

Umweltrelevanz und biochemische Vorgänge der Schwermetallakkumulation durch Mikroorganismen in belasteten Oberflächengewässern

T. HOPPE und B. VOLAND

Bergakademie Freiberg, Fachbereich Geowissenschaften
Wissenschaftsbereich Geochemie/Mineralogie

Die Schwermetallbelastung von Oberflächengewässern widerspiegelt sich in der Zusammensetzung der mit ihnen meist im Gleichgewicht befindlichen Fluß- und Stauseesedimente. Eine spezifisch hohe Schwermetalllast weisen Flüsse aus, die charakteristische geochemische Regionen des Erzgebirges entwässern. Der natürliche Schwermetalleintrag wird hier durch bergbauliche Tätigkeit über Jahrhunderte, durch hohe Industrialisierung und dichte Besiedlung verstärkt. Es besteht die dringende Veranlassung zur Sanierung dieser Fließgewässer und Stauseen.

Neben der Untersuchung der mineralogisch-geochemischen Vorgänge der Schwermetallakkumulation in Schlämmen und ihrer erneuten Mobilisierbarkeit haben wir Arbeiten mit folgenden Zielen durchgeführt:

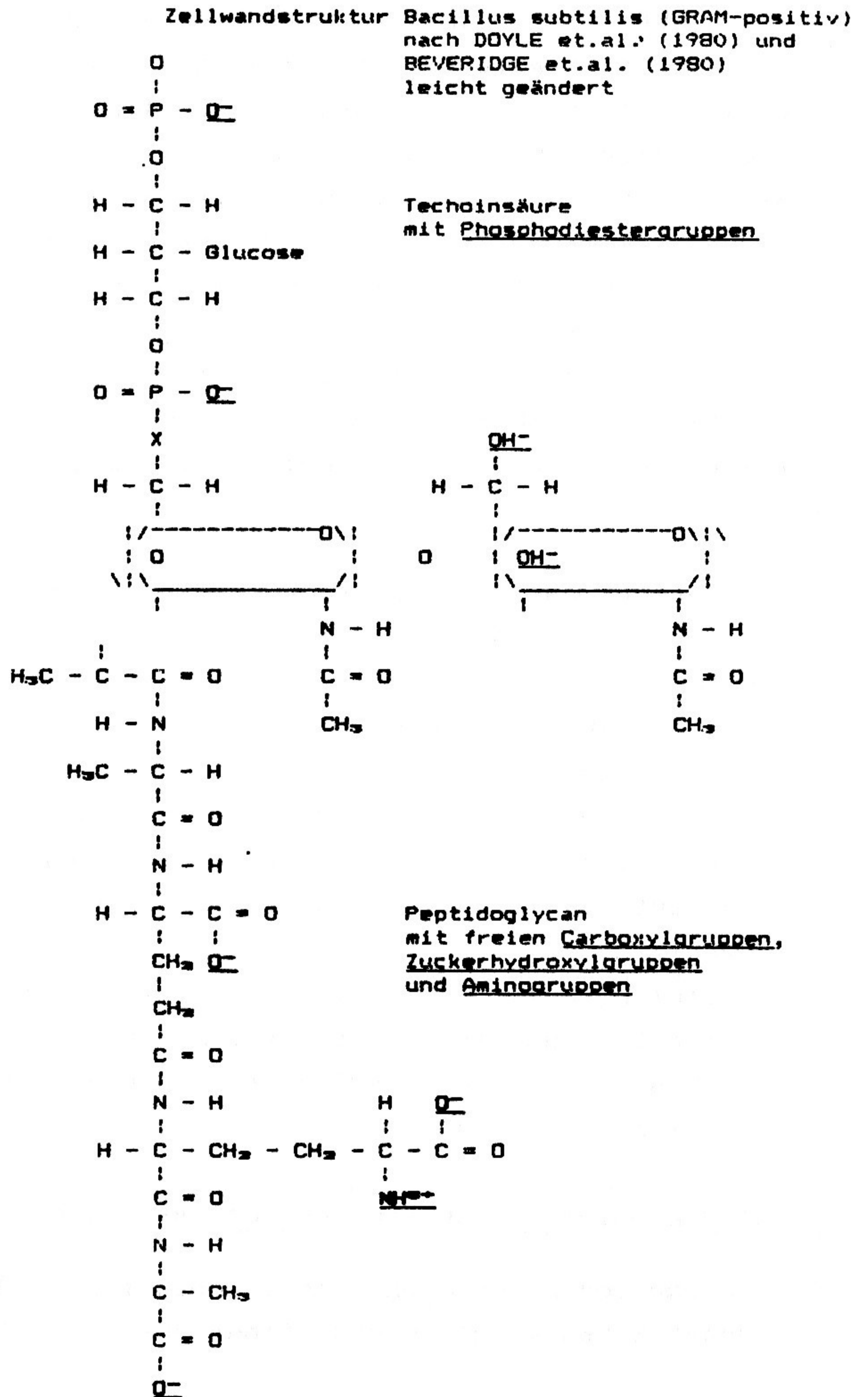
1. Weiterführende Betrachtungen über biochemische Vorgänge bei der Schwermetallakkumulation durch Mikroorganismen (VOLAND, HOPPE 1989), um die Bindungsformen der Metalle an organische Substanz besser charakterisieren zu können;
2. Untersuchungen zur gezielten Metallakkumulation an aeroben Freiwasserbakterien und des Verhaltens der Mikroorganismen auf erhöhte Metallgehalte, um die Ursachen der Metallfestlegung im Sediment zu erkennen und deren längerfristige Ausschaltung zu ermöglichen;
3. Bestimmungen zur Mobilisierbarkeit von Metallen aus belasteten Sedimenten, um die Umweltrelevanz und das Gefährdungspotential von Fluß- und Stauseesedimenten für die betroffenen Ökosysteme abschätzen zu können.

