



Fig. 1. Het verzamelen van zeemosselen (*Mytilus edulis*), voor biomonitoringsdoeleinden (foto: RIVO, Drs. Drinkwaard). Collecting sea mussels (*Mytilus edulis*) for biomonitoring.

Aquatische organismen als biomontoren ter bewaking van de waterkwaliteit

Beheerders van rivieren, plassen en kustwateren houden de waterkwaliteit nauwlettend in het oog. Dit is noodzakelijk, omdat het water nog steeds verontreinigd kan zijn met voor mens, plant en dier giftige stoffen. Tot voor kort maakten de beheerders van de waterkwaliteit daarbij voornamelijk gebruik van fysische en chemische methoden. Er is echter een toenemende belangstelling voor het gebruik van aquatische organismen bij de bewaking van de waterkwaliteit. Reeds enige tijd wordt biomonitoring uitgevoerd om de mate van de watervervuiling vast te stellen. Daarnaast bestaat er interesse voor bio-alarmingsystemen die waarschuwen bij plotseling optredende waterverontreiniging.

D. I. Zandee &
H. J. Herwig

De waterkwaliteit in Nederland baart alle betrokkenen voortdurend grote zorg. Deze zorg wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van chemische verontreiniging die niet alleen afkomstig is van allerlei industrieën, kolen- en gasgestookte elektriciteitscentrales, vuilverbrandingsovens, vuilnisbelten en tal van agrarische bedrijvigheden in eigen land, maar ook voor een belangrijk deel af-

komstig is uit de ons omringende landen. De grote rivieren Rijn, Maas en Schelde voeren nog steeds te grote hoeveelheden chemische stoffen ons land binnen die onze oppervlakte- en kustwateren vervuilen. Doordat de meeste stoffen adsorberen aan in het water zwevend materiaal dat vervolgens sedimenteert in onze rivierendelta, zijn vooral onze waterbodems sterk verontreinigd. Alhoewel door nationale en internationale wetgeving de lozingen van afvalstoffen op rivieren en oppervlaktewateren het afgelopen decennium duidelijk zijn verminderd, moet toch worden geconstateerd dat aanvoer van milieu-onvriendelijke stoffen nog dagelijks doorgaat en derhalve nog steeds verontreinigd materiaal aan het oppervlaktewater en het reeds sterk vervuilde sediment wordt toegevoegd. Dit laatste geldt vooral voor de meer resistente stoffen zoals zware

metalen, PCB's, dioxinen, organochloorbestrijdingsmiddelen en PAK's.

De traditionele fysisch-chemische methoden voor de bepaling van waterkwaliteitsparameters zoals de zuurgraad, de beschikbare hoeveelheid zuurstof of de aanwezigheid van toxische stoffen kan op betrekkelijk korte termijn waardevolle informatie opleveren om trent de te verwachten toxiciteit van het water. Om technische en financiële redenen wordt in de praktijk de aanwezigheid van slechts een beperkt aantal potentieel giftige verbindingen bepaald en vaak nog met grote tussenpozen. Het aantal chemische verbindingen in de grote rivieren wordt geschat op ca 2000, waaronder met name organische microverontreinigingen in de vorm van veelal onbekende reststoffen van industriële processen. Hiervan wordt hooguit 10% met de thans beschikbare methoden geanalyseerd.

De keuze van de te analyseren verbindingen is een afspiegeling van onze huidige, in vele opzichten beperkte, toxicologische kennis. Bij louter fysisch-chemische monitoring zal een aantal mogelijk schadelijke factoren aan onze waarneming ontsnappen. Bovendien zal het wel aantonen van bepaalde stoffen nog geen directe informatie opleveren over de mogelijk nadelige effecten voor de bewoners en de gebruikers van het geanalyseerde water.

Zo geven in het water gemeten concentraties nog geen informatie over de hoeveelheid, die door een organisme kan worden opgenomen (de biologische beschikbaarheid). Evenmin is duidelijk welke effecten zeer lage subletale concentraties van bepaalde stoffen hebben op de lange termijn of wat het effect is van het tegelijkertijd voorkomen van vele verschillende contaminanten.

Nog moeilijker wordt het om voorspellingen te doen over de te verwachten schadelijke effecten als in het water levende organismen ten gevolge van natuurlijke variabelen zoals zuurgraad, temperatuur, saliniteit, zuurstofgehalte of voedselaanbod in een slechte conditie verkeren.

Aangezien het niet eenvoudig is om de voor mens en dier schadelijke gevolgen van watervervuiling voor de levende natuur via fysisch-chemische analyses te voorspellen zou het een waardevolle aanvulling zijn als we met behulp van biologische organismen schadelijke effecten direct kunnen aantonen. In dit

artikel zal in het bijzonder aandacht worden besteed aan de verschillende methoden van kwaliteitsbewaking door gebruikmaking van aquatische organismen.

Biomonitoring en bioalarmering

Onder biomonitoring en bioalarmering verstaan we het gebruik van levende organismen bij de kwaliteitsbeoordeling en de bewaking van ons leefmilieu. Bij het bewaken van de waterkwaliteit dienen aquatische organismen als sensoren om veranderingen in het water te signaleren met behulp van een biologische respons. Er is een duidelijk verschil tussen biomonitoring en bioalarmering. Bij biomonitoring gaat het om discontinue registratie van de waterkwaliteit en veranderingen daarin op langere termijn, terwijl bij bioalarmering het water continu wordt gecontroleerd op plotseling optredende veranderingen.

