

Bioakkumulationsprozesse in vier Molluskenarten des Rheins

Stephan Winter

Synopsis

The mechanisms of cadmium (Cd) uptake and distribution were studied in four freshwater molluscs *Ancylus fluviatilis*, *Dreissena polymorpha*, *Anodonta anatina*, and *Corbicula fluviatilis* under natural conditions and in laboratory experiments. Cd concentrations in molluscs and various environmental compartments ranged from 0,85 to 2,03 µg/g dry mass. Highest concentrations of Cd were found in the kidney of *Anodonta anatina*. The comparative study shows that *Corbicula* is a suitable bioindicator of Cd contamination. Calcium concentrations in the experimental water affected both, the Cd uptake as well as the distribution in subcellular fractions. Low molecular weight metal-binding proteins bound an important fraction of intracellular cadmium. Responses to Cd contamination were observed on several levels of complexity. Our study offers a standard for hazard assessment of freshwater ecosystems.

Cadmium, Mollusken, Rhein, Bioakkumulation, Biomonitoren

Cadmium, molluscs, Rhine river, bioaccumulation, biomonitors

1. Einleitung

Obwohl man von einer generellen Abnahme der Schwermetallkonzentrationen des Rheinwassers ausgehen kann, muß aus ökotoxikologischer Sicht die Belastung des Sedimentes weiterhin berücksichtigt werden, da Schwermetalle unter bestimmten Bedingungen für Organismen wieder verfügbar werden können (FÖRSTNER & SALOMONS 1991). Die Cadmium-Konzentration benthischer Invertebraten kann oftmals in Beziehung zur Cd-Konzentration im Sediment gebracht werden (STREIT 1990, KILGOUR 1991). So ist es denkbar, daß der intensive Kontakt mit dem Sediment in Organismen zu höheren Schwermetallanreicherungen führen kann. Als Schwebstoff-Filterierer können Muscheln vorhandene Schadstoffe auch über den Prozeß des Filtrierens aufnehmen. Diese Untersuchungen sollen mit zwei Spezies der Lithofauna (Hartsubstrat besiedelnde Organismen), *Ancylus fluviatilis* und *Dreissena polymorpha*, sowie zwei sedimentbewohnenden Spezies, *Anodonta anatina* und *Corbicula fluviatilis*, durchge-

führt werden. Der einzige Gastropode dieser Untersuchung, *Ancylus fluviatilis*, lebt als Weidegänger auf Hartsubstrat. Die verschiedenartige Beanspruchung des Habitates kann zu einer unterschiedlichen Cd-Aufnahme beitragen. FRAZIER & GEORGE (1983) und LAVIE & NEVO (1986) konnten bereits unterschiedliche Cd-Anreicherungen zwischen nahe verwandten Molluskenarten feststellen. Die zu den Untersuchungsorganismen zählende *Corbicula*-Spezies ist ein erfolgreicher Neueinwanderer im Rheinsystem seit etwa 1985 (KINZELBACH 1991, DEN HARTOG & al. 1992). KRAEMER (1979) stellte in ihrem amerikanischen Untersuchungsgebiet fest, daß sich *Corbicula* besonders in Flüssen mit einem großen anthropogenen Einfluß gegenüber einheimischen Arten durchsetzen kann.

Es ist in ökotoxikologischen Untersuchungen nicht möglich, alle Einflußfaktoren zu berücksichtigen, die das Anreicherungsverhalten beeinflussen können. Für die ökotoxikologische Bewertung eines Fließgewässers ist es deshalb notwendig, mehrere Komplexitätsebenen zu berücksichtigen. Folgende Fragestellungen sollten im Rahmen dieser Untersuchung geklärt werden: Wie hoch sind die Cd-Konzentrationen wichtiger Kompartimente des Rheins? Wie hoch sind die Cd-Anreicherungsfaktoren der untersuchten Molluskenarten im Rhein und in den Laborversuchen? Welchen Einfluß haben Unterschiede im Wasserchemismus auf die Cd-Verteilung in den subzellulären Fraktionen? Von besonderem Interesse ist der Cd-Anteil im Cytoplasma, da wir wissen wollen, an welche metallbindenden Strukturen Cadmium im Cytoplasma gebunden wird. Durch die Abnahme der Individuendichte von *D. polymorpha* ist es darüber hinaus notwendig geworden, Alternativen zu den bisherigen Schadstoff-Biomonitoren zu suchen.

