

PCB-onderzoek Schelde

AXW 88.130



van : C.W.Iedema (AXW)
aan :
datum : 011188
betreft : monitoring Schelde

1. doel

In deze notitie wordt een eerste aanzet gegeven voor een monitorprogramma voor de rivier de Schelde, gericht op het in beeld brengen van de belangrijkste verontreinigingsbronnen in het stroomgebied. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar stoffen die in de Westerschelde de meeste zorgen baren, met name PCB's, PAK's, TBT en cadmium.

Qua opzet en methodiek wordt zoveel mogelijk aangesloten bij vergelijkbare programma's die voor de Maas en de Rijn zijn uitgevoerd.

2. actief biologische monitoring

achtergrond

Bij biologische monitoring wordt gebruik gemaakt van het vermogen van bepaalde organismen om microverontreinigingen in hun weefsels te accumuleren. De in de organismen gevonden gehalten weerspiegelen de opgeloste gehalten in het water over een bepaalde periode. Dit tijdsintegrerende karakter en het hoge scheidend vermogen zijn de belangrijkste voordelen van biologische monitoring. Bij actief biologische monitoring worden organismen een bepaalde periode uitgehangen in het water. Het voordeel hiervan is een betere kennis van het uitgangsmateriaal en de mogelijkheid metingen te verrichten op locaties waar de organismen ten gevolge van verslechtering van de leefomstandigheden niet meer voorkomen.

Voor zoet water is de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) tot nu toe het meest gebruikte organisme voor (actief) biologische monitoring.

Aangenomen mag worden dat de driehoeksmossel van nature niet meer voorkomt in de Schelde. De zeer lage zuurstofgehalten wijzen hierop. De vraag is of de leefomstandigheden in de Schelde van dien aard zijn dat dieren die een bepaalde tijd worden uitgehangen het overleven. De ervaringen in andere gebieden wijzen er in het algemeen op dat hoog in de waterkolom uitgehangen driehoeksmosselen kunnen overleven op plaatsen waar ze van nature niet meer voor komen. Een pilotstudie zal dit voor de situatie in de Schelde dienen aan

te geven.

Een ander aspect van de Schelde betreft het stijgende chloridegehalte in stroomopwaartse richting. Driehoeksmosselen hebben een zouttolerantie van 500-3000mg/l. Dit betekent dat in het meest stroomopwaarts liggende gedeelte van de Schelde mogelijk een andere diersoort dient te worden gekozen. Het ligt voor de hand hiervoor de **brakwatermossel** (*Congeria cochleata*) of de gewone **mossel** (*Mytilus edule*) te gebruiken.

methode

het inzetten van de mosselen

In bijgaande notities is de voor de Rijn en de Maas gevolgde methode weergegeven. De voor de Rijn gevolgde methode wordt momenteel geëvalueerd en waar nodig geoptimaliseerd. Bij nadere uitwerking van het monitorprogramma voor de Schelde verdient het aanbeveling aan te sluiten bij de gevolgde methodes. In hoofdlijnen kan het programma als volgt worden beschreven:

- verzamelen van mosselen in een relatief schoon referentiegebied (het IJsselmeer in de omgeving van de Afsluitdijk voor driehoeksmosselen en de Oosterschelde voor de gewone mossel)
- selecteren van de mosselen in twee lengteklassen: 18-23 mm en 6-7 mm.
- behandeling en transport conform de bij het monitorprogramma voor de Rijn gevolgde werkwijze.
- uithangen van mosselen in korfjes op een diepte van ca. 1 m. Per korfje in totaal 300 adulte dieren en om de andere locatie een korfje met 50 juvenielen. Het uithangen van juveniele dieren heeft tot doel de groei-condities te bepalen.
- duur van uithangen 30 tot 35 dagen in de periode half augustus-half september (na de voortplantingsperiode en tijdens lage, constante rivierafvoeren)
- behandeling, conservering en verdere bewerking van de mosselen conform de bij het monitorprogramma voor de Rijn gevolgde methode.

locaties

Voorgesteld wordt het gehele traject van de Schelde tussen de grenzen met Frankrijk en met Nederland in het meetprogramma te betrekken. De locatiekeuze dient daarbij zodanig te zijn dat een representatief kwaliteitsprofiel van de Schelde kan worden opgesteld. Hiervoor lijkt in eerste instantie een dichtheid van één monsterlocatie per 30-35 km voldoende met

speciale aandacht voor de invloed van de zijrivieren. In figuur 1 wordt hiervoor een eerste voorzet gegeven.