Biomonitoringprogramma's worden uitgevoerd met zorgvuldig geselecteerde en voor het milieu representatieve organismen, ook wel 'indicator-organismen' genoemd. Omdat de gevoeligheid van organismen voor vervuiling zeer verschillend is, worden in zo'n programma vaak verschillende soorten gebruikt. Een dergelijke opzet verschaft meer inzicht in de schade die een ecosysteem door vervuiling met chemische stoffen kan oplopen. In de regel worden biomonitoringprogramma's uitgevoerd om de aard en mate van vervuiling in de benedenloop van rivieren, oppervlaktewateren te registreren. Hiervoor wordt een vrij uitgebreid netwerk van meetlocaties gekozen waaruit aanwezige populaties dieren en soms ook planten worden verzameld en geanalyseerd op de aanwezigheid van giftige stoffen. Deze wijze van onderzoek wordt ook wel passieve monitoring genoemd.

Daartegenover staat de actieve monitoring. Hierbij worden vanuit een relatief schoon milieu willekeurig verzamelde dieren uitgezet op te voren bepaalde locaties waarvan op gezette tijden, bv. eenmaal per week of maand, monsters worden genomen voor analyses. Op de monsterlocaties worden tegelijkertijd ook watermonsters genomen om daarin met behulp van fysische en chemische methoden parameters als temperatuur, zuurstofgehalte, pH, nutriënten en concentraties toxicant te bepalen. Dergelijke parameters worden op bestaande meetstations ook wel semi-

continu geregistreerd. Van toxische verbindingen lenen alleen zware metalen zich voor een vrijwel continue registratie met behulp van elektronische meetapparatuur (in plaats van watermonsters). Voor de meeste andere toxische verbindingen is dat niet mogelijk en is men aangewezen op de analyse van watermonsters. De proefdieren worden eveneens geanalyseerd op aanwezige toxicanten en door de gevonden concentraties te vergelijken met die in het water kan men inzicht krijgen in de bioconcentratie en accumulatie van stoffen. Bovendien kunnen effecten op biologische parameters als groei, conditie en gonadeontwikkeling worden bekeken. Door de discontinue methode geeft biomonitoring in combinatie met de periodieke analyses van watermonsters slechts een beperkte informatie over wat er werkelijk aan toxische verbindingen passeert en wat hiervan de te verwachten schade kan zijn voor het milieu van mens en dier.

Meestal worden met deze discontinue analysemethoden plotseling optredende, kortdurende lozingen of calamiteiten over het hoofd gezien. Om dit probleem te ondervangen zijn systemen in ontwikkeling die een continue beoordeling cq. bewaking van de waterkwaliteit tot doel hebben. Het zijn de zg. bioalarmsystemen die bij het controleren van het water van grensoverschrijdende rivieren, van effluenten van industrieën, rioolzuiveringsinstallaties en bij de inlaat van rivierwater bij drinkwaterbedrijven kunnen worden toegepast. Het doel van deze waarschuwingssystemen is om vroegtijdig met behulp van een biologisch signaal een verslechtering van de waterkwaliteit te registreren. Een dergelijk waarschuwingssysteem - in de literatuur ook wel 'early warning system' genoemd - slaat alarm zodra sterk verontreinigd water passeert.

Welke organismen zijn geschikt?

Als indicator-organismen voor aquatische systemen komen bepaalde soorten bacteriën, algen, rotiferen en bentische wormen, mosselen, kreeftachtigen, insecten en vissen in aanmerking. Vele vertegenwoordigers van genoemde soorten kunnen afzonderlijk of in combinaties in biomonitoringprogramma's worden toegepast. Hieronder volgen een aantal veelgebruikte soorten en hun toepassingsmogelijkheden.

Bacteriën: bepaalde soorten, zoals *Escherichia coli*, zijn in de regel goede

indicatoren voor organische cq. faecale vervuiling. Men hoeft in feite de te nemen watermonsters slechts te controleren op aanwezigheid en dichtheid van ziektekiemen om de hiervan uitgaande bedreiging voor mens en dier te kunnen inschatten. Van andere bacteriën, zoals *Nitrosomonas*- en *Nitrobacter*-soorten kan de nitrificatie-capaciteit gebruikt worden als parameter voor de beoordeling van de waterkwaliteit.

Algen: vooral diatomeeën (kiezelwieren) zijn zeer gevoelig voor chemische milieuverontreiniging, hetgeen gewoonlijk blijkt uit een reductie van hun populatiedichtheid. Daarentegen laten organisch (stikstof- en fosfaatverbindingen) verontreinigde gebieden in de regel een sterk verhoogde groei c.q. populatiedichtheid zien van bepaalde algesoorten, met name blauw-groenwieren en Euglenophyceae.

Zoöplankton: zowel onder de rotiferen (raderdiertjes) (Sladeczek, 1983) als onder de kreeftachtigen kunnen geschikte vertegenwoordigers worden gevonden voor monitoringsdoeleinden (Bilgrami, 1988). Voor zoetwater wordt de watervlo *Daphnia magna* het meest frequent toegepast (Leeuwangh, 1981). In het veld kunnen populatie-dichtheden worden bepaald in relatie tot chemische verontreiniging. Daarnaast worden watervlooiën op uitgebreide schaal in gestandaardiseerde testen gebruikt om de toxiciteit van watermonsters te bepalen. Een bioalarmeringssysteem gebaseerd op de zwemactiviteit van *Daphnia magna* (Knie, 1982) is mogelijk op korte termijn beschikbaar.

