

# FID Biodiversitätsforschung

## Bioindikatoren

Ergebnisse des Symposiums: Tiere als Indikatoren für Umweltbelastungen  
8. bis 11. März 1981 in Köln

Tiere als Monitororganismen für Schwermetalle im Meer - ein Überblick

**Schulz-Baldes, Meinhard**

**1982**

---

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

---

### Weitere Informationen

Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:

*Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.*

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten Identifikator:

[urn:nbn:de:hebis:30:4-172782](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hebis:30:4-172782)

## Tiere als Monitororganismen für Schwermetalle im Meer Ein Überblick

Meinhard Schulz-Baldes

### Kurzfassung

Quantitative Abschätzungen der Belastung des Meeres durch Schwermetalle werden neben der direkten Analyse des Wassers und der Sedimente zunehmend durch Analyse von Tieren und Pflanzen gewonnen. Die Anforderungen an einen Monitororganismus sind vielfältig: hohe Akkumulationsrate des Metalls, einfache Korrelation zwischen Metallkonzentration im Tier und im umgebenden Medium, hohe Toleranz gegenüber den toxischen Metalleigenschaften, seßhafter Organismus, weit verbreitet, langlebig, leicht zu sammeln und zu hältern. Nur wenige Meeresorganismen erfüllen diese Kriterien, vorgeschlagen wurden Muscheln, Schnecken, Borstenwürmer und Hohltiere sowie im Spezialfall Cadmium der Meerwasserläufer *Halobates*. Durchgesetzt hat sich auch im internationalen Rahmen bisher die Miesmuschel *Mytilus edulis* mit den weiteren Arten *M. galloprovincialis*, *californianus* und *viridis*. Naturgemäß werden durch die Verwendung eines Tieres als Meßsystem zahlreiche variable Parameter eingeführt, die exemplarisch am Beispiel der Miesmuschel diskutiert werden sollen.

Einfluß auf die Metallkonzentration im Tier nehmen abiotische Faktoren wie Temperatur, Salinität, vertikale Position des Tieres in der Wassersäule oder im Sediment, chemische Form des Metalls. Weiterhin wirken biotische Faktoren ein wie Alter, Größe und Gewicht der Muschel, jährlicher Reproduktions- und Reservestoffzyklus, unterschiedliche Aufnahmewege des Metalls aus Wasser, Nahrung und Sediment sowie interne Faktoren, die Aufnahmekinetik und Halbwertszeit des Metalls im Tier bestimmen.

Monitoringstudien erscheinen nur dann sinnvoll, wenn diese biologischen Faktoren bei der Auswahl der Sammelstandorte und -zeitpunkte sowie der Tiergröße berücksichtigt werden.

### Abstract

High standards are set for marine monitoring organisms: the animal should be sedentary, long lived, of reasonable size, easy to sample and abundant in the sampling region. The animal should exhibit a high concentration factor for metals, should tolerate brackish water. A simple correlation should exist between metal content of the organism and the average metal concentration of the surrounding water. This correlation, finally, should be exhibited by all organisms, at all locations studied, under all conditions.

Few marine animals have been found to fulfill at least part of these requirements, mainly bivalves (*Mytilus*, *Crassostrea*), further gastropodes (*Patella*, *Haliotis*) and polychaetes (*Nereis*, *Arenicola*). The influence of abiotic parameters (temperature, salinity, position in the water column, chemical species of the metal) as well as biotic parameters (size - age, yearly cycles, sex, uptake routes from water, food and sediment, uptake and loss kinetics) on the metal content are discussed with respect to the calibration of the common mussel *Mytilus edulis* as a monitoring organism.

### 1. Einleitung und Definitionen

Schwermetalle sind seit Beginn der geologischen Zeit Bestandteil der marinen Hydrosphäre. Mit dem industriellen Zeitalter begann eine zunehmende Belastung des Meeres mit Metallen durch erhöhten Eintrag über Flüsse und die Atmosphäre, selbst in biologisch sehr kurzen Zeiträumen hatten und haben sich die Meeresorganismen auf diese Veränderungen einzustellen. Neben der direkten physikalischen und chemischen Messung der Schadstoffe im Meerwasser und im Sediment werden die Metallkonzentrationen auch in den betroffenen Lebewesen analysiert. Besonders geeignete Organismen lassen sich zu zwei Zwecken verwenden, die kurz definiert werden sollen (BUTLER, ANDREN, BONDE, JERNELÖV & REISH 1971):

#### Monitororganismen

Sie quantifizieren das Niveau der Verschmutzung, besitzen spezielle Eigenschaften, mit denen auf den Schadstoff reagiert wird und die objektiv gemessen werden können. Solche Eigenschaften sind die Ausbildung von Depots an organischen und anorganischen Schadstoffen, die Akkumulation von Bakterien und Viren oder die Konzentrierung natürlicher Toxine. Bei einigen Organismen können Wachstumsraten, Fertilität und Beweglichkeit als Parameter gemessen werden, auch wenn diese nicht spezifisch für die Art des Schadstoffes sind.

### Indikatororganismen

Sie identifizieren Veränderungen der Umwelt, deren Ursache unbekannt sein mag oder das Ergebnis der wechselnden Mischung von Schadstoffen, z. B. industrieller Abwässer, sein können. Sie können dauerhafte physikalische und chemische Veränderungen der Umwelt aufzeigen. Verschiebung der Spezies-Zusammensetzung wie der Besiedlungsdichte in geeigneten Ökosystemen dienen als Hinweis auf Schadstoffe. Diese Definitionen werden im heutigen angloamerikanischen Sprachgebrauch nicht mehr so exakt eingehalten, vielmehr faßt man beide Gruppen als „bioindicators“ zusammen, Monitororganismen sind dann nur ein Spezialfall der Bioindikatororganismen.

### 2. Anforderungen an einen marinen Monitororganismus

Die Anforderungen an einen Bioindikator, mit dem ein großflächiges Monitoring betrieben werden soll, sind für den marinen Bereich mehrfach formuliert worden (BUTLER et al. 1971; PHILLIPS 1976a, 1976b, 1977a; CUNNINGHAM 1979; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 1980). 10 Punkte sind zu nennen:

