

ISSN 0077-6025 Natur und Mensch	Jahresmitteilungen 1994 Nürnberg 1995	Seite 79 - 84	Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg e.V. Gewerbemuseumsplatz 4 · 90403 Nürnberg
------------------------------------	--	------------------	---

Ernst Barth

Luft, Erde, Wasser – Der Weg der Schwermetalle in unserer Umwelt

Zusammenfassung

Im Bereich der Wehebachtalsperre (Nordeifel) wurden der Eintrag und das Verhalten von Schwermetallen in rezenten Sedimenten untersucht. Die Gesamtmenge und die Bindungsformen der Schwermetalle Blei, Zink, Kupfer und Cadmium bilden den Schwerpunkt der Analysen. Zur Bestimmung der Bindungsformen wurde ein sequentielles Extraktionsverfahren eingesetzt.

Die Flußsedimente sind im Vergleich zum geogenen Hintergrund mit durchschnittlich 548 ppm Blei, 2195 ppm Zink und 26 ppm Cadmium hoch belastet. Kupfer zeigt dagegen nur geringe Anreicherungen.

Die Methode der sequentiellen Extraktion zeigt die Verteilung der Schwermetalle in ihrer möglichen Bindungsform. Die höchsten löslichen Metallgehalte wurden im Wehebach und Weißen Wehebach ermittelt. Zink und Cadmium sind vorwiegend in den relativ leicht verfügbaren austauschbaren bis leicht reduzierbaren Bindungsformen festgelegt. Die Eisenoxidfraktion (mäßig reduzierbare Bindungsform) enthält hohe Kupfer- und Bleigehalte.

Die Metallzufuhr in das Untersuchungsgebiet erfolgt über den Luftpfad, geogene Quellen scheiden als Metalllieferanten weitgehend aus. Das Sorptionsverhalten der Schwermetalle wird vom pH-Wert im Wasser gesteuert. Im Roten Wehebach ist der mobilisierbare Anteil von Zink und Cadmium bei pH-Werten von <5,5 wesentlich geringer als in den übrigen pH-neutralen Gewässern. Im Weißen Wehebach ist die zeitliche Varianz der Zink- und Cadmium-Gehalte auf Abflußschwankungen zurückzuführen.

Bei anhaltender Gewässerversauerung ist mit einer kontinuierlichen Mobilisierung sedimentär gebundener Schwermetalle zu rechnen.

Einleitung

Rezente Sedimente tragen innerhalb der Ökosphäre als „natürliche“ Metallsenken in entscheidendem Maße zur Regulierung der Stoffkreisläufe bei (FÖRSTNER & MÜLLER 1974). Die zunehmende Belastung von Sedimenten, Böden und Wässern mit Schwermetallen führt zu einer langfristigen Beeinträchtigung der natürlichen Systeme.

Für Schwermetallverbindungen aus anthropogenen und geogenen Quellen wirken die Gewässersedimente als Filter- und Puffersystem. Die Schwermetalle werden vor allem in den feinkörnigen Fraktionen der Gewässersedimente durch Sorptionsprozesse angereichert. Dieser Prozeß bewirkt bis zu einem gewissen Grad die Selbstreinigung der Gewässer, indem lösliche Schwermetallverbindungen aus dem Wasserkörper entfernt werden.

Ziel der Untersuchungen ist der anthropogene Schwermetalleintrag in rezenten Sedimenten. Zunächst wurde eine Bestandsaufnahme der Schwermetallgehalte in Flußsedimenten der Nordeifel durchgeführt. Die Metallgehalte wurden bestimmt, um im Vergleich mit Hintergrundwerten die Metallanreicherungen in den einzelnen Gewässerabschnitten ermitteln zu können. Als Untersuchungsmaterial diente die Kornfraktion <63 µm, die zum überwiegenden Teil am fluviatilen Stofftransport beteiligt ist. Zusätzlich wurden unter Anwendung eines sequentiellen Extraktionsverfahrens die Bindungsformen von Blei, Zink, Kupfer und Cadmium erfaßt.