2. Material und Methode

Die Proben wurden am Rhein bei km 493 und 498,5 (offizielle Rhein-km) eingesammelt. Neben der Bestimmung der Cd-Konzentrationen im Weichkörper der Molluskenarten wurde die subzelluläre Cd-Verteilung untersucht. Die biochemische Untersuchung der metallbindenden Proteine wurde mit den drei Organen Mitteldarmdrüse, Kiemen und Nieren von *Anodonta anatina* durchgeführt. Von den drei

anderen Molluskenarten wurde der gesamte Weichkörper zusammen untersucht. Ein bestimmter Massenanteil wurde nun mittels Naßaufschluß in einem offenen System mineralisiert. Die Cd-Bestimmung in dieser Untersuchung wurde mit einem Atom-Absorptionsspektrometer (AAS) durchgeführt, das mit einem direkten Zeeman-Effekt arbeitet (Grün SM20). Für die Gelchromatographie wurde Sephadex G-75 (Sigma) als Kartuschenfüllmaterial eingesetzt. Die verwendeten Glaskartuschen für die Mitteldruck-Chromatographie (MPLC) sind mit Kompressionschrauben ausgerüstet, womit das Säulenbett nachstellbar ist, um Totvolumina, die eventuell während des Einsatzes auftreten können, zu eliminieren. Eine Ionenaustausch-Chromatographie wurde durchgeführt, um zusätzliche Informationen über Cd-bindende Strukturen zu erhalten.

Für die Berechnung des Anreicherungsfaktors wurde an dieser Stelle von einer Cd-Konzentration von $0,3 \mu\text{g Cd/l}$ im Rheinwasser (Deutsche Kommission zur Reinhaltung des Rheins 1991) ausgegangen. Dieser Wert entspricht der Nachweisgrenze für Cd. Basierend auf der tatsächlichen Cd-Konzentration würde der berechnete Anreicherungsfaktor der Rheintiere höher ausfallen. Ebenfalls spielt für eine theoretische Betrachtungsweise der Cd-Anreicherung über die Wasserphase eine Rolle, ob sich der Anreicherungsfaktor auf den gelösten Anteil allein bezieht oder den an Schwebstoffe gebundenen Cd-Anteil mitberücksichtigt. In den Laborversuchen wurde das Cd-Aufnahmeverhalten in den Versuchstieren, die sich in Rheinwasser und synthetischem Wasser befanden, untersucht. Neben dem synthetisch harten Wasser, das den Calcium, Magnesium und Chlorid-Konzentrationen des Rheinwassers nachempfunden wurde, wurde mit *Anodonta anatina* auch noch eine Versuchsreihe mit synthetisch weichem Wasser durchgeführt. In allen Versuchsansätzen wurde die Cd-Konzentration mit CdCl_2 auf $15 \mu\text{g Cd/l}$ ($\approx 0,133 \mu\text{mol/l}$) eingestellt. Hierbei wurden die Cd-Sättigungskonzentrationen mit einer Sättigungsfunktion berechnet.

3. Ergebnisse

In Abb. 1 werden die mittleren Cd-Konzentrationen der untersuchten Molluskenarten und wichtiger Kompartimente aus dem Rhein aufgeführt. Diese Cd-Konzentrationen geben Aufschluß über die aktuelle Cd-Belastung der Organismen und die Cd-Verteilung in bedrohten Habitaten der Fließgewässer.

Die vier untersuchten Molluskenarten im Oberrhein wiesen mittlere Cd-Konzentrationen im Bereich von $0,8\text{--}1,6 \mu\text{g Cd/g TM}$ auf (vgl. Abb. 1). Die Cd-

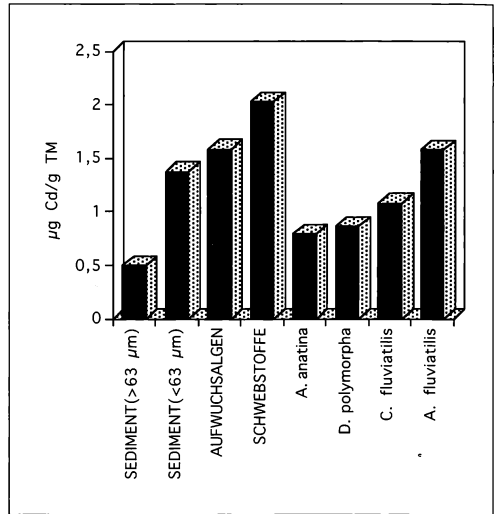


Abb. 1

Mittlere Cd-Konzentrationen (bezogen auf die Trockenmasse TM) der vier Molluskenarten aus dem Rhein und von wichtigen Kompartimenten des betreffenden Ökosystems.

