

Biologische Monitoringverfahren als Methode zur Erfassung und Beurteilung von Schadstoffen in Fließgewässern

Dieter Busch, Birgit Jathe, Bastian Schuchardt und Michael Schirmer

Synopsis

The application of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* (PALLAS) for the active bio-monitoring of heavy metals in river ecosystems was tested in several control stations of the water authorities on the Weser, Aller and Hunte. *Dreissena polymorpha* is a suitable tool for a biological monitoring of pollutants in freshwater systems, similar to *Mytilus edulis* in marine environments.

biomonitoring, Dreissena polymorpha, freshwater, heavy metal, mussels, river, Weser

1. Einleitung

Die behördliche Gewässerüberwachung erfaßt die Konzentrationen einiger der als Risikofaktoren angesehenen Schadstoffe durch direkte Messungen, entweder im Wasser selbst oder aber in den Gewässersedimenten. Die erhobenen Daten geben Auskunft über die Konzentrationen der untersuchten Schadstoffe in den betrachteten Kompartimenten (Quantitäten), sagen aber wenig über das Ausmaß der Gefährdung der Biozönose durch diese Schadstoffe aus (Qualitäten). Es ist notwendig, zur sinnvollen Ergänzung der routinemäßigen behördlichen Überwachungsprogramme, geeignete Methoden für ein biologisches Monitoring von Schadstoffen und deren Bioverfügbarkeit zu entwickeln. Da Organismen verschiedene Schadstoffe in hohem Maße anreichern können, wird gleichzeitig der analytische Aufwand erheblich herabgesetzt.

Filterierende Organismen, z. B. Muscheln, sind für einen solchen Einsatz besonders geeignet. Untersuchungen zur Verwendung von Muscheln für ein Biomonitoring ("Mussel watch") von Schwermetallen, chlorierten Kohlenwasserstoffen und Radionukliden in marinen Ökosystemen sind seit den 70er Jahren bekannt (FARRINGTON & al. 1983). Die Sensitivität der Süßwassermuschel *Dreissena polymorpha* (PALLAS) für ein aktives Schwermetallbiomonitoring wurde anhand von bereits bekannten Belastungsunterschieden in verschiedenen Abschnitten des Wesersystems untersucht. Hierbei wurden Dreissenen mit geringer Vorbelastung in das zu untersuchende Ökosystem eingebracht, nach einer bestimmten Expositionsdauer wieder entnommen und die Schadstoffkonzentrationen im Weichkörper analysiert.

Die Salinität des Weserwassers ist durch die Abwässer der Kaliindustrie stark erhöht, während Aller und Hunte nicht durch Salzabwässer belastet sind. Die Belastungen der Weser und ihrer Nebenflüsse mit Schwermetallen weisen starke Konzentrationsunterschiede auf. Bedingt durch die Altlasten des Erzbergbaus im Harz, ist die Aller hoch mit Blei, Zink und Cadmium belastet (BUSCH & al. 1989). Bei einer Eignung von *D. polymorpha* zum Biomonitoring müssen sich diese Belastungsunterschiede im Weichkörper der exponierten Muscheln wiederfinden lassen.

2. Material und Methode

Expositionsorte waren behördliche Meßstationen, die Weserstationen DRAKENBURG (DRB, km 278, oberhalb des Allerzuflusses) und INTSCHEDE (INT, km 330, unterhalb des Allerzuflusses) sowie die Allerstation (VER) in Verden. Eine weitere Exposition von Tieren erfolgte in der Hunte

(OLH), einem Nebenfluß der Unterweser, unterhalb Oldenburgs (Abb. 1). Pro Station wurden etwa 100 Muscheln aus einem Gewässer mit geringer Schwermetallbelastung in Polyethylengefäßen in den Durchflußsystemen der Stationen ausgesetzt. Jeweils 20 Muscheln wurden nach ca. sechs bzw. zwölf Wochen entnommen und als Einzeltiere auf ihre Anreicherung von Schwermetallen im Weichkörper untersucht. Die Konzentrationen von Cadmium, Chrom, Blei und Nickel wurden durch AAS mit der Graphitrohrtechnik untersucht, Zink und Kupfer wurden mittels der Flammtechnik analysiert. Die Ergebnisse folgender Expositionsläufe werden dargestellt :