Das Arbeitsgebiet

Das Arbeitsgebiet befindet sich im nordwestlichen Teil der Eifel, ca. 18 km südöstlich von Aachen. Das dicht bewaldete Areal wird morphologisch durch den Härtingszug des Hohen Venns geprägt. Die Geologie im Untersuchungs-

gebiet wird durch die phyllitisch-quarzitischen Schichten des Kambro-Ordoviziums bestimmt. Die Böden im zentralen Teil des Hohen Venns bestehen aus flachgründigen Pseudogleyen, die sich über den phyllitischen Tonschiefern und Quarziten gebildet haben. Die geringe Wasserdurchlässigkeit führt stellenweise zur Bildung ausgedehnter Staunässeflächen. In der Nordeifel wurden zahlreiche Talsperren angelegt, die zusammen das Trinkwasserreservoir für den Aachen-Kölner Raum bilden. Die 1981 fertiggestellte Wehebachtalsperre hat ein Einzugsgebiet von 69,5 km², welches die Zuflüsse des Roten und Weißen Wehebaches sowie den im Abstrom gelegenen Wehebach umfaßt (Abb. 1).

Probenahme und Methodik

Im Randbereich der Wehebachtalsperre sowie in den Zu- und Abflüssen der Talsperre wurden mit einem Glasschöpfer insgesamt 96 Proben oberflächennaher Sedimente (bis zu einer Tiefe von 5 cm) entnommen. Gleichzeitig wurde der pH-Wert des Wassers bereits im Gelände bestimmt. Die Probenahme erfolgte innerhalb eines Jahres (1989-1990) viermal im Abstand von drei Monaten. Die Untersuchung der Bindungsformen erfolgte mit einer Extraktionssequenz, die von FÖRSTNER (1983) modifiziert wurde (Tab. 1).

Ergebnisse

Schwermetallgehalte

Im Vergleich der untersuchten Gewässer zeigt sich eine starke Variation der sedimentär ge-

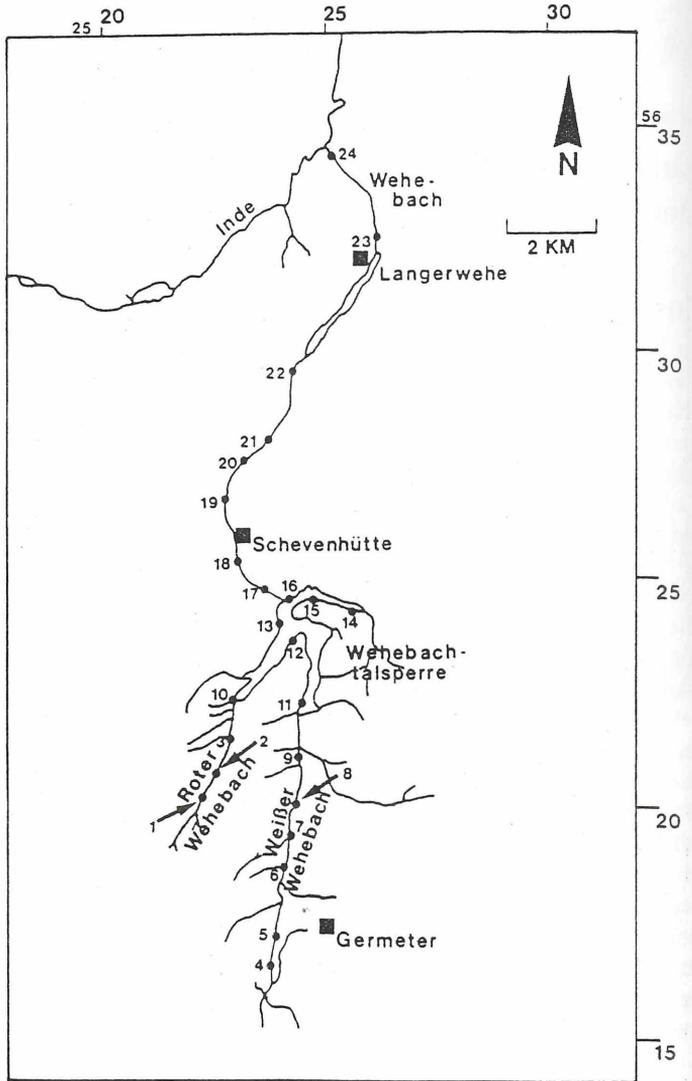


Abb.1: Verlauf der untersuchten Gewässer sowie Lage der Probenahmestellen

bundenen Metallgehalte. Die höchsten Konzentrationen von Pb, Zn, Cd und Cu sind in den Sedimenten des Wehebaches ermittelt worden. Dort wird Cadmium bis zum 87fachen des Hintergrundwertes angereichert (Tabelle 2). Der Weiße Wehebach als Zufluß zur Talsperre weist sehr hohe Zn- und Cd-Gehalte auf. In den Sedimenten des Roten Wehebaches und der Wehebachtalsperre sind die Metallgehalte dagegen wesentlich geringer. Cadmium weist in allen Gewässern die höchsten Anreicherungsfaktoren auf.