Fig. 1

Mean Cd concentrations (based on dry mass) in four freshwater molluscs and some major compartments from the River Rhine.

Konzentration von *A. fluviatilis* lag auf dem gleichen Niveau wie die ihrer Nahrungsgrundlage. Bei einer Cd-Konzentration des Wassers im Labor von $15 \mu\text{g Cd/l}$ stieg die Cd-Konzentration im Weichkörper nach einer bis zu 12-wöchigen Versuchsdauer bis zu $70 \mu\text{g Cd/g}$ an. Die Nieren von *Anodonta anatina* hatten das höchste Cd-Aufnahmepotential von allen untersuchten Geweben dieser Muschelart. Waren Glochidien, die Larvenform der Teichmuschel, in *Anodonta anatina* vorhanden, dann beinhalteten sie annähernd 5% der gesamten Cd-Menge. Adulte Tiere können auf diesem Weg einen Teil ihrer Cd-Last abgeben.

In Tab. 1 werden die berechneten Cd-Anreicherungsfaktoren unter Freiland- und Laborbedingungen aufgelistet. Unterschiede zwischen dem Freiland (Rheinsystem) und den Laborversuchen weisen auf mögliche Einflußfaktoren wie Nahrung, Sediment und Wasserchemismus hin, die das Aufnahmepotential verändern können. Die Überprüfung mit dem zweiseitigen t-Test für unabhängige Stichproben ergab nach der alpha-Korrektur ($p \times n$) für den Rheinwasser-Laborversuch mit *Ancylus fluviatilis* sowie für den Hartwasser-Laborversuch mit *Corbicula fluviatilis* signifikante Unterschiede im Vergleich zum Freiland auf dem 5% Signifikanzniveau.

Molluskenart:	Cd-Anreicherungs-faktoren	
	Freiland	Spannweite Laborversuche
<i>Anodonta anatina</i>	2600	1300–2500
<i>Dreissena polymorpha</i>	2900	13000–19000
<i>Corbicula fluviatilis</i>	3600	5300–6500
<i>Ancylus fluviatilis</i>	5300	1900–3800

Tab. 1
Cd-Anreicherungs-faktoren im Freiland und unter Laborbedingungen.

Tab. 1
Cd accumulation factors in the natural habitat and in laboratory experiments.

Es wurde weiterhin der Cd-Anteil im Cytoplasma und in den hoch- und niedermolekularen Fraktionen untersucht (Abb.2).

Aus Abb. 2 ist einerseits zu entnehmen, daß der Cd-Anteil im Cytoplasma der drei untersuchten Gewebeklassen variiert. Das Nierengewebe zeichnet sich hier besonders durch einen hohen Cd-Anteil im Cytoplasma aus (Signifikanzniveau 5%). Weiterhin wurden geringere Cd-Anteile im Cytoplasma des Kiemen- und Nierengewebes im weichen Wasser gefunden (Signifikanzniveau 1%). Dagegen sind die Cd-Anteile im Cytoplasma der Laborversuche mit Rheinwasser und synthetischem Hartwasser, das den Calcium-, Magnesium- und Chlorid-Konzentrationen des Rheinwassers entsprach, nahezu gleich. Es wurde ein Mittelwertvergleich mit dem t-Test und zusätzlicher alpha-Korrektur ($p \times n$) durchgeführt. Somit kann man sagen, daß die Cd-Verteilung im Cytoplasma durch die unterschiedlichen Härtegrade des Wassers, nicht aber durch die unbekannteten Inhaltsstoffe des Rheinwassers, verändert wurde.

