

Geogene und anthropogene Quellen der Schwermetallbelastung von Fließgewässern des Erzgebirges

Prof. Dr. B. Voland, Freiberg und Prof. Dr. A. Knöchel, Hamburg

1 Einführung und Problem

Dem Menschen sind die Zusammenhänge zwischen Wasserqualität und Lebensqualität sehr früh bewußt geworden. In deutschen Landen und speziell in Sachsen liegen die ersten Äußerungen durch AGRI-COLA (1494–1555) vor, der als Arzt und Bergbausachverständiger bereits Zusammenhänge zwischen Bergbauggebiet, Wasserqualität und Gesundheit der Bevölkerung feststellte.

Speziell aus mikrobiologischer Sicht zwangen die Entwicklungen in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts dazu, in den Großstädten Europas Voraussetzungen zu schaffen, durch zentrale Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung hygienische Bedingungen für reines Trinkwasser und eine zentrale Versorgung mit diesem zu erschließen.

Am Ende des 20. Jahrhunderts haben anthropogene Einflüsse auf die Wasserbeschaffenheit solche Umfänge angenommen, daß Sanierungsmaßnahmen den gesamten Wasserkreislauf berücksichtigen müssen.

Mit der Festlegung von Grenzwerten für die Wasserinhaltsstoffe des Trinkwassers sind dabei Schutzziele klar definiert.

Während anthropogene Einträge (bei allen Schwierigkeiten, die dabei bestehen) relativ klar überschaubar, eingrenzbar und sanierbar sind, dürften geogen bedingte Einträge zum Problemfeld der Zukunft avancieren.

In diesem Rahmen sieht es die Umweltgeochemie als eine ihrer wichtigsten Aufgaben an, geogen und anthropogen gesteuerte Prozesse in ihren Wechselwirkungen aufzuklären, um auf dieser Basis geochemisch begründete Umweltverfahrenstechnik zu initiieren.

Speziell in Lagerstättengebieten spielen dabei Umweltbelastungen durch Schwermetalle eine herausragende Rolle. Das Erzgebirge, als eine der bedeutendsten Lagerstättenprovinzen der Welt, dürfte dabei in Zukunft prototypisch im Mittelpunkt der Forschung stehen.

Der Bedarf der Sanierung ergibt sich aus folgenden Gründen:

- Die Besonderheiten der geologischen und geochemischen Entwicklung des Erzgebirges haben zu speziellen geochemischen Provinzen geführt, aus denen natürliche Belastungen resultieren.
- Der intensive Bergbau mit all seinen Folgen ist Ursache für außergewöhnliche Schwermetallbelastungen.
- Grubenwässer abgeworfener Gruben belasten mit ihren Schwermetallgehalten die Vorflut.
- Natürlich ablaufende Laugungsprozesse in Bergbauhalden führen zu hochbelasteten Sickergewässern.
- Betriebe der Erzaufbereitung haben umfangreiche Altlasten in Form von Rückständebecken hinterlassen, von denen Schwermetallkontaminationen ausgehen.
- Die für die Erzprovinzen typische Hüttenindustrie ist Verursacher großflächiger Schwermetallbelastungen der Böden, die in Wechselwirkung mit den Gewässern stehen. Die Belastung der Böden erfolgte hauptsächlich über den Luftpfad durch Deposition schwermetallhaltiger Hüttenstäube.
- Hohe Bevölkerungsdichte und nicht voll funktionsfähige bzw. nicht vorhandene Kläranlagen führen zu erheblichen Belastungen der Fließgewässer, insbesondere mit organischen Schadstoffen, die zugleich Schwermetalle in hohem Umfang binden können.

2 Kurze Charakteristik des Einzugsgebietes von Zwickauer und Freiburger Mulde

Das Gewässersystem der Mulde (siehe Bild 1), bestehend aus der Zwickauer Mulde und der Freiburger Mulde mit seinen größten Nebenflüssen Flöha und Zschopau, entwässert insgesamt ein Einzugsgebiet von 7160 km². Während die Zwickauer Mulde wesentliche Teile des Westerzgebirges mit einer Einzugsgebietsfläche von 2353 km² und