AR-01 (6)	02.11.87 - 15.12.87;	AR-01 (12)	02.11.87 - 26.01.88;
AR-02 (6)	15.12.87 - 26.01.88;	AR-03 (6)	15.05.88 - 30.07.88;
AR-03 (12)	15.05.88 - 24.08.88;	AR-04 (12)	18.10.89 - 20.01.90;

(AR-01 (6) = Expositionslauf Nr. 1, 6 Wochen Expositionszeit)

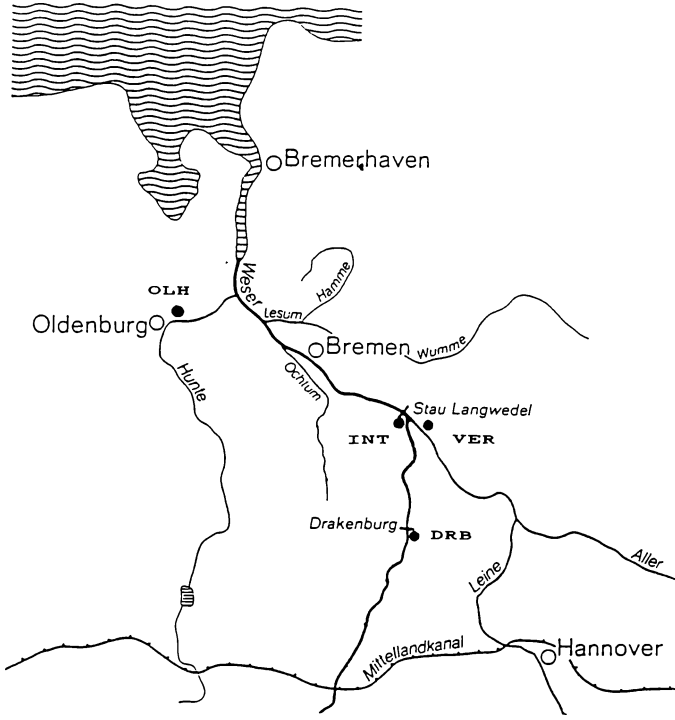


Abb. 1: Lage der Expositionsorte

3. Ergebnisse

An den Weserstationen werden behördlicherseits die Schwermetallkonzentrationen im Gesamtwasser routinemäßig in 2-Wochen-Mischproben gemessen, an Aller- und Huntestationen werden pro Jahr zwei Einzelproben untersucht. Im Allerwasser wurden hierbei in den Jahren 1987/88 Bleikonzentrationen von 5,0-9,0 µg/l und Zinkkonzentrationen von 48-67 µg/l festgestellt. Die hohen Blei- und Zinkbelastungen des Allerwassers führen unterhalb des Allerzuflusses zu einem deutlichen Ansteigen der Konzentrationen im Weserwasser (Tab. 1). Für Chrom, Nickel und Kupfer ergeben sich keine deutlichen Belastungsunterschiede zwischen Weser und Aller. Die Cadmiumbelastung kann nur schlecht beurteilt werden, da die Konzentrationen im Gesamtwasser meist unter der Nachweisgrenze (0,5 µg/l) liegen. Eine sehr hohe Cadmiumbelastung der Allersedimente ist jedoch bekannt (SCHIRMER & al. 1989).

Tab. 1: Gewichtete Mittelwerte der Schwermetallkonzentrationen im Gesamtwasser an den Weiserstationen im Expositionszeitraum.

Berechnet auf der Grundlage der Messungen in 2-Wochen-Mischproben (ARGE-Weser 1987-1989). Nachweisgrenzen für die einzelnen Metalle: Cd 0,5 µg/l, Cr 2 µg/l, Pb 1 µg/l. Liegen nur einzelne Proben unterhalb der Nachweisgrenze, wurden diese mit einem Wert von 75 % der Nachweisgrenze geschätzt und gingen in die Berechnung mit ein.

