auen unterhalb von Mackredwitz

Entnahmestort: Brand / Niederbrand, Fl.Nr. 372

Landkreis: Wunsiedel

Entnahmestelle: F 7

Datum Zeitpunkt	Pumpversuch						Beprobung WWA BT						
	06.09.96 1h	09.09.96 1h	09.09.96 6h	14.10.96 15 min	26.11.96 15 min	04.03.97 15 min	22.04.97 15 min	04.08.97 15 min	14.10.96 15 min	26.11.96 15 min	04.03.97 15 min	22.04.97 15 min	04.08.97 15 min
Färbung	farblos	farblos	farblos	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert
Trübung	klar	trüb	leicht trüb	schw. grau	trüb	trüb	leicht trüb	trüb	leicht trüb	trüb	trüb	leicht trüb	leicht trüb
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur °C	12,8	20,0	17,5	11,3	7,5	6,3	8,0	12,7	11,3	7,5	6,3	8,0	12,7
Leitfähigkeit µS/cm	385	417	475	372	367	345	369	379	372	367	345	369	379
pH-Wert	6,64	6,7	6,8	6,5	6,6	7,2	6,8	6,6	6,5	6,6	7,2	6,8	6,6
Säurekapazität mmol/l	0,90	1,35	0,85	1,05	1,05	0,95	1,05	1,00	1,05	1,05	0,95	1,05	1,00
Basekapazität mmol/l	0,25	0,45	0,50	Störung durch Fe	0,70	0,10	0,80	0,45	0,70	0,10	0,80	0,45	0,45
O ₂ gelöst mg/l	0,3	6,4	8,0	1,2	1,9	1,3	1,0	1,6	1,9	1,3	1,0	1,6	1,6
Ca ²⁺ mg/l	26,2	27,2	26,3	25,8	25,0	26,4	26,0	26,1	25,8	25,0	26,4	26,0	26,1
Mg ²⁺ mg/l	13,7	15,1	14,7	14,5	14,1	16,1	14,0	14,5	14,5	16,1	13,6	14,2	15,0
Na ⁺ mg/l	26,5	13,9	12,8	12,8	12,5	10,9	12,5	11,4	12,8	10,9	10,9	11,4	12,4
K ⁺ mg/l	6,7	17,6	17,5	2,6	2,6	3,1	2,6	2,4	2,6	3,1	2,4	2,3	2,8
Mn mg/l	1,4	1,3	1,2	1,42	1,33	1,4	1,32	1,28	1,42	1,4	1,2	1,33	1,28
Fe mg/l	11,0	13,1	12,2	17,8	13,5	21,7	11,7	15,0	17,8	13,5	21,7	11,7	12,6
NH ₄ ⁺ mg/l	0,99	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe
Cl ⁻ mg/l	37,0	38,0	38,3	39,6	39,8	0,15	36,8	39,4	37,0	38,0	0,15	36,8	39,4
F ⁻ mg/l	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,16	0,3	0,2	0,2	0,16	0,16
SO ₄ ²⁻ mg/l	54,2	63,4	65,2	56,2	54,9	52,5	56,0	60,8	54,2	54,9	52,5	56,0	60,8
NO ₃ ⁻ mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
NO ₂ ⁻ mg/l	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,025	0,17	0,046	0,084	0,071	0,164	0,071	0,099	0,025	0,17	0,164	0,099	0,099
SiO ₂ mg/l	23,4	16,4	16,4	23,2	23,4	12,5	23,4	22,7	23,4	12,5	23,4	22,7	22,7
MnO ₂ -Index mg/l	1,6	1,0	Störung durch Fe	Störung durch Fe	2,9	1,4	3,9	2,3	1,6	1,4	3,9	2,3	2,3
DOC mg/l	6,5	0,7	0,2	1,4	0,9	2,6	2,0	1,5	6,5	0,7	2,6	2,0	1,5
SpAK 254 1/m	4,8	2,4	2,3	6,8	7,0	5,4	8,5	4,2	4,8	2,4	5,4	8,5	4,2
SpAK 436 1/m	0,1	0,1	0,2	1,8	0,7	0,6	0,9	0,2	0,1	0,1	0,6	0,9	0,2
Bor mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Hg µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As µg/l	6	6	6	20	8	15	8	8	6	15	8	8	8
Pb µg/l	7	2	< 1	11	2	31	2	2	7	31	2	2	< 1
Cd µg/l	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,8	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr µg/l	5	4	< 1	10	1	35	1	6	5	35	1	6	< 1
Cu µg/l	7	14	3	15	< 1	31	< 1	4	7	31	< 1	4	< 1
Ni µg/l	10	3	< 1	7	1	33	1	4	10	33	1	4	< 1
Zn µg/l	60	20	10	30	30	140	30	20	60	140	30	20	20