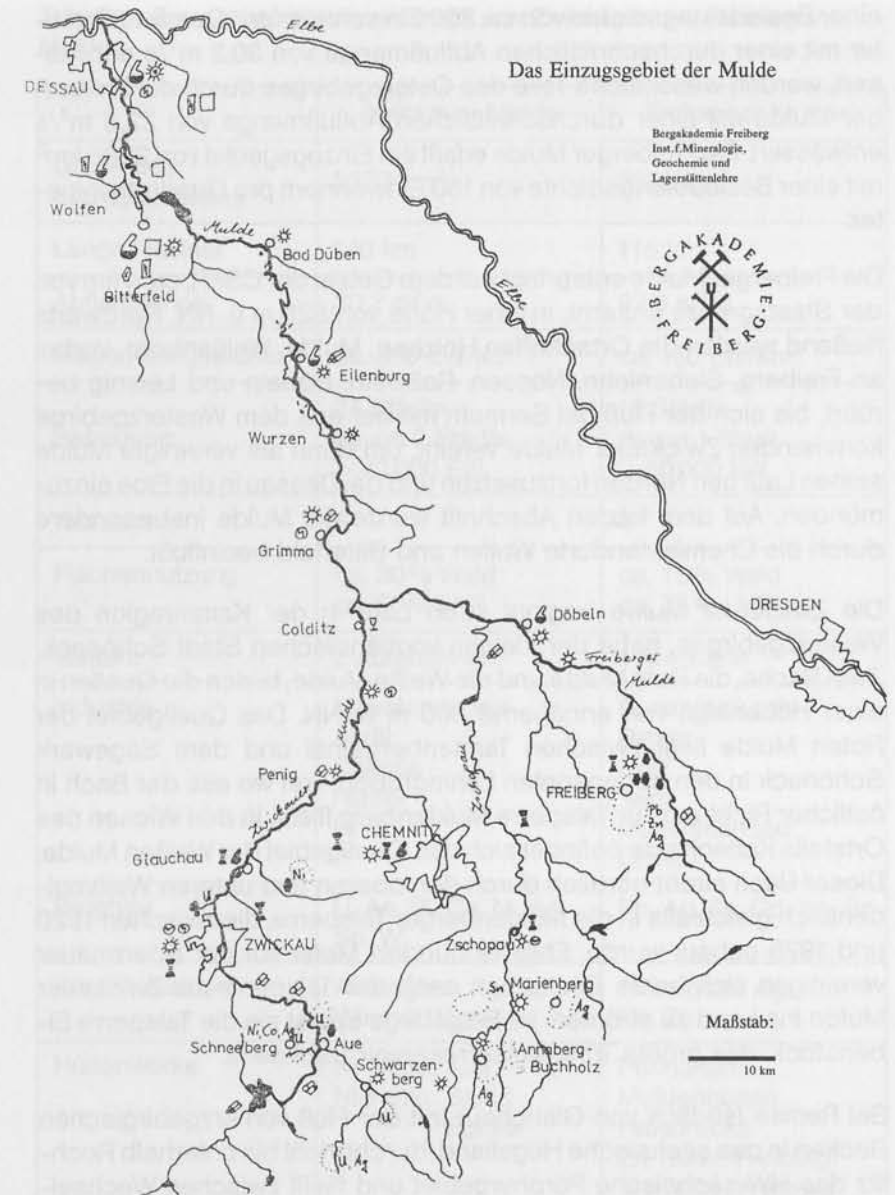


Bild 1: Das Einzugsgebiet der Mulde

einer Besiedelungsdichte von ca. 300 Einwohnern pro Quadratkilometer mit einer durchschnittlichen Abflußmenge von 30,2 m³/s entwässert, werden wesentliche Teile des Osterzgebirges durch die Freiburger Mulde mit einer durchschnittlichen Abflußmenge von 22,6 m³/s entwässert. Die Freiburger Mulde erfaßt ein Einzugsgebiet von 2985 km² mit einer Besiedelungsdichte von 150 Einwohnern pro Quadratkilometer.

Die Freiburger Mulde entspringt auf dem Gebiet der CSFR, ca. 4 km von der Staatsgrenze entfernt, in einer Höhe von 826 m ü. NN. Nordwärts fließend werden die Ortschaften Holzhau, Mulda, Weißenborn, vorbei an Freiberg, Siebenlehn, Nossen, Roßwein, Döbeln und Leisnig berührt, bis sich der Fluß bei Sermuth mit der aus dem Westerzgebirge kommenden Zwickauer Mulde vereint, um dann als vereinigte Mulde seinen Lauf gen Norden fortzusetzen und bei Dessau in die Elbe einzumünden. Auf dem letzten Abschnitt wurde die Mulde insbesondere durch die Chemiestandorte Wolfen und Bitterfeld beeinflusst.

Die Zwickauer Mulde beginnt ihren Lauf in der Kammregion des Westerzgebirges, nahe der kleinen vogtländischen Stadt Schöneck. Zwei Bäche, die Rote Mulde und die Weiße Mulde, bilden die Quellen in einer Höhenlage von annähernd 800 m ü. NN. Das Quellgebiet der Roten Mulde liegt zwischen Tannenbergesthal und dem Sägewerk Schöneck in den sogenannten Lehmgruben, von wo aus der Bach in östlicher Richtung zur Talsperre Muldenberg fließt. In den Wiesen des Ortsteils Kottenheide befindet sich das Quellgebiet der Weißen Mulde. Dieser Bach strebt nördlich durch den oberen und unteren Weißmuldenteich gleichfalls in die Muldenberger Talsperre, die zwischen 1920 und 1925 gebaut wurde. Etwa einhundert Meter vor der Sperrmauer vereinigen sich beide Bäche, um nach der Talsperre als Zwickauer Mulde ins Land zu strömen. Im Erzgebirge speist sie die Talsperre Eibenstock, das größte Trinkwasserreservoir Sachsens.

Bei Remse (südlich von Glauchau) tritt der Fluß von erzgebirgischen Becken in das sächsische Hügelland, durchbricht bis unterhalb Rochlitz das NW-sächsische Porphyrgelände und fließt zwischen Wechselsburg und Colditz durch Täler, wo Schluchten und weite Auenlandschaften abwechseln.

Wie aus der folgenden Übersicht hervorgeht, unterscheiden sich die Einzugsgebiete von Zwickauer und Freiburger Mulde hinsichtlich der

Tabelle 1: Einzugsgebietscharakteristik von Zwickauer und Freiburger Mulde

| | Zwickauer Mulde | Freiburger Mulde |
|---------------------------|---|--|
| Größe des Einzugsgebietes | 2353 km ² | 2985 km ² |
| Länge Flußlauf | 140 km | 115 km |
| Abflußmenge | 30,2 m ³ /s | 22,6 m ³ /s |
| Besiedelungsdichte | ca. 300 EW/km ² | ca. 150 EW/km ² |
| Bebauung | 25 Städte davon 2 Städte > 80 000 EW | 15 Städte davon 1 Stadt > 50 000 EW |
| Talsperren | 8 | 4 |
| Flächennutzung | ca. 30% Wald ca. 60% LNF | ca. 15% Wald ca. 75% LNF |
| Verkehr | 2 Autobahnen | 1 Autobahn |
| Industrie | Maschinenbau Textil Chemie Papier Holz | Buntmetallurgie Papier Holz Textil Maschinenbau Leder |
| Bergbau | U, As, Bi, Co, Ni, Ag, Sn, W | Pb, Ag, Zn, Cd, As, Sn |
| Bergbauhalden | Altbergbau Ag, Co Wismut, U, As | Altbergbau Ag, Pb, Zn |
| Hüttenwerke | Ni-Hütte: Aue Ni-Hütte: Sankt- Egidien | Pb-Hütten: Muldenhütten Halsbrücke Zn-Hütte: Freiberg Sn-Hütte: Freiberg |
| Aufbereitungsrückstände | Uranaufbereitung: Crossen, Absetz- becken Dänkritz und Helmsdorf | Schlackenhal- den der Hüttenindustrie |

Flächennutzung, hinsichtlich der ansässigen Industrie und insbesondere hinsichtlich des Bergbaus und des Hüttenwesens.

Am Oberlauf der Zwickauer Mulde wurde seit mehr als 500 Jahren Bergbau betrieben, der erste Grubenbau wurde 1453 in Schneeberg erwähnt. Abgebaut wurde zuerst Silber, es folgten Eisen, Cobalt, Nickel, Kupfer, Zink, Zinn und Wismut. Ende des letzten Jahrhunderts gewann das Uran an Interesse, anfangs zur Radiumgewinnung. Nach dem 2. Weltkrieg baute die SDAG Wismut Uranerze für nukleare Zwecke ab.

Daneben hatte sich am Oberlauf holzverarbeitende Papier- und Zellstoffindustrie angesiedelt. Die Belastungen des Flusses mit organischem Material ist auf sie und den Einfluß der Städte zurückzuführen.

Im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde kann der Silberbergbau auf eine 800-jährige Geschichte zurückblicken. Die hier abgebauten und verhütteten Erze dienten seit Mitte des 19. Jahrhunderts der Blei-, Zink- und Arsenengewinnung.

Die Spezifik der lokalen Besonderheiten einerseits und andererseits die Tatsache nahezu unbeschränkter Ressourcennutzung in der Vergangenheit führten dazu, daß die vereinigte Mulde der größte Schwermetalleinträger in die Elbe ist.