Sechswöchige Expositionen

	AR-01		AR-02		AR-03	
	DRB	INT	DRB	INT	DRB	INT
Pb	1.5 ± 2.0	6.1 ±22.5	1.6 ± 3.3	3.4 ± 6.6	< 1.0	1.7 ± 5.1
Cd	< 0.5	0.9 ± 2.6	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cr	< 2.0	1.7 ± 0.9	< 2.0	1.8 ± 1.4	1.8 ± 2.6	< 2.0
Ni	5.3 ± 3.6	3.9 ± 5.3	4.5 ± 6.1	3.8 ± 6.0	7.3 ±13.1	6.4 ± 8.3
Zn	16.4 ±11.5	22.1 ±17.1	12.1 ±16.4	25.1 ±30.0	10.3 ± 8.8	14.8 ± 9.8

Zwölfwöchige Expositionen

	AR-01		AR-03		AR-04	
	DRB	INT	DRB	INT	DRB	INT
Pb	1.6 ± 2.8	4.8 ±17.3	0.8 ± 0.6	1.6 ± 4.5	1.0 ± 1.0	1.5 ± 3.5
Cd	< 0.5	0.6 ± 2.1	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cr	< 2.0	1.7 ± 1.2	1.7 ± 2.3	< 2.0	1.7 ± 1.7	2.5 ± 3.3
Ni	4.9 ± 5.2	3.8 ± 5.7	6.6 ±12.2	6.7 ± 8.8	5.6 ± 8.2	5.8 ± 7.4
Zn	14.3 ±16.2	23.6 ±25.1	9.6 ± 8.7	15.2 ± 9.3	14.5 ±12.6	21.9 ±18.9

Bei allen Expositionsläufen überlebten die Tiere den Expositionszeitraum sehr gut (Mortalitätsrate unter 10 %). Die Ergebnisse der Schwermetallanalysen sind in Abb. 2-4 und Tab. 2 zusammengestellt. Regelmäßig zeigten die (vorher gering belasteten) exponierten Tiere aller Probengruppen, im Vergleich zur Vorbelastung (Nullprobe), signifikante Schwermetallanreicherungen in ihren Weichkörpern. Gleichzeitig wurden statistisch signifikante Konzentrationsunterschiede beim Vergleich der Muscheln von verschiedenen Standorten gefunden (Tab. 2, 3). Verglichen mit den im Gesamtwasser vorliegenden Konzentrationen (µg/l) lagen die in den Muscheln gefundenen Werte um den Faktor 10³ höher (mg/kg (TG)). Es kann davon ausgegangen werden, daß sich in den Tieren ein zum Expositionsort gehöriger, je nach Gewässerbelastung und Bioverfügbarkeit schwankender Schwermetallspiegel wiederfinden läßt.