Anlage 8
Tabelle 12

Wasserproben		Grundwasser	
Bezeichnung: Wasserverschäufliche Untersuchungen in den Kesselne-Auen unterhalb von Markkirehwitz			
Entnahmestort: Seiden / Brunnenbild, Fl.Nr. 1538			
Landsheis: Wunsiedel			
Entnahmestelle: F 8			

Datum	Pumpversuch			Beprobung WWA BT					
	19.08.96	20.08.96	21.08.96	14.10.96	25.11.96	03.03.97	24.04.97	04.08.97	
Zeitpunkt	30 min	24h	45h	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min	
Färbung	farblo8	farblo8	farblo8	farblo8	farblo8	farblo8	farblo8	farblo8	
Trübung	leicht trüb	trüb	leicht trüb	unfiltriert	leicht trüb	unfiltriert	unfiltriert	leicht trüb	
Geruch	ohne	ohne	leicht trüb	unfiltriert	ohne	leicht trüb	ohne	leicht trüb	
Temperatur	17,1	22,0	18,2	10,1	7,2	5,0	7,4	12,5	
Leitfähigkeit	318	316	313	298	290	293	290	289	
pH-Wert	6,9	6,7	6,8	6,5	6,9	6,7	6,8	6,7	
Säurekapazität	1,95	2,05	2,30	2,15	2,10	2,15	2,10	2,10	
Basekapazität	0,20	0,45	0,65	0,45	0,45	Störung durch Fe	0,55	0,65	
O ₂ gelöst	7,6	1,1	0,6	1,8	2,7	1,5	1,6	1,3	
Ca ²⁺	19,0	19,3	18,8	18,0	18,3	18,5	19,0	17,3	
Mg ²⁺	17,2	17,4	17,3	16,5	16,2	17,4	17,3	15,9	
Na ⁺	11,3	11,8	10,8	11,3	11,1	10,8	10,2	11,4	
K ⁺	5,1	3,6	1,8	1,6	1,3	1,3	1,5	1,1	
Mn	2,1	2,0	2,0	1,81	1,78	2,1	1,80	1,71	
Fe	15,2	14,1	14,6	12,1	9,4	14,1	12,5	8,9	
NH ₄ ⁺	0,07	0,17	Störung durch Fe	Störung durch Fe	0,10	Störung durch Fe	0,10	Störung durch Fe	
Cl ⁻	13,4	15,8	15,0	10,1	9,7	10,6	10,3	9,4	
F ⁻	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,14	0,14	
SO ₄ ²⁻	15,6	16,6	16,8	16,8	16,7	16,5	16,8	17,2	
NO ₃ ⁻	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	
NO ₂ ⁻	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	
PO ₄ ³⁻	0,015	0,033	0,037	0,096	< 0,015	0,100	0,083	0,128	
SiO ₂	21,3	20,6	21,2	21,8	22,0	16,7	19,9	22,1	
MnO ₂ -index	0,4	1,0	1,9	Störung durch Fe	1,2	Störung durch Fe	1,3	1,5	
DOC	1,2	1,3	1,9	0,8	0,2	0,8	1,5	1,2	
SpAK 254	2,2	2,8	7,8	4,7	2,4	5,9	3,4	3,8	
SpAK 436	1/m	0,4	1,8	1,1	0,1	1,4	0,4	0,3	
Bor	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,02	0,02	
Hg	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	unfiltriert	unfiltriert	
Sb	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
As	11	14	16	13	10	6	10	9	
Pb	1	< 1	< 1	13	< 1	21	8	4	
Cd	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,6	< 0,1	< 0,1	0,8	
Cr	1	< 1	< 1	2	< 1	4	3	2	
Cu	3	2	1	5	< 1	13	7	3	
Ni	3	2	< 1	3	< 1	8	5	2	
Zn	30	50	20	10	< 10	50	40	10	