Wormen: hieronder is een aantal bruikbare soorten voor het beoordelen van water- en bodemvervuiling. Samen met andere bentische organismen worden wormen vooral toegepast bij het beoordelen van de giftigheid van baggerslib (o.a. Ma, dit nummer). In aanmerking komende soorten zijn *Tubifex* sp. en *Lumbriculus variegatus* voor zoetwaterbodems, *Arenicola marina* en *Nereis diversicolor* voor mariene bodems (Fowler et al., 1978).

Insekten: voorbeelden van het gebruik van insecten bij biomonitoring zijn in hoofdzaak bekend voor mugge-larven. Aan de Universiteit van Amsterdam wordt op dit moment gewerkt aan een systeem dat gebruik maakt van de gedragsveranderingen van de larven van *Chironomus riparius* (Heinis, 1987).

Mosselen: deze bivalve (tweeklep-

pige) mollusken worden reeds vele jaren toegepast bij het monitoren van zowel binnenwateren als estuaria en kustwateren. Het bewaken van de waterkwaliteit met behulp van mosselen wordt ook wel 'musselwatch' genoemd.

Vissen: verschillende soorten zijn geschikt voor gebruik in zowel biomonitoring als bioalarmeringprogramma's. Voor alle aquatische milieutypen zijn verschillende soorten voorhanden. Interessant is dat geselecteerd kan worden uit omnivoren, herbivoren, insectivoren, planktonivoren en piscivoren. Dit betekent dat vertegenwoordigers uit deze verschillende categorieën gekozen, meer doelen kunnen dienen bij biomonitoringprogramma's. Behalve dat accumulatie van stoffen en hun effecten op fysiologische processen op het niveau van organismen worden bepaald kan het proces van bioaccumulatie in voedselketens van vissen en hun predatoren worden bestudeerd (biomagnificatie). Een bekend voorbeeld is de Aalscholver (*Phalacrocorax carbo*), die als toppredator van een voedselketen dagelijks grote hoeveelheden, tot 20% van zijn lichaamsgewicht, aan vis verslindt. Bioaccumulerende stoffen leiden in de regel tot biomagnificatie in een voedselketen. De effecten van deze stoffen kunnen bij

een toppredator als de Aalscholver leiden tot het teruglopen van de aalschol-verstand door een verminderd broedsucces (bv. Van der Gaag, 1990).

Musselwatch

Reeds in de zeventiger jaren werden mosselen en oesters gebruikt voor het monitoren van kustwateren. Vele voorbeelden zijn bekend met betrekking tot het detecteren van zware metalen. Mosselen en oesters zijn hiervoor bij uitstek geschikt, omdat zij voor het verkrijgen van voedsel en zuurstof veel water door hun kieuwsysteem pompen. Voor een zeemossel van 5-6 cm geldt een gemiddelde filtercapaciteit van 50 l per dag. Ook de in water en voedsel aanwezige chemische microverontreinigingen komen het dier via de kieuwen en darmtractus binnen. Sommige goed wateroplosbare stoffen worden snel weer uitgewassen, andere, zoals tweewaardige kationen van zware metalen (Cu^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+}) worden, eenmaal binnengekomen, merendeels gebonden aan eiwitten en worden dientengevolge slechts ten dele uitgescheiden. Het is bekend dat bv. mariene mollusken als de Gewone zeemossel (*Mytilus edulis*) en Oestersoorten (*Crassostrea* en *Ostrea*) evenals de Driehoeksmossel (*Dreissena*

Scrobicularia Plana

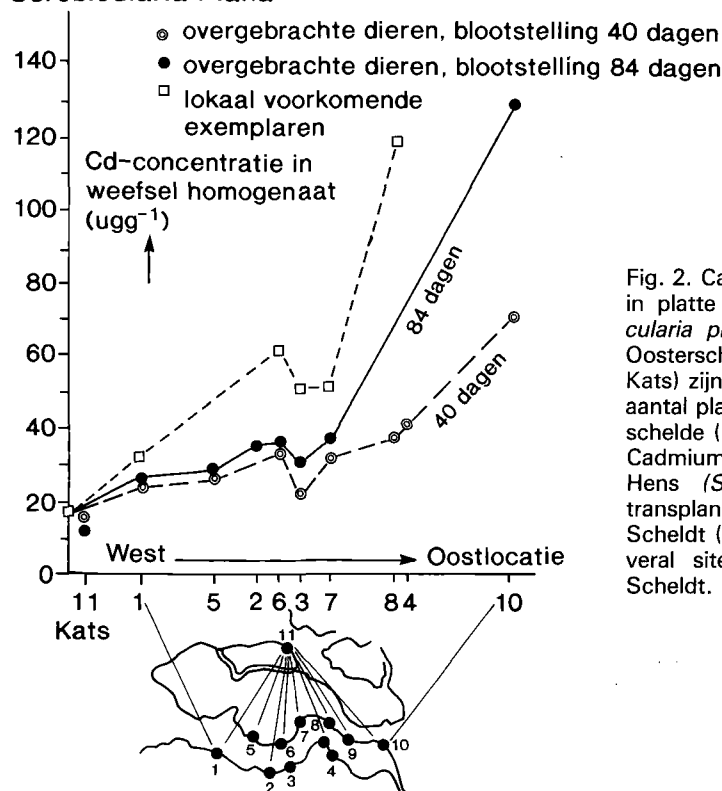


Fig. 2. Cadmium-accumulatie in platte slijkgapers (*Scrobicularia plana*) die vanuit de Oosterschelde (plaats 11: Kats) zijn overgezet naar een aantal plaatsen in de Westerschelde (De Kock, 1985). Cadmium concentrations in Hens (*Scrobicularia plana*) transplanted from the Eastern Scheldt (site 11: Kats) to several sites in the Western Scheldt.