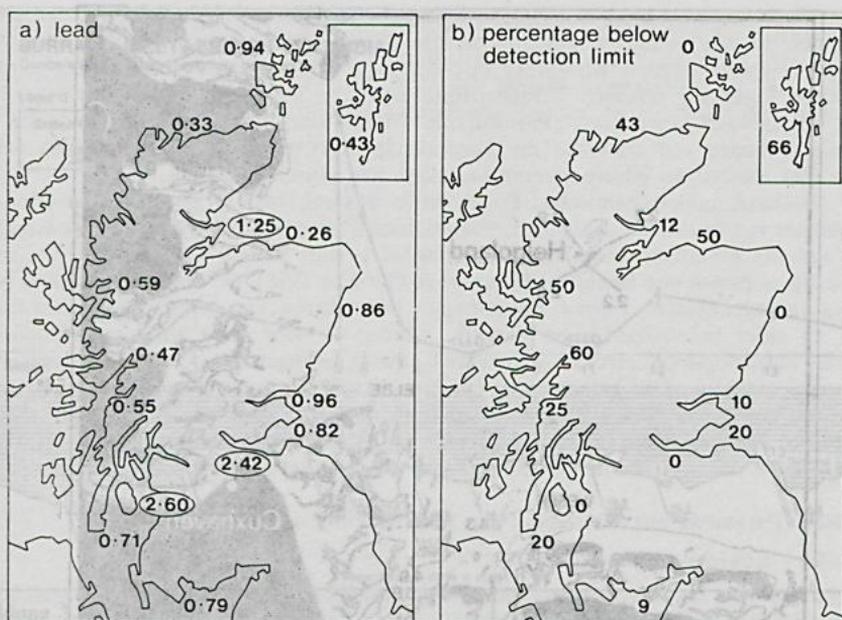
- (a) Der Organismus soll den Schadstoff akkumulieren, ohne von der umgebenden Schadstoffkonzentration getötet zu werden.
- (b) Der Organismus soll seßhaft sein, um repräsentativ für den Sammelstandort zu gelten.
- (c) Der Organismus soll zahlreich im Biotop vorkommen.
- (d) Der Organismus soll langlebig sein, um das Sammeln von mehr als einer Jahresklasse zu ermöglichen.
- (e) Der Organismus soll eine Größe besitzen, die genügend Material für die chemische Analyse liefert.
- (f) Der Organismus soll leicht zu sammeln und widerstandsfähig sein, um im Labor etwa zum Auskoten oder für Experimente gehältert zu werden.
- (g) Der Organismus soll Brackwasser tolerieren.
- (h) Der Organismus soll einen hohen Konzentrationsfaktor für den betreffenden Schadstoff aufweisen.
- (i) Es soll eine einfache Korrelation zwischen dem Metallgehalt des Organismus und der durchschnittlichen Metallkonzentration im umgebenden Medium bestehen.
- (j) Diese Korrelation sollen die Organismen an allen Standorten und bei allen äußeren Bedingungen aufweisen.

Diese Punkte sind von keinem Organismus vollständig zu erfüllen, die Einschränkungen sollen im folgenden erläutert werden. Unter den marinen Invertebraten sind noch längst nicht alle Tierstämme auf ihre Eignung zum Monitororganismus getestet worden. Bisher haben sich nur wenige Gruppen als geeignet herausgeschält, vor allem Muscheln (Beispiel die Gattungen *Mytilus*, *Crassostrea*, *Mercenaria*, *Pecten*), dann Schnecken (Beispiel die Gattungen *Littorina*, *Haliotis*, *Nucella*, *Patella*) und Polychaeten mit Anpassungen an das Sediment (Beispiel die Gattungen *Nereis*, *Arenicola*). Ein exotischer Bioindikator sei kurz vorgestellt, der Meerwasserläufer *Halobates*. Diese Wanze ist das einzige hochozeanische Insekt, es lebt zeitlebens auf der Wasseroberfläche. Im Atlantik kommt nur die Art *Halobates micans* vor, diese Tiere weisen zum Teil erstaunlich hohe Cadmiumgehalte mit bis zu  $300 \mu\text{g g}^{-1}$  auf (SCHULZ-BALDES & CHENG 1980). Uns erscheint eine gewisse Korrelation der Cadmiumgehalte mit den vorherrschenden Oberflächenströmungen möglich.

Den Hauptteil widme ich aber dem marinen Bioindikator und Monitororganismus par excellence, der Miesmuschel *Mytilus*. Dabei möchte ich einige Ansätze für ein Monitoring vorstellen, vor allem aber die Punkte aufzeigen, die einer Vergleichbarkeit von Monitoringdaten entgegenstehen. Daraus soll eine kleine Strategie zur Durchführung eines Monitoringprogramms entwickelt werden.

### 3. Darstellung von Monitoringstudien

Es ist nicht einfach aus der Literatur graphisch übersichtliche Darstellungen über die Metallkonzentration in den Organismen einer bestimmten Region zu finden, meist werden seitenlange Tabellen publiziert. 3 Beispiele für Monitoringkarten seien vorgestellt:

Abbildung 1. *Mytilus edulis*.

(a) Mittlere Bleikonzentration ( $\mu\text{g g}^{-1}$  Trockengewicht) von schottischen Sammelstandorten. Einkreiste Konzentrationen werden als anomal betrachtet.

(b) Prozentualer Anteil der Proben mit einer Bleikonzentration unterhalb der Meßgrenze (aus DAVIES & PIRIE 1980).

- (a) Großräumige Bleiverteilung in den Miesmuscheln rund um Schottland (Abb. 1 aus DAVIES & PIRIE 1980). Hohe Werte finden sich um Edinburgh, Glasgow und im Cromarty-Ästuar.
- (b) Bleiverteilung in Miesmuscheln aus dem Weserästuar (Abb. 2 aus SCHULZ-BALDES 1973). Bei der kontinuierlichen Abnahme der Werte seewärts bleibt zu fragen, ob die Verschmutzung abnimmt oder ob der Salzgehalt (siehe unten) das Ergebnis verfälscht.
- (c) Miesmuscheln als Indikatoren für eine Punktquelle („point source“) in Vancouver, Kanada (Abb. 3 aus POPHAM, JOHNSON & D'AURIA 1980). Deutlich ist ein Abwasserzufluß bei Station 5 zu erkennen, der sich bis zur Station 8 verfolgen läßt.

Am bekanntesten und aufwendigsten ist bisher das US-Programm „mussel watch“, bei dem an 107 Stationen rund um die Vereinigten Staaten Miesmuscheln gesammelt und neben Metallen auch auf Petroleuminhaltsstoffe, chlorierte Kohlenwasserstoffe und künstliche Radionuklide untersucht werden (GOLDBERG et al. 1978). Dieses Programm soll sogenannte „hot spots“ finden, Gebiete mit besonderer Belastung, die dann gezielt langfristig beobachtet werden sollen.

Ein großräumiges Monitoring von Schwermetallen durch Miesmuscheln in den deutschen Küstengewässern der Nord- und Ostsee ist bisher noch nicht zustande gekommen. Die zahlreich anfallenden Proben wären nur von einer Behörde zu bewältigen, aber das Deutsche Hydrographische Institut z. B. beschäftigt keine Biologen.

#### 4. Abiotische Parameter mit Einfluß auf den Metallgehalt der Muschel

Zahlreiche Faktoren beeinflussen den Metallgehalt der Muschel. Unterscheiden möchte ich zwischen abiotischen und biotischen Parametern, wenngleich natürlich abiotische Faktoren Auslöser für physiologische Vorgänge im Tier sind. All diese Faktoren sollen unter dem Gesichtspunkt diskutiert werden, ob die Korrelation zwischen Metallgehalt im Tier und Metallkonzentration im Medium einflußt wird, d. h. die Eichung unseres Meßinstrumentes Miesmuschel verstellt wird.