Grundwasser

Wasserproben
Bezeichnung: Wasserrwirtschaftliche Untersuchungen in den Käseine-Auen unterhalb von Mackredwitz
Ort: Seußden / Mühlwiese, Fl.Nr. 365
Landkreis: Wunsiedel
Erntnahmestelle: F 9

Datum Zeitpunkt	Beprobung WWA BT												
	11.09.96		14.10.96		25.11.96		03.03.97		24.04.97		04.08.97		
	1h	5h	unfiltriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Färbung	farblos	farblos	farblos	schw. gelbl.	leicht trüb	ohne	leicht trüb	farblos	leicht trüb	schw. bräunl.	leicht trüb	schw. gelbl.	leicht trüb
Trübung	klar	klar	klar	leicht trüb	ohne	ohne	leicht trüb	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur °C	20,0	20,6	20,6	10,3	5,8	5,8	7,3	7,3	7,3	18,1	18,1	18,1	18,1
Leitfähigkeit µS/cm	360	337	337	298	325	325	306	306	306	291	291	291	291
pH-Wert	7,01	7,11	7,11	6,4	6,9	6,9	6,7	6,7	6,7	6,9	6,9	6,9	6,9
Säurekapazität mmol/l	1,80	1,80	1,80	1,8	2,20	2,20	2,25	2,25	2,20	1,75	1,75	1,75	1,75
Basekapazität mmol/l	0,25	0,15	0,15	0,25	0,25	0,25	Störung durch Fe	0,6	0,6	0,35	0,35	0,35	0,35
O ₂ gelöst mg/l	8,7	8,6	8,6	3,5	2,1	2,1	2,6	2,6	1,0	4,7	4,7	4,7	4,7
Ca ²⁺ mg/l	24,8	22,9	22,9	21,7	24,7	24,7	24,7	25,0	26,4	21,4	21,4	21,4	21,3
Mg ²⁺ mg/l	15,2	14,4	14,4	13,9	16,1	16,1	16,3	16,3	16,5	13,7	13,7	13,7	13,5
Na ⁺ mg/l	19,7	18,3	18,3	12,2	12,5	12,5	10,5	10,5	10,6	12,3	12,3	12,3	12,3
K ⁺ mg/l	11,2	16,0	16,0	2,3	1,9	1,9	1,5	1,5	1,9	2,5	2,5	2,5	2,4
Mn mg/l	1,8	1,9	1,9	2,2	1,69	1,69	2,5	2,5	1,85	1,46	1,46	1,46	1,33
Fe mg/l	4,2	2,1	2,1	10,0	5,2	4,0	13,3	8,4	8,0	3,2	8,5	8,5	2,36
NH ₄ ⁺ mg/l	0,04	0,026	0,026	Störung durch Fe	0,03	0,03	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe	Störung durch Fe
Cl ⁻ mg/l	17,9	18,6	18,6	17,6	17,3	17,3	14,7	14,7	10,9	20,6	20,6	20,6	20,6
F ⁻ mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15
SO ₄ ²⁻ mg/l	24,8	24,6	24,6	23,6	24,1	24,1	23,3	23,3	23,8	22,7	22,7	22,7	22,7
NO ₃ ⁻ mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
NO ₂ ⁻ mg/l	0,024	< 0,017	< 0,017	0,021	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,058	< 0,015	< 0,015	0,069	< 0,015	< 0,015	0,07	0,07	0,054	0,095	0,095	0,095	0,095
SiO ₃ mg/l	16,1	21,4	21,4	21,1	20,2	20,2	12,4	12,4	20,2	22,5	22,5	22,5	22,5
MnO ₄ -Index mg/l	Störung durch Fe	1,1	1,1	< 0,5	1,3	1,3	Störung durch Fe	Störung durch Fe	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
DOC mg/l	1,4	1,9	1,9	1,5	0,9	0,9	1,8	1,8	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0
SpAK 254 1/m	6,9	4,2	4,2	5,4	4,5	4,5	6,0	6,0	4,5	4,7	4,7	4,7	4,7
SpAK 436 1/m	0,7	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Bar mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Hg µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As µg/l	2	< 1	< 1	4	3	3	1	2	2	4	4	4	4
Pb µg/l	< 1	< 1	< 1	5	5	5	< 1	3	4	2	2	2	2
Cd µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,6	0,6	0,6	0,5
Cr µg/l	< 1	< 1	< 1	2	2	2	< 1	3	3	2	2	2	2
Cu µg/l	3	23	23	3	2	2	< 1	3	2	2	2	2	2
Ni µg/l	< 1	1	1	1	1	1	< 1	2	2	2	2	2	2
Zn µg/l	20	20	20	10	20	20	10	80	20	20	20	20	20