Metallakkumulation der aeroben Freiwasserbakterien und Hefen

Eine Reihe von Mikroorganismen in natürlichen Ökosystemen weisen ein hohes Schwermetallakkumulationsvermögen auf.

Anhand des schematischen Aufbaus einer bakteriellen Zellwand (Abb. 1) (nach BEVERIDGE (1980) und DOYLE (1980)) erkennt man die Stellung und die Anzahl der potentiellen Bindungsstellen, bezogen auf eine Struktureinheit, wobei Carboxyl- und Hydroxylgruppen die Metalle direkt binden können und die Amino- und Phosphodiestergruppen bei der Chelatisierung der Metalle eine große Rolle spielen (NORBERG 1983).

Abbildung 1:



Direkt an der Oberfläche der Zelle, in der sogenannten Glycocalyx können ebenfalls Metalle gespeichert werden (ALBERTS et. al. 1986). Sie besteht aus Polysaccharidresten an der Außenseite der Zellmembran sowie aus in die Zellmembran hineinreichenden Glycolipiden und Glycoproteinen. Die Zuckerreste übernehmen hier die Adsorberfunktion, bzw. die chemische Bindung der Metallionen (Abb. 2).

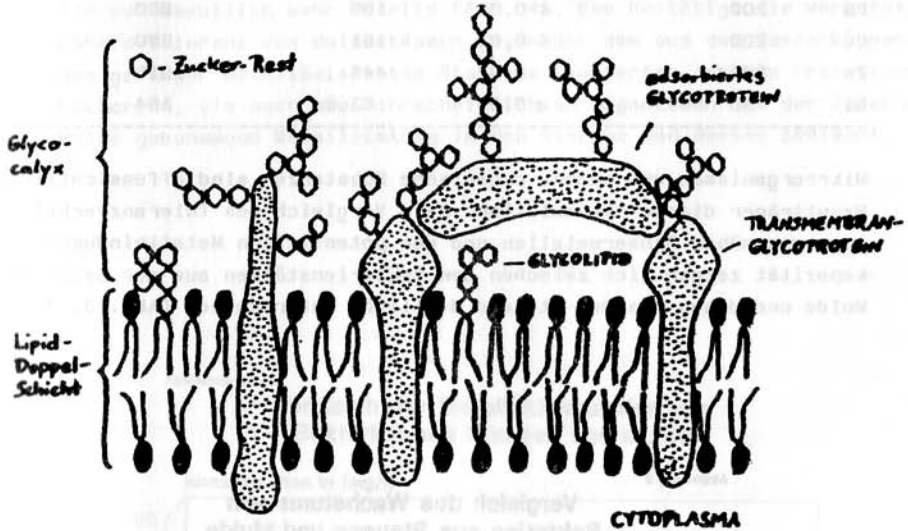


Abbildung 2: Aufbau der Zellwand mit angelagerten Oligosaccharidseitenketten (Glycocalyx) nach ALBERTS u. a. (1986)

Ergebnisse und Diskussion

Die von uns am Stausee Glauchau, der zeitweise durch die Zwickauer Mulde gespeist wird, durchgeführten Untersuchungen zeigen im Vergleich der Metallgehalte im Stauseesediment und Wasser, daß der größte Teil der Schwermetalle im Sediment (Gesamtfraktion) gespeichert wird und dabei Bodengrenzwerte nach KLOKE (1984) meist überschritten werden (Tab. 1). Hierbei ist eine Steigerung des Metallgehaltes mit der Zunahme organischer Substanz in den Proben zu verzeichnen. Beide zeigen an der Sedimentoberfläche die höchsten Werte.

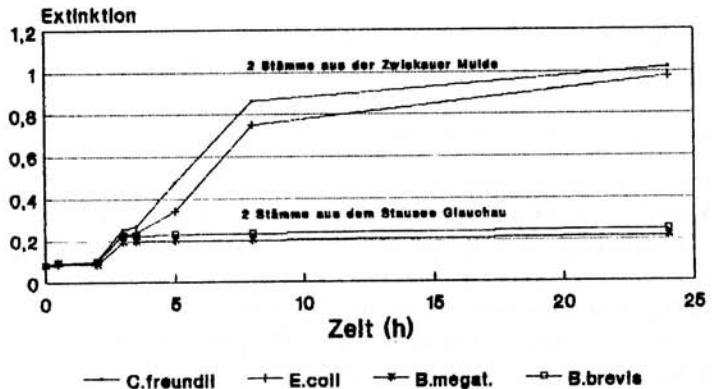
Tab. 1: Metallgehalte in Wasser & Sediment des Stausees Glauchau

Element	KLOKE-Wert in (ppm)	in (mg/l)		
		Wasser	Sediment (Ø)	Sediment(max.)
Cd	3	≤ 0,001	6,9	30,2
Pb	100	≤ 0,01	105	280
Cu	100	≤ 0,01	181	380
Zn	300	0,07	445	1016
Ni	50	≤ 0,01	53,8	164

Mikroorganismen und andere organische Substanzen sind offensichtlich Hauptträger dieser Akkumulation. Beim Vergleich des Toleranzverhaltens gegenüber Schwermetallen und der potentiellen Metallbindungs - kapazität zeigen sich zwischen den Bakterienstämmen aus der Zwickauer Mulde und denen aus dem Stausee deutliche Unterschiede (Abb. 3, 4).