Aus den gelchromatographischen Auftrennungen der Cytoplasma-Proben erhielten wir zwei Cd-bindende

Fraktionen, eine hochmolekulare Struktur (über 67000 Da) und eine niedermolekulare Struktur. Die niedermolekularen Cd-bindenden Proteine haben in den vier untersuchten Molluskenarten eine molare Masse von 6.800–10.000 Da. Die Auftrennung mit einer Ionenaustauschersäule ergab typische Peaks bei einer Wellenlänge von 254 nm. Im Bereich dieser Peaks in den Chromatogrammen war auch der Cd-Peak zu beobachten. Im Cytoplasma wird Cd ab der 4. Woche nahezu vollständig im niedermolekularen Bereich gebunden.

4. Diskussion

Durch die Sedimentation werden Spurenmetalle ununterbrochen aus der Wasserphase in das Sediment transportiert (SIGG & STUMM 1994). Man darf sich das Sediment nicht als einheitliches oder homogenes Gebilde vorstellen. Die Cd-Konzentrationen sind abhängig von der Korngröße des Sedimentes (siehe Abb. 1). Aus ökotoxikologischer Sicht muß die Sedimentstruktur bei der Gefahrenabschätzung berücksichtigt werden. Die hohen Cd-Konzentrationen im Sediment lassen es notwendig erscheinen, die Cd-

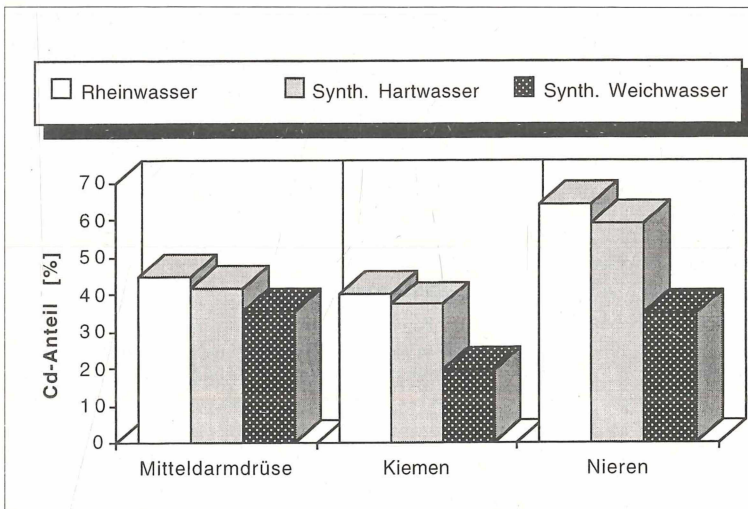


Abb. 2
Mittlere Cd-Anteile [%] im Cytoplasma der drei Gewebeklassen von *Anodonta anatina* in den drei Versuchsreihen.

Fig. 2
Mean Cd-share in the cytosolic fraction for three tissues of *Anodonta anatina* in the laboratory experiments .

Sedimentkonzentration neben der Cd-Konzentration des Wassers zur Situationsbeschreibung eines Gewässers zu berücksichtigen. Die vorliegende Arbeit belegt das hohe Cd-Akkumulationspotential bei allen untersuchten Molluskenarten (vgl. Tab. 1). Diese können, gerade in bezug auf die enormen Populationsdichten, als Senke für Cd angesehen werden. Cd kann auf diesem Weg über einen langen Zeitraum im Ökosystem erhalten bleiben (STREIT 1992). Eine Konzentration des akkumulierten Cd in spezifische Gewebe kann dort zu einer Schädigung führen (MOORE 1985, DOHERTY & CHERRY 1988).

Im Cytoplasma des Nierengewebes ist ein bedeutender Cd-Anteil nachgewiesen worden (vgl. Abb. 2). In den Nieren von *Anodonta anatina* wurden auch die höchsten Cd-Konzentrationen gefunden (STREIT & WINTER 1993). Nach diesen Ergebnissen kann man vermuten, daß es einen gewebespezifischen Metabolismus für Metalle gibt. Ob dies nun eine spezielle Anpassung des Nierengewebes ist oder auf die hohen Cd-Konzentrationen in diesem Gewebe zurückzuführen ist, muß weiter untersucht werden.