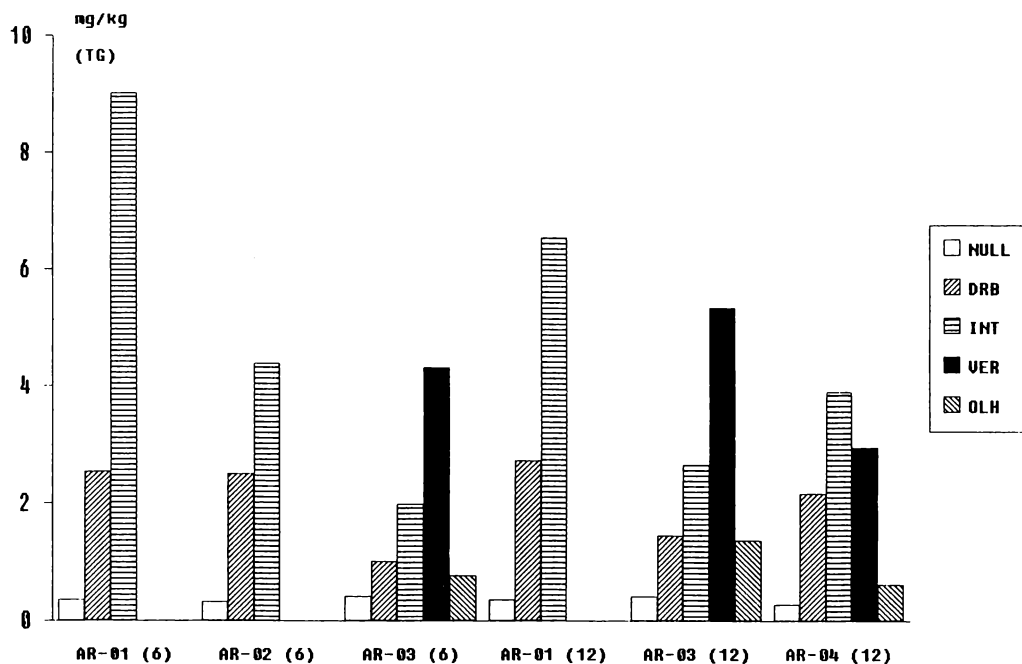


Abb. 2: Bleikonzentrationen im Weichkörper exponierter Dreissenen
Mittelwerte der nach den Expositionen erreichten Konzentrationen (n = 20)

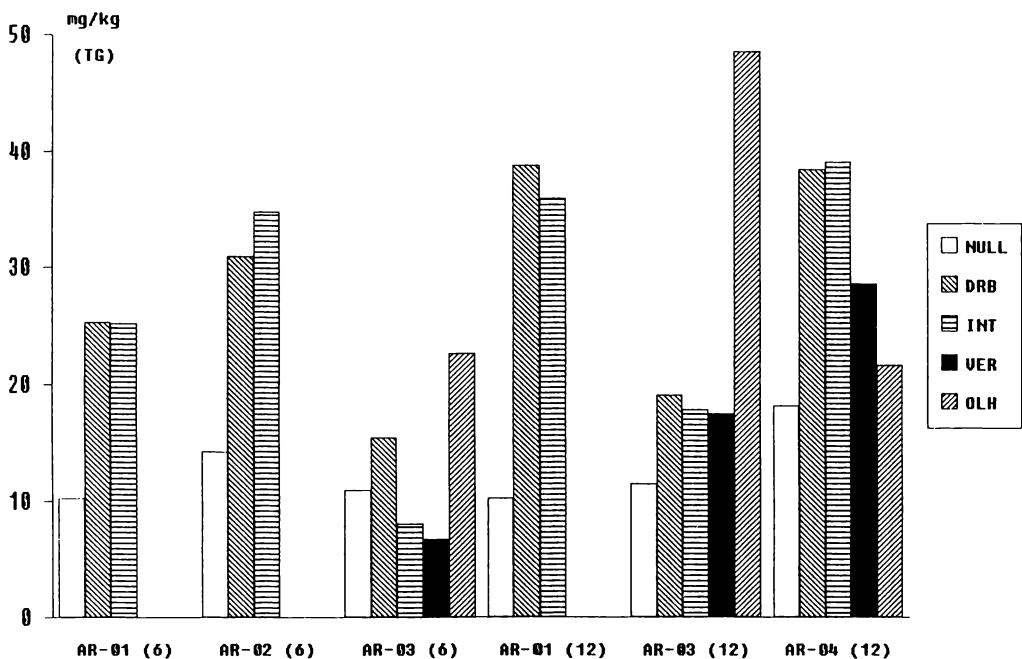


Abb. 3: Nickelkonzentrationen im Weichkörper exponierter Dreissenen
Mittelwerte der nach den Expositionen erreichten Konzentrationen (n = 20)