Anlage 8
Tabelle 14

		16.10.96		27.11.96		05.03.97		24.04.97		05.08.97	
Datum		24h-Mischprobe	24h-Mischprobe	24h-Mischprobe	24h-Mischprobe	Stichprobe	24h-Mischprobe	24h-Mischprobe	24h-Mischprobe	24h-Mischprobe	24h-Mischprobe
Zeitpunkt		unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Färbung		schw. gelbl.		klar		klar		klar		schw. gelbl.	
Trübung		klar		klar		klar		klar		leicht trüb	
Geruch		ohne		ohne		ohne		ohne		ohne	
Temperatur	° C	10,0		1,0		6,4		9,6		21,8	
Leitfähigkeit	µS/cm	375		350		235		295		305	
pH-Wert		7,5		7,6		7,2		7,8		7,6	
Säurekapazität	mmol/l	1,30		1,05		0,60		1,05		1,20	
Basekapazität	mmol/l	< 0,05		0,05		0,05		0,05		0,10	
O ₂ gelöst	mg/l	9,7		12,0		11,7		11,7		9,1	
Ca ²⁺	mg/l	31,3		24,6		18,9		18,8		24,8	
Mg ²⁺	mg/l	7,5		6,8		5,9		5,8		10,1	
Na ⁺	mg/l	27,8		28,1		13,5		15,1		16,1	
K ⁺	mg/l	5,2		4,3		2,7		2,7		4,6	
Mn	mg/l	0,065		0,10		0,10		0,057		0,033	
Fe	mg/l	0,18		0,32		0,71		0,32		0,27	
NH ₄ ⁺	mg/l	0,04		0,55		0,91		0,14		< 0,03	
Cl ⁻	mg/l	34,2		38,5		21,5		21,2		27,1	
F ⁻	mg/l	0,1		0,1		0,1		0,11		0,11	
SO ₄ ²⁻	mg/l	35,4		22,4		26,9		35,5		25,9	
NO ₃ ⁻	mg/l	29,0		18,9		17,8		19,8		18,4	
NO ₂ ⁻	mg/l	0,499		0,146		0,048		0,080		0,021	
PO ₄ ³⁻	mg/l	1,049		0,392		0,226		0,185		0,508	
SiO ₂	mg/l	16,8		15,2		23,3		14,4		14,9	
MnO ₂ -Index	mg/l	4,7		3,2		4,9		2,4		3,7	
DOC	mg/l	3,7		3,7		5,0		4,9		5,4	
SPAK 254	1/m	13,9		12,0		18,2		7,6		14,4	
SPAK 436	1/m	1,0		0,7		1,0		0,4		1,0	
Bor	mg/l	0,18		0,10		< 0,05		< 0,05		0,04	
		unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Hg	µg/l	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,1
Sb	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As	µg/l	1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb	µg/l	< 1	< 1	1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd	µg/l	< 0,1	< 0,1	1,2	0,4	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cu	µg/l	4	3	3	2	3	2	3	2	4	3
Ni	µg/l	2	2	3	3	4	4	2	2	2	2
Zn	µg/l	40	40	20	20	50	40	10	10	20	10

Wasserproben
 Bezeichnung: Wasserreinheitliche Untersuchungen in den Kösseine-Auen unterhalb von Markredwitz
 Entnahmewert: Seiden, Krippenmühle / Mühlwiese, Fl.Nr. 365
 Landkreis: Wunsiedel
 Entnahmestelle: Kösseine

Fischgewässer
 Bepröbung WWA BT

Entnahmestelle Kösseine

Anlage 9

Tabelle 1 - 5

Untersuchungsergebnisse
aus den Röslau-Auen:
- Grundwasserproben
- Proben aus der Röslau

Fließgewässer	
Wasserproben	
Bezeichnung: Wasservirtschaftliche Untersuchungen in den Kössine-Auen unterhalb von Marktredwitz	
Entnahmestelle: Seußen / Dölschenmühle	
Landkreis: Wunsiedel	
Entnahmestelle: Rösiau	