parameters

biologisch

Voor een juiste interpretatie van de gegevens is het nodig iets te weten over de groeiomstandigheden op de monsterlocaties. De verandering in biomassa vormt hier een maat voor. Ingeval van extreme situaties kan histologisch onderzoek gewenst zijn (fysiologische effecten).

	parameter	eenheid
1	sterfte	%
2	groei	biomassaverandering in gr ds.

chemisch

Voor de voorbehandeling van de monsters en de chemisch-analytische methodes wordt verwezen naar de onderzoeken in de Rijn en de Maas. Bij verdere uitwerking van het monitoringsprogramma zal moeten worden gestreefd naar uniformiteit in de te gebruiken analysemethoden. Analyse van de individuele PCB's en PAK's levert meer en eenduidiger informatie op dan bepaling van de somparameters.

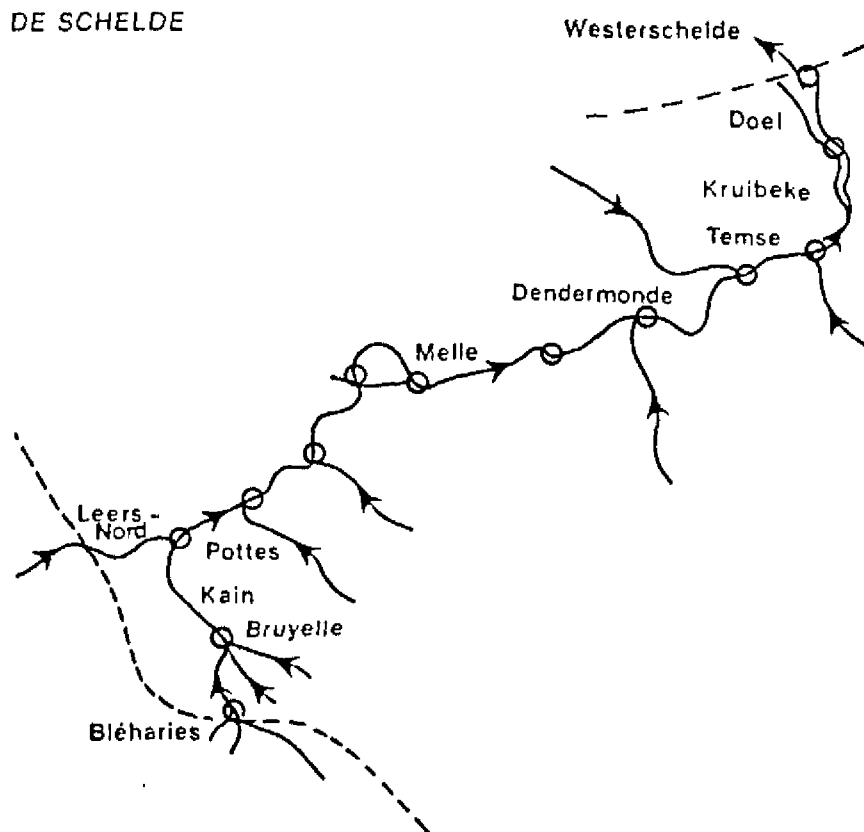
	parameter	eenheid
1	vet	%
2	vocht	%
3	asrest	%
4	cadmium	mg.kg.ds.
5	naftaleen	"
6	fenantreen	"
7	anthraceen	"
8	fluorantheen	"
9	benzo(a)anthraceen	"
10	chryseen	"
11	benzo(b)fluorantheen	"
12	benzo(k)fluorantheen	"
13	benzo(a)pyreen	"
14	benzo(g,h,i)peryleen	"
15	indeno(1,2,3-c,d)pyreen	"
16	PCB-nr15	"
17	PCB-nr28	"
18	PCB-nr52	"
19	PCB-nr49	"
20	PCB-nr44	"
21	PCB-nr70	"
22	PCB-nr101	"

23	PCB-nr87	"
24	PCB-nr153	"
25	PCB-nr138	"
26	PCB-nr180	"
27	TBT	"

3. metingen in het zwevend stof

De mogelijkheid bestaat dat actief biologische monitoring in de Schelde niet mogelijk is. In dat geval kan worden besloten over te stappen op een meetprogramma dat geent is op gebruik van de doorstroomcentrifuge voor bepaling van de verontreiniginggehalten in de zwevende stof. Parameter- en locatiekeuze zijn gelijk aan die bij actief biologische monitoring. Bij de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat wordt een standaardprocedure voor deze methode voorbereid. Begin 1989 zal deze gereed zijn.