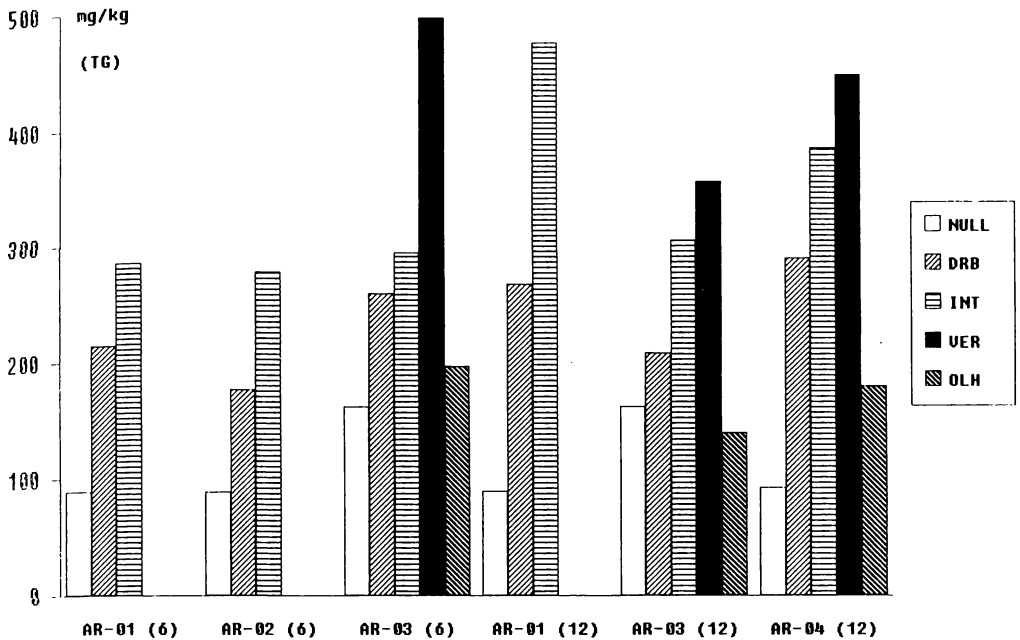


Abb. 4: Zinkkonzentrationen im Weichkörper exponierter Dreissenen
Mittelwerte der nach den Expositionen erreichten Konzentrationen (n = 20)

Tab. 2: Signifikanz der unterschiedlichen Blei-, Nickel- und Zinkkonzentrationen in exponierten Dreissenen von verschiedenen Expositionsstationen. Ergebnisse multifaktorieller Varianzanalysen in Form von Duncna-Gruppierungen.
NULL = Nullprobe, DRB = Drakenburg, INT = Intschede, VER = Aller bei Verden, OLH = Hunte unterhalb von Oldenburg. Darstellung der Signifikanz ($p \leq 5\%$) örtlich unterschiedlicher Belastungen der Muscheln nach Expositionsende. Die Proben­gruppen mit gleichem Buchstaben sind nicht auf statistisch signifikantem Niveau voneinander zu trennen. Die Höhe der Schwermetallkonzentrationen ergibt sich aus der Reihenfolge A > B > C etc.

Bleikonzentrationen						
Lauf	AR-01	AR-02	AR-03	AR 01	AR 03	AR 04
Wochen	6	6	6	12	12	12
NULL	C	C	C	C	C	D
DRB	B	B	C	B	B C	C
INT	A	A	B	A	B	A
VER	---	---	A	---	A	B
OLH	---	---	C	---	B C	D
Nickelkonzentrationen						
NULL	B	B	B C	B	B	C
DRB	A	A	B	A	B	A
INT	A	A	C	A	B	A
VER	---	---	C	---	B	B
OLH	---	---	A	---	A	B
Zinkkonzentrationen						
NULL	C	C	D	C	B	E
DRB	B	B	B C	B	B	C
INT	A	A	B	A	A	B
VER	---	---	A	---	A	A
OLH	---	---	D C	---	B	D

Tab. 3: Cadmium und Chrom im Weichkörper exponierter Muscheln

Konzentrationsangaben in mg/kg (TG) n = 20

NULL = Nullprobe, DRB = Drakenburg, INT = Intschede, VER = Aller bei Verden, OLH = Hunte unterhalb von Oldenburg. Darstellung der Signifikanz ($p = \leq 5\%$) örtlich unterschiedlicher Belastungen der Muscheln nach Expositionsende. Die Probengruppen mit gleichem Buchstaben sind nicht auf statistisch signifikantem Niveau voneinander zu trennen. Die Höhe der Schwermetallkonzentrationen ergibt sich aus der Reihenfolge A > B > C etc.