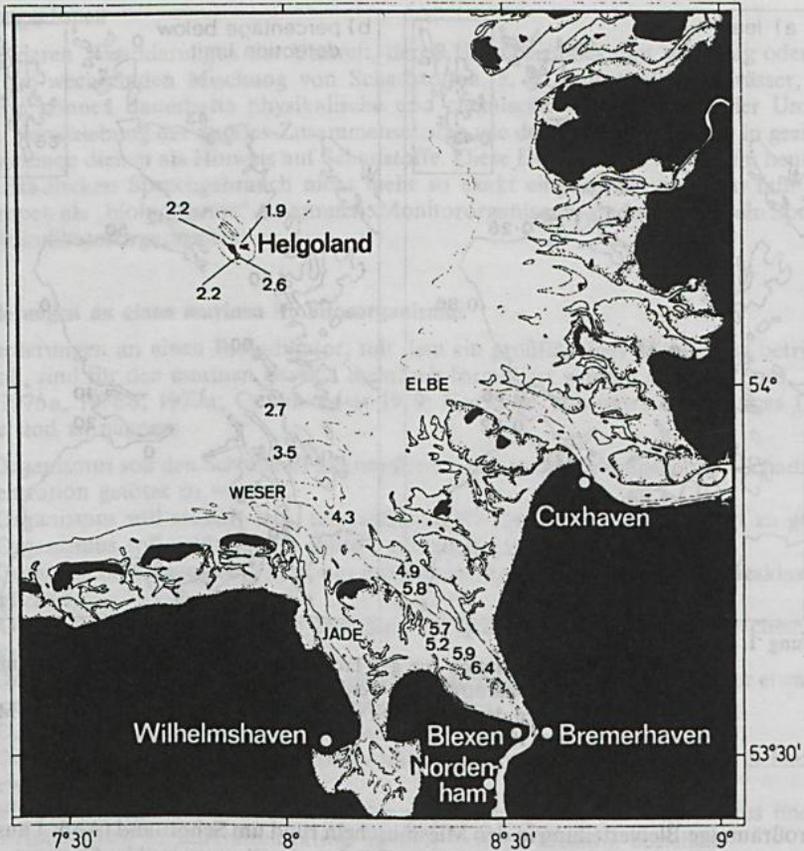


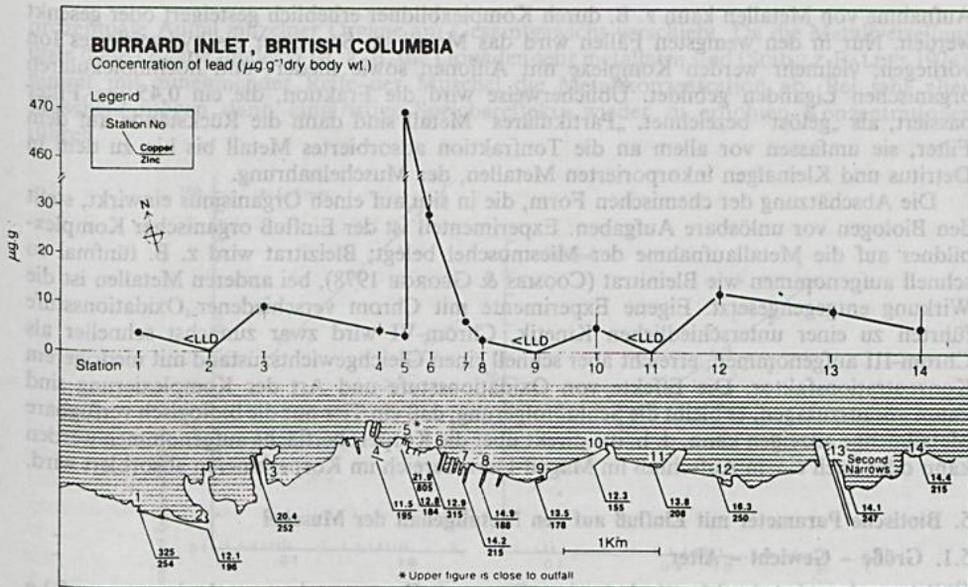
Abbildung 2. *Mytilus edulis*. Bleikonzentration ( $\mu\text{g g}^{-1}$  Trockengewicht) von Individuen aus dem Weserästuar und der Deutschen Bucht (aus SCHULZ-BALDES 1973).

#### 4.1. Temperatur

Werden Muscheln von Standorten verschiedener geographischer Breite verglichen (siehe mussel watch in den USA), können Differenzen bis zu 20 °C in der mittleren Jahrestemperatur des Seewassers auftreten. Leider ist die Literatur über den Effekt der Temperatur auf die Metallakkumulation sehr spärlich. PHILLIPS (1976a) berichtet, daß die Blei- und Zinkaufnahme nicht von der Temperatur beeinflusst wird, die Cadmiumaufnahme hingegen bei tieferen Temperaturen erniedrigt wird. Anorganisches Quecksilber und Methylquecksilber werden bei höheren Temperaturen sowohl schneller aufgenommen wie abgegeben (FOWLER, HEYRAUD & LA ROSA 1978). Die Temperatur wirkt offensichtlich nicht auf die Metalle wie auf andere physiologische Funktionen im Tier ein, z. B. die Filtrierate. Vielmehr scheint eine Lösung dieses Problems in der Aufklärung der Transportmechanismen in das Tier hinein zu liegen. Diffusionsvorgänge sollten temperaturunabhängig, aktive Aufnahme wie der allgemeine Metabolismus temperaturabhängig sein. Untersuchungen dieser Art wurden bisher meines Wissens noch nicht vergleichend für die verschiedenen Metalle durchgeführt.

#### 4.2. Salinität

In den Flußästuarien oder den Randmeeren wie der Ostsee treten starke Gradienten in der Salinität auf. Die Salinität hat in der Tat einen großen Einfluß auf die Metallakkumulation der Miesmuschel und stellt nach meiner Ansicht einen der schwierigsten Parameter bei der Eichung als Monitororganismus dar. PHILLIPS (1977b) gibt zwar für Zink eine Unabhängigkeit

Abbildung 3. *Mytilus edulis*.

Oben: Bleikonzentration ( $\mu\text{g g}^{-1}$  Trockengewicht) von ganzen Muscheln (ohne Schale), die entlang des Nordstrandes des Burrard Inlet, British Columbia, gesammelt wurden.