DE SCHELDE



Figuur 1: Monsterlocaties voor actief biologische monitoring in de Schelde.

Rapport nr. : R 85/155
Opdrachtnr. : 11268
Datum : 1985-06-28

EEN ACTIEF BIOLOGISCH MEETNET IN
DE MAAS. Bijdrage aan het Kwaliteits
Profiel van de Maas

Drs J.M. Marquenie et al.



postbus 217
2600 AE delft

bezoekadres
schoemakerstraat 97

telex 38071 zptno
telefoon 015 - 56 93 30

Auteurs :

Drs J.M. Marquenie
G. Hoornsman
P. Roele

Opdrachtgever:

Hoofdgroep Maatschappelijke
Technologie TNO

„Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
copie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.”

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten
en verplichtingen van opdracht-
gever en opdrachtnemer verwezen
naar de „Algemene Voorwaarden
voor Onderzoeks- en Ontwikke-
lingsopdrachten aan TNO, 1979”
dan wel de desbetreffende terzake
tussen partijen gesloten overeen-
komst.

INHOUD

	<u>Blz.</u>
SAMENVATTING	3
VOORWOORD	4
1. INLEIDING	8
2. MATERIAAL EN METHODEN	13
2.1. Keuze van te meten verontreiniging	13
2.2. Keuze van de locaties	13
2.3. Verzamelen en voorbehandeling van het proefmateriaal	13
2.4. Chemische analyses	16
3. RESULTATEN EN DISCUSSIE	17
3.1. Conditie van de mosselen	17
3.2. Gehalten aan cadmium (Cd), koper (Cu) en lood (Pb)	18
3.3. Gehalten aan PCB componenten	27
3.4. Gehalten aan PAK componenten	31
4. CONCLUSIES	35
5. LITERATUUR	37

SAMENVATTING

Van 19-30 september 1982 werd een zgn. Fliessende Welle onderzoek uitgevoerd in de gehele Maas.

Van 13 augustus tot 12 oktober werden driehoeksmosselen geëxponeerd op een groot aantal overeenkomstige monsterpunten. Aan de hand van analytische gegevens van zowel watermonsters (gerapporteerd in het KwaProMa rapport) als van weefsels van driehoeksmosselen (dit rapport) konden een groot aantal lozingssituaties in kaart gebracht worden.

De wateranalyses tonen een momentopname; eenmalig werd met de stroom meegevaren en werden monsters genomen. Via de analyse van mosselweefsels wordt over de expositieperiode een geïntegreerd beeld verkregen van een gemiddelde situatie, enkele uren tot vele dagen voor de monsternamen. Ook discontinue lozingen worden aldus opgemerkt. Bovendien "zien" mosselen slechts een bepaalde fractie van de verontreinigingen. Uit eerder onderzoek is gebleken dat dit veelal de ionogene of echt opgeloste fractie is. Dit betekent dat, als langs delen van het traject gehalten in mosselen afnemen terwijl de concentraties in het water gelijk blijven, er complexering optreedt. Omgekeerd, als de gehalten in mosselen toenemen bij gelijke concentraties in water, treedt mobilisatie op. In dit onderzoek zijn juist door het gebruik van mosselen aanwijzigingen verkregen voor discontinue lozingen (bijv. lood nabij Heer Agimont), complexering en mobilisatie (bijv. lood, cadmium en koper nabij Well).

EEN ACTIEF MEETNET IN DE MAAS

Bijdrage aan KwaProMa

Auteurs: J.M. Marquenie, G. Hoorsman en P. Roele

VOORWOORD

De Maas is een ca. 900 km lange rivier en voorziet ongeveer 5 miljoen Fransen, Belgen en Nederlanders van drinkwater. Daarnaast heeft deze rivier andere hoogwaardige gebruiksfuncties zoals scheepvaart, recreatie en visserij. Een geheel eigen functie is de ecologische functie.