polymorpha) als vertegenwoordiger van zoetwater bepaalde chemische stoffen met een factor 100-100.000 keer kunnen concentreren ten opzichte van de concentratie ervan in het hun omringende milieu. De mate van concentratie van stoffen is tevens een maat voor de biologische beschikbaarheid ervan in het te controleren milieu. Ditzelfde geldt voor nauwelijks of niet afbreekbare apolaire verbindingen als gechloreerde koolwaterstoffen (PCB's), dioxinen en organochloorbestrijdingsmiddelen. Doordat genoemde stoffen in de mossel accumuleren is dit dier zeer geschikt om vervuiling in bepaalde gebieden op te sporen en te vervolgen.

Bivalve mollusken zijn meestal in ruime mate voorhanden, zodat uit bestaande populaties zonder schade herhaaldelijk kan worden bemonsterd (fig. 1). Voor monitoring van rivieren wordt meestal gebruik gemaakt van de Driehoeksmossel (Reeders, 1990). Voor estuaria en kustwateren maakt men gebruik van de Gewone zeemossel en verschillende oestersoorten. Na verzameling in relatief schone gebieden worden dieren van ongeveer dezelfde grootte en leeftijd uitgezet in korfjes op verschillende locaties om daarna op gezette tijden te worden gecontroleerd en bemonsterd. De monsters worden in het laboratorium geanalyseerd op toxicantconcentraties en soms vergeleken met die van het water van de monsterlocaties (fig. 2). Op grond van bioconcentratie en accumulatiegegevens van bv. zware metalen en PCB's krijgt men een indruk over de verspreiding van deze stoffen over de rivieren resp. uitstroomgebieden ervan in onze estuaria en kustwateren. Genoemde bivalven hebben een groot geografisch verspreidingsgebied, waardoor vergelijking van resultaten afkomstig uit verschillende gebieden mogelijk is.

In combinatie met bovenstaand onderzoek kunnen dieren worden getoetst op de gevolgen van toxicantblootstelling. Zo is uit onderzoek gebleken, dat mosselen in vergelijking met vissen en kreeftachtigen een geringe activiteit van het zg. MFO-systeem vertonen. Dit is een (Mixed Function Oxygenase) systeem dat o.a. in staat is slecht in water oplosbare stoffen door hydroxylaties en door conjugaties (meer) wateroplosbaar te maken, waardoor deze stoffen worden ontgiftigd. Omdat dit systeem bij mosselen slechts weinig actief is, lenen deze dieren zich beter voor het

Overleving (%)

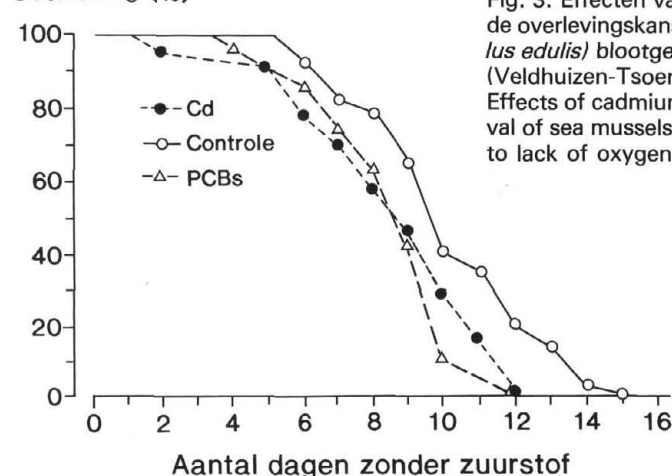


Fig. 3. Effecten van cadmium en PCB's op de overlevingskans van zeemosselen (*Mytilus edulis*) blootgesteld aan zuurstofgebrek (Veldhuizen-Tsoerkan et al., 1990). Effects of cadmium and PCBs on the survival of sea mussels (*Mytilus edulis*) exposed to lack of oxygen.

bepalen van de vervuilingsgraad dan bv. vissen die tijdens de biomonitoringsperiode een deel van de opgenomen stoffen via hun MFO-systeem onschadelijk hebben gemaakt.

Mosselen kunnen in tegenstelling tot andere soorten chronische blootstelling aan toxische stoffen vrij lang overleven. Dit wil echter niet zeggen dat er geen sprake kan zijn van subletale effecten. Bij langdurig belasten van mosselen met betrekkelijk lage concentraties cadmium of PCB's is gebleken dat na enige weken reeds een verminderde tolerantie voor anoxie (zuurstofgebrek) is waar te nemen. Uit ervaring weten we dat consumptie-mosselen en oesters vrij lang droogliggend in leven blijven. Ze sluiten hun kleppen om uitdroging te voorkomen, maar dit betekent dat ze zo'n periode zonder zuurstof moeten overleven. Hiervoor bezitten deze dieren een aangepaste energie-voorziening. Mits in goede conditie en koel bewaard kunnen mosselen op deze wijze tot max. 3 weken overleven (Zandee et al., 1986). Deze tolerantie voor zuurstofgebrek kan worden aangetast door toxicanten (fig. 3).