In den vorliegenden Versuchen konnten keine Unterschiede der Cd-Anteile des Cytoplasmas zwischen den Versuchsreihen mit Rheinwasser und synthetisch hartem Wasser gefunden werden. Da das synthetisch harte Wasser bezüglich wichtiger Ionen dem Rheinwasser nachempfunden wurde, kann man davon ausgehen, daß die Unterschiede im synthetisch weichen Wasser auf die geringeren Ionenkonzentrationen zurückzuführen sind. Dies impliziert, daß Ca^{2+} nicht nur die Akkumulationsraten beeinflusst, sondern auch Auswirkungen auf die Cd-Verteilung in den subzellulären Fraktionen hat. Diese Verteilungsdifferenzen weisen darauf hin, daß durch den verringerten Ca-Gehalt frei gewordene Bindungsstellen von Cd besetzt werden. Diese veränderte Cd-Einlagerung könnte dazu beitragen, daß die Mollusken, die in weichen Gewässersystemen leben, sensibler auf eine Cd-Exposition reagieren.

Die Angaben über den Cd-Anteil im Cytoplasma der untersuchten Molluskenarten bestätigen, daß ein erheblicher Cd-Anteil im Cytoplasma zu finden ist (siehe auch Abb. 2). Im Cytoplasma wird Cadmium nach wenigen Versuchswochen vorwiegend an Strukturen im niedermolekularen Bereich gebunden. Bei der Anreicherung von Metallen in den Geweben spielen die niedermolekularen Cd-bindenden Proteine eine fundamentale Rolle (STREIT & WINTER 1993). Die Molekularmassen, mit denen die Cd-Fractionen korrespondieren, betragen für die drei Gewebeklassen von *Anodonta anatina* ca. 6800 Da. Daraus ist zu entnehmen, daß sich die niedermolekularen Cd-Bindungspartner für die Nieren, Kiemen

und die Mitteldarmdrüse nicht unterscheiden und die Cd-Bindung im Organismus nicht auf gewebespezifische multiple Formen zurückgeführt werden kann. Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen auf ein Protein hin, das zur Klasse der Metallothioneine (MT) gerechnet werden kann. Die Induktion spezieller Cd-bindender Proteine ist ein energieabhängiger Prozeß. Nach einer MT-Induktion kommt es in den Zellen zu einer Reduktion bestimmter Proteinbausteine (VELDHUIZEN-TSOERKAN & al. 1990). Diese Einwirkung auf den Zellstoffwechsel kann unter zusätzlichen Streßbedingungen den gesamten Organismus beeinflussen.

Corbicula fluviatilis ist nach diesen Untersuchungen als ein geeigneter Biomonitor für den Rhein zu werten. Sie ist sehr robust und leicht zu halten und kommt in hohen Abundanz vor. Sie hat eine hohe Reproduktionskapazität und hohe Wachstumsraten. *Corbicula* ist tolerant gegenüber einer großen Anzahl an Schadstoffen, die sie in besonderem Maße akkumulieren kann (ALDRIDGE & MCMAHON 1978, MCMAHON 1983, DOHERTY 1990). Sie scheint nur durch extreme Wintertemperaturen dezimiert zu werden. So kann *Corbicula* in den Fließgewässersystemen, in denen sie sich bereits angesiedelt hat, als Alternative zu dem bisherigen Schadstoff-Biomonitor *Dreissena polymorpha* eingesetzt werden. *Anodonta* zeichnet sich durch ihre Größe aus, wodurch eine Aufteilung der verschiedenen Gewebeklassen einfach durchzuführen ist. Sie reagiert jedoch empfindlich auf die Laborsituation und ist damit schwerer zu halten. Aufgrund der unterschiedlichen Sedimentpräferenzen stellt *Anodonta* eine Alternative zu den *Corbicula*-Arten dar.

Man kann zusammenfassend sagen, daß es aus ökotoxikologischer Sicht schwierig ist, den Zustand eines Fließgewässers lückenlos zu erfassen. Aus diesem Grund sollten zur Überwachung der Schadstoffefflüsse in Fließgewässern nach Möglichkeit Untersuchungen auf mehreren Komplexitätsebenen durchgeführt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stellen eine Brücke zwischen einer zu fordernden Empfindlichkeit des Meßsystems und ökologischer Relevanz dar.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Streit danke ich für zahlreiche Hilfestellungen bei der Durchführung dieser Untersuchungen.