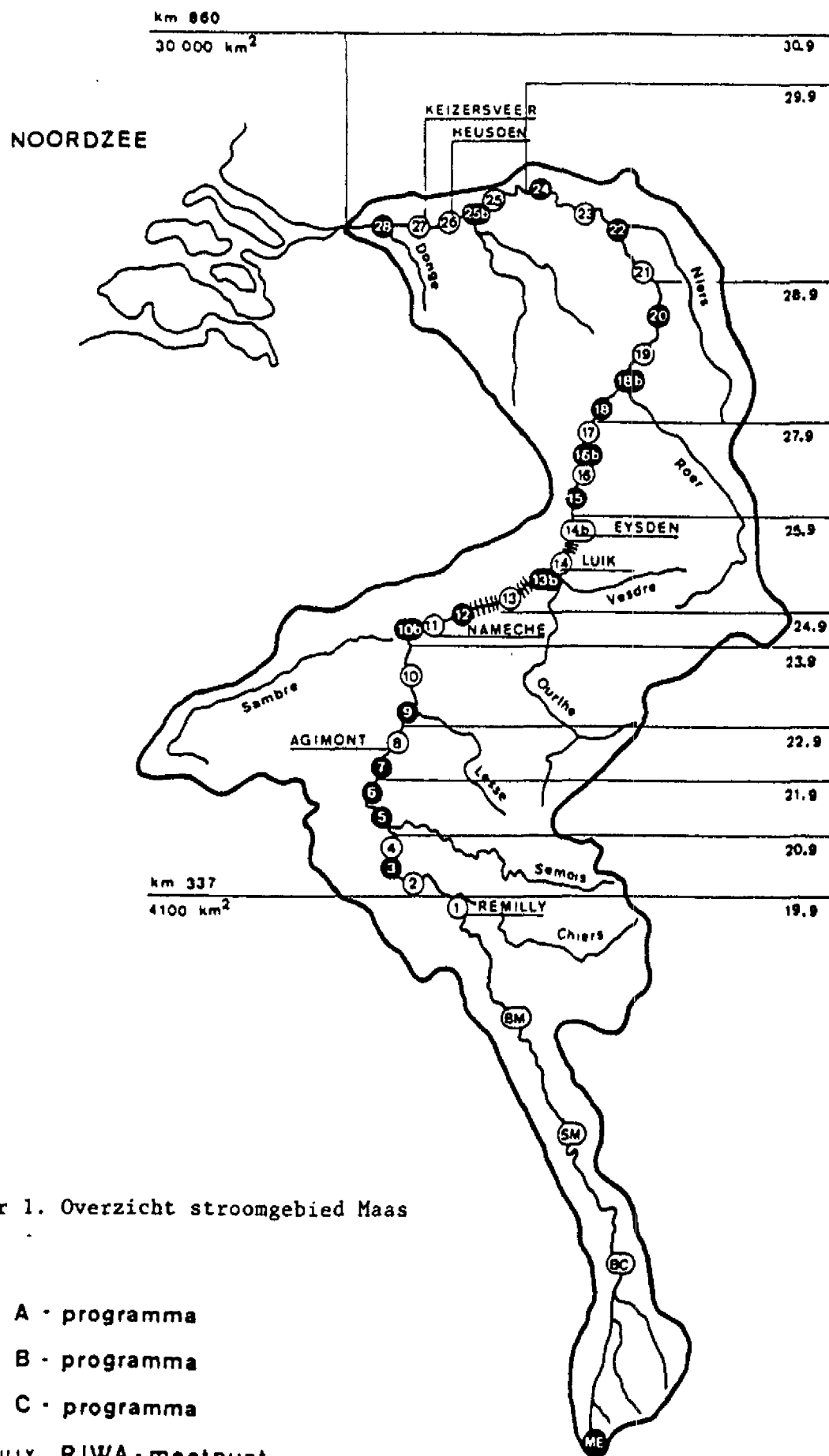
De Maas wordt algemeen erkend als een "unieke rivier" met een hoge natuurwetenschappelijke waarde.

Om te voldoen aan een dergelijke, veelzijdige functietypering worden hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van het water over het gehele debiet. Nadelige kwaliteitsveranderingen kunnen slechts worden vastgesteld op grond van een volledig geografisch overzicht.

In navolging van het Fliessende Welle onderzoek in de Rijn, in april 1980, werd een vergelijkbaar onderzoek in de Maas van 19-30 september 1982. Dit onderzoek had tot doel een kwaliteitsprofiel van de Maas op te stellen en werd kortweg aangeduid met "KWAPROMA".

Het actieplan werd opgesteld en uitgevoerd door de RIWA, samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven. Hierin zijn zowel Nederlandse als Belgische waterwinbedrijven vertegenwoordigd. Het Nederlands Instituut voor Onderzoek van de Zee (NIOZ) leverde een bijdrage door watermonsters te analyseren op polychloorbiphenylenen (PCB's).