3 Kurze geologische Charakteristik der Einzugsgebiete

Die Einzugsgebiete der Zwickauer und der Freiburger Mulde stellen wesentliche Teile des metallogenetisch hoch spezialisierten Erzgebirges dar.

Die Zwickauer Mulde entspringt im östlichen Teil des Vogtländischen Schiefergebirges. In diesem Gebiet sind Gesteine der ordovizischen Phycodenschichten und der Frauenbachschichten vertreten. Sie durchfließt danach das Westerzgebirge, wobei der Eibenstocker Granit und sein Kontakthof, bestehend aus Phylliten und phyllitischen Tonschiefern, das Gewässer beeinflussen. Von Bedeutung sind pneumatolytische Erscheinungen, wie Turmalisierung (Borzufuhr) und Topasierung (Fluorzufuhr), die gleichzeitig zu einem erhöhten Angebot an Zinn und Wolfram führen. Danach durchfließt die Mulde die Granitkomplexe nordöstlich des Eibenstocker Granits zwischen Schneeberg und

Schwarzenberg. Zu diesen kleinen Granitvorkommen gehören die mittelkörnigen Granite von Oberschlema, Aue, Auerhammer und Lauter. Dieses Gebiet ist zugleich durch die bedeutenden Uranlagerstätten des Erzgebirges charakterisiert.

Der Kirchberger Granit und seine Hüllgesteine, die Phyllite und Tonschiefer im Kontakthof beeinflussen ebenfalls das Gewässer, ehe es in das Gebiet der Glimmerschiefer, Augengneise und Gneisglimmerschiefer des Kristallins um Schwarzenberg eintritt.

Nach Westen und Nordwesten schließt sich eine Zone an, die nach außen ohne scharfe Grenzen in Phyllit übergeht. Die Mulde erreicht das erzgebirgische Becken mit oberkarbonischen und rotliegenden Schichten. Am Aufbau der Karbonablagerungen sind hauptsächlich Tonschiefer, Sandsteine, Konglomerate und Steinkohlen beteiligt. Im tiefsten Teil sind Melaphyre eingeschaltet. Das Unterrotliegende ist von Werdau über Zwickau und Chemnitz verbreitet und wird von Konglomeraten, Quarzitschiefern, Glimmerschiefern, feinkörnigen Graniten, Diabasen und Granuliten bestimmt. Die Stufe der unteren vulkanischen Tuffe und Ergüsse besteht aus Tuffen, Melaphyren, Quarzporphyren, Pechsteinen und sedimentären Gesteinen. Es folgt eine Stufe, die vorwiegend aus Arkosen und Schieferletten aufgebaut ist. Zum darauffolgenden Oberrotliegenden gehören kleinstückige Konglomerate, die von der Mulde durchschnitten werden.

Das Granulitgebirge mit seinem Schiefermantel wird auf der Linie nördlich Glauchau, Penig, Rochlitz und südlich Colditz von der Zwickauer Mulde durchflossen.

Nach dem Granulitgebirge entwässert die Mulde einen Teil NW-Sachsens mit vorwiegend rotliegenden Porphyrgüssen, Tertiär- und Quartärablagerungen. Östlich und nordöstlich von Colditz (Commichau) sind untermiozäne Braunkohlenflöze abgebaut worden. Mittelpleistozäne Schotter der Mulde sind von Lunzenau über Colditz nach Norden hin in einem 1,5 km breiten Streifen anzutreffen.

Die geologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde sind von den metamorphen präkambrischen und frühpaläozoischen Serien der Gneise gekennzeichnet. Kernstück bilden einerseits die Freiburger Gneise andererseits das Granulitgebirge mit seinen Hüllschiefern. Die Freiburger Gneise und das Granulitgebirge sind als unterschiedlich entwickelte geochemische Subprovinzen aufzufassen.

Der hohe Metamorphosegrad der Granulite hat gegenüber den Gneisen eine Verarmung an Spurenelementen wie As, Hg, Sb, Ag, B, Be, Cr, Cu, Mn, Nb, Ni und Sn zur Folge.

Die Einzugsgebiete der Zwickauer und der Freiburger Mulde lassen sich hinsichtlich der Verbreitungshäufigkeit der wichtigsten Gesteine deutlich unterscheiden, wie aus der folgenden Tabelle 2 ersichtlich wird:

Tabelle 2: Flächenhäufigkeit anstehender Gesteine im Einzugsgebiet der Zwickauer und der Freiburger Mulde

| Gestein im Einzugsgebiet | Zwickauer Mulde | Freiburger Mulde |
|----------------------------|-----------------|------------------|
| Gneise und Glimmerschiefer | 2 % | 55 % |
| Phyllite | 40 % | 20 % |
| Granulite | 10 % | 5 % |
| Granite | 20 % | 5 % |
| Rotliegendes | 15 % | 5 % |
| Porphyre | 2 % | 2 % |
| Basite/Ultrasite | 2 % | 2 % |
| Tertiäre Sedimente (Löß) | 5 % | 2 % |
| Quartäre Schotterterrassen | 2 % | 2 % |

4 Charakter der geochemischen Provinz und seine Widerspiegelung in der Schwermetallbelastung der Fließgewässer

Auf Grund seiner Entwicklung stellt das Erzgebirge eine geochemische Provinz dar, in der generell mit erhöhten Konzentrationen an Arsen, Blei, Uran, Bor, Lithium, Cäsium, Rubidium, Silber, Gallium, Kobalt und Zinn

in den geologischen Materialien, insbesondere aber in den Böden, zu rechnen ist (METZNER, VOLAND und BOMBACH, 1991).

Die Schwermetallbelastungen der Böden und Wässer in den Lagerstättengebieten des Erzgebirges bestehen darin, daß unterschiedlich zusammengesetzte geochemische Subprovinzen als natürliche geogene Quellen der Kontamination zu bewerten sind, die anthropogen durch den Bergbau verstärkt generiert werden.

Während das Westerzgebirge (Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde) als geochemische Subprovinz durch Mineralisationen der Elemente Uran, Arsen, Kobalt, Nickel, Silber, Selen und Wismut charakterisiert ist und anthropogen durch den entsprechenden Uranbergbau der SDAG-Wismut mit dem ähnlichen Elementspektrum hochbelastet wurde, stellt das Osterzgebirge (Einzugsgebiet der Freiburger Mulde) eine geochemische Subprovinz dar, die durch Mineralisationen von Blei, Zink, Silber, Cadmium, Arsen und Zinn und dem entsprechenden Altbergbau einschließlich des dazugehörigen Hüttenwesens (Freiberg) charakterisiert ist. Mischformen dieser beiden geochemischen Subprovinzen treten im mittleren Erzgebirge zusammen mit Zinn im Raum Annaberg, Marienberg, Ehrenfriedersdorf und Geyer auf.