5. Literatur

- ALDRIDGE, D.W. & R.F. MCMAHON, 1978: Growth, fecundity, and bioenergetics in a natural population of the asiatic freshwater clam, *Corbicula mantilensis* Philippi, from north central Texas. – J. moll. Stud. 44: 49–70.
- DEN HARTOG, C., VAN DEN BRINK, F.W.B. & G. VAN DER VELDE, 1992: Why was the invasion of the river Rhine by *Corophium curvispinum* and *Corbicula* species so successful? – J. of Natural History 26. 1121–1129.
- DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS, 1991: Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen.
- DOHERTY, F.G. & D.S. Cherry, 1988: Tolerance of the asiatic clam *Corbicula* spp. to lethal levels of toxic stressors – a review. – Environmental Pollution 51: 269–313.
- DOHERY, F.G., 1990: The asiatic clam, *Corbicula* spp., as a biological monitor in freshwater environments. – Environmental Monitoring and Assessment 15: 143–181.
- FÖRSTNER, U. & W. SALOMONS, 1991: Mobilization of metals from sediment. – In: E. Merian (ed.), Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis, and biological relevance, VCH Weinheim: 379–398.
- FRAZIER, J.M. & S.G. GEORGE, 1983: Cadmium kinetics in oysters – a comparative study of *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*. – Marine Biology 76: 55–61.
- KILGOUR, B.W., 1991: Cadmium uptake from cadmium-spiked sediments by four freshwater invertebrates. – Bull. Environ. Contam. Toxicol. 47: 70–75.
- KINZELBACH, R., 1991: Die Körbchenmuschel *Corbicula fluminalis*, *Corbicula fluminea*, und *Corbicula fluviatilis* in Europa (Bivalvia: Corbiculidae). – Mainzer Naturw. Archiv 29: 215–228.
- KRAEMER, L. R., 1979: *Corbicula* (Bivalvia: Sphaeriacea) vs. indigenous mussels (Bivalvia: Unionacea) in U. S. Rivers: A hard case for interspecific competition? – Amer. Zool., 19: 1085–1096.
- LAVIE, B. & E. NEVO, 1986: Genetic selection of homozygote allozyme genotypes in marine gastropods exposed to cadmium pollution. – The Science of the Total Environment 57: 91–98.
- MCMAHON, R.F., 1983: Ecology of an invasive pest bivalve, *Corbicula*. – In: K.M. Wilbur, The Mollusca Vol. 6: Ecology, Academic Press, Orlando: 505–561.
- MOORE, M.N., 1985: Cellular responses to pollutants. – Marine Pollution Bulletin 16: 134–139.
- SIGG, L. & W. STUMM, 1994: Aquatische Chemie, 2. Auflage, Teubner, Stuttgart: 498 S.
- STREIT, B., 1990: Chemikalien im Wasser: Experimente und Modelle zur Bioakkumulation bei Süßwassertieren. – In: Kinzelbach, R., Friedrich, G. (Hrsg.), Limnologie aktuell 1: Biologie des Rheins, Gustav Fischer, Stuttgart: 107–130.
- STREIT, B., 1992: Bioaccumulation processes in ecosystems. Review. – Experientia 48: 955–970.
- STREIT, B. & S. WINTER, 1993: Cadmium uptake and compartmental time characteristics in the freshwater mussel *Anodonta anatina*. – Chemosphere 26: 1479–1490.
- VELDHUIZEN-TSOERKAN, M.B., HOLWERDA, D.A., VAN DER MAST C.A. & D.I. ZANDEE, 1990: Effect of cadmium on protein synthesis in gill tissue of the sea mussel *Mytilus edulis*. – In: J.F. McCarthy, L.R. Shugart (eds.), Biomarkers of environmental contamination, CRC Press, Boca Raton, Florida: 289–306.

Adresse

Dr. Stephan Winter
Abt. Ökologie und Evolution
Zoologisches Institut, J.W.Goethe-Universität
Siesmayerstr. 70, D-60054 Frankfurt/M.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [24_1995](#)

Autor(en)/Author(s): Winter Stephan

Artikel/Article: [Bioakkumulationsprozesse in vier Molluskenarten des Rheins 175-179](#)