1. Bestimmung der austauschbaren Kationen	1M Ammoniumacetat bei pH 7, Feststoff : Lösung 1 : 20, Schüttelzeit 2 Std.
2. Karbonatische Bindungsformen	1M Natriumacetat, mit Ammoniumacetat eingestellt auf pH 5, Feststoff : Lösung 1 : 20, Schüttelzeit 5 Std. bei 20° C
3. Leicht reduzierbare Phasen	0,1M Hydroxylammoniumhydrochlorid, mit 0,01M HNO ₃ eingestellt auf pH 2, Feststoff : Lösung 1 : 100, Schüttelzeit 12 Std.
4. Mäßig reduzierbare Phasen	0,2M Ammoniumoxalat und 0,2M Oxalsäure, pH 3, Feststoff : Lösung 1 : 100, Schüttelzeit 24 Std. im Dunkeln
5. Organische Bindungsformen und Sulfide	30 %ige Wasserstoffperoxid und Salpetersäure, pH 2, 85° C, mit 1M Ammoniumacetat ausschüteln, Feststoff : Lösung 1 : 100, Schüttelzeit 24 Std.

Tab.1: Beschreibung der angewendeten Extraktionssequenz (modifiziert nach FÖRSTNER 1983)

	RW	WW	WT	W	TGS
Pb	200 (10)	216 (11)	210 (11)	548 (27)	20
Zn	239 (3)	1053 (11)	522 (5)	2195 (23)	95
Cu	28 (0,6)	43 (1)	22 (0,5)	96 (1,5)	45
Cd	3 (10)	24 (80)	5 (17)	26 (87)	0,3

Tab. 2: Durchschnittsgehalte von Blei, Zink, Kupfer und Cadmium in den Fluß- und Talsperrensedimenten des Wehebachs, Angaben in ppm; RW = Roter Wehebach, WW = Weißer Wehebach, WT = Wehebachtalsperre, W = Wehebach, TGS = Tongesteinstandard, Anreicherungs-faktoren in Klammern

pH-Wert der Wässer

Die in den Gewässern gemessenen pH-Werte variieren im Jahresverlauf zwischen pH 4,9 im Roten Wehebach und pH 7,2 im Wehebach. Der mittlere pH-Wert aller Gewässer liegt mit pH 6,2 unter dem natürlichen pH-Wert von 7, der für Oberflächenwässer angegeben wird.

Bindungsformen der Schwermetalle

Mit der sequentiellen Extraktion läßt sich die Mobilisierung von Metallen aus Sedimenten experimentell nachvollziehen. Hierbei werden die auf verschiedene Bindungsformen (Tonminerale, Karbonate, Fe-Mn-Oxide, organische Substanz) entfallenden Schwermetallanteile ermittelt.

Insgesamt lassen sich aus den Gewässersedimenten mehr als 2/3 der gebundenen Metalle mit der Extraktionssequenz in Lösung bringen. Die nicht extrahierbaren Metallanteile sind in fester Bindungsposition an kristalline Fe-Oxide oder in silikatischer Form fixiert und haben eine nur geringe umweltrelevante Bedeutung.

Die Wehebachsedimente weisen die höchsten

		RW	WW	WT	W
n		12	24	28	32
Pb	ppm	193	198	191	509
	%	18	18	17	47
Zn	ppm	164	793	378	1869
	%	5	25	12	58
Cu	ppm	31,7	42,6	25	84,4
	%	17	23	14	46
Cd	ppm	4,7	22,7	8,4	25,3
	%	8	37	14	41

Tab. 3: Extrahierbare Metallgehalte und deren relativer Anteil in den Fluß- und Talsperrensedimenten (Fraktion < 63 µm). RW = Roter Wehebach, WW = Weißer Wehebach, WT = Wehebachtalsperre, W = Wehebach; n = Anzahl der Analysen

Metallgehalte der untersuchten Gewässer auf (Tabelle 3). Der Weiße Wehebach ist durch erhöhte Gehalte der mobilen Elemente Zn und Cd gekennzeichnet.