Unten: Stationskarte des Burrard Inlet und Angaben der Kupfer und Zink-Konzentrationen der Muscheln. Die schraffierte Fläche zeigt Land an (aus POPHAM et al. 1980).

der Aufnahme rate von der Salinität an, zeigt aber einen Anstieg der Aufnahme rate von Cadmium bei erniedrigter Salinität. JACKIM, MORRISON & STEDE (1977) bestätigen dieses Ergebnis für Cadmium bei 4 Muschelarten. Auch eigene Versuche mit Chrom brachten bei Erniedrigung der Salinität von 33 auf 20‰ eine Verdopplung der Aufnahme rate, weitere Erniedrigung der Salinität auf 10‰ vergrößerte die Aufnahme rate auf das 2½fache (SCHULZ-BALDES, unveröffentlicht). Auch Freilanduntersuchungen verdeutlichen diesen Effekt. PHILLIPS (1977c, 1978) untersuchte *Mytilus*-Populationen aus der Ostsee und beschreibt für Cd, Zn, Pb, Fe und Mn deutlich höhere Werte im Bottnischen Meerbusen bei 5–6‰ Salinität. Dort liegen die Bleikonzentrationen z. B. um das 10–20fache höher als in Tieren aus dem Weserästuar, in der Verschmutzung dürften sich beide Gebiete aber kaum um einen solchen Faktor unterscheiden. Beim Vergleich von Muscheln, die an Standorten verschiedener Salinität gesammelt werden, muß wohl experimentell im Labor eine Eichkurve für das betreffende Metall erstellt werden und ein Korrekturfaktor für eine erniedrigte Salinität eingeführt werden. Kompliziert wird dieses Problem noch durch die Verknüpfung von Salinitäts- und Temperatureffekt gerade in den Randbereichen des Meeres.

#### 4.3. Position in der Wassersäule

Einige Autoren (NIELSEN 1974, DE WOLF 1975, PHILLIPS 1976a) berichten von vertikalen Gradienten im Metallgehalt von Muscheln, die an verschiedener Tiefe in der Wassersäule leben. Die Auswirkungen sind bei verschiedenen Metallen unterschiedlich und wohl zu erklären durch Variationen im Nahrungsangebot, Trübstoffgehalt und übergeschichtetem Süßwasser. Natürlich muß dieser Punkt bei einer Sammelstrategie berücksichtigt werden.

#### 4.4. Chemische Form des Metalls

Tiere können nur die Metallkonzentrationen ihrer Umgebung widerspiegeln, die ihnen biologisch verfügbar ist. Nur ein Teil der chemisch gemessenen Gesamtkonzentration eines Elementes, gelöst und partikulär, kann vom Organismus aufgenommen werden. Bei der Beurteilung über die Gefährlichkeit einer Substanz in der Umwelt wird der Begriff der „bioavailability“ wohl zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Toxizität wie auch die

Aufnahme von Metallen kann z. B. durch Komplexbildner erheblich gesteigert oder gesenkt werden. Nur in den wenigsten Fällen wird das Metall im Seewasser als hydratisiertes Ion vorliegen, vielmehr werden Komplexe mit Anionen sowie nieder- und hochmolekularen organischen Liganden gebildet. Üblicherweise wird die Fraktion, die ein  $0,45 \mu\text{m}$  Filter passiert, als „gelöst“ bezeichnet. „Partikuläres“ Metall sind dann die Rückstände auf dem Filter, sie umfassen vor allem an die Tonfraktion adsorbiertes Metall bis hin zu dem in Detritus und Kleinalgen inkorporierten Metallen, der Muschelnahrung.

Die Abschätzung der chemischen Form, die in situ auf einen Organismus einwirkt, stellt den Biologen vor unlösbare Aufgaben. Experimentell ist der Einfluß organischer Komplexbildner auf die Metallaufnahme der Miesmuschel belegt; Bleizitrat wird z. B. fünfmal so schnell aufgenommen wie Bleinitrat (COOMBS & GEORGE 1978), bei anderen Metallen ist die Wirkung entgegengesetzt. Eigene Experimente mit Chrom verschiedener Oxidationsstufe führten zu einer unterschiedlichen Kinetik, Chrom-VI wird zwar zunächst schneller als Chrom-III aufgenommen, erreicht aber schnell einen Gleichgewichtszustand mit niedrigerem Konzentrationsfaktor. Die Effekte von Oxidationsstufe und Art der Komplexbildung sind kaum vorauszusagen, es bleibt die Schlußfolgerung, daß ein Tier nur die biologisch verfügbare Metallmenge anzeigen kann, d. h. die direkt über die Körperoberfläche aufgenommen werden kann oder nach einem Aufschluß im Magen-Darmbereich im Körperinneren absorbiert wird.

## 5. Biotische Parameter mit Einfluß auf den Metallgehalt der Muschel

### 5.1. Größe - Gewicht - Alter

Üblicherweise wird der Metallgehalt eines Tieres als Konzentrationsangabe bezogen auf 1 g Feucht- oder Trockensubstanz des Gesamtkörpers angegeben. Die Vergleichbarkeit verschiedener Metallkonzentrationen wird aber dann beeinträchtigt, wenn die Bezugsgröße Tiergewicht Schwankungen unterworfen ist. Vergleicht man in einer Muschelpopulation Tiere verschiedener Größe, findet sich meist eine Abhängigkeit der Metallkonzentration vom Tiergewicht (Abb. 4 aus NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 1980): Junge Muscheln weisen eine hohe Metallkonzentration auf, die dann mit zunehmendem Alter abnimmt, sehr alte Tiere können wieder höhere Konzentrationen besitzen. Eine Erklärung läßt sich wohl im unterschiedlichen Metabolismus von jungen und alten Tieren finden und auch darin, daß sich der

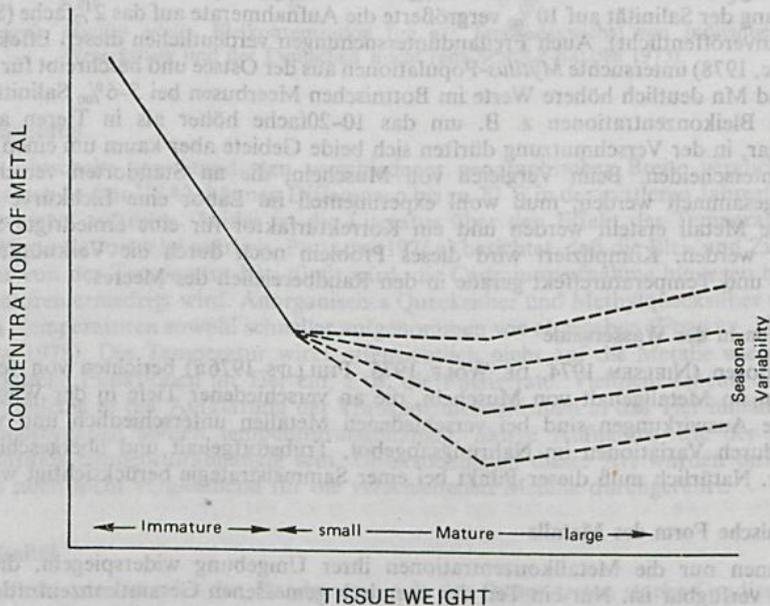


Abbildung 4. Theoretisches Profil für die Beziehung zwischen Metallkonzentration und Körpergewicht (gesamter Weichkörper) bei der Muschel (aus NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 1980).

prozentuale Anteil einzelner Organe am Gesamtgewicht verschiebt. Da die Metallverteilung über diese Organe ungleich ist, z. B. die Gonaden sehr metallarm sind (SCHULZ-BALDES 1974), nimmt mit zunehmender Reife der Muschel die Metallkonzentration ab. Bei sehr alten Muscheln mögen dann langfristige Speichereffekte wieder zu erhöhten Konzentrationen führen.