Abbildung 3

Vergleich des Wachstums von Bakterien aus Stausee und Mulde

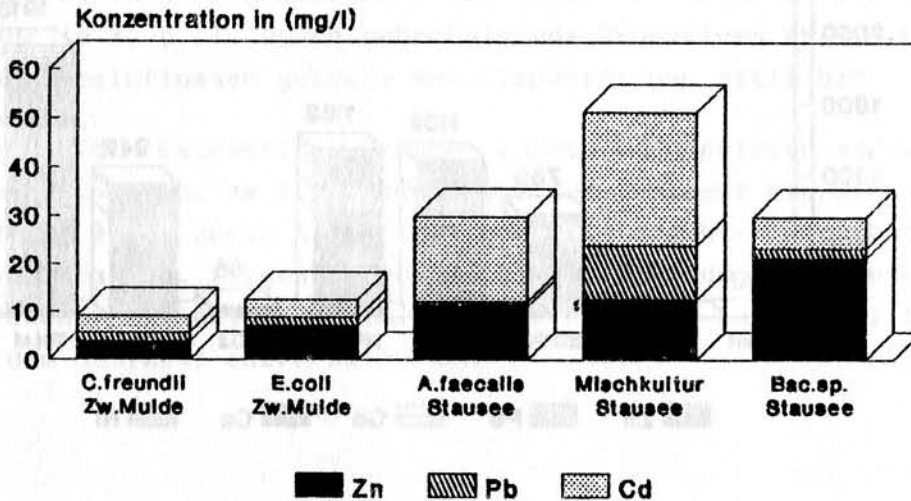


Schwermetallzugabe in die beimpfte Nährlösung (nach 2 h)

Bacillus megaterium und *Bacillus brevis* als Arten aus dem Glauchauer Stausee zeigen kein Wachstum bei derartig hohen Metallbelastungen (Abb. 3) sowie ein geringeres potentiell Metallbindungsvermögen (Abb. 4). Beide Vergleichsstämme aus der Zwickauer Mulde (*Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*) wachsen trotz Metallzugabe nach einer kurzen Adaptionszeit von 0.5 Stunden exponentiell weiter und akkumulieren wesentlich mehr Metalle (Abb. 4). Das bestätigt die vermutete höhere Toleranz von Muldestämmen gegenüber den aus dem Wasserkörper des geringer metallbelasteten Stausees isolierten aeroben Freiwasserbakterien, als auch den wahrscheinlich an Organismen aus der Zwickauer Mulde gebundenen Metalleintrag in den Stausee und dessen Sediment.

Abbildung 4

Vergleich der Metallakkumulation von Bakterien aus Stausee und Mulde



5-20 min. Expositionszeit (100 mg/l)

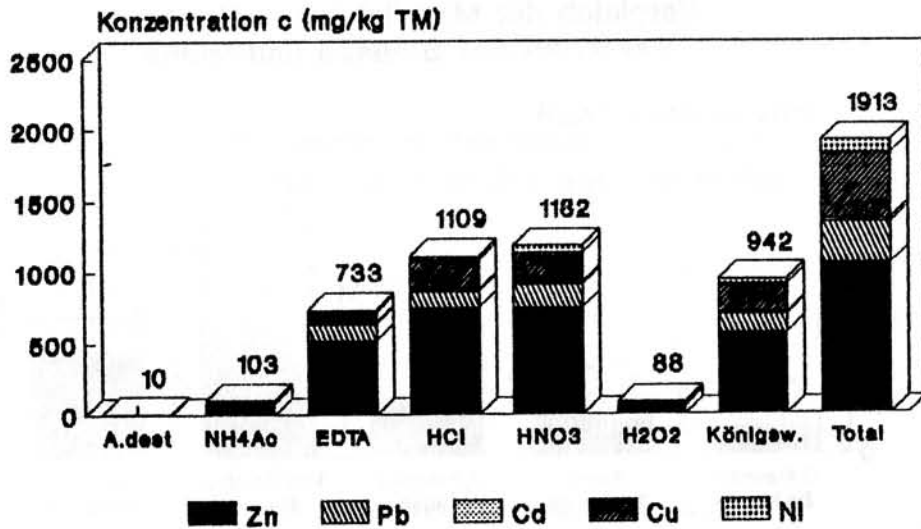
**Restmetallkonzentration in der Lösung
nach Schwermetallakkumulation**

Die Ergebnisse der Extraktionsversuche zeigt Abb. 5. Die höchsten Metallgehalte in der Extraktionslösung wurden mit 6.0M HNO₃ erreicht, ähnlich hohe mit 1.0M HCl. Trotzdem konnten nur 60 % des Gesamtmetallinhalts (HNO₃/HF-Aufschluß) in Lösung gebracht werden. Die extrahierbaren Gehalte sinken in folgender Reihenfolge:

Cd > Zn > Ni > Pb > Cu.