Der Charakter dieser Subprovinzen widerspiegelt sich sehr deutlich in der Zusammensetzung der Wässer und der Sedimente der Flüsse, die diese Regionen entwässern, was mit einigen Beispielen belegt werden soll.

So zeigen die Sedimente der Zwickauer Mulde wesentlich höhere Kobalt- und Nickelkonzentrationen als die Sedimente der Freiburger Mulde (siehe Bild 2–5). Ebenso verhalten sich diese beiden Elemente im Wasser (siehe Tabelle 3).

Der Nickelgrenzwert für Trinkwasser wird in der Zwickauer Mulde teilweise erheblich überschritten. Die stark erhöhten Nickelkonzentrationen im Sediment der Zwickauer Mulde ab Flußkilometer 43 zeigen darüberhinaus den Einfluß des Bergbaus in diesem Gebiet an.

Die insgesamt niedrigeren Nickelgehalte im Sediment der Freiburger Mulde entsprechen der Nickelarmut dieser geochemischen Subprovinz. Der hohe Nickelgehalt im Sediment bei Flußkilometer 86 widerspiegelt ebenfalls die Wirkung geologischer Verhältnisse. Hier überfließt die Mulde einen Bronzitserpentinit. Derartige Gesteine mit relativ hohen natürlichen Nickelgehalten können bei Verwitterungsprozessen

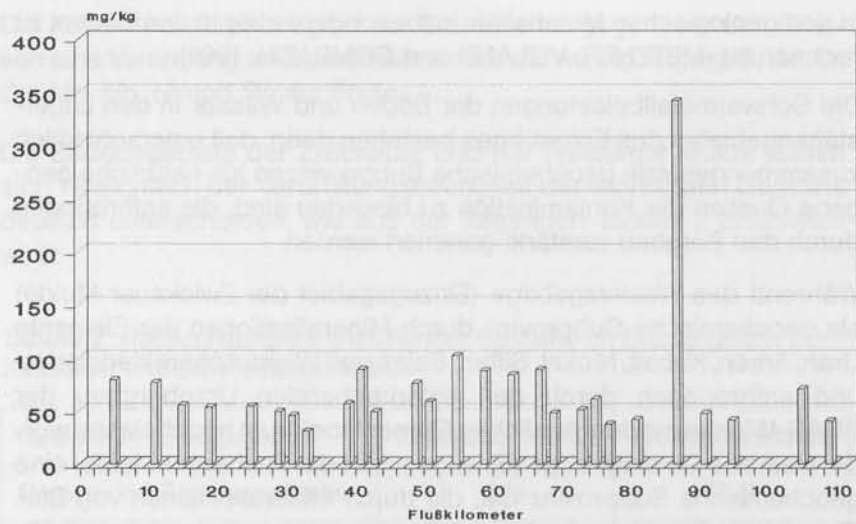


Bild 2: Nickel im Sediment der Freiburger Mulde

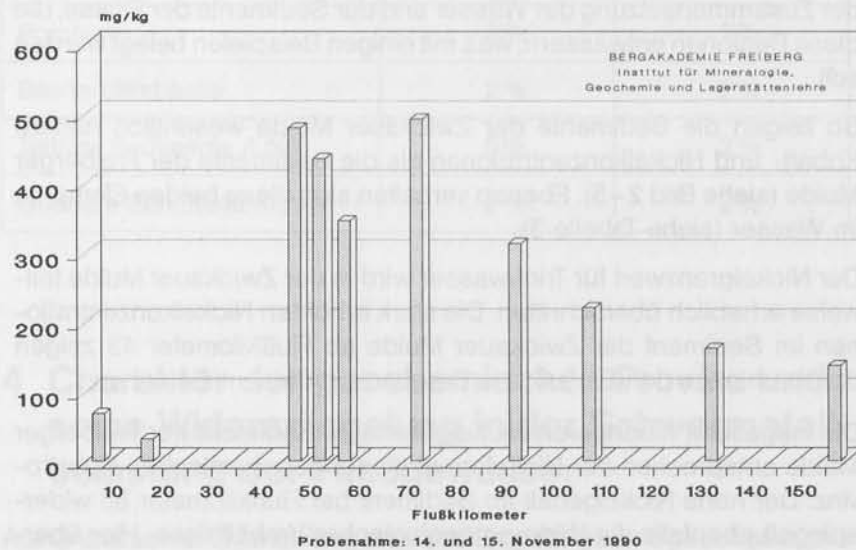


Bild 3: Nickel im Sediment der Zwickauer Mulde

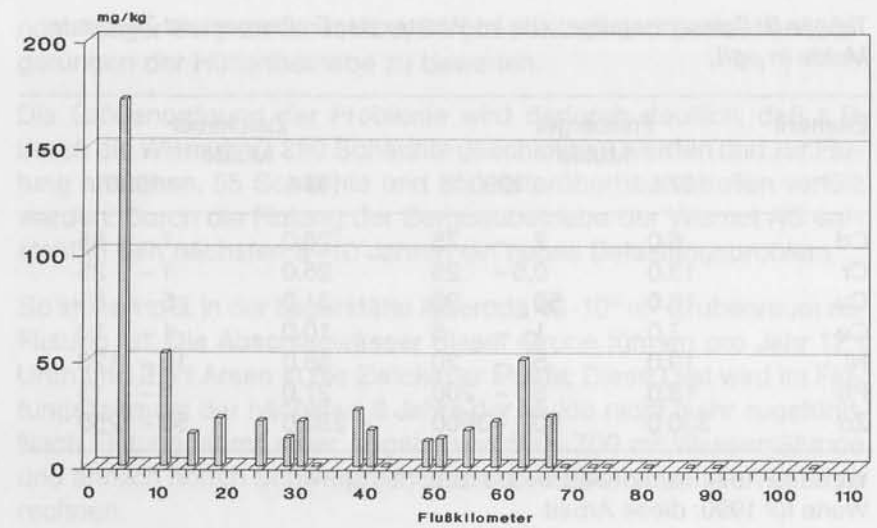


Bild 4: Kobalt im Sediment der Freiburger Mulde

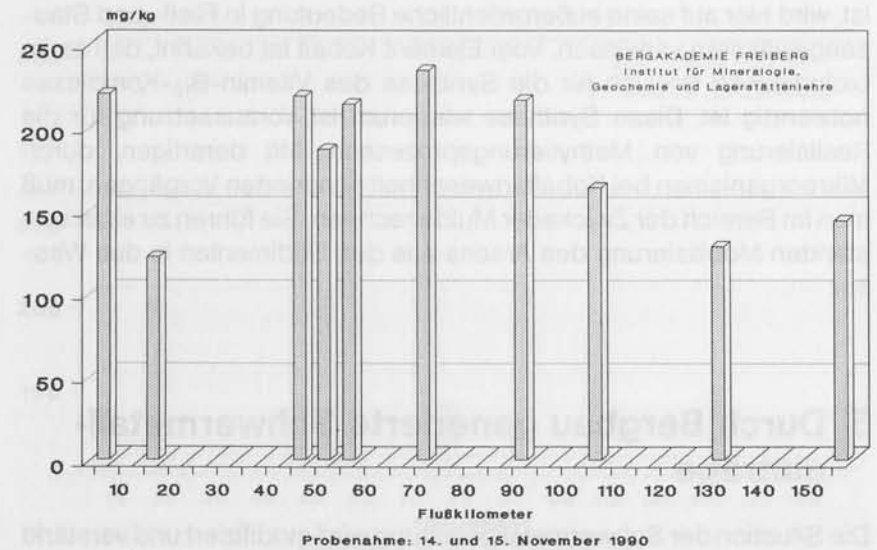


Bild 5: Kobalt im Sediment der Zwickauer Mulde

Tabelle 3: Schwermetallgehalte im Wasser der Freiburger und Zwickauer Mulde in µg/L

