

Hoppe, T.<sup>1</sup>; Volland, B.<sup>1</sup>; Köhler, M.<sup>2</sup>; Bergemann, B.<sup>1</sup>; Friedrich, J.<sup>1</sup>,  
 Bergakademie Freiberg<sup>1</sup>, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald<sup>2</sup>

### Abhängigkeit der Mikroorganismenpopulationen vom geochemischen Milieu

#### Einführung

Gemeinsam mit Mikrobiologen der EMAU Greifswald haben wir in einem interdisziplinären Forschungsvorhaben versucht, Stoffwechselleistungen und andere Fähigkeiten ortstypischer Mikroorganismen in geochemische Systeme zu integrieren. Damit soll die Brücke geschlagen werden, vom anorganisch chemischen Denken der Geowissenschaftler zum Verständnis geologischer Prozesse, die in relativ kurzen Zeiträumen durch die Wirkung lebender Organismen initiiert werden.

Die insgesamt höhere Schwermetall- und Nährstoffbelastung der erzgebirgischen Oberflächengewässer widerspiegelt sich nicht nur in der Zusammensetzung der mit ihnen in Wechselwirkung stehenden Fluß- und Seesedimente sondern vielleicht noch ausgeprägter im Auftreten von Organismengemeinschaften, insbesondere von Mikroorganismen mit ihren charakteristischen Stoffwechseleigenschaften und ihren spezifischen Reaktionen auf die geogen, d.h. für diese Organismen schon evolutionäre Zeiträume dauernde Beeinflussung mit Schwermetallen und Metalloiden, wie dem Arsen.

#### Regionalgeologie

Das sächsische Erzgebirge, aus dem hier drei repräsentative, umweltrelevante Probenahmepunkte ausgewählt wurden, ist nicht als homogen stark metallvererzter Bereich anzusehen. Es haben sich an geochemisch exponierten Stellen Lagerstätten gebildet, die je nach geologischer Situation, Chemismus, Stratigrafie, Tektonik und Abscheidungsmechanismen unterschiedliche Metalle bevorzugt angereichert haben. So hat sich im Westerzgebirge eine Provinz mit bevorzugt Bi-Co-Ni-As-Ag-U-Erzen um Aue-Schneeberg herausgebildet, während im Osterzgebirge v.a. im Freiberger Raum hauptsächlich Pb-Zn-Cd-As-Vererzungen auftreten.

Auch die Gesteine im Erzgebirge sind aufgrund unterschiedlicher Abtragungstiefen und differenzierter Hebungsbereiche nicht homogen verteilt.

Im Westerzgebirge existieren z.B. größere Areale angeschnittener Granitkuppeln, randlich flankierend Phyllite und im Vorland ein ausgedehntes Becken mit Rotliegendesedimenten.

Im Osterzgebirge dominieren Gneise und Glimmerschiefer, Gesteine höheren Metamorphosegrades, saure Magmatite, insbesondere Quarzporphyrgänge und kleine Granitvorkommen treten stark zurück. Eine prozentuale Aufstellung der Gesteinsanteile soll Tabelle 1 verdeutlichen.

Tabelle 1: Anstehende Gesteine in den Einzugsgebieten von:

	Zwickauer Mulde	Freiberger Mulde
Gneise und		
Glimmerschiefer	2%	55%
Phyllite	40%	20%
Granulit	10%	5%
Granite	20%	5%
Rotliegendes	15%	5%
Porphyre	2%	2%
Basite / Ultrabas.	2%	2%
Tertiäre Sed. (Löß)	5%	2%
Quartäre Sed.		
(Schotterterrassen)	2%	2%

Basite/Ultrabasite und Kalksteine, Gesteine mit höherem Ca-Anteil und hohem Schwermetall-puffervermögen haben in unserem Gebiet keine größere, sondern lediglich eng begrenzte lokale Bedeutung. Diese Zusammenhänge schlagen sich natürlich in den abgetragenen Elementgehalten nieder, die wir bei Untersuchungen der Wässer und Sedimente in beiden zu betrachtenden Gewässersystemen wiederfinden.

Die wichtigsten Unterschiede der beiden Einzugsgebiete sind aber der ausgedehnte Bergbau auf verschiedene Mineralisationen und die damit im Zusammenhang stehenden Blütezeiten des Bergbaus, sowie die hohe Besiedlungsdichte und die davon ausgehende erhöhte Belastung der Gewässer mit anthropogenen Abprodukten.