In aanvulling op bovengenoemde parameters voor de algemene conditie kunnen meer specifieke parameters, zoals groei, gonade-ontwikkeling of voortplantingssucces, worden bekeken. Ook komen biochemische parameters voor bepaling in aanmerking. De resultaten hiervan weerspiegelen in de regel de aard, de mate en duur van de toxicantblootstelling.

Om de norm voor de giftigheid van biomagnificerende stoffen vast te stellen dient de aandacht zich vooral te richten op toppredatoren, waarbij onder

meer de toxiciteit van afzonderlijke stoffen en combinaties ervan, evenals de effecten op ecosysteemniveau, moeten worden betrokken. Een belangrijke top in voedselketens wordt gevormd door de mens. De Aalscholver, eveneens een toppredator, loopt in onze aquatische milieutypen reeds waarneembare risico's. De mens, die een veel langere levenscyclus doormaakt en eveneens deel uitmaakt van een verontreinigd milieu, loopt waarschijnlijk nog grotere risico's, ondanks alle maatregelen van overheidswege met betrekking tot normstellingen, wetgeving enz. Vandaar dat biomonitoringprogramma's gericht op biomagnificerende stoffen, gecombineerd met onderzoek naar de effecten van toxische stoffen op organismaal-, populatie- en ecosysteemniveau noodzakelijk zijn, teneinde de risico's voor de volksgezondheid op een verantwoorde wijze te kunnen inschatten.

Bioalarmsystemen

Het gebruik van biologische organismen voor een snelle signalering van een kwaliteitsverandering van het water stelt geheel andere eisen dan de lange-termijnmonitoring. Een belangrijke voorwaarde is dat de gekozen parameter automatisch, met relatief korte tussenpozen (minuten) gekwantificeerd moet kunnen worden, zodat een eventuele verandering snel kan worden opgemerkt. Foutmeldingen moeten nagenoeg worden uitgesloten, omdat de consequenties van een alarm, zoals het stoppen van de waterinname door een drinkwaterbedrijf, aanzienlijk kunnen zijn. Daarnaast is het van belang dat het alarmeringssysteem bedrijfszeker en eenvoudig in

gebruik en onderhoud is. In de loop der jaren zijn verschillende bioalarmsystemen ontwikkeld en uitgetest op hun bruikbaarheid. Enkele hiervan zullen we meer in detail de revue laten passeren.

Systemen die gebaseerd zijn op vissen als biomonitoren maken gebruik van het zwemgedrag of van de ademhalingsactiviteit die gevolgd kan worden via de bewegingen van het kieuwdeksel. Van der Poels (1977) heeft een systeem ontwikkeld waarin het zwemgedrag van forellen (*Salmo gairdneri*) wordt geregistreerd. Verslechtert de conditie van de vissen dan verliezen ze hun vermogen om tegen de stroom in te zwemmen (rheotaxis = oriëntatie op de waterstroom). Ze laten zich met de stroom meevoeren waardoor ze relatief langer achter in de testruimte verblijven, hetgeen geregistreerd wordt met behulp van fotoelektrische cellen. In Nederland wordt zo'n systeem al vanaf 1982 toegepast bij de controle van het afgeleverde drinkwater door het Waterwinningsbedrijf Brabantse Biesbosch.

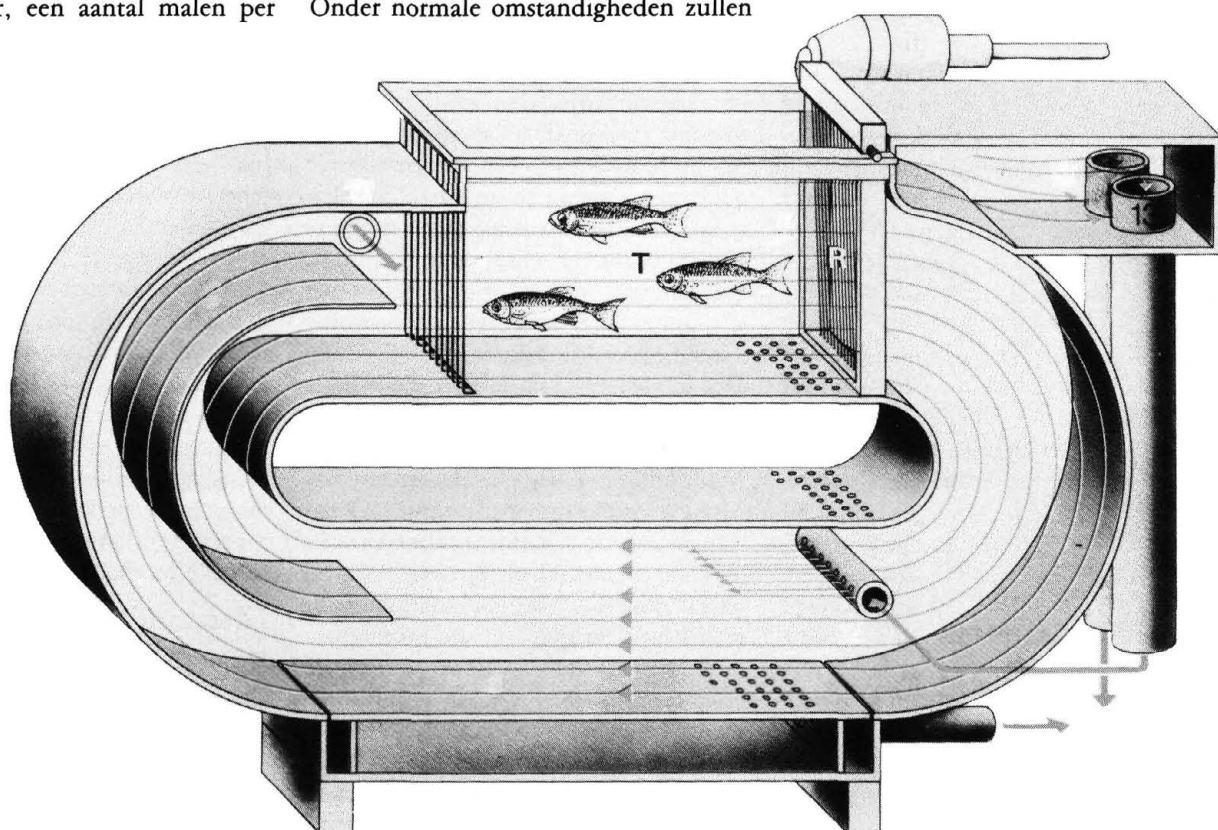
Op dit moment wordt er op een negental plaatsen in ons land ervaring opgedaan met het zg. Arenabassin (Juhnke & Besch, 1971). Dit is eveneens een visbewakingssysteem gebaseerd op veranderingen van rheotaxis. Goudwindes (*Leuciscus idus*) worden in een testkamer die continu wordt doorstroomd met rivierwater, een aantal malen per