| Element | Freiberger Mulde | | Zwickauer Mulde | |
|---------|------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | 1974 | 1990 | 1974 | 1990 |
| Cd | 6.0 | 2 – 75 | 26.0 | 1 – 85 |
| Cr | 13.0 | 0,5 – 25 | 25.0 | 1 – 25 |
| Cu | 18.0 | 50 – 90 | 31.0 | 5 – 35 |
| Co | 7.0 | 1 – 5 | 10.0 | 1 – 10 |
| Ni | 19.0 | 5 – 20 | 55.0 | 15 – 120 |
| Pb | 18.0 | 5 – 200 | 27.0 | 1 – 15 |
| Zn | 330.0 | 50 – 3600 | 280.0 | 50 – 1250 |

Werte für 1974 nach: KAEDING, J. u. a. (1976)

Werte für 1990: diese Arbeit

bis zur Bildung silikatischer Nickellagerstätten verändert werden. Sie verursachen im vorliegenden Fall die hohen Nickelkonzentrationen im Flußsediment.

Obwohl für das Element Kobalt kein Trinkwassergrenzwert festgelegt ist, wird hier auf seine außerordentliche Bedeutung in Fließ- und Stauseegewässern verwiesen. Vom Element Kobalt ist bekannt, daß es im biologischen Bereich für die Synthese des Vitamin-B₁₂-Komplexes notwendig ist. Diese Synthese wiederum ist Voraussetzung für die Realisierung von Methylierungsprozessen. Mit derartigen, durch Mikroorganismen bei Kobaltanwesenheit generierten Vorgängen, muß man im Bereich der Zwickauer Mulde rechnen. Sie führen zu einer verstärkten Mobilisierung des Arsens aus den Sedimenten in das Wasser.

5 Durch Bergbau generierte Schwermetalleinträge

Die Situation der Schwermetallbelastung wird modifiziert und verstärkt durch Altlasten im Gefolge jahrhundertlang betriebenen Bergbaus und Hüttenwesens. Als solche sind Grubenwässer abgeworfener bzw.

noch tätiger Bergwerksbetriebe, Bergbauhalden und Schlackenablagerungen der Hüttenbetriebe zu bewerten.

Die Größenordnung der Probleme wird dadurch deutlich, daß z. B. durch die Wismut AG 280 Schächte geschlossen werden und zur Flutung anstehen. 55 Schächte und 85 Wetterüberhauen sollen verfüllt werden. Durch die Flutung der Bergbaubetriebe der Wismut AG entsteht in den nächsten 8–10 Jahren ein neues Belastungsproblem.

So stehen z. B. in der Lagerstätte Alberoda $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Grubenraum zur Flutung an. Die Abschlagwässer dieser Grube führten pro Jahr 12 t Uran und 3,5 t Arsen in die Zwickauer Mulde. Diese Last wird im Flutungszeitraum der nächsten 8 Jahre der Mulde nicht mehr zugeführt. Nach Flutung ist mit einer Abgabe von 500–700 m³ Wasser/Stunde und ähnlich hohen Schwermetallfrachten wie bisher an die Vorflut zu rechnen.

Die Uranbelastung im Sediment der Zwickauer Mulde mit Konzentrationen zwischen 200 bis 300 mg/kg widerspiegeln im Bereich der Flußkilometer 44–55 den Einfluß der Uran-Lagerstätten im Gebiet Aue, Schlema und Hartenstein (siehe Bild 6). Ein extremes Maximum der