Omstreeks eind juni 1982 vond overleg plaats tussen RIWA en TNO over mogelijkheden om het meetprogramma, dat toen reeds in grote lijnen was voorbereid, zie figuur 1, te begeleiden met een actief biologisch meetnet, waarvan de methodiek door TNO was ontwikkeld.



Figuur 1. Overzicht stroomgebied Maas

- ① A - programma
- ② B - programma
- ③ C - programma
- REMILLY RIWA - meetpunt

Het meetprogramma werd verdeeld in 3 subgroepen (A, B en C) en als volgt uitgevoerd.

- C-programma

Ter plaatse werden pH, temperatuur, zuurstofgehalte, troebeling, zichtdiepte en geleidingsvermogen gemeten. Tevens werd de filtratiestap als voorbereiding op de bepaling van zwevend stof en van chlorofyl a, eveneens aan boord verricht.

Onmiddellijk na het vullen van de recipiënten werden, waar nodig, reagentia toegevoegd voor conservering van de te bepalen stoffen. Indien vereist, werden de flessen gekoeld bewaard.

Elke avond werden de watermonsters die overdag waren genomen bij de boot opgehaald en overgebracht naar een koele ruimte voor overnachting. Vandaar worden zij de andere dag naar de deelnemende laboratoria vervoerd. Het transportsysteem werd zo opgezet, dat maximaal 30 uur zou verlopen tussen de bemonstering en de aankomst in het laboratorium.

- B-programma

Het analyseprogramma omvatte op alle 38 plaatsen:

- | | |
|--|--|
| 1. Hydrobiologie | : bacteriën, chlorofyl |
| 2. Algemene fysisch-chemische parameters | : naast de reeds vermelde in situ-metingen nog zwevend stof |
| 3. Organische stoffen | : TOC, COD, UV-adsorptie, non-ionische detergenten, olie |
| 4. Anorganische stoffen | : chloride, sulfaat, fluoride, hardheid, natrium, kalium |
| 5. Radioactiviteit | : tritium |
| 6. Eutrofiërende stoffen | : ammonium, nitraat, o-fosfaat, totaal fosfaat |
| 7. Anorganische microverontreinigingen | : cyanide, arseen, cadmium, chroom, kwik, lood, mangaan, ijzer, zink |

- A-programma

Op een totaal van 20 bemonsteringsplaatsen werd bovendien onderzoek verricht:

8. Organische microverontreinigingen: gaschromatografie-massaspectrometrie, polyclische aromatische koolwaterstoffen, adsorbeerbaar en extraheerbaar organisch chloor, vluchtige organische verbindingen, fenolgetal, gechloreerde fenolen en polychloorbifenylen
9. Hydrobiologie : planktonsamenstelling
10. Mutageen karakter : mutageniteitstest volgens Ames

Gezien het wetenschappelijk belang en de unieke gelegenheid om te beschikken over een zo volledig mogelijk pakket gegevens werd, ondanks de korte voorbereidingstijd, besloten dit biologisch meetnet met driehoeksmosselen, *Dreissena polymorpha*, op te zetten. Veel dank zijn de auteurs daarbij verschuldigd aan de heer Dits van het Waterwinbedrijf Brabantse Biesbosch (coördinatie, overleg en metaalanalyse), aan de heer G. van Urk (RIZA) voor zijn commentaar en de snelle bemiddeling in enige financiële aspecten van het Nederlandse deel van het programma alsmede aan de directie van MT-TNO voor belangrijke financiële en morele ondersteuning.

Helaas konden deze gegevens, ondanks het feit dat alle analyseresultaten op tijd beschikbaar waren, door onvoorziene omstandigheden niet worden opgenomen in het eindverslag: Het kwaliteitsprofiel van de Maas 19-30 september 1982, uitgave RIWA, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Amsterdam, ISBN 90 6683 009 3. Dit rapport wordt hier verder aangeduid met het "KwaProMa-rapport".

Wij verwachten met de hierna volgende verslaglegging, alsnog een positieve bijdrage te leveren aan de verdere kwaliteitsontwikkeling van de rivier de Maas.

1. INLEIDING

Het actief biologisch meetnet lijkt een relatief nieuwe benadering om de invloed van verontreinigingen op ecosystemen vast te kunnen stellen. In feite echter is er nauwelijks principieel verschil met de zeer oude, empirisch ontwikkelde, methode om de aanwezigheid van gevaarlijkse gasen in mijn-
'gangen vast te stellen met een kanarie.