uur blootgesteld aan een verhoogde stroomsnelheid van het water (fig. 4). Gedurende die periode wordt met behulp van drukgevoelige snaren achter in de testkamer geregistreerd of de dieren nog in staat zijn tegen de stroom in te zwemmen. Overschrijding van een instelbare drempelwaarde leidt automatisch tot het nemen van een aantal watermonsters voor nadere chemische analyses. Tabel 1 geeft enkele voorbeelden van alarmmeldingen en de resultaten van de uitgevoerde chemische analyses. Tijdens een recentelijk gehouden evaluatie bijeenkomst (DBW/RIZA, Lelystad, jan. 1990) bleek dat de apparatuur weliswaar voldeed aan de eisen van bedrijfszekerheid, maar werden twijfels uitgesproken over de gevoeligheid van de gebruikte visparameters. Een ander discussiepunt was dat bij een aantal alarmmeldingen, ook na chemische analyses vaak geen duidelijke oorzaak kon worden aangegeven voor het alarm. Twijfels over de bedrijfszekerheid van de apparatuur moesten dan worden afgewogen tegen de mogelijkheid dat het testorganisme gevoeliger zou kunnen zijn dan de huidige chemische analyses.

Een andere diersoort die op dit moment wordt getest op zijn bruikbaarheid voor biomonitoringsdoeleinden, is de mossel. Mosselen zijn omgeven door twee stevige, beschermende schelpen. Onder normale omstandigheden zullen

Fig. 4. Het Arena-visbewakingssysteem. Vissen in een testkamer (T) worden enkele malen per uur blootgesteld aan een hogere stroomsnelheid. Vermindert hun vermogen om tegen de stroom in te zwemmen dan raken de vissen een rooster (R) achter in de testkamer. De aanraking wordt geregistreerd en bij overschrijding van het alarmniveau worden automatisch watermonsters genomen (naar: Kerren Umwelt-technik).

Arena fishguard system. Fishes in a test-chamber (T) are exposed to a stronger water current for several moments per hour. If their capacity to swim against the current is reduced they will touch the grid (R) in the back of the test chamber. Each touch is registered and if the alarm level is surpassed collection of water samples takes place automatically.



Datum	Locatie	Gevonden verbinding	Conc. ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Vis LC50,96h (mg.l^{-1})
1988				
15-4	Lobith	isophoron	26,0	220
18-4	Nieuwegein	dichloor-nitromethaan	0,004	—
3-4	Nieuwegein	aromatische N-verbinding	1	—
5-7	Drentse Aa	primicarb	2,3	—
		simazine	1,3	0,25
6-7	Lobith	isophoron	3	220
25-7	Drentse Aa	niets aangetoond	—	—
21-8	Drentse Aa	dimethoaat	0,21	20-28 (24h)
		primicarb	0,26	29
29-8	Andijk	butylbenzeen-sulfonamide	8,8	—
26-10	Drentse Aa	dimethoaat	2,0	20-28 (24h)
		primicarb	0,5	29
		trichloormethaan	1,6	53
26-10	Lobith	tetrachloorethaan	10	37
		tetrachlooretheen	0,2	5 (168h)
		fluorantheen	0,4	4
		pyreen	0,3	0,0026
		para-oxon-equiv.	1,3	—
1989				
6-2	Lobith	trioxaan	2	—
		fluorantheen	0,5	—
		pyreen	0,4	0,0026
		alk-oxy-alkaan	0,5	—
		terpenoide	0,5	—

Tabel 1. Overzicht van alarmmeldingen van het Arena-visbewakingssysteem in Nederland en de gegevens over de daarbij in het water aangetroffen chemicaliën (Botterweg et al., 1989).

(— = geen gegevens beschikbaar).