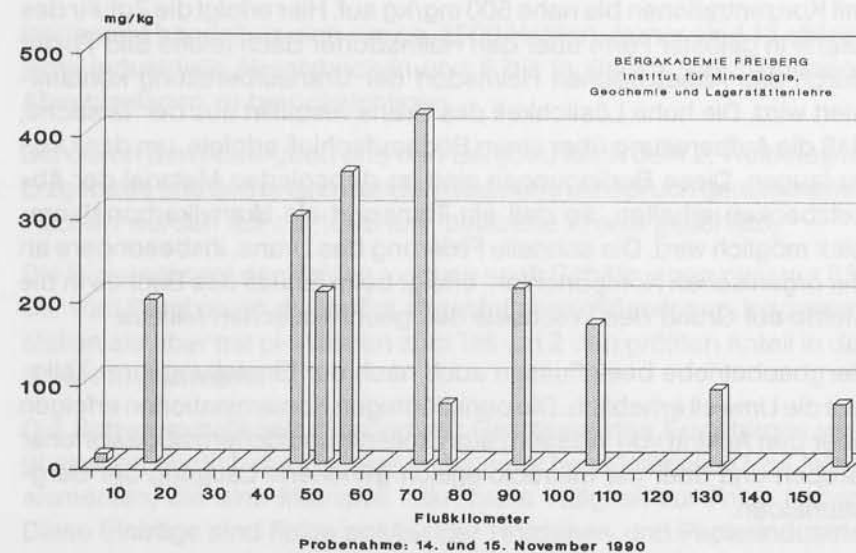


Bild 6: Uran im Sediment der Zwickauer Mulde

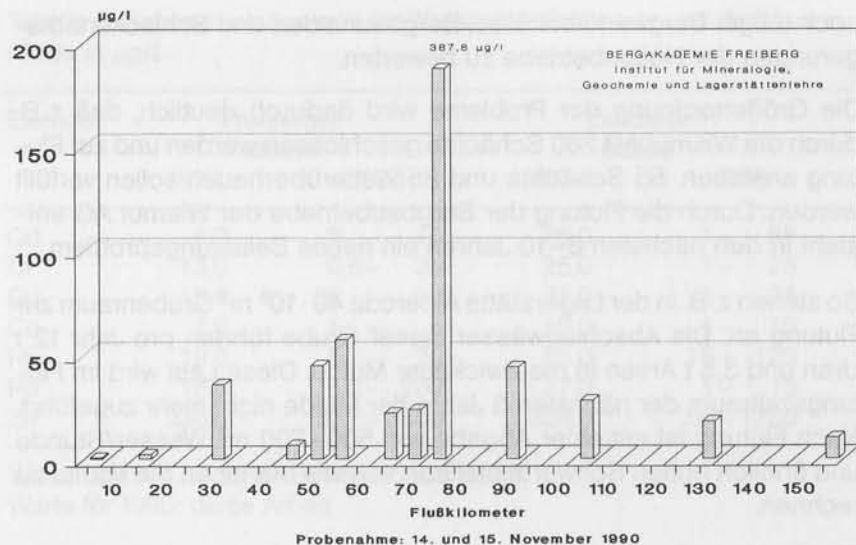


Bild 7: Uran im Wasser der Zwickauer Mulde

Sedimentbelastung tritt nach Einmündung des Helmsdorfer Baches mit Konzentrationen bis nahe 500 mg/kg auf. Hier erfolgt die Zufuhr des Urans in gelöster Form über den Helmsdorfer Bach (siehe Bild 7), der durch das Absetzbecken Helmsdorf der Uranaufbereitung kontaminiert wird. Die hohe Löslichkeit des Urans resultiert aus der Tatsache, daß die Aufbereitung über einen Sodaaufschluß erfolgte, um das Uran zu laugen. Diese Bedingungen sind im deponierten Material der Absetzbecken erhalten, so daß ein Transport als Uranylkarbonatkomplex möglich wird. Die schnelle Fixierung des Urans, insbesondere an die organischen Komponenten, erfolgt beim Einfluß des Baches in die Mulde auf Grund des Wechsels des geochemischen Milieus.

Bergbaubetriebe beeinflussen auch nach der Einstellung ihrer Tätigkeit die Umwelt erheblich. Die punktförmigen Kontaminationen erfolgen über den Austritt von Wässern aus Stollenmundlöchern abgeworfener Gruben und über die mikrobiologisch generierte Laugung der Bergbauhalden.

Das ehemalige Buntmetallbergbauggebiet im Freiburger Revier wird zum großen Teil über den Rothschnöberger Stollen in die Triebisch und

Tabelle 4: Schwermetalleintrag aus dem Verträglichem Gesellschaftsstollenumbruch und dem Rothschnöberger Stollen in die entwässernden Fließgewässer in t/a

| Jahr | Zn | Pb | Cd |
|---------|-----|-----|-----|
| 1978/79 | 232 | 5,0 | 1,6 |
| 1980 | 241 | 5,1 | 1,5 |
| 1988 | 198 | 4,2 | 1,3 |

damit in die Elbe entwässert. Kleinere Stollensysteme entwässern direkt in die Freiburger Mulde. Die Dimension dieser Kontaminationsquelle wird deutlich bei den in Tabelle 4 dargestellten Metallfrachten von 3 Stollen des Freiburger Gebietes.

Von besonderer Bedeutung für die Schwermetallbelastung sind die Bergbauhalden.

Die Laugungsprozesse der Schwermetalle aus diesen Quellen sind im wesentlichen mikrobiell generiert, wobei die Oxidation der Sulfide (die Sulfidgehalte in den Haldenmaterialien liegen im Durchschnitt bei 2–2,5 Masse-%) zur Bildung der Schwefelsäure führt.

Insgesamt handelt es sich um ca. 3500 Halden; ferner sind 13 stillgelegte industrielle Absetzbecken und 5 bis in jüngste Zeit betriebene Absetzanlagen zu berücksichtigen.

Die durch den Altbergbau und den Bergbau nach dem 2. Weltkrieg im Erzgebirge und den angrenzenden Räumen in Anspruch genommenen Flächen werden auf ca. 1000 km² belastete Areale geschätzt.

Die Sickerwässer der Halden machen nach Schätzungen zwar nur 8 % der vom Bergbau an die Vorflut abgestoßenen Wässer aus. Insgesamt stellen sie aber mit pH-Werten zum Teil um 2 den größten Anteil in der Schwermetallbilanz.

Die Schwermetallkontamination der Gewässer des Erzgebirges wird überlagert durch hohe Einträge an organischen Materialien bzw. Nährstoffen, die eine intensive mikrobielle Tätigkeit zur Folge haben. Diese Einträge sind Folge ansässiger Holz- und Papierindustrie, der Lederindustrie, der hohen Bevölkerungsdichte und nicht vorhandener Kläranlagen.

Zugleich dient das organische Material der Fixierung einer Reihe von Elementen, wie z. B. des Urans, so daß hohe Anreicherungen dieser Elemente im Sediment die Folge sind. Urangehalte bis nahe 500 mg/kg im Sediment der Zwickauer Mulde stellen ein Gefährdungspotential dar. Insbesondere bei Veränderung des geochemischen Milieus des Wassers (womit in Zukunft zu rechnen ist) ist eine Mobilisierung möglich. So läßt der Ersatz von Tripolyphosphaten durch Nitrilotriacetat (NTA) in den Waschmitteln eine Komplexbildung und somit Mobilisierung einer Reihe von Schwermetallen aus den Flußsedimenten erwarten.

4 Durch Hüttenindustrie generierte Kontaminationen

Die langjährige Belastung durch Hüttenstäube (in Freiberg seit über 800 Jahren) führt zu einer signifikanten Erhöhung der bereits natürlich