Cadmium						
Lauf	1-6	2-6	3-6	1-12	3-12	4-12
NULL	C 0.32 ±0.10	B 0.39 ±0.14	B 0.98 ±0.31	B 0.32 ±0.10	B 0.98 ±0.31	D 0.17 ±0.05
DRB	B 1.59 ±0.27	A 1.50 ±0.18	A 2.94 ±0.76	A 2.27 ±0.36	A 3.45 ±1.00	B 1.60 ±0.43
INT	A 2.17 ±0.55	A 1.63 ±0.59	A 3.28 ±1.14	A 2.46 ±0.45	A 3.24 ±0.93	B 1.75 ±0.25
VER	- --- ---	- --- ---	A 2.75 ±0.63	- --- ---	A 3.89 ±0.79	A 2.10 ±0.35
OLH	- --- ---	- --- ---	B 0.61 ±0.21	- --- ---	B 0.46 ±0.14	C 0.53 ±0.13
Chrom						
Lauf	1-6	2-6	3-6	1-12	3-12	4-12
NULL	B 0.09 ±0.03	B 0.25 ±0.10	B 0.15 ±0.23	B 0.09 ±0.03	B 0.16 ±0.14	B 0.17 ±0.05
DRB	A 4.22 ±1.62	A 3.81 ±1.67	A 0.87 ±0.37	A 4.32 ±1.75	A 0.98 ±0.63	A 2.65 ±1.61
INT	A 4.87 ±1.75	A 3.85 ±1.89	A 0.90 ±0.34	A 4.40 ±1.33	A 0.93 ±0.45	A 2.29 ±1.07
VER	- --- ---	- --- ---	A 0.66 ±0.34	- --- ---	A 0.98 ±0.36	B 0.73 ±0.31
OLH	- --- ---	- --- ---	AB 0.50 ±0.22	- --- ---	A 1.05 ±0.46	B 0.25 ±0.12

Bei allen Expositionen ist deutlich der Einfluß der bekannten, hohen Bleikonzentrationen im Allerwasser (VER) und, nach dem Zufluß der Aller (oberhalb von Intschede, INT) in die Weser, im Weserwasser zu erkennen (Abb. 2), die sich in hohen Bleikonzentrationen im Weichkörper der exponierten Muscheln widerspiegeln. In der Hunte exponierte Muscheln erreichen nur geringe Bleikonzentrationen, die nicht auf signifikantem Niveau von der Nullprobe unterschieden werden können. Im Sommer werden niedrigere Bleikonzentrationen erreicht als bei den Winterexpositionen. Die rechnerisch bestimmten Retentionsraten für Blei lagen zwischen 0,02 und 0,04 % der den Muscheln im filtrierten Gesamtwasser angebotenen Bleimenge.

Bei der Winterexposition AR-04 kommt die höhere Cadmiumbelastung der Aller deutlich in erhöhten Cadmiumkonzentrationen in den dort exponierten Muscheln zum Ausdruck. Ein Effekt, der bei der Sommerexposition AR-03(12) ebenfalls vorhanden, aber statistisch nicht signifikant ist (Tab. 3). Das Wasser der Hunte scheint die niedrigsten Konzentrationen an für die Muscheln bioverfügbarem Cadmium aufzuweisen, hier werden keine signifikanten Konzentrationserhöhungen in den Tieren festgestellt. Die Muscheln erreichen, mit Ausnahme an der Hunte-Station, im Sommer höhere Cadmiumkonzentrationen als im Winter. Die rechnerisch bestimmten Retentionsraten für Cadmium lagen zwischen 0,07 und 0,14 % der den Muscheln im filtrierten Gesamtwasser angebotenen Cadmiummenge.

Für Chrom ergeben sich, mit Ausnahme bei der Winterexposition AR-04, in den exponierten Muscheln kaum signifikante Belastungsunterschiede an den vier Stationen (Tab. 3). Es fällt jedoch auf, daß im Sommer an den Weserstationen deutlich niedrigere Chromkonzentrationen in den exponierten Muscheln erreicht werden als im Winter. Die rechnerisch bestimmten Retentionsraten für Chrom lagen zwischen 0,01 und 0,06 % der den Muscheln im filtrierten Gesamtwasser angebotenen Chrommenge.