Fig. 5. Een zoetwatermossel (*Anodonta cygnea*) voorzien van meetspoeltjes die de opening van de schelp kunnen registreren. A freshwater mussel (*Anodonta cygnea*) provided with coils which registrate the opening of the valves.

ze om voedsel en zuurstof uit het omringende water te filteren hun schelp zo lang mogelijk open laten staan. Bij gevaar sluiten ze hun schelp voor kortere of langere tijd. Dit verschijnsel kan benut worden voor bioalarmeringsdoeleinden. Bevestigt men op de ene schelp helft een zendspoeltje en op de andere helft een ontvangstspoeltje, dan zal volgens het principe van elektromagnetische inductie, het ontvangstspoeltje een stroompje genereren waarvan de sterkte afhankelijk is van de afstand tussen beide spoeltjes (fig. 5). Op deze wijze kan dus continu geregistreerd worden of de schelp open dan wel gesloten is. Volgens dit principe is door Delta Consult, in samenwerking met RIVM, TNO en KEMA, een 'Early warning' systeem ontwikkeld dat op het ogenblik op vier locaties in Nederland wordt uitgetest (fig. 6). Daarnaast beschikt de projectgroep Aquatische Toxicologie aan de Rijksuniversiteit Utrecht over een vergelijkbaar systeem, waarbij vooral experimenteel onderzoek verricht wordt naar de fysiologische achtergronden van de schelpbewegingen en naar de effecten op korte en lange termijn van diverse milieucontaminanten op mosselen.

Al deze activiteiten onderstrepen nog eens dat er naast de routine-matige

fysisch-chemische wateranalyses een toenemende behoefte is aan biosensoren die ons snel opmerkzaam kunnen maken op voor mens en dier schadelijk water.

Conclusies en toekomstverwachtingen

Is biomonitoring een effectief middel om de kwaliteit van onze aquatische systemen te controleren en te bewaken? Kunnen we de vaak kostbare biochemische analyses afschaffen of beperken?

Op dit moment moeten we erkennen dat er nog te weinig kennis beschikbaar is omtrent de specificiteit en de gevoeligheid van de verschillende biomonitoren. In ieder geval moeten we nu nog niet de illusie hebben dat het uitblijven van een alarm bij de nu in gebruik zijnde bewakingssystemen inhoudt, dat de waterkwaliteit geen gevaar op korte of lange termijn oplevert voor andere diersoorten.

Om de betrouwbaarheid van biomonitoringssystemen te vergroten zal er meer onderzoek moeten worden verricht naar de fysiologie en het gedrag van een aantal representatieve vertegenwoordigers van de verschillende ecosystemen. Alleen dan kunnen we de hoop koesteren dat er meer biologische parameters beschikbaar komen, die een hoge gevoeligheid vertonen voor een zo breed mogelijk spectrum van schadelijke stoffen. Gezien de uiteenlopende eigenschappen van de verschillende aquatische verontreinigingen zullen we ons daarbij zeker niet kunnen beperken tot één enkele parameter of diersoort. Voor de toekomst lijkt een combinatie van fysisch-chemische analyses en enkele, stofgroep-specifieke biomonitoringssystemen het meest perspectief te bieden.

Tot slot kan nog opgemerkt worden dat biomonitoring op zich geen remedie is voor de verslechterde kwaliteit van onze aquatische ecosystemen. Men zal de consequenties van een biologisch alarmsignaal, zoals het beëindigen van een afvalwaterlozing, serieus moeten nemen. In de praktijk blijkt dit vaak nog moeilijker dan de ontwikkeling van effectieve biomonitoren.

Literatuur

- Botterweg, J., C. van de Guchte & L. W. C. A. van Breemen, 1989. Bioalarmeringssystemen: een aanvulling op de traditionele bewaking van de waterkwaliteit. H₂O 22: 788-794.
- Bilgrami, K. S., 1988. Biological Monitoring of Rivers. In: Manual on Aquatic Ecotoxicology.