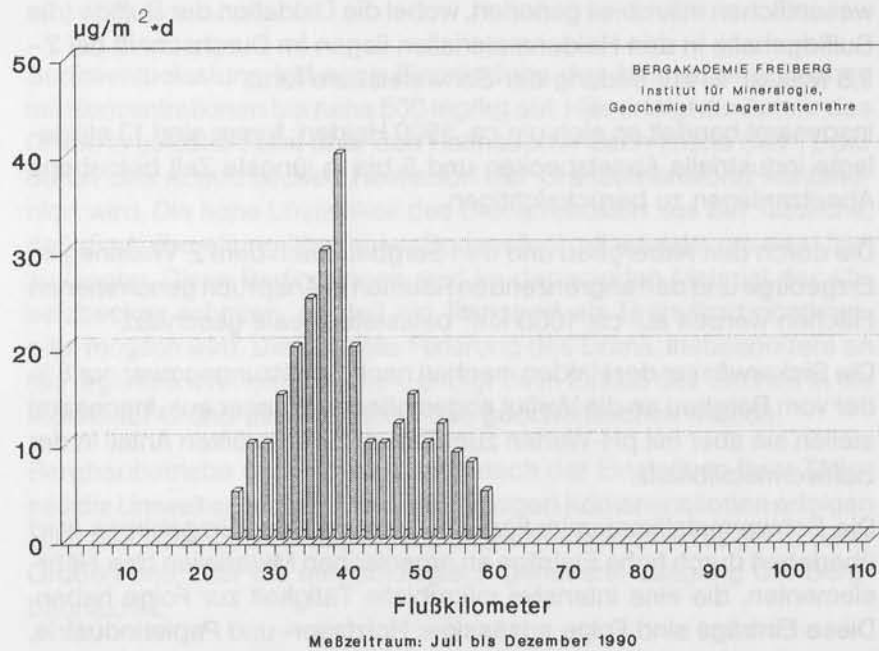


Bild 8: Arsen-Depositionsraten im Flußgebiet der Freiburger Mulde

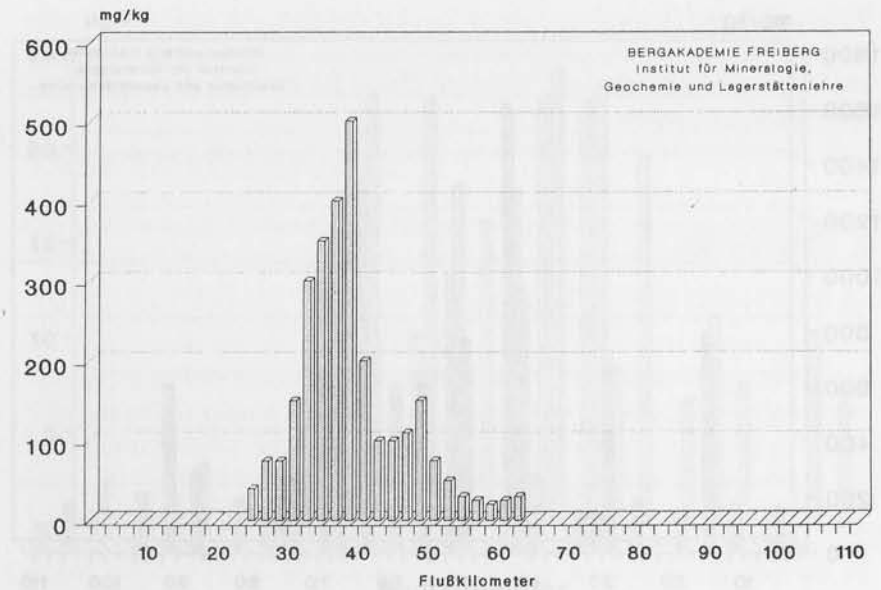


Bild 9: Arsen in den Böden der Umgebung der Freiburger Mulde

vorbelasteten Böden. Die natürliche Vorbelastung resultiert aus den Schwermetalleinträgen, die mineralisationsbedingt aus den vererzten Gängen auf die Böden „vererbt“ wurden.

Der anthropogen bzw. technogen bedingte Einfluß auf das Fließgewässersystem soll hier am Beispiel des Elementes Arsen gezeigt werden.

Im Hüttengebiet Freiberg wurde Arsen aus der ehemaligen Arsenikhütte, insbesondere aber aus der Zinnhütte emittiert, da die verarbeiteten erzbergischen Zinnerze ausgesprochen arsenreich sind. Die Zinnhütte stellte Ende 1990 ihre Tätigkeit ein.

Röntgenphasenanalytisch konnte die in die Atmosphäre emittierte Arsenphase als Arsenolith (As_2O_3) bestimmt werden. Die Hauptmenge dieser Emissionen kommt in der Umgebung der Hütten zur Deposition. Die Depositionsraten für Arsen (Messungen der NE-Metall GmbH, Freiberg, Dr. Lohrmann) weisen die Anomalie in der Umgebung der Hütten aus (Bild 8). Diese Kontamination widerspiegelt sich in den Böden (Bild 9), wobei As_2O_3 unter Oberflächenbedingungen zu Arsenat umgewan-

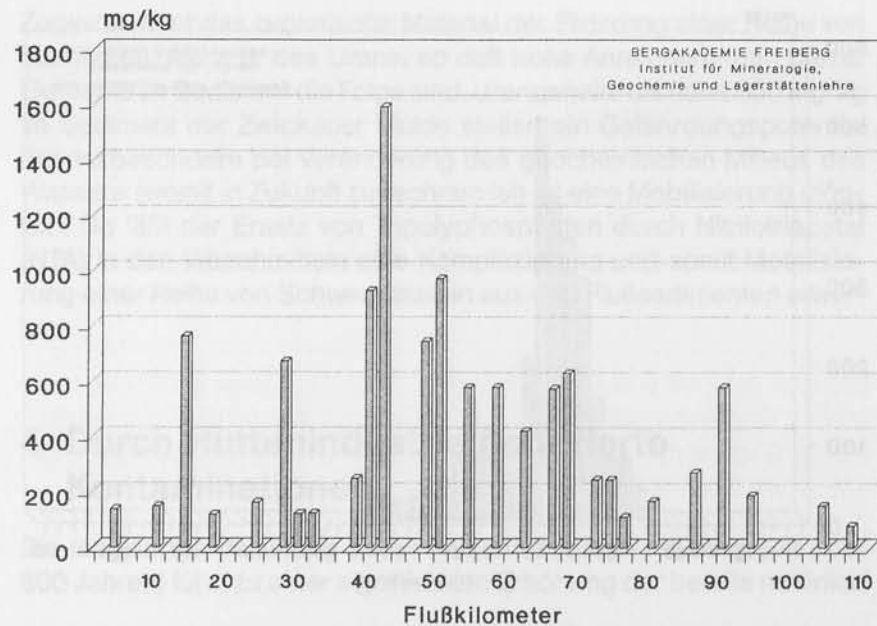


Bild 10: Arsen im Sediment der Freiburger Mulde

delt und relativ stabil fixiert wird. Insgesamt weisen in diesem Gebiet 48,2 km² Bodenfläche Arsengehalte über 100 mg/kg aus.

Gleichzeitig führt aber die leichte Löslichkeit des As₂O₃ unter den Bedingungen saurer Niederschläge zum Transport über die Wässer aus der Fläche des Einzugsgebietes in das Flußsystem. Die Verteilung des Arsens im Sediment der Freiburger Mulde (Bild 10) zeigt, daß zunächst eine schnelle Fixierung im Sediment erfolgt. Die Arsenanomalie im Flußsediment wird im starken Maße durch die Depositions- und Boden-anomalie geprägt. Die Verteilung der Arsenkonzentrationen im Wasser (Bild 11) der Freiburger Mulde macht deutlich, daß ganz offensichtlich nach erfolgter Kontamination erhebliche Mengen aus dem Sediment in das Wasser mobilisiert werden. Das Sediment befindet sich in diesem Bereich unter reduzierenden Bedingungen, die durch eine Vielfalt von Einflüssen bestimmt werden. Dazu gehören insbesondere organische Belastungen aus Papierfabriken, Rohpappfabriken, Lederfaserwerken, Zuckerfabriken und ungenügend bzw. nicht gereinigte Abwässer der Städte.