Die geringsten Metallanteile entfallen mit weniger als 10 % auf die austauschbare und organisch/sulfidische Fraktion (Abbildung 2). Mit einem Anteil von über 50 % werden die Schwermetalle hauptsächlich an Fe-Mn-Oxide (leicht

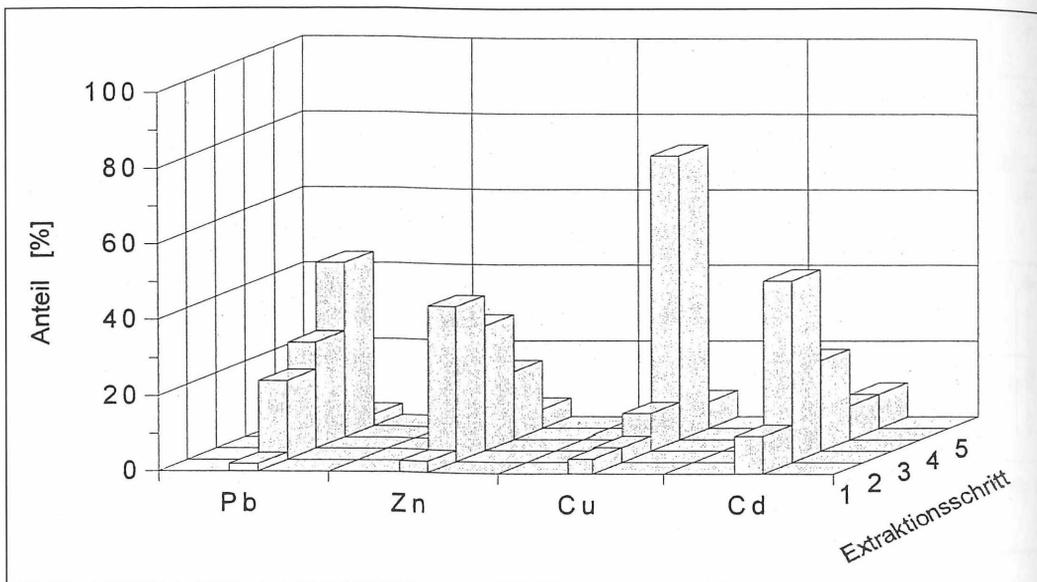


Abb.2: In den einzelnen Extraktionsschritten freigesetzte relative Metallanteile

und mäßig reduzierbare Fraktion) gebunden. Die hohen im 2. Extraktionsschritt ermittelten Cd- und Zn-Gehalte lassen sich in einer vorwiegend durch Quarzite und Phyllite bestimmten Lithologie nicht durch einen erhöhten Karbonatgehalt der rezenten Sedimente erklären. Im zweiten Extraktionsschritt werden vermutlich Mn-Oxide teilweise mitgelöst und die daran gebundenen Schwermetalle freigesetzt. Damit werden die Grenzen des Extraktionsverfahrens bezüglich der phasenspezifischen Zuordnung aufgezeigt. Das Verfahren erlaubt keine selektive Zuordnung der einzelnen Elemente zu den Bindungsformen (FÖRSTNER & CALMANO 1982).

Aufgrund der hohen Mobilität von Cd kann dieses Element in den ersten beiden Schritten bis zu 60 % extrahiert werden. Dagegen machen die austauschbar gebundenen Schwermetallanteile von Blei, Zink und Kupfer weniger als 4 % der gesamtextrahierbaren Metallgehalte aus (Abbildung 2). Im Weißen Wehebach, der Wehebachtalsperre und dem Wehebach wird die Sorption der mobilen Elemente Cd und Zn im pH-Bereich 6-7 begünstigt. In den Bachsedimenten des Roten Wehebach liegt austauschbares Zink und Cadmium infolge der niedrigen pH-Werte im Wasser in deutlich niedrigeren Konzentrationen vor. Besonders in den Flußsedimenten des Wehebaches werden Zink und Blei bevorzugt in oxidischer Form an Mn-Oxide gebunden.