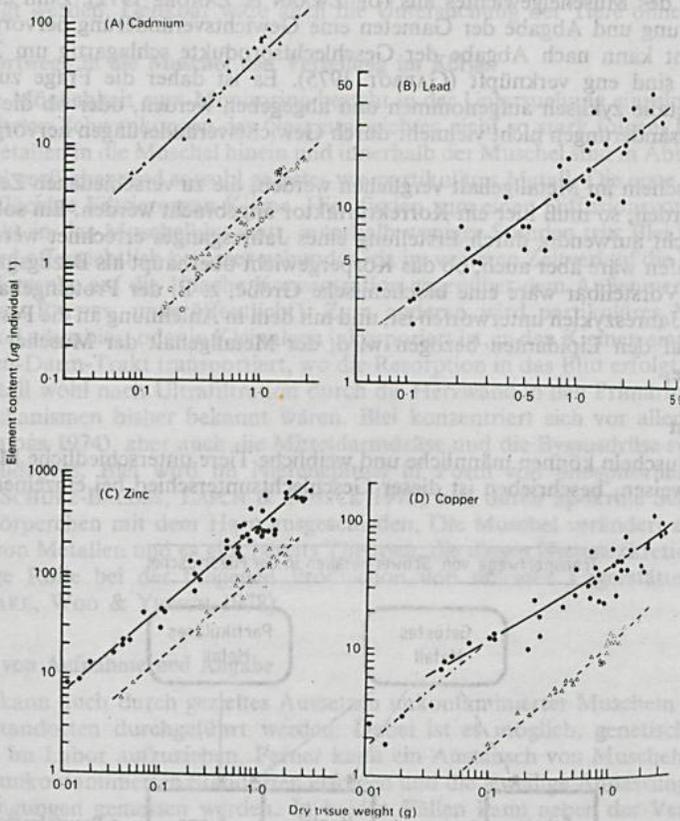


Abbildung 5. *Mytilus edulis*. Verhältnis von Elementgehalt zu Körpergewicht.

- (a) Cadmium,  
 (b) Blei,  
 (c) Zink einer unkontaminierten (offene Dreiecke) und kontaminierten (geschlossene Kreise) Population,  
 (d) Kupfer einer unkontaminierten (offene Dreiecke) und einer kontaminierten (geschlossene Kreise) Population (aus BOYDEN 1977).

Ein Versuch, diese Gewichtsabhängigkeit zu überwinden, ist die Errechnung der Metallkonzentration bei einem Standardtier von etwa 1 g Feuchtgewicht und 50 mm Schalenlänge. Trägt man den Metallgehalt der Individuen gegen das Körpergewicht auf (Abb. 5 aus BOYDEN 1977), ergibt sich in doppelt-logarithmischer Darstellung meist eine Gerade. Für die Steigung dieser Geraden wurden von BOYDEN (1977) 3 häufig auftretende Fälle gekennzeichnet: Oft beträgt die Steigung etwa 0,75 (Beispiel: Zink bei *Mytilus*), d. h. größere Tiere haben einen relativ geringeren Metallgehalt, oder um 1,0 (Beispiel: Cadmium bei *Mytilus*), d. h. die Konzentration ist unabhängig von der Größe. In seltenen Fällen liegt die Steigung bei 1,5–2,0 (Beispiel: Cadmium bei *Patella*), d. h. der Metallgehalt nimmt mit der Größe zu. Neuere Untersuchungen zeigen allerdings auch, daß die genannten Beziehungen mit der Jahreszeit variieren können, wobei statistische Berechnungen ergaben, daß in der Tat das Tiergewicht und nicht Alter oder Gonadenentwicklung von entscheidendem Einfluß ist (COSSA et al. 1980).

### 5.2. Jahreszeitlicher Zyklus

Viele Autoren beschreiben jahreszeitliche Schwankungen der Metallkonzentration von Muscheln (BRYAN 1973, FOWLER & OREGIONI 1976, FRAZIER 1975). Ursache ist der Ablauf innerer Zyklen in der Muschel. Zum einen wird im Verlauf des Frühjahrs und des Sommers der Reservestoff Glykogen gespeichert und im Winter verbraucht, der Glykogenanteil macht dabei 10–35% des Muschelgewichtes aus (DE ZWAAN & ZANDEE 1972). Zum anderen wird durch Ausbildung und Abgabe der Gameten eine Gewichtsveränderung hervorgerufen, das Trockengewicht kann nach Abgabe der Geschlechtsprodukte schlagartig um 30% sinken. Beide Zyklen sind eng verknüpft (GABBOT 1975). Es ist daher die Frage zu stellen, ob tatsächlich Metalle zyklisch aufgenommen und abgegeben werden, oder ob die gemessenen Konzentrationsänderungen nicht vielmehr durch Gewichtsveränderungen hervorgerufen werden.

Sollen Muscheln im Metallgehalt verglichen werden, die zu verschiedenen Zeiten im Jahr gesammelt wurden, so muß hier ein Korrekturfaktor angebracht werden. Ein solcher Faktor kann wohl recht aufwendig durch Erstellung eines Jahresganges errechnet werden. Experimentell zu prüfen wäre aber auch, ob das Körpergewicht überhaupt als Bezugsgröße gewählt werden muß. Vorstellbar wäre eine biochemische Größe, z. B. der Proteingehalt, der wohl nicht so stark Jahreszyklen unterworfen ist, und mit dem in Anlehnung an die Pestizidkonzentration, die auf den Lipidanteil bezogen wird, der Metallgehalt der Muschel ausgedrückt werden könnte.