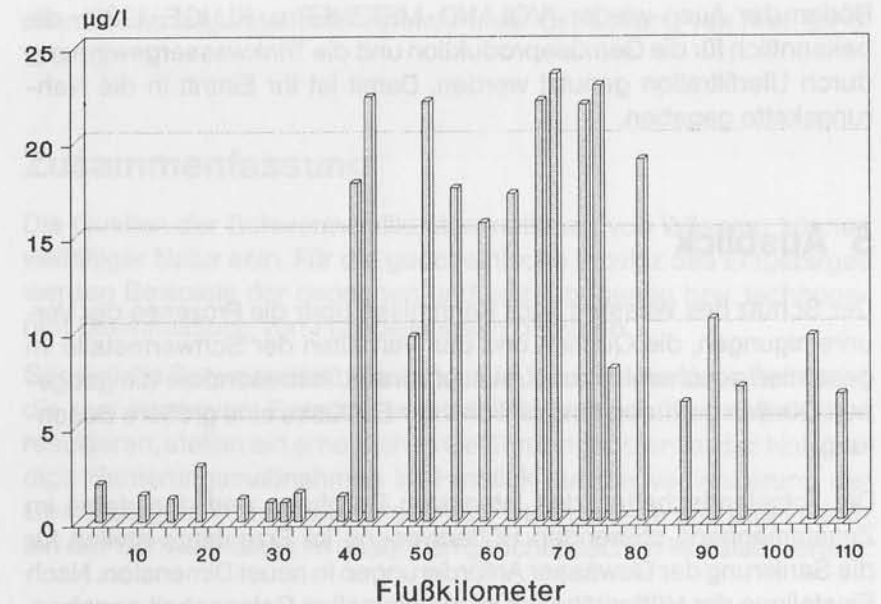


Bild 11: Arsen im Wasser der Freiburger Mulde

Für die Schwermetalle haben die reduzierenden Bedingungen im Sediment zu enormen Akkumulationen geführt, wie aus der Tabelle 5 sichtbar wird.

Auch hier besteht die große Gefahr, daß bei Änderung des geochemischen Milieus diese Elemente in das Wasser mobilisiert werden. Schon jetzt finden wir sie auch in erhöhten Konzentrationen in den

Tabelle 5: Minimale und maximale Schwermetallkonzentrationen im Sediment der Freiburger Mulde in mg/kg

| | |
|---------|-------------|
| Nickel | 30 – 350 |
| Chrom | 20 – 1500 |
| Cadmium | 50 – 1500 |
| Arsen | 80 – 1600 |
| Kupfer | 100 – 6000 |
| Blei | 100 – 18000 |
| Zink | 900 – 34000 |

Böden der Auen wieder (VOLAND, METZNER u. KLUGE, 1989), die bekanntlich für die Gemüseproduktion und die Trinkwassergewinnung durch Uferfiltration genutzt werden. Damit ist ihr Eintritt in die Nahrungskette gegeben.

5 Ausblick

Der Schutz des Wassers setzt Kenntnisse über die Prozesse der Verunreinigungen, die Quellen und das Verhalten der Schwermetalle im gesamten geochemischen Kreislauf voraus. Insbesondere die geogenen Quellen bedürfen hinsichtlich ihrer Einflüsse eine größere Beachtung.

Die Folgelandschaften des intensiven Bergbaus und des damit im Zusammenhang stehenden Hüttenwesens im Erzgebirge stellen für die Sanierung der Gewässer Anforderungen in neuer Dimension. Nach Einstellung der Hüttentätigkeit ist die einmalige Gelegenheit gegeben, die natürlichen Abbauleistungen zu beobachten und Schlußfolgerungen für Sanierungsmaßnahmen zu ziehen. Andererseits wird deutlich, daß durch Mineralisationen im Untergrund und entsprechende Bergbautätigkeit Quellen der Schwermetallkontamination entstanden sind, die nach Einstellung des Bergbaus nicht einfach „abgestellt“ werden können. Für ihre Sanierung werden neue, geochemisch begründete Konzepte und Lösungen erforderlich. Die „geochemischen Senken“ in Form der Fluß- und Stauseesedimente stellen unter diesem Aspekt nicht nur ein Umweltgefährdungspotential dar, welches bei Veränderung der geochemischen Bedingungen wirksam werden kann. Die in diesem Sedimenten ablaufenden Fixierungsvorgänge weisen zugleich auf die Möglichkeiten ihre Nutzung hin.

Der Bundesminister für Forschung und Technologie fördert seit 1.6.1991 (Förderkennzeichen: O2WT91139) ein entsprechendes Verbundprojekt mit dem Thema: Bestandsaufnahme der Schwermetallsituation im Gewässersystem der Freiburger-, Zwickauer- und der vereinigten Mulde im Hinblick auf die zukünftige Gewässergüte. Das „Muldeprojekt“ wird gemeinsam von der Universität Hamburg und der Bergakademie Freiberg bearbeitet. Die Hamburger Gruppe vom Institut für Angewandte und Anorganische Chemie steht unter Leitung von Prof. Dr. A. Knöchel, die Freiburger Gruppe vom Institut für Mineralogie, Geo-

chemie und Lagerstättenlehre steht unter der Leitung von Prof. Dr. B. Voland.

Zusammenfassung

Die Quellen der Schwermetallkontaminationen von Wässern können vielfältiger Natur sein. Für die geochemische Provinz des Erzgebirges werden Beispiele der geogenen und anthropogenen bzw. technologischen Beeinflussung von Fließgewässern gegeben.

Speziell die Schwermetallbelastungen im System Wasser – Sediment, die aus intensivem Bergbau und der Tätigkeit von Buntmetallhütten resultieren, stellen ein erhebliches Gefährdungspotential dar. Notwendige Sanierungsmaßnahmen im Hinblick auf die Verbesserung der Gewässergüte setzen Kenntnisse über die Prozesse und das Verhalten der Schwermetalle im gesamten geochemischen Kreislauf voraus.

Literatur

- KAEDING, J., REISSIG, H. und HELBIG, J.: Inhaltsstoffe in Fließgewässern unter besonderer Berücksichtigung toxischer Spurenstoffe. In: Freiburger Forschungshefte C 318, 1976, S. 21–23
- METZNER, I., B. VOLAND und G. BOMBACH: Vorkommen und Verteilung von Arsen in Mittelgebirgsböden des Erzgebirges und Vogtlandes. in: Mengen- und Spurenelemente 1991, Seite: 152–159, Herausgeber: M. ANKE, Friedrich-Schiller-Universität Jena
- VOLAND, B., I. METZNER u. A. KLUGE: Complex geochemical investigations of soils on holocene sediments of flood plain and lowland areas. in: 6th International Trace Element Symposium 1989. Hsg.: M. ANKE u. a. Vol. 1, Leipzig und Jena 1989. S. 142–151