Die leicht und mäßig reduzierbare Fraktion wird von den hohen Cu- und Pb-Anteilen dominiert. Kupfer ist im Untersuchungsgebiet zu 75 % an amorphe Fe-Oxide gebunden, wobei die größten Cu-Gehalte im Wehebach gemessen wurden (Abbildung 2). Im Roten Wehebach entfallen auf die Fe-Oxidfraktion mehr als die Hälfte der Pb-Gehalte. Die leicht mobilisierbaren Elemente Zn und Cd sind im 4. Extraktionsschritt mit weniger als 20 %, vertreten. Mit steigenden Mn- und Fe-Konzentrationen ist eine proportionale Zunahme der im Sediment fixierten Zn-Pb-Gehalte (leicht reduzierbare Fraktion) und Pb-Cu-Gehalte (mäßig reduzierbare Fraktion) verbunden. Im Roten Wehebach wird die Metallfixierung an die Fe-Oxide durch den relativ niedrigen pH-Wert von 5,3 nachhaltig beeinflusst.

Zeitliche Veränderungen der Schwermetallgehalte

Die Metallkonzentrationen der Flußsedimente hängen von der im Jahresverlauf wechselnden Wasserführung und der damit verbundenen Resuspendierung des Sedimentmaterials ab. Im Verlauf eines Jahres ergeben sich die größten Abflussschwankungen für den Weißen Wehebach. Als Folge davon sind in den Flußsedimenten deutliche Schwankungen der Metallgehalte festgestellt worden. Die Beprobung im Februar

mit hohen Wasserständen ergab geringere Pb-, Zn- und Cd-Gehalte im Sediment.

Diskussion

Aus der Berechnung der Anreicherungsfaktoren geht hervor, daß die Konzentrationen von Blei, Zink und Cadmium in den Sedimenten auf der gesamten Gewässerstrecke die jeweiligen geochemischen Hintergrundwerte deutlich übersteigen (Tabelle 2). Hoch belastet ist der Wehebach, in dem neben den Luftschadstoffen auch urbane Einleitungen eine große Rolle spielen. Im Einzugsgebiet der Wehebachtalsperre ist der Weiße Wehebach durch seine überdurchschnittliche Anreicherung von Zink und Cadmium gekennzeichnet. Es zeigt sich, daß auch kleine Gewässer ohne urbane Einleitungen in einem beträchtlichen Ausmaß belastet sein können. Die Belastung der Wehebachsedimente mit Blei, Zink und Cadmium entspricht weitgehend der Metallbelastung wesentlich größerer Ströme wie Rhein, Elbe, Donau, Weser oder Lippe (FÖRSTNER & MÜLLER 1974, KLENKE et al. 1986, LICHTFUSS & BRÜMMER 1981).

Die auf die einzelnen Bindungsformen entfallenden Metallanteile bestätigen die unterschiedliche Mobilität der Metalle. Zink und Cadmium treten vorwiegend in den relativ leicht verfügbaren austauschbaren bis leicht reduzierbaren Bindungsformen auf. Kupfer und Blei überwiegen in der schwer extrahierbaren Eisenoxidfraktion. Die Bindung in austauschbaren Positionen ist hauptsächlich für Cadmium und Zink von Bedeutung, wobei das Sorptionsverhalten vom pH-Wert des Wassers gesteuert wird.

Bei pH-Werten im Bereich von 6-7, wie sie im Wehebach, dem Weißen Wehebach und der Wehebachtalsperre vorherrschen, wird die Sorption der Metalle an Feststoffe begünstigt. Mit einem mittleren pH-Wert von 5,3 ist im Roten Wehebach der pH-Bereich für eine beginnende Mobilisierung von Zink und Cadmium bereits unterschritten worden (TREFRY & METZ 1984). Aus diesem Grund verlassen dem Roten Wehebach durch Oberflächenwasser zugeführte Metallionen das Gewässer in gelöstem Zustand und werden erst in den gepufferten Wässern der Talsperre reabsorbiert (Tabelle 3).