Een aquatisch biologisch meetnet wordt ook opgezet met organismen die "gevoelig" zijn voor verontreinigingen. Afhankelijk van de vragen die men met de resultaten van een dergelijk onderzoek wil beantwoorden, wordt het criterium "gevoelig" gedefinieerd en een daarbij passend organisme gekozen. Men spreekt van actieve biologische monitoring als voor een biologisch meetnet wordt uitgegaan van een homogene groep organismen en deze groep verdeeld wordt in subgroepen, die vervolgens geëxposeerd worden op verschillende locaties in het veld. De gebruikte organismen worden monitor-organismen genoemd.

Het is ook mogelijk in het veld aanwezige organismen ter plekke te verzamelen en daaraan metingen te verrichten. Deze techniek wordt veelal aangeduid met passieve biologische monitoring.

De term indicator-organisme wordt gebruikt in combinatie met populatie-dynamische reacties op verontreinigingen. Hueck (1976) onderscheidt in dit verband 3 typen van bio-indicatoren:

- Organismen met een negatieve reactie; deze verdwijnen
- Organismen met een neutrale reactie; deze weten zich te handhaven
- Organismen met een positieve reactie; deze breiden zich uit.

Deze verschijnselen komen tot uiting in soortenlijsten en in verschillende diversiteitsindexen, zoals reeds is aangegeven in het KwaProMa rapport (1983). Een derde serie technieken berust op het verzamelen van materiaal (water, sediment, enz.) in het veld waaraan, in een gecontroleerde omgeving, organismen worden blootgesteld. Deze technieken worden veelal aangeduid met bio-assays. Voorbeelden hiervan zijn de Ames-toets zoals toegepast in het KwaProMa project, metingen van de biologische beschikbaarheid van contaminanten in sedimenten zoals beschreven door Marquenie et al. (1983) en gelijksoortige onderzoek voor terrestrische systemen (Marquenie en Simmers, 1984).

Voor het actief biologisch meetnet in de Maas werd informatie gewenst over de aanwezigheid van specifieke contaminanten in oppervlaktewater en veranderingen daarin langs het profiel. Om die reden werd de keuze bepaald op de driehoeksmossel, *Dreissena polymorpha*. De driehoeksmossel is, zoals uit vroeger onderzoek is gebleken (Marquenie, 1981) relatief tolerant voor de aanwezigheid van verontreinigingen, terwijl deze stoffen gelijktijdig tot hoge concentraties in de weefsels accumuleren.

Dit organisme voldoet daarmee aan algemene eisen die aan het gebruik voor een actief biologisch meetnet gesteld worden (Phillips, 1977 en 1980). Deze techniek werd oorspronkelijk ontwikkeld voor mariene systemen (Goldberg, 1976, Goldberg et al., 1978, De Kock en Kuiper, 1981). De methode werd recentelijk toegepast voor de Nederlandse Noordzee en estuariën (De Kock, 1983, De Kock en Marquenie, 1981). Voor rivieren en meren werden een gelijksoortige techniek ontwikkeld en getoetst door MT-TNO, grotendeels in opdracht van het RIZA (Marquenie, 1981 en 1984). Uit dit onderzoek bleek ondermeer dat de concentratie van zware metalen en organische microverontreinigingen in de weefsels van driehoeksmosselen indicatief zijn voor de werkelijk opgeloste (ionogene) concentraties in het water. Dit gegeven is ook voor de waterwinbedrijven van belang omdat de metingen van deze mosselen een relatieve beschrijving opleveren van de meest mobiele fractie van de verontreiniging. Deze fractie kan zuiveringsstappen in principe beter passeren, dan fracties gebonden aan bijv. algen of andere zwevende deeltjes.

Een voorbeeld van een mogelijke directe relatie tussen de concentraties ionogeen en zwakgebonden metaal, vrij metaal genoemd en de concentraties in de weefsels van driehoeksmosselen (actief meetnet) in het veld wordt gegeven in figuur 2.

Een profiel van het biologisch beschikbare cadmium voor het systeem Rijn-IJssel-IJsselmeer in 1982 wordt gegeven in figuur 3.

In figuur 4 worden gemeten veranderingen in de biologisch beschikbare kwaliteit zichtbaar in tijd en ruimte.

Uit deze figuren blijkt duidelijk dat de beschikbaarheid van cadmium reeds op de rivier sterk afneemt in benedenstroomse richting. Een dergelijke afname van de biologische beschikbaarheid is ook aangetoond voor andere metalen zoals koper, zink, en chroom (Del Castilho en Marquenie, 1984) en verschillende PCB-componenten (Marquenie, in voorbereiding).