		Beprobung WWA BT					
		04.03.97		24.04.97		06.08.97	
		24h-Mischprobe		Stichprobe		24h-Mischprobe	
		unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Datum							
Zeitpunkt							
Färbung		schw. gelbl.		farblos		schw. gelbl.	
Trübung		leicht trüb		klar		leicht trüb	
Geruch		ohne		ohne		ohne	
Temperatur	° C	6,0		8,2		16,0	
Leitfähigkeit	µS/cm	220		250		270	
pH-Wert		7,8		7,6		7,8	
Säurekapazität	mmol/l	0,45		0,70		1,15	
Basekapazität	mmol/l	0,05		0,05		0,10	
O₂ gelöst	mg/l	11,7		11,8		9,5	
Ca²⁺	mg/l	19,1	13,7	24,3	24,3	28,5	28,5
Mg²⁺	mg/l	4,3	4,2	5,2	5,2	5,6	5,6
Na⁺	mg/l	13,4	13,1	13,9	13,9	14,4	14,4
K⁺	mg/l	2,5	2,3	2,5	2,4	3,2	3,1
Mn	mg/l	0,086	0,049	0,032	0,03	0,024	0,017
Fe	mg/l	0,55	0,14	0,15	0,1	0,21	0,11
NH₄⁺	mg/l	0,11		0,04		< 0,03	
Cl⁻	mg/l	23,9		24,9		23,1	
F⁻	mg/l	0,2		0,17		0,17	
SO₄²⁻	mg/l	22,7		25,3		20,6	
NO₂⁻	mg/l	18,8		18,0		16,4	
NO₃⁻	mg/l	0,035		0,052		0,065	
PO₄³⁻	mg/l	0,143		0,198		0,348	
SiO₂	mg/l	11,8		13,5		16,2	
MnO₂-index	mg/l	3,9		2,1		3,6	
DOC	mg/l	5,0		3,0		4,5	
SpAK 254	l/m	15,0		7,3		13,0	
SpAK 436	l/m	0,8		0,4		0,9	
Bor	mg/l	< 0,05	< 0,05	0,03	0,03	0,06	0,06
		unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Hg	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1
Sb	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As	µg/l	1	1	< 1	< 1	1	1
Pb	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd	µg/l	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cu	µg/l	2	1	1	1	2	2
Ni	µg/l	2	2	2	1	2	1
Zn	µg/l	50	40	10	10	10	10

Entnahmestelle Rösiau

Anlage 9
Tabelle 2

Wasserproben Friedbergwieser

Bezeichnung: Wasserverschaffliche Untersuchungen in der Kasseine-Auen unterhalb von Markkredwitz

Entnahmepunkt: Seifen / Brücke

Landkreis: Wunsiedel

Entnahmestelle: Rösiau

Datum	16.10.96		27.11.96		05.03.97		24.04.97		06.08.97	
	24h-Mischprobe unfiltriert	24h-Mischprobe filtriert	24h-Mischprobe unfiltriert	24h-Mischprobe filtriert	24h-Mischprobe unfiltriert	24h-Mischprobe filtriert	Stichprobe unfiltriert	Stichprobe filtriert	24h-Mischprobe unfiltriert	24h-Mischprobe filtriert
Zeitpunkt	schw. gelbl.	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	schw. gelbl.	klar	schw. gelbl.	leicht trüb
Färbung	klar	leicht trüb	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar
Trübung	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Geruch	10,6	2,4	306	230	5,6	9,4	280	270	15,8	270
Temperatur	348	306	7,6	7,2	7,6	7,6	7,6	7,8	7,8	7,8
Leitfähigkeit	1,20	0,90	0,05	0,05	0,45	0,80	0,80	1,10	1,10	1,10
pH-Wert	9,8	12,6	12,0	12,0	11,6	11,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Säurekapazität	29,6	29,6	23,3	23,0	19,4	19,2	25,6	25,6	28,5	28,5
Basenkapazität	9,8	6,5	5,7	5,6	4,9	4,9	5,8	5,8	5,6	5,6
O ₂ gelöst	25,4	22,2	21,1	19,3	13,3	17,3	17,0	14,4	14,4	14,4
Ca ²⁺	5,2	5,2	3,7	3,3	2,6	2,6	3,1	3,1	3,1	2,9
Mg ²⁺	0,031	0,03	0,096	0,078	0,069	0,055	0,041	0,034	0,027	0,015
Na ⁺	0,14	0,069	0,42	0,11	0,37	0,10	0,18	0,05	0,23	0,11
K ⁺	0,16	0,37	0,46	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Mn	32,3	31,2	23,1	23,1	28,2	28,2	23,0	23,0	23,0	23,0
Fe	0,1	0,1	0,2	0,2	0,14	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
NH ₄ ⁺	33,4	26,9	26,4	26,4	30,3	30,3	21,2	21,2	21,2	21,2
F ⁻	23,6	17,3	19,5	19,5	22,5	22,5	15,5	15,5	15,5	15,5
SO ₄ ²⁻	0,190	0,112	0,033	0,033	0,112	0,112	0,056	0,056	0,056	0,056
NO ₃ ⁻	0,854	0,266	0,226	0,226	0,244	0,244	0,334	0,334	0,334	0,334
NO ₂ ⁻	16,0	15,1	13,8	13,8	12,9	12,9	16,2	16,2	16,2	16,2
PO ₄ ³⁻	4,1	3,3	4,2	4,2	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5
SiO ₂	3,8	3,3	4,1	4,1	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,2
Min-O ₂ -index	12,9	11,4	15,5	15,5	8,4	8,4	12,3	12,3	12,3	12,3
DOC	1,0	0,7	0,8	0,8	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9	0,9
SPAK 254	0,15	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
SPAK 436	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert
Bor	0,4	0,2	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	3	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
As	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pb	<0,1	<0,1	0,5	0,4	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cr	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Cu	2	1	3	2	3	2	2	2	2	2
Ni	20	20	20	10	40	40	20	10	20	20
Zn	20	20	20	10	40	40	20	10	20	20