Kupfer, Blei und geringere Anteile von Zn sind relativ fest an Fe-Mn-Oxide gebunden. Aus die-

sen Positionen sind die Metalle nur durch reduzierende Prozesse zu lösen. Zink und Blei werden jeweils zu rund 1/3 der gesamtextrahierbaren Metallgehalte an die leicht reduzierbare Fraktion gebunden. Die hohe Sorptionskapazität der Mn-Oxide (GUY & CHAKRABARTI 1975, JENNE 1977) für Blei und Zink kann in den eigenen Untersuchungen bestätigt werden.

An amorphe Fe-Oxide sind bevorzugt die weniger mobilen Schwermetalle Kupfer und Blei in stabilerer Position festgelegt. In Verbindung mit erhöhten Fe-Gehalten im Sediment ist Blei im Roten Wehebach und im Wehebach mit mehr als 40 % in der Eisenoxidfraktion vertreten. Kupfer ist in allen Gewässern hauptsächlich an Fe-Oxide gebunden. Die hohen Schwermetallanteile von Cu und Pb sind charakteristisch für die Sorption der Elemente an Fe-Oxide (JENNE 1977).

Im fünften Schritt werden die an organische oder sulfidische Komponenten gebundenen Schwermetallanteile gelöst. Eine Unterscheidung der beiden Bindungsformen ist mit dem Verfahren der sequentiellen Extraktion derzeit nicht möglich (FÖRSTNER & CALMANO 1982). Für die Metallsorption spielt die organische Fraktion ähnlich der austauschbaren Fraktion keine bedeutende Rolle.

Periodische Variationen der Schwermetallgehalte sind für den Weißen Wehebach festgestellt worden, der im Jahresverlauf starken Abflussschwankungen mit erhöhter Erosionstätigkeit unterliegt. Damit ist eine signifikante Abnahme der Zn- und Cd-Gehalte in den Flußsedimenten verbunden, während Blei und vor allem Kupfer eine stärkere Feststoffbindung aufweisen. Die hohen Gehalte in den leicht mobilisierbaren Fraktionen lassen darauf schließen, daß beide Elemente im Interstitialwasser angereichert sind und bei Erosionsereignissen an den Wasserkörper abgegeben werden.

Eine überdurchschnittliche Anreicherung von Blei, Zink und Cadmium in den Böden des Untersuchungsgebietes konnte bereits von verschiedenen Autoren nachgewiesen werden (BLUM 1990, FREY-WEHRMANN 1990). Als Quelle der Metallanreicherungen scheiden die Gesteine des Arbeitsgebietes weitgehend aus.

Primär geht die großflächige Kontamination der Sedimente auf den atmosphärischen Eintrag von Schwermetallen zurück, die aus der Erzverarbeitung im westlich gelegenen Pb-Zn-Erzbergbau-

revier von Aachen-Stolberg stammen. Mit den vorherrschenden Westwinden werden die Schwermetalle in die Nordeifel transportiert. Im Untersuchungsgebiet wird die Ablagerung der Schadstoffe durch die auskämmende Wirkung der Nadelhölzer (Interception) noch verstärkt.

Schlußfolgerungen

Langfristig ist für das Untersuchungsgebiet eine Entwicklung zu erwarten, die von der zunehmenden Versauerung der Gewässer gesteuert wird. Einzugsgebiete mit geringmächtigen, sauren Böden auf Quarziten, zu denen auch das Untersuchungsgebiet zählt, sind besonders versauerungsempfindlich (MATSCHULLAT 1989). Schon geringfügige Verschiebungen zu niedrigeren pH-Werten bewirken die Freisetzung von Schwermetallen, wobei Zink und Cadmium zuerst gelöst werden. Der großflächige Eintrag von Säuren und Schwermetallen hat in dem pufferungsschwachen Gebiet der Nordeifel zu einer Versauerung der Böden geführt, so daß die mobilerelemente bereits gelöst und in die Vorfluter transportiert wurden. Mit weiter absinkenden pH-Werten wird auch Blei zunehmend von Lösungsprozessen betroffen sein. Mit dem Fortschreiten der Versauerungsfront von den Böden in die Gewässer werden auch die sedimentär gebundenen Schwermetalle schließlich remobilisiert. Es konnte gezeigt werden, daß im Roten Wehebach keine wirksame Festlegung von Zink und Cadmium im Sediment mehr erfolgt. Der pH-Wert ist bereits in einen Bereich abgesunken, in dem die metallbegrenzende Funktion der Sedimente für die Gewässer verlorengeht. Dieser Prozeß wird mittel- bis langfristig zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung und der aquatischen Lebewelt führen. Schon jetzt wird der Talsperre aus dem Weißen Wehebach schwermetallhaltiges Sedimentmaterial zugeführt, dessen Resuspendierung auf die erhöhte Abflußmenge im Winter zurückzuführen ist. Besondere Bedeutung kommt dabei dem schon bei leicht sauren pH-Werten mobilisierbaren Cadmium zu, welches ein hohes toxisches Potential aufweist. Eine langfristige Schadensminderung läßt sich wiederum nur erreichen, wenn die Schadstoffemissionen insgesamt drastisch herabgesetzt werden.