Für Nickel erreichten die in der Aller exponierten Tiere niedrigere Konzentrationen in ihren Weichkörpern als an den anderen Stationen, während in den in der Hunte exponierten Dreissenen hohe Nickelkonzentrationen festgestellt wurden (Abb. 3). Im Lauf AR-03 fanden sich in den Tieren aus der Hunte die höchsten Nickelkonzentrationen, deren Ursache im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden konnte. Auch bei Nickel werden, mit Ausnahme an der Hunte, im Sommer an allen Expositionsorten deutlich niedrigere Konzentrationen in den exponierten Muscheln erreicht als im Winter. Die rechnerisch bestimmten Retentionsraten für Nickel lagen zwischen 0,03 und 0,12 % der den Muscheln im filtrierten Gesamtwasser angebotenen Menge.

Die hohe Zinkbelastung des Allerwasser spiegelt sich in den hohen Konzentrationen im Weichkörper der in der Aller (VER) exponierten Muscheln deutlich wieder (Abb. 4). In den unterhalb des Allerzuflusses (INT) in der Weser exponierten Tieren kommt es ebenfalls zu einem deutlichen Anstieg der Zinkkonzentrationen im Weichkörper. In der Hunte exponierte Muscheln erreichten etwas niedrigere Werte als die Tiere an den beiden Weserstationen. Die rechnerisch bestimmten Retentionsraten für Zink lagen zwischen 0,00 und 0,27 % der den Muscheln im filtrierten Gesamtwasser angebotenen Menge.

4. Diskussion

D. polymorpha hat einen hohen Toleranzgrad gegenüber so extremen Umweltbedingungen wie in Ober- und Mittelweser, die durch hohe, schwankende Salzgehalte in Verbindung mit teilweise geringen Sauerstoffgehalten im Wasser gekennzeichnet sind (BUSCH & al. 1989). Die Sensitivität der Muscheln für die Wiedergabe unterschiedlicher Belastungssituationen an einzelnen Expositionsorten konnten an teilweise schon bekannten Belastungsschwerpunkten nachgewiesen und bestätigt werden. Die bekannten erhöhten Blei-, Zink- und Cadmiumkonzentrationen im Allerwasser und die nach dem Zufluß der Aller ansteigenden Konzentrationen in der Weser lassen sich in den dort exponierten Muscheln nachweisen. Es konnten sogar in den Fällen (Cadmium, Chrom) noch Belastungsunterschiede der Gewässer nachgewiesen werden, in denen die behördliche Gewässerüberwachung (2-Wochen-Mischproben) ihre Nachweisgrenzen erreicht hatte.

Nach KARBE & al. (1987) kann angenommen werden, daß *D. polymorpha* hauptsächlich den biologisch leichter verfügbaren und damit gefährlicheren, gelösten Anteil der Schwermetallbelastung über den Kiemenpfad akkumuliert. Das wurde von DEL CASTILHO & al. (1984) für Cadmium bestätigt. Für die verschiedenen Metalle wurden von BUSCH & al. (1990) bei *D. polymorpha* unterschiedliche Anreicherungsmechanismen festgestellt. Einige Metalle, z. B. Cadmium, werden stetig aufgenommen und angereichert. Eine Dekontamination kann (bei Abnahme der Konzentrationen im Gesamtwasser) während des Expositionszeitraumes praktisch nicht in nennenswertem Umfang stattfinden. BIAS & KARBE (1985) nehmen an, daß das im Weichkörper vorliegende Cadmium stabil an Metallothioneine gebunden wird. Für Blei und Chrom wurden andere Reaktionsmechanismen gefunden (BUSCH & al. 1990). *D. polymorpha* ist in der Lage, im Weichkörper festgelegtes Blei und Chrom wieder zu eliminieren. Die Bleikonzentrationen im Weichkörper können den Angebotsschwankungen im Wasser folgen (BUSCH & SCHUCHARDT 1991). Bei temporären höheren Wasserbelastungen im Expositionszeitraum kommt es zu einem Memory-Effekt, bei dem die unterschiedlichen Belastungssituationen während der Exposition als integrierter Wert in der Weichkörperbelastung widerspiegelt werden.