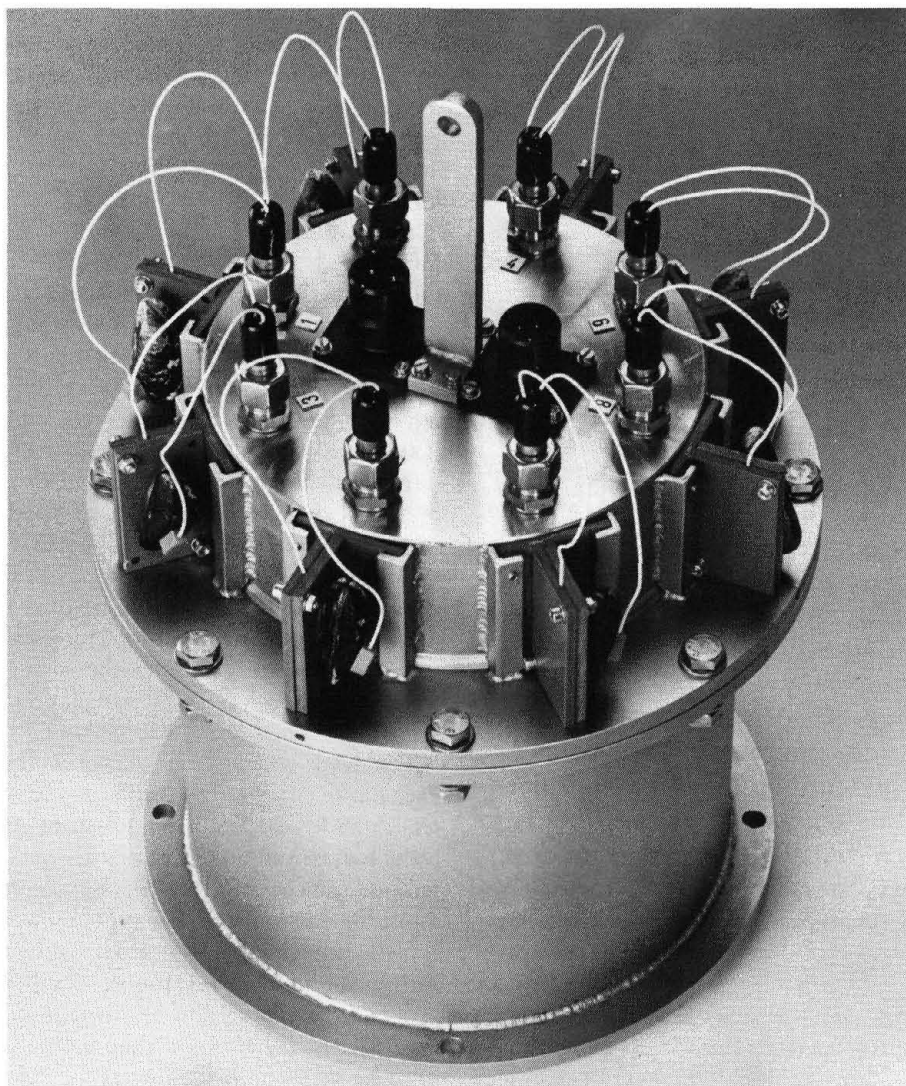


Fig. 6. Het mosselalarmeringssysteem zoals ontwikkeld door Deltaconsult in samenwerking met RIVM, TNO en KEMA. Aan de opstaande schotjes zijn acht driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) bevestigd. Het systeem heeft zijn eigen stroomvoorziening, is waterdicht en kan direct in het milieu worden uitgezet. Blijft het merendeel van de mosselen bijvoorbeeld langer dan 5 minuten dicht dan wordt een waarschuwingssignaal afgegeven (foto: Deltaconsult).

Musselalarm system as developed by Deltaconsult in collaboration with RIVM, TNO and KEMA. Eight zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) are attached to vertical partitions. The system has its own power supply, is waterproof and can be placed directly in the environment. If the majority of the mussels keep their valves closed for a period longer than e.g. five minutes an alarm is given.

Summary

Aquatic organisms as biomonitors to safeguard waterquality

Managers of rivers, lakes and coastal waters keep a close eye on water quality. This is necessary because our water systems are still contaminated with toxic substances which might be harmful for human beings, plants and animals. So far managers of the water quality mainly used physical and chemical methods to analyze the presence of toxic substances. There is, however, an increasing interest using aquatic organisms to check water quality. For several years already biomonitoring has been applied to investigate levels of aquatic pollution. In addition there is an interest for bioalarm systems which react rapidly to acute aquatic pollution.

Prof.Dr. D.I. Zandee
Projectgroep Aquatische Toxicologie
Vakgroep Experimentele Dierkunde
Rijksuniversiteit Utrecht
Padualaan 8, 3584 CH Utrecht.

Dr. H.J. Herwig
Sector Milieutoxicologie, Research Institute
Toxicology (RITOX)
Vakgroep Biologische Toxicologie
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80176, 3508 TD Utrecht.

logy. Proceedings of the Indo-Dutch Training course on Aquatic Ecotoxicology, Lucknow, India (International distribution: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands): 245-250.

Fowler, S. W., G. G. Polikarpov, D. L. Elder, P. Parsi & J.P. Villeneuve, 1978. Polychlorinated biphenyls: Accumulation from contaminated sediments and water by the polychaete *Nereis diversicolor*. *Marine Biology* 48: 303-309.

Gaag, M. van der, 1990. Nieuw perspectief voor ecotoxicologisch onderzoek aan toppredatoren. *TOX-POST*. 7: 13.

Heinis, F., 1987. Gedragsveranderingen bij chironomidenlarven als gevolg van zware metalen en lage zuurstofconcentraties. Chironomiden-studiedag, Lelystad.

Juhnke, I. & W.K. Besch, 1971. Eine neue Testmethode zur Früherkennung akut toxischer Inhaltstoffen im Wasser. *Gewässer und Abwasser* 50/51: 107-114.

Knie, J., 1982. Der Daphnientest. *Decheniana - Beihefte* 26: 82-86.

Kock, W. Chr. de, 1985. Biologische monitoring van contaminanten in sedimenten. In: *Onderwaterbodems. Proceedings Symp. Rotterdam*, 28-29 mei: 112-124.

Leeuwangh, P., 1981. Toxicity tests with daphnids: its application in the management of water quality. *Hydrobiologia* 59(2): 145-148.

Poels, C. L. M. van der, 1977. An automatic system for rapid detection of acute high concentrations of toxic substances in surface water using Trout. In: *Biological monitoring of water and effluent quality*. American Society for Testing and Materials: 85-95.

Reeders, H. H., 1990. De Driehoeksmossel als biofilter voor het oppervlaktewater. *De Levende Natuur* 4 (91): 119-125.

Sladegck, V., 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia* 100: 167-201.

Veldhuizen-Tsoerkan, M. B., D. A. Howerda & D.I. Zandee, 1990. Anoxic survival time and metabolic parameters as stress indices in cadmium and PCB-exposed Sea Mussels. *Archives of environmental contamination toxicology*. In druk.

Zandee, D.I., D.A. Howerda, J.H. Kluytmans & A. de Zwaan, 1986. Metabolic adaptations to environmental anoxia in the intertidal bivalve mollusc *Mytilus edulis* L. *Netherlands Journal of Zoology* 36: 522-543.