Die von den Hauptzuflüssen der Mulde transportierten Schwermetallfrachten sind in Tabelle 2 aufgeführt, wobei hier die Abflüßmengen der einzelnen Flüsse in die Berechnungen einbezogen wurden.

Tabelle 2: Von der Mulde transportierte Frachten an Schwermetallen in Tonnen pro Jahr:

Element	Mulde	Freiberger Mulde	Zwickauer Mulde	Zschopau
Pb	74	62	118	241
Cu	925	46	95	106
Zn	370	179	331	396

Tabelle 3: Einzugsgebietscharakteristik von Zwickauer und Freiburger Mulde

Größe des Einzugsgebietes	Zwickauer Mulde	Freiberger Mulde
	2353 km <sup>2</sup>	2960 km <sup>2</sup>
		ges.: 7160 km <sup>2</sup>
Länge Flußlauf	130 km	115 km
Abflußmengen	30,2 m <sup>3</sup> /s	22,6 m <sup>3</sup> /s
Besiedlungsdichte	ca. 300 EW/km <sup>2</sup>	ca. 150 EW/km <sup>2</sup>
Flächennutzung		
Waldfläche	ca. 30 %	ca. 15 %
Wiesen, Äcker LNF	ca. 60 %	ca. 75 %
Bebauung	25 Städte	15 Städte
	2 Städte	1 Stadt
	> 80 000 EW	> 50 000 EW
Talsperren	8	4
Industrie	Textil	Papier
	Maschinenbau	Holz
	Chemie	Hütten
	Papier	Textil
	Holz	Maschinenbau
		Leder
Verkehr	2 Autobahnen	1 Autobahn
Bergbau	BiCoNiAg(U) As	PbZnCd As
	SnW	BiCoNiAg(U)
		SnW
Halden	Altbergbau Ag,Co	Altbergbau Ag,Pb
	Wismut U	Altbergbau Ag,Co
	z.T. BB Sn	Sn
Hüttenwerke	Ni-Hütten Aue,	Pb-Hütten
	St. Egidien	Freiberg
		Halsbrücke
		Zn-Hütte
		Freiberg
		Sn-Hütte
		Freiberg
Aufbereitungsrückstände	Uranerzaufbereitung	Schlackenhalde
	Crossen	der o.g. Hütten
	Ind.Absetzanlagen	
	Hartenstein, Schlema,	
	St.Egidien	

### Mikrobiologie

Aufgrund der unterschiedlichen geochemischen Zusammensetzung der beprobten Provinzen sollten sich Unterschiede in den isolierten Mikroorganismen zeigen, sowohl in Bezug auf die differenzierte Nährstoffverwertung, als auch in Hinblick auf Schwermetalltoleranz und Akkumulationsfähigkeit.

Im folgenden sollen die gewonnenen mikrobiologischen Befunde für die Wasserkörper der einzelnen Ökosysteme ausgewertet werden und es soll versucht werden, den geochemischen Bezug darzustellen.

Im Münzbach Freiberg, einem kommunalen Abwasser kommen im Februar zwei Bakteriengattungen mit vier Arten vor. Es handelt sich um *Bacillus cereus*, *Bacillus circulans* und zwei *Pseudomonas* sp.. Wachstums- und Artenvielfalt hemmende Faktoren sind: Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Schwermetallgehalte v.a. von Blei, Zink und Cadmium sowie von Chromium aus den Abwässern der Chromlederfabrik in Zug bei Freiberg. *Bacillus*-Arten sind i.a. resistent gegen derartige Bedingungen, da sie Endosporen bilden können; *Pseudomonaden* haben die Fähigkeiten R-Plasmide zu tragen bzw. sie zu übernehmen.