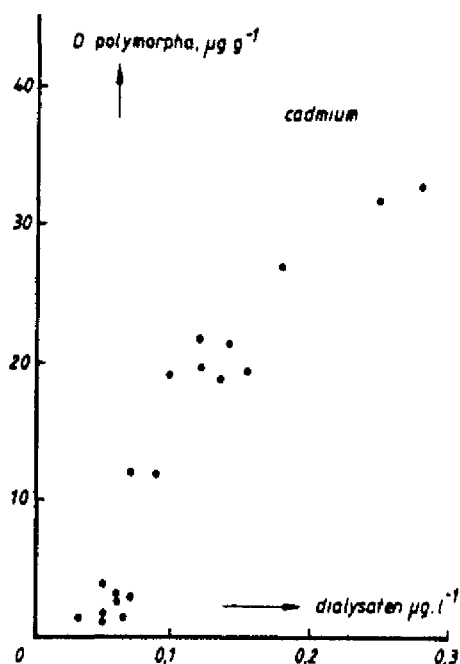


Fig. 2. Gehalten aan cadmium ($\mu\text{g g}^{-1}$) in driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het veld vergeleken met gehalten aan vrij cadmium in dialysaten ($\mu\text{g l}^{-1}$) (gemiddelden van 3 weken van actief meet-net).

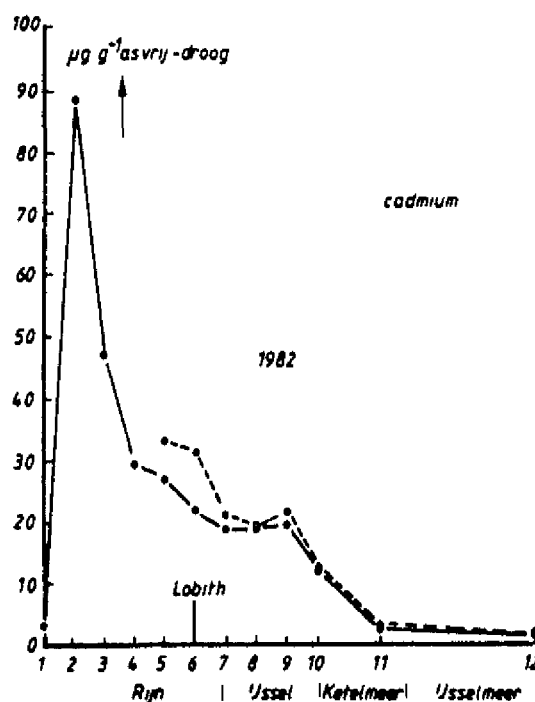


Fig. 3. Gehalten aan cadmium, zink en koper (in $\mu\text{g g}^{-1}$) asvrij drooggewicht van driehoeksmosselen uitgehangen in het stroomgebied van de Rijn (1982).

o---o: 40 dagen expositie
o—o: 60 dagen expositie.