Entnahmestelle Rösiau

Wasserproben		Grundwasser	
Bezeichnung: Wasserverschäufliche Untersuchungen in den Käseine-Auen unterhalb von Märktredwitz			
Entnahmestort: Oselwitz / El Nr. 29			
Landkrei: Wunsiedel			
Entnahmestelle: 21 A			

Datum Zeitpunkt	Beprobung WWA BT				
	15.10.96 20 min	27.11.96 20 min	05.03.97 20 min	25.04.97 20 min	08.08.97 20 min
Färbung	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos
Trübung	klar	klar	klar	klar	klar
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur °C	8,7	8,0	6,0	8,5	10,3
Leitfähigkeit µS/cm	845	940	940	905	1008
pH-Wert	6,4	6,5	6,3	6,5	6,5
Säurekapazität mmol/l	3,30	3,05	1,25	2,95	4,20
Basekapazität mmol/l		1,25	0,4	1,25	1,85
O ₂ gelöst mg/l	1,0	2,1	6,5	2,3	0,8
Ca ²⁺ mg/l	63,3	63,3	62,6	91	83,3
Mg ²⁺ mg/l	15,0	15,1	14,9	22,1	20,2
Na ⁺ mg/l	68,6	65	64	51	64,0
K ⁺ mg/l	11,9	12,0	11,8	13,2	14,8
Mn mg/l	1,9	1,23	1,21	0,993	0,90
Fe mg/l	15,8	7,6	7,4	0,78	1,16
NH ₄ ⁺ mg/l	1,10	0,73	< 0,03	0,69	1,31
Cl ⁻ mg/l	109	105	84,8	109	143
F ⁻ mg/l	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11
SO ₄ ²⁻ mg/l	74	82,6	206	126	66,9
NO ₃ ⁻ mg/l	< 2,0	< 2,0	65,3	6,7	< 2,0
NO ₂ ⁻ mg/l	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,073
PO ₄ ³⁻ mg/l	0,076	0,024	0,028	0,108	0,099
SiO ₂ mg/l	21,4	19,0	16,5	19,3	19,7
MnO ₂ -Index mg/l	4,0	2,4	1,3	2,3	2,6
DOC mg/l	< 0,5	2,2	2,9	3,6	3,5
SpAK 254 1/m	14,3	8,9	5,6	5,4	14,7
SpAK 436 1/m	4,5	1,1	0,1	0,1	9,1
Bor mg/l	0,13	0,13	0,09	0,10	0,13
Hg µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As µg/l	3	3	2	< 1	< 1
Pb µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd µg/l	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cu µg/l	1	5	1	2	< 1
Ni µg/l	< 1	< 1	4	6	3
Zn µg/l	20	20	80	40	30