### 5.3. Geschlecht

Bei adulten Muscheln können männliche und weibliche Tiere unterschiedliche Metallkonzentrationen aufweisen, beschrieben ist dieser Geschlechtsunterschied bei einzelnen Arten und

Transportwege von Schwermetallen in der Miesmuschel

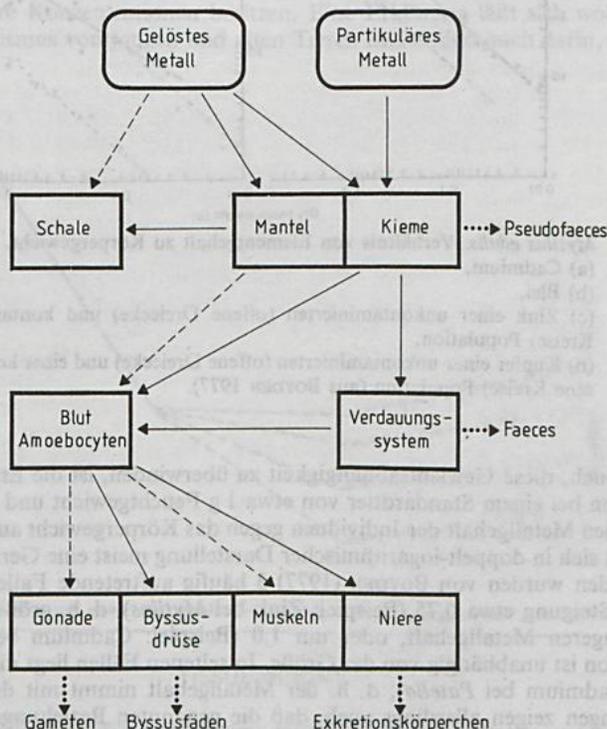


Abbildung 6. Schema über mögliche Transportwege von Schwermetallen in der Miesmuschel.

Metallen mit entgegengesetztem Ergebnis. ALEXANDER & YOUNG (1976) fanden bei *Mytilus californianus* die folgenden Verhältnisse der Metallkonzentration zwischen Männchen und Weibchen: Cu 0,5; Pb 1,7; Zn 0,6. Keine Unterschiede gab es bei Cr, Ni und Ag. GORDON, KNAUER & MARTIN (1980) bestimmten ebenfalls bei *Mytilus californianus* ähnliche Werte mit 0,36 für Cu und 0,17 für Zn, fanden aber bei Cd, Cr, Fe, Pb und Ni keine Unterschiede. Dieser Parameter variiert offensichtlich sehr stark und muß für die meisten Elemente wohl nicht berücksichtigt werden. Denkbar wäre auch die Untersuchung der Tiere ohne die Gonaden.

#### 5.4. Transportwege in die Muschel und Verteilung im Körper

Eine weitere Möglichkeit zum Monitoring besteht in der Untersuchung einzelner Organe, die den aufgeführten Schwankungen des Gesamtgewichtes nicht so stark folgen. Die Transportwege von Metallen in die Muschel hinein und innerhalb der Muschel sind in Abb. 6 dargestellt. Der Muschel verfügbar sind sowohl gelöstes wie partikuläres Metall. Die erste Kontaktfläche ist das großflächige Filtrierorgan Kieme. Hier finden zum einen Diffusionsvorgänge gelöster Metalle direkt in das Muschelblut statt, innerhalb weniger Stunden tritt Blei in die Lymphe über und wird offensichtlich komplex gebunden, da im weiteren Zeitverlauf die Bleikonzentration in der Lymphe auf die 10fache Konzentration gegenüber dem Außenmedium ansteigen kann (SCHULZ-BALDES, unveröffentlicht). Zum anderen wird partikuläres Metall, das an Sestonpartikel adsorbiert oder in Kleinalgen inkorporiert ist, in den Kiemen eingeschleimt und in den Magen-Darm-Trakt transportiert, wo die Resorption in das Blut erfolgt. Aus dem Blut tritt das Metall wohl nach Ultrafiltration durch die Herzwand in den Primärharn über, ohne das die Mechanismen bisher bekannt wären. Blei konzentriert sich vor allem in der Niere (SCHULZ-BALDES 1974), aber auch die Mitteldarmdrüse und die Byssusdrüse sind bevorzugte Schwermetalldepots. Blei wird im Nierenepithel in Form von phosphorhaltiger Granula abgelagert (SCHULZ-BALDES, LASCH & BOSECK 1978) und durch apokrine Sekretion als ein Exkretionskörperchen mit dem Harn ausgeschieden. Die Muschel verändert also die chemische Form von Metallen und es gibt bereits Theorien, die diesen Nierenexkretionskörperchen eine wichtige Rolle bei der biogenen Produktion von marinen Lagerstätten zuschreiben (DOYLE, BLAKE, WOO & YEVICH 1978).

#### 5.5. Kinetik von Aufnahme und Abgabe

Monitoring kann auch durch gezieltes Aussetzen unkontaminierter Muscheln an vermutlich belasteten Standorten durchgeführt werden. Dabei ist es möglich, genetisch einheitliches Tiermaterial im Labor aufzuziehen. Ferner kann ein Austausch von Muscheln an kontaminierten und unkontaminierten Standorten erfolgen und die jeweilige Anpassung an die neuen Umweltbedingungen gemessen werden. In beiden Fällen kann neben der Veränderung der Metallkonzentration dabei auch das Wachstum als Parameter für die Umweltqualität des Standortes herangezogen werden. Für Versuche dieser Art ist eine Kenntnis der Aufnahme- und Abgabekinetik des untersuchten Metalls notwendig. Eine lineare Abhängigkeit der Aufnahme- und Abgaberate von der Metallkonzentration im Medium ist im Laborexperiment für zahlreiche Metalle nachgewiesen (Abb. 7 aus SCHULZ-BALDES 1974). Die Aufnahmegeschwindigkeit der Metalle ist naturgemäß auf Grund von Ionenradius und Hydrathülle sehr verschieden, auf den Einfluß der chemischen Zustandsform wurde bereits hingewiesen. Gleiches gilt für die biologische Halbwertszeit der Metalle im Muschelkörper. Beide Vorgänge können sehr langsam ablaufen, so daß sich sehr lange Zeiträume bis zur Einstellung eines Gleichgewichtes bei veränderter Außenkonzentration des Schadstoffes ergeben, für Blei wurden z. B. Äquilibrierungszeiten länger als 1 Jahr abgeschätzt (SCHULZ-BALDES 1974). Allerdings beruht auf dieser Kinetik die integrierende und glättende Wirkung der Muschel als Bioindikator für Metalle, kurzfristige Belastungen werden nicht angezeigt.