Abbildung 5

Desorption des Stauseefaulschlammes mit verschiedenen Extraktionsmitteln



Werte über den Balken:
Summe der extrahierten Metalle

Die nachgewiesene hohe Mobilisierbarkeit der Schwermetalle aus den Sedimenten der Oberflächengewässer stellt ein hohes Umweltgefährdungspotential dar.

Das bisher vorgesehene Ausbringen der Schlämme auf Flächen umliegender Auenböden als Sanierungsmaßnahme für diese Gewässersysteme würde unter den oxidierenden Bedingungen zur erneuten Kontamination der Wässer führen. Eine landwirtschaftliche Nutzung ist ebenfalls nicht möglich. Es bedarf daher dringend technologischer Verfahren der Schwermetalldekontamination derartiger Schlämme.

Zusammenfassung

1. Es konnte theoretisch und an elektronenmikroskopischen Aufnahmen genauer gezeigt werden, an welchen Stellen der bakteriellen Zellwand sich die Metalle anlagern und gebunden werden.
2. Nachgewiesen werden konnte, daß die aus dem Stausee Glauchau isolierte autochthone bakterielle Biomasse im Laborversuch vergleichsweise geringere potentielle Metallbindungskapazitäten als die allochthon eingeschwemmte aufweist. Die Akkumulation der Metalle findet so z. g. T. schon außerhalb des Ökosystems statt. Den Stausee selbst beeinflussen gelöste Metallspezies nur mittelbar.
3. Aufgrund der Extraktionsversuche konnte nachgewiesen werden, daß Cadmium und Zink am leichtesten aus dem Sediment remobilisierbar sind und somit durch diese Elemente eine erhöhte Intoxikationsgefahr besteht. Insgesamt können die Metalle durch Anwendung verschiedener Extraktionsmittel unspezifisch bis zu maximal 60 % aus dem Sediment entfernt werden.

Literaturverzeichnis:

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J.D.; Molekularbiologie der Zelle - Übersetzg. von L. Jaenicke - Vlg. Chemie Weinheim - 1986

BEVERIDGE, T.J.: Sites of metal deposition in the cell wall of *Bacillus subtilis*.- In: Jour. Bact.- 141 (1980) - S. 876 - 887

DOYLE, R. J.; STREIPS, U. N.; MATTHEWS, T. H.: Chemical basis for selectivity of metal ions by the *Bacillus subtilis* cell wall.- In: J. Bacteriol.- 143 (1980) - S. 471 - 480

HOPPE, T.: Schwermetallakkumulation durch Mikroorganismen in Stauseesedimenten.- Diplomarbeit - Bergakademie Freiberg - 1990

KLOKE, A., D. R. SAUERBECK und H. VETTER: The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains. In: NRIAGU, J. O. (Hrsg.): Changing metal cycles and human health. Dahlem-Konferenz 1984. Berlin - Heidelberg - New York - Tokio: Springer Verlag 1984, S. 113 - 141

NORBERG, A.: Production of extracellular polysaccharide by *Zoogloea ramigera* and its use as an adsorbing agent for heavy metals.- PhD. thesis.- Lund Univ., Lund, Sweden, 1983 - 42 S.

VOLAND, B.; HOPPE, T.: Schwermetallakkumulation an Mikroorganismen kommunaler Kläranlagen.- In: Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Leipzig 1989, Tagungsband S. 102 - 107