Anlage 9
Tabelle 4

		Wasserproben				Grundwasser					
		Bezeichnung: Wasserverschaffliche Untersuchungen in den Kaserne-Auen unterhalb von Marktredwitz									
		Entnahmestort: Oschwitz/ FL.Nr. 178/1									
		Ländlverlei: Wunsiedel									
		Entnahmestelle: 22 A									
Beprobung WWA BT											
Datum	Zeitpunkt	15.10.96		27.11.96		05.03.97		25.04.97		06.08.97	
		20 min	filtriert	20 min	filtriert	20 min	filtriert	20 min	filtriert	20 min	filtriert
Farbung		unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos	unfiltriert farblos	filtriert farblos
Trübung		Klar	Klar	Klar	Klar	Klar	Klar	Klar	Klar	Klar	Klar
Geruch		ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur	° C	10,0	10,0	8,3	8,3	6,1	6,1	9,0	9,0	13,1	13,1
Leitfähigkeit	µS/cm	887	887	820	820	900	900	1300	1300	1170	1170
pH-Wert		6,2	6,2	6,3	6,3	7,3	7,3	6,4	6,4	6,2	6,2
Säurekapazität	mmol/l	1,05	1,05	1,15	1,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,10
Basekapazität	mmol/l	0,25	0,25	0,50	0,50	0,30	0,30	0,45	0,45	0,45	0,45
O ₂ gelöst	mg/l	1,2	1,2	2,2	2,2	8,4	8,4	3,0	3,0	1,1	1,1
Ca ²⁺	mg/l	51,6	51,6	43,8	43,8	60	60	59	59	82,1	82,1
Mg ²⁺	mg/l	9,5	9,5	7,8	7,8	9,6	9,6	14,3	14,3	12,7	12,7
Na ⁺	mg/l	93	93	93	92	83	83	137	135	131	131
K ⁺	mg/l	15,2	14,8	12,5	12,2	12,9	12,8	14,7	14,7	14,2	14,2
Mn	mg/l	0,085	0,085	0,018	0,017	0,003	0,003	0,004	0,004	0,03	0,03
Fe	mg/l	0,055	0,055	0,045	0,009	0,021	0,009	0,014	0,010	0,09	0,031
NH ₄ ⁺	mg/l	0,03		< 0,03		< 0,03		< 0,03		0,03	
Cl ⁻	mg/l	189	189	157	157	185	185	318	318	273	273
F ⁻	mg/l	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11	0,11	0,11
SO ₄ ²⁻	mg/l	42,5	42,5	47,9	47,9	47,0	47,0	43,8	43,8	46,6	46,6
NO ₃ ⁻	mg/l	44,2	44,2	38,0	37,3	37,3	37,3	33,2	33,2	36,4	36,4
NO ₂ ⁻	mg/l	0,037	0,037	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	0,025	0,025
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,15	0,15	0,049	0,04	0,04	0,04	0,038	0,038	0,048	0,048
SiO ₂	mg/l	11,5	11,5	10,4	10,4	10,8	10,8	10,2	10,2	12,4	12,4
MnO ₂ -Index	mg/l	2,6	2,6	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0
DOC	mg/l	2,0	2,0	3,3	3,3	4,5	4,5	3,4	3,4	4,2	4,2
SPAK 254	1/m	9,3	9,3	8,6	8,6	9,8	9,8	6,6	6,6	9,2	9,2
SPAK 436	1/m	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,4
Bor	mg/l	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
Hg	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb	µg/l	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
As	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd	µg/l	0,2	0,2	0,5	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cr	µg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cu	µg/l	14	12	8	7	5	5	6	6	19	19
Ni	µg/l	13	13	9	9	4	4	9	9	15	15
Zn	µg/l	30	20	20	20	40	40	30	30	30	30

Grundwassermeßstelle 22 A

Grundwasser

Wasserproben

Bezeichnung: Wasserschutzleitföhrliche Untersuchungen in den K6sseine-Auen unterhalb von Marktredwitz