#### 6. Schlußfolgerungen und Strategie für ein Monitoring-Programm

Ziel eines biologischen Monitoring ist der Rückschluß vom Metallgehalt des Bioindikators auf die Schadstoffbelastung des Sammelstandortes. Dabei soll der Vorteil der zeitintegrierenden Schadstoffaufnahme durch Organismen genutzt werden. Allerdings werden durch die Organismen selbst zusätzliche Oszillationen eingeführt, die nur zum Teil durch mathematische Operationen ausgeglichen werden können, zum anderen Teil aber als naturgegebene Meß-

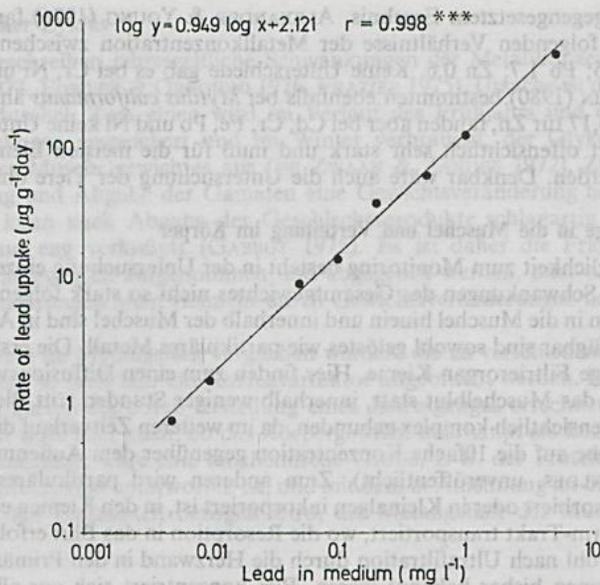


Abbildung 7. *Mytilus edulis*. Abhängigkeit der Bleiaufnahmerate ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{Tag}^{-1}$ ) von der Bleikonzentration im Medium (aus SCHULZ-BALDES 1974).

ungenauigkeit dieses Systems hingenommen werden müssen.

Einige Punkte seien aufgeführt, die bei der Durchführung eines Monitoring-Programms berücksichtigt werden sollten.

- Verschiedene Muschelgrößen sollen gesammelt werden, um eine Größenreihe mit den entsprechenden Konzentrationen darzustellen. Versucht werden kann dann eine Normalisierung auf eine Standardgröße.
- Die Sammelaktion sollte an charakteristischen Zeitpunkten im Jahreszyklus wiederholt werden. Vor der Analyse sollten die Muscheln 2 Tage zum Auskoten gehältert werden.
- Neben der Sammlung der Muscheln sollten abiotische Parameter am Sammelstandort gemessen werden: Salinität, Temperatur, Position in der Wassersäule, Sedimenttyp und Korngröße, Trübstoffgehalt, Nahrungsangebot.
- Zu erwägen ist die vergleichende Untersuchung biochemischer Parameter wie Protein-, Lipid- und Kohlenhydratanteil und der Versuch, die Bezugsgröße Körpergewicht zu ersetzen.
- Auch einzelne Organe lassen sich zum Monitoring verwenden, vor allem diejenigen, die nicht am jährlichen Reservestoff- und Gametenzyklus beteiligt sind wie Niere, Byssusdrüse und Kieme sowie bedingt die Mitteldarmdrüse.

Sollen besonders belastete Gebiete aufgespürt werden, läßt sich ein solches Programm wohl vereinfachen. Ist aber eine langfristige Trendanalyse geplant, halte ich den genannten Aufwand für dringend erforderlich, um echte Verschmutzungseffekte vom „Untergrundrauschen“ zu trennen. Hier erscheint es sinnvoller, sich auf wenige, ausgewählte Standorte zu beschränken, dort aber umfangreiche Serien zu entnehmen. Biologische Indikatoren können nur ein Aspekt in der Darstellung der Umweltbelastung in den Ästuaren und Randmeeren sein; die nur allzu spärlich veröffentlichten Werte aus Wasser oder Sediment der deutschen Hoheitsgewässer lassen mir ein Monitoring-Programm mit Miesmuscheln aber als erforderlich und auch erfolgversprechend erscheinen.

#### Literatur

- ALEXANDER, G. V. & YOUNG, D. R. (1976): Trace metals in Southern California mussels. - Mar. Pollut. Bull. 7, 7-9.

- BOYDEN, C. R. (1977): Effect of size upon metal content of shellfish. - J. mar. biol. Ass. U. K. 57, 675-714.
- BRYAN, G. W. (1973): The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* (L.) and *Chlamys opercularis* (L.). - J. mar. biol. Ass. U. K. 53, 145-166.
- BUTLER, P. A., ANDREN, L., BONDE, G. J., JERNELÖV, A. & REISH, D. J. (1971): Monitoring organisms. - FAO Fisheries Reports No. 99 Suppl. 1, 101-112.
- COOMBS, T. C. & GEORGE, S. G. (1978): Mechanisms of immobilization and detoxication of metals in marine organisms S. 179-187, in: MCLUSKY, D. S. & BERRY, A. J., Physiology and behaviour of marine organisms, 388 S. - Oxford (Pergamon Press).
- COSSA, D., BOURGET, E., POULIOT, D., PIUZE, J. & CHANUT, J. P. (1980): Geographical and seasonal variation in the relationship between trace metal content and body weight in *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 58, 7-14.
- CUNNINGHAM, P. A. (1979): The use of bivalve molluscs in heavy metal pollution research. S. 183-221, in: VERNBERG, W. B., CALABRESE, A., THURBERG, F. P. & VERNBERG, F. J., Marine pollution: functional responses. - New York (Academic Press).
- DAVIES, I. M. & PIRIE, J. M. (1980): Evaluation of a „mussel watch“ project for heavy metals in Scottish coastal waters. - Mar. Biol. 57, 87-93.
- DE WOLF, P. (1975): Mercury content of mussels from West European coasts. - Mar. Pollut. Bull. 6, 61-63.
- DE ZWAAN, A. & ZANDEE, D. I. (1972): Body distribution and seasonal changes in the glycogen content of the common sea mussel *Mytilus edulis*. - Comp. Biochem. Physiol. 43 A, 53-58.
- DOYLE, L. J., BLAKE, N. J., WOO, C. C. & YEVICH, P. (1978): Recent biogenic phosphorite: concretions in mollusk kidneys. - Science 199, 1431-1433.
- FRAZIER, J. M. (1975): The dynamics of metals in the American oyster, *Crassostrea virginica*. I. Seasonal effects. - Chesapeake Sci. 16, 162-171.
- (1976): The dynamics of metals in the american oyster *Crassostrea virginica*. II. Environmental effects. - Chesapeake Sci. 17, 188-197.
- FOWLER, S. W. & OREGIONI, B. (1976): Trace metals in mussels from N. W. Mediterranean. - Mar. Pollut. Bull. 7, 26-29.
- , HEYRAUD, M. & LA ROSA, J. (1978): Factors affecting methyl and inorganic mercury dynamics in mussels and shrimp. - Mar. Biol. 46, 267-276.
- GABBOTT, P. A. (1975): Storage cycles in marine bivalve molluscs: a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis. - Proc. 9th Europ. mar. biol. Symp., Aberdeen (University Press), 191-211.
- GOLDBERG, E. D., BOWEN, V. T., FARRINGTON, J. W., HARVEY, G., MARTIN, J. H., PARKER, P. L., RISEBROUGH, R. W., ROBERTSON, W., SCHNEIDER, E. & GAMBLE, E. (1978): The mussel watch. - Environ. Conserv. 5, 101-125.
- GORDON, M., KNAUER, G. A. & MARTIN, J. H. (1980): *Mytilus californianus* as a bioindicator of trace metal pollution: variability and statistical considerations. - Mar. Pollut. Bull. 11, 195-198.
- JACKIM, E., MORRISON, G. & STEDE, R. (1977): Effects of environmental factors on radiocadmium uptake by four species of marine bivalves. - Mar. Biol. 40, 303-308.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1980): The international mussel watch. - Office of Publications, National Academy of Sciences, 248 S., Washington, D. C.
- NIELSEN, S. A. (1974): Vertical concentration gradients of heavy metals in cultured mussels. - N. Z. J. Mar. Freshwater Res. 8, 631-636.
- PHILLIPS, D. J. H. (1976a): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. Effects of environmental variables on uptake of metals. - Mar. Biol. 38, 59-70.
- (1976b): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. II. Relationship of metals in the mussel to those discharged by industry. - Mar. Biol. 38, 71-80.
- (1977a): The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. - Environm. Pollut. 13, 281-317.
- (1977b): Effects of salinity on the net uptake of zinc by the common mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 41, 79-88.
- (1977c): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. I. Zinc and cadmium. - Mar. Biol. 43, 283-291.
- (1978): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. II. Lead, iron and manganese. - Mar. Biol. 46, 147-156.
- POPHAM, J. D., JOHNSON, D. C. & D'AURIA, J. M. (1980): Mussels (*Mytilus edulis*) as „point source“ indicators of trace metal pollution. - Mar. Pollut. Bull. 11, 261-263.
- SCHULZ-BALDES, M. (1973): Die Miesmuschel *Mytilus edulis* als Indikator für die Bleikonzentration im Weserästuar und in der Deutschen Bucht. - Mar. Biol. 21, 98-102.
- (1974): Lead uptake from sea water and food, and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 25, 177-193.
- , LASCH, R. & BOSECK, S. (1978): The localization of lead in the tissue of *Mytilus edulis* by means of x-ray microanalysis in the TEM and STEM mode. - Edax Editor 8, 17-18.