Literatur:

- BLUM, M. (1990): Ökorelevante Elemente in den Böden des Untersuchungsgebietes - Kreis Düren, NW. - Diplomarbeit RWTH Aachen, 143 S., unveröffentlicht
- FÖRSTNER, U. (1983): Bindungsformen von Schwermetallen in Sedimenten und Schlämmen: Sorption/Mobilisierung, chemische Extraktion und Bioverfügbarkeit. - Fresenius Z. Anal. Chem., 316, 604-611
- FÖRSTNER, U. & CALMANO, W. (1982): Bindungsformen von Schwermetallen in Baggerschlämmen. - Vom Wasser, 59, 83-92
- FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. - Springer Verlag, 225 S.
- FREY-WEHRMANN, S.G. (1990): Bindungsformen von Blei, Zink, Cadmium und Kupfer in Böden der nördlichen Eifel. - Mitteilungen zur Mineralogie und Lagerstättenkunde RWTH Aachen, 36, 198 S.
- FRIEDRICH, G., SCHEPS, V., KEYSNER, S., VOGTMANN, J., VOGTMANN, R., KRAHN, L. & SÄNGER VON OEPEN, P. (1986): Untersuchung lagerstättenhöflicher Bereiche in der nördlichen Eifel durch Aufschlußbohrungen. - BMFT-Endbericht
- GUPTA, S.K. & CHEN, K.Y. (1975): Partitioning of trace metals in selective chemical fractions on nearshore sediments. - Environ. Letts., 10, 129-158
- GUY, R.D. & CHAKRABARTI, C.L. (1975): Distribution of metal ions between soluble and particulate forms. - Abstr. Int. Conf. Heavy Met. Environ. Toronto, Ont., Can., D 29-30
- JENNE, E.A. (1977): Trace element sorption by sediments and soils - sites and processes. In: Chappell, W. & Peterson, K. (Eds.) Symposium on molybdenum. - Marcel Dekker, New York, Vol. 2, 425-553
- KLENKE, T., OSKIERSKI, W., POLL, K.G. & REICHEL, B. (1986): Sedimente, Humin- und Fulvosäuren - Indikatoren zur Schwermetallbelastung von Flußsystemen, aufgezeigt am Beispiel der mittleren Lippe/NRW. - GWF-Wasser/Abwasser, 127, 650-657
- LICHTFUSS, R. & BRÜMMER, G. (1981): Natürlicher Gehalt und anthropogene Anreicherung von Schwermetallen in den Sedimenten von Elbe, Eide, Trave und Schwentine. - Catena, 8, 251-264
- MATSCHULLAT, J. (1989): Umweltgeologische Untersuchungen zu Veränderungen eines Ökosystems durch Luftschadstoffe und Gewässerversauerung (Sösemulde, Harz). - Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, 42, 110 S.
- TREFRY, J.H. & METZ, S. (1984): Selective leaching of trace metals from sediments as a function of pH. - Anal. Chem., 56, 745-749
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. (1961): Distributions of the elements in some major units of the earth's crust. - Bull. Geol. Soc. Am., 72, 175-192

Anschrift des Autors:
Dr. Ernst Barth
 Buschstr. 3a
 52222 Stolberg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [1994](#)

Autor(en)/Author(s): Barth Ernst

Artikel/Article: [Luft, Erde, Wasser - Der Weg der Schwermetalle in unserer Umwelt 79-84](#)