Entnahmestort: Ooschwitz / Fl.Nr. 178/1

Landkreis: Wunsiedel

Entnahmestelle: TB Ooschwitz

Datum Zeitpunkt	Beprobung WWA BT											
	15.10.96 in Betrieb		27.11.96 in Betrieb		05.03.97 in Betrieb		25.04.97 in Betrieb		06.08.97 in Betrieb			
Färbung	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert		
Trübung	farbios	klar	farbios	klar	farbios	klar	farbios	klar	farbios	klar		
Geruch	klar	ohne	klar	ohne	klar	ohne	klar	ohne	klar	ohne		
Temperatur	10,3	8,5	10,3	9,4	10,3	9,4	10,3	9,4	10,3	9,4		
Leitfähigkeit	634	633	634	630	634	630	634	630	634	630		
pH-Wert	7,2	7,4	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,4		
Säurekapazität	4,1	4,15	4,1	4,15	4,1	4,15	4,1	4,15	4,1	4,15		
Basiskapazität	0,15	0,30	0,15	0,30	0,15	0,30	0,15	0,30	0,15	0,30		
O ₂ gel6st	2,3	3,8	2,3	3,9	2,3	3,9	2,3	3,9	2,3	2,6		
Ca ²⁺	82,6	81,8	82,6	81,5	82,6	81,5	82,6	81,5	82,6	82,3		
Mg ²⁺	25,1	24,8	25,1	24,6	25,1	24,8	25,1	24,7	25,1	24,8		
Na ⁺	14,1	13,6	14,1	14	14,3	14,3	14,4	14,2	14,4	14,4		
K ⁺	2,5	3,0	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4		
Mn	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19		
Fe	0,8	0,88	0,7	0,87	0,7	0,48	0,78	0,57	0,91	0,79		
NH ₄ ⁺	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03		
Cl ⁻	24,3	23,8	24,3	22,9	24,3	22,9	24,3	22,9	24,3	24,0		
F ⁻	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,18	0,2	0,17		
SO ₄ ²⁻	91,7	90,3	91,7	90,5	91,7	90,5	91,7	89,2	91,7	87,4		
NO ₂ ⁻	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0		
NO ₃ ⁻	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017	< 0,017		
PO ₄ ³⁻	0,062	< 0,015	0,062	< 0,015	0,062	< 0,015	0,062	< 0,015	0,062	< 0,015		
SiO ₂	24,9	23,9	24,9	15,8	24,9	15,8	24,9	19,4	24,9	24,7		
MnO ₂ -index	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	< 0,5		
DOC	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,8		
SpAK 254	1,1	1,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	0,4	1,1	0,4		
SpAK 436	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Bor	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Hg	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert	unfiltriert	filtriert		
	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Sb	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2		
As	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1		
Pb	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1		
Cd	< 0,1	0,5	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Cr	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1		
Cu	6	< 1	12	< 1	2	< 1	4	< 1	5	< 1		
Ni	< 1	< 1	2	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1		
Zh	60	20	170	20	80	50	60	20	20	10		

Grundwassermeßstelle TB Ooschwitz

Beprobung des Grundwassers auf organische Leitparameter

10/96 - 4/1997

Alle Analysen am LfW durchgeführt.

Meßpunkt	Datum			
	14. - 16.10.96	25. - 27.11.96	3.3. - 5.3.97	22. - 25.4.97
F1	*	n.n.	n.n.	n.n.
F2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
T1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
F3	*	n.n.	n.n.	n.n.
16 A	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
F4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
F5	*	n.n.	n.n.	n.n.
TB Brand	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
F6	*	n.n.	n.n.	n.n.
F7	*	n.n.	n.n.	n.n.
F8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
F9	*	n.n.	n.n.	n.n.
21 A	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
22 A	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
TB Oschwitz	*	n.n.	n.n.	n.n.
Kösseine bei Wölsauerhammer	n.n.	*	nicht beprobt	n.n.
Röslau vor Dötschenmühle	nicht beprobt	nicht beprobt	n.n.	n.n.
Kösseine bei Krippnermühle	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Röslau vor Brücke Seußén	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Nachweisgrenze : < 0,08 µg/l < 0,08 µg/l < 0,05 µg/l < 0,05 µg/l

* Probe entnommen, keinen Befund erhalten

Untersuchte organische Leitparameter

Pflanzenschutzmittel (PSM) und Chlorphenole entsprechend Tabelle 13.

PSM : Dicamba
Mecoprop
MCPA
Dichlorprop
2,4-D
Bromoxynil
Triclopyr
Fenoprop
MCPB
2,4,5-T
2,4-DB
Fluroxypyr
Bentazon
Ioxynil
Picloram
Haloxypop

Chlorphenole : 2-Chlorphenol
4-Chlorphenol
2,4-Dichlorphenol
2,4,5-Trichlorphenol
2,3,4,6-Tetrachlorphenol
Pentachlorphenol