Von den taxonomischen Merkmalen der Stoffwechselphysiologie, sind für dieses System alle bis auf die Verflüssigung von Gelatine und die  $H_2S$ -Produktion belegt. Die *Bacillus*-Arten können Nitrat veratmen, sind fakultativ anaerob und bevorzugen den Abbau von Monosacchariden, insbesondere von Glucose. Der hohe pH-Wert um ca. 8 fördert diese Umsetzung. Die *Pseudomonaden* leben obligat aerob, was eine recht gute Belüftung des Gewässers nahelegt. Eine Sulfatatmung scheint aufgrund des hohen Sulfatgehaltes von 200 mg/l und des relativ hohen Sauerstoffgehaltes nicht wahrscheinlich. Die hohe Zelldichte im Wasserkörper von mehr als  $10^8$  Zellen/ml deutet nicht auf einen Nährstoffmangel hin, Kalium, Phosphat, Magnesium und Ammonium sind in ausreichendem Maße vorhanden.

Die Schwermetalle werden am Probepunkt als Sulfate, Phosphate oder Ammoniumkomplexe vorliegen, sie sind den Organismen daher z.g.T. verfügbar, insbesondere Cadmium und Zink. Daher erstaunt es nicht, hier einen gegenüber diesen Metallen hoch toleranten Stamm zu finden: *Bacillus circulans*, der einen besonderen Abwehrmechanismus gegen Schwermetalle aufweist. Er sondert, induziert durch die Schwermetallzugabe ein Exopolysaccharid ab, welches die Metalle in hohem Maße adsorbiert und sich nach längerer Zeit zu größeren Flocken aggregiert. Der Stamm ist in der Lage bis zu 98% der Schwermetalle zu adsorbieren, wenn er lebensfähig erhalten wird.

Aus der Zwickauer Mulde konnten nur zwei fakultativ anaerobe Arten, keine obligat aeroben Organismen isoliert werden: *Escherichia coli* und *Citrobacter freundii*. Diese Tatsache und direkte Bestimmungen weisen auf einen starken Sauerstoffmangel, besonders während der Wintermonate hin. Ein aerober Abbau scheint nur kurz unterhalb der Wehre stattzufinden.

*C. freundii* ist in der Lage aus höhermolekularen schwefelhaltigen Verbindungen  $H_2S$  herzustellen, womit auch die Bindungsverhältnisse der Schwermetalle im Sediment erklärt scheinen, da diese mit Sulfidanionen schwerlösliche Metallsulfide bilden. Im Laborversuch konnte das experimentell nachgewiesen werden. Höhermolekulare Kohlenhydrate werden nur unvollständig fermentiert und bieten als organische Kohlenstoffderivate weitere Bindungsmöglichkeiten für Schwermetalle. Wasseruntersuchungen haben gezeigt, daß die Metallgehalte, besonders der schweren Elemente, wie Uranium und Blei im Muldewasser wesentlich geringer sind als angenommen. Sie liegen gebunden im Sediment vor, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

Aus dem Stausee Glauchau konnten im Gegensatz zur Zwickauer Mulde eine Vielzahl aerober Keime isoliert werden: Drei Gattungen mit acht Arten und die obligat aerob lebende Hefe *Rhodoturla*. Das deutet auf die wesentlich bessere Wasserqualität des Stausees hin, ebenso, wie die niedrigeren Schwermetallgehalte im Wasser.

Hier konnten, wie im Münzbach, alle untersuchten Stoffwechselleistungen der verschiedenen Arten nachgewiesen werden, außer der  $H_2S$ -Produktion. Die vorhandenen Nährstoffe werden unter Sauerstoffnutzung vollständig zersetzt. Einen großen Beitrag dazu leistet die ausgedehnte Oberfläche des Sees mit einer starken Wind- und Niederschlagsexposition.

Vor allem Algenmassenentwicklungen, verursacht durch das hohe Phosphatangebot aus dem Sediment, lassen alljährlich den Sauerstoffgehalt bedenklich sinken, so daß auch hier anaerobe Prozesse wie die Methanbildung auftreten. Hierbei können die Metalle als Methylmetallverbindungen in die Atmosphäre entweichen. Die Methylverbindungen und Methan konnten gaschromatografisch nachgewiesen werden.