- & CHENG, L. (1980): Cadmium in *Halobates micans* from the central and south Atlantic Ocean. - Mar. Biol. 59, 163-168.

Anschrift des Verfassers: Dr. Meinhard Schulz-Baldes, Institut für Meeresforschung, Am Handelshafen 12, D-2850 Bremerhaven 1.

COOPER, T. C. & GROSS, S. O. (1978): Mechanisms of metallothionein and detoxication of metals in marine organisms. S. 159-187. in: McCarty, D. S. & Biers, A. J. (eds): Physiology and behavior of marine organisms, 1982. S. 2 - Oxford (Pergamon Press).

CORRI, D., BOUDRET, H., PAULOT, D., PÉREZ, J. & CHAMPT, J. P. (1980): Geographical and seasonal variation in the relationship between trace metal content and body weight in *Aplysia californica*. - Mar. Biol. 58, 7-14.

CUNNINGHAM, F. A. (1979): The use of bioassay techniques in heavy metal pollution research. S. 183-221. in: Vigneron, W. B., Calabrese, A., Finkbeiner, F. P. & Vigneron, F. J. (eds): Marine pollution: functional responses. - New York (Academic Press).

DAVIES, I. M. & PEAR, J. M. (1980): Evaluation of a natural water sample for heavy metals in Scottish coastal waters. - Mar. Biol. 57, 87-92.

DE ZWAAN, A. & ZANDER, D. I. (1975): Body distribution and seasonal changes in the tissue content of the common sea mussel *Mytilus edulis*. - Comp. Biochem. Physiol. 43A, 21-28.

DOYLE, J. J., BLAKE, N. J., WOOD, C. C. & YARVEL, P. (1978): Recent decrease in phosphorus concentration in mollusk tissues. - Science 199, 1431-1433.

FRASER, I. M. (1975): The dynamics of metals in the American oyster, *Crassostrea virginica*. I. Seasonal effects. - Chemosphere 5, 161-171.

FRASER, I. M. (1976): The dynamics of metals in the American oyster, *Crassostrea virginica*. II. Environmental effects. - Chemosphere 5, 171-180.

FRASER, I. M. & CHAMPT, J. P. (1979): Metallothionein in mollusks. - Mar. Biol. 52, 26-32.

HARRIS, M. & LA ROSE, J. (1978): Factor affecting metal and organic mercury dynamics in mussels and shrimp. - Mar. Biol. 46, 267-276.

GARRETT, P. A. (1975): Seasonal cycle in metal bioaccumulation by the mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 32, 209-214.

GOLDSTEIN, E. D., GOSSELINK, J. W., HANSEN, D., KAMARSKY, J. S., KATZ, J. L., RABALAIS, N. N., SCHNEIDER, W., SCHNEIDER, E. & GARDNER, W. (1978): The metal content of the common sea mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 47, 101-111.

GORDON, M., KRAVATZ, G. A. & WATSON, T. H. (1980): Heavy metal bioaccumulation in the mussel *Mytilus edulis* under natural and experimental conditions. - Mar. Biol. 59, 117-124.

JARVIS, R. (1977): Trace metal bioaccumulation in the mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 44, 101-107.

JARVIS, R. (1978): The relationship between metal bioaccumulation and metallothionein in the mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 47, 115-120.

JARVIS, R. (1979): Vertical concentration profiles of heavy metals in different tissues of the mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 52, 21-26.

PHILLIPS, D. J. H. (1975): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. I. Effect of environmental variables on uptake of metals. - Mar. Biol. 32, 39-50.

PHILLIPS, D. J. H. (1976): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead and copper. II. Effect of environmental variables on uptake of metals. - Mar. Biol. 33, 51-61.

PHILLIPS, D. J. H. (1977): The use of biological indicators to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. - Progress. Fish. Cult. 39, 1-11.

PHILLIPS, D. J. H. (1978): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. III. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. - Mar. Biol. 47, 121-126.

PHILLIPS, D. J. H. (1979): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. IV. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. - Mar. Biol. 52, 27-32.

PHILLIPS, D. J. H. (1980): The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. V. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by lead, cadmium, iron and copper. - Mar. Biol. 57, 83-88.

SCHULZ-BALDES, M. (1975): Die Akkumulation von Schwermetallen in der Gemeinen Muschel *Mytilus edulis* L. - Mar. Biol. 27, 94-102.

WESTERHOF, J. & DE VRIES, W. (1978): The relationship between metal bioaccumulation and metallothionein in the common mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 47, 127-132.

WESTERHOF, J. & DE VRIES, W. (1979): The relationship between metal bioaccumulation and metallothionein in the common mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 52, 33-38.

WESTERHOF, J. & DE VRIES, W. (1980): The relationship between metal bioaccumulation and metallothionein in the common mussel *Mytilus edulis*. - Mar. Biol. 57, 89-94.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: [BH\\_26](#)

Autor(en)/Author(s): Schulz-Baldes Meinhard

Artikel/Article: [Tiere als Monitororganismen für Schwermetalle im Meer - ein Überblick 43-54](#)