Bei mehrjährigen Expositionen von *D. polymorpha* in der Weser wurden nur für Blei häufiger signifikante Korrelationen zwischen den in den Muscheln erreichten Konzentrationen und dem Gesamtwasser vorliegenden Schwermetallangebot festgestellt. Daher muß angenommen werden, daß der biologisch verfügbare Anteil der im Weserwasser vorliegenden Schwermetalle nicht

mit den Konzentrationen im Gesamtwasser identisch oder korreliert ist (BUSCH & al. 1990). Die biologische Verfügbarkeit der Metalle unterliegt demnach anderen Gesetzmäßigkeiten als die absoluten Konzentrationen. Sie ist eine räumlich und zeitlich veränderliche, eigenständige Größe. Die von den Behörden durchgeführten Analysen der Zwei-Wochen-Mischproben lassen keine sicheren Vorhersagen der in den Muscheln zu erwartenden Konzentrationen zu (BUSCH & al. 1990). Eine Ergänzung der behördlichen Gewässerüberwachung durch biologische Monitoringverfahren ist demnach sinnvoll und notwendig.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des MEWEB ("Meßprogramm Weser in Bremen"), finanziert durch das Wasserwirtschaftsamt Bremen, durchgeführt.

Literatur

- ARGE WESER, 1987-1989: Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen. Eigenverlag der zuständigen Behörden.
- BIAS, R. & L. KARBE, 1985: Bioaccumulation and partitioning of the Cadmium within the freshwater mussel *Dreissena polymorpha*. Int. Rev. Gesamten Hydrobiol 70 (1): 113-126.
- BUSCH, D., SCHIRMER, M., SCHUCHARDT, B. & P. ULLRICH, 1989: Historical changes of the River Weser. In: PETTS, E. (ed.): Historical changes of Large alluvial Rivers: Western Europe. John Wiley & Sons, New York: 297-322.
- BUSCH, D., SCHIRMER, M. & W. WOSNIOK, 1990: Gutachten zur Beurteilung des Gewässergütezustandes der Unterweser. Teilgutachten: Biomonitoring von Schwermetallen im Ökosystem Weser unter Einsatz der Süßwassermuschel *Dreissena polymorpha* (PALLAS). Im Rahmen des MEWEB-Bremen, WWA-Bremen, unveröffentlicht.
- BUSCH, D. & B. SCHUCHARDT, 1991: The use of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* PALLAS for biomonitoring heavy metals in limnic ecosystems. Verh. Intern. Ver. Limnol.: im Druck.
- DEL CASTILHO, P., GERRITSE, R. G., MARQUENIE, J. M. & W. SALOMONS, 1984: Speciations of heavy metals and the in-situ accumulation by *Dreissena polymorpha*: A new Method. In: KRAMER & DUINKER: Complexation Of Trace Metals In Natural Waters. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague: 445-448.
- FARRINGTON, J. W., GOLDBERG, E. D., RISEBROUGH, R. W. & J. H. MARTIN & al., 1983: "U.S. "MUSSEL WATCH" 1976-1978 : An Overview of the trace-metal, DDE, PCB, Hydrocarbon and artificial Radionuclide Data". Environ. Sci. Technol. 17: 490-496.
- KARBE, L., BIAS, R. & T. BORCHARDT, 1987: Aufnahmekinetik und Anreicherung von Blei und Cadmium in Muscheln und Fischen. In: LILLELUND & al. (Hrsg.): Bioakkumulation in Nahrungsketten. Vch, Weinheim: 219-225.
- SCHIRMER, M., JATHE, B., SCHUCHARDT, B. & D. BUSCH, 1989: Gutachten zur Beurteilung des Gewässergütezustandes der Unterweser. Teilgutachten: Belastung der Unterweser mit Schwermetallen. Im Rahmen des MEWEB-Bremen für das WWA-Bremen, unveröffentlicht.

Adresse

Dieter Busch
Birgit Jathe
Bastian Schuchardt
Michael Schirmer
AG Limnische Ökologie
Fachbereich Biologie
Universität Bremen (NW II)
Postfach 33 04 40

W - 2800 Bremen 33

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [20_2_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Jathe Birgit, Schuchardt Bastian, Schirmer Michael,
Busch Dieter

Artikel/Article: [Biologische Monitoringverfahren als Methode zur Erfassung und Beurteilung von Schadstoffen in Fließgewässern 553-560](#)