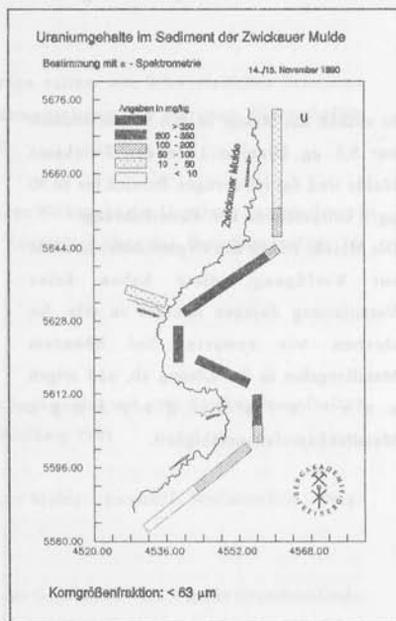


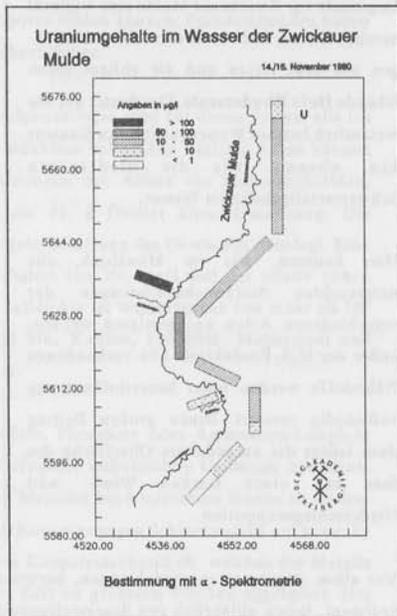
Tabelle: Metallgehalte in Wasser und Sediment des Stausees Glauchau

El.	KLOKE-Wert (ppm)	Metallgehalte in	
		Wasser (mg/l)	Sediment (ppm)
Cd	3	0,001	6,9
Pb	100	0,01	105
Cu	100	0,01	181
Zn	300	0,07	445
Ni	50	0,01	53,8

Der Großteil der Metalle ist an die im Sediment reichlich vorhandenen Phosphate gebunden und tritt nur bei der Umsetzung dieser in gelöster Form auf.

So enthält das Wasser in den Wintermonaten nur 8,6 µg Uranium/l. In der Zwickauer Mulde sind das im dortigen Bereich bis zu 40 µg/l, entsprechend der Wasserführung.

Die Metalle stehen den Organismen also nicht zur Verfügung, diese haben keine Veranlassung dagegen tolerant zu sein. Sie sterben wie erwartet bei höherem Metallangebot in der Lösung ab, und zeigen nur eine geringe Metallakkumulationsfähigkeit.



### Zusammenfassung

Aus den mikrobiologischen Untersuchungen der drei Ökosysteme ist ersichtlich geworden, daß diese zu einer näheren Charakterisierung der Wässer und zur besseren Erklärung der stattfindenden geochemischen Prozesse, v.a. des Verhaltens der Metalle im Wasserkörper und im Sediment herangezogen werden können.

Deutlich widerspiegeln sich die Einflüsse der geochemischen Provinzen, die Angepaßtheit der Organismen an bestimmte Schwermetalle ihres Herkunftsgebietes und die folgerichtig unterschiedlichen Reaktionen darauf.

Man kann aus der Artenzahl, ihren potentiellen Fähigkeiten zur Substratdestruktion und aus ihren Reaktionen auf Xenobiotika (Schwermetalle) auf die Qualität des Gewässers schließen und mögliche Grenzbelastungen eines Gewässers, sowohl mit organischen, als auch mit anorganischen Wasserinhaltsstoffen ableiten.

Es konnte nachgewiesen werden, daß aus natürlichen extrem mit Schwermetallen belasteten Ökosystemen am einfachsten und bequemsten Mikroorganismen mit extremen Eigenschaften hinsichtlich der relevanten Metalle zu isolieren sind.

Weitere Untersuchungen werden v.a. die geochemischen Wirkungen des Uraniums und des Arsens auf die Mikroorganismen klären helfen und die Kenntnisse über das Beziehungsgefüge im Ökosystem bereichern.

### Literatur

FRIEDRICH, J.: Uranium und seine Isotope in Flußsedimenten aus vom Bergbau beeinflussten Gebieten.- unveröff. Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg 1991

GREIF, A.: Schwermetalle im Wasser der Zwickauer Mulde.- unveröff. Studienarbeit, Bergakademie Freiberg 1991

SEIM, R.; TISCHENDORF, G. (Hrsg.): Grundlagen der Geochemie.- Dt. Vlg für Grundstoffind.- Leipzig - 1990 - 632 S.