1 = Mülheim
2 = Duisburg
3 = Walsum
4 = Wesel
5 = Rees
6 = Lobith

7 = Velp
8 = Zutphen
9 = Wijhe
10 = Kampen
11 = Ketelhaven
12 = Den Oever

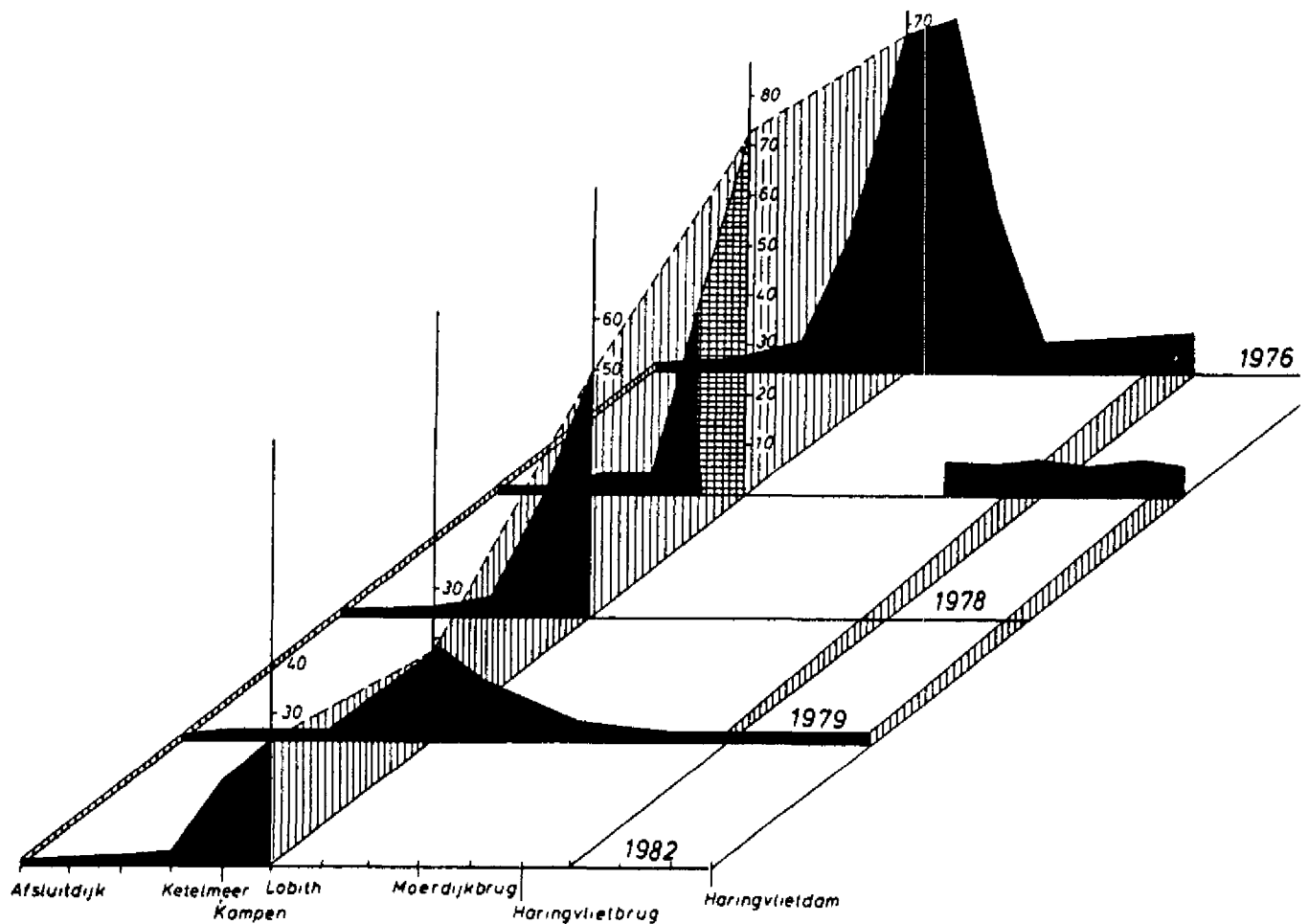


Fig. 4. Verandering van de biologische beschikbaarheid van cadmium voor driehoeksmosselen over de periode 1976-1982. Weergegeven zijn de gehalten in $\mu\text{g.g}^{-1}$. Het linkerdeel van de figuur beschrijft het traject Lobith-Afsluitdijk, het rechterdeel het traject Lobith-Haringvlietdam.

De driehoeksmossel vormt dus enerzijds een schakel tussen concentraties in het water. Anderzijds is de driehoeksmossel een belangrijke voedselbron voor andere organismen, zoals duikeenden (Draulans, 1982) en vissoorten. Het voordeel van het gebruik van driehoeksmosselen is het verzamelen van informatie op een geochemisch en ecologisch strategisch niveau.

Andere voordelen van actieve biologische monitoring zijn:

- Het integrerend karakter van de metingen, veroorzaakt door de "traagheid" waarmee contaminanten door mosselen worden opgenomen en afgegeven.
- De mogelijkheid om op locaties te opereren waar de gekozen organismen niet (meer) voorkomen.
- Een hoog scheidend vermogen, omdat uitgegaan wordt van homogeen uitgangsmateriaal met een sterk vermogen tot accumulatie van stoffen (verbeterde analytische detectie, reproduceerbare resultaten).
- Mogelijkheden voor een directe ecotoxicologische evaluatie (op basis van groei en sterfte van proefdieren en mobilisatie van contaminanten in de voedselketen).

2. MATERIAAL EN METHODE

2.1. KEUZE VAN TE METEN VERONTREINIGING

Hoewel er een goede ervaring aanwezig was met vrijwel alle metalen, werd de keuze beperkt tot cadmium, koper en lood, in aansluiting op het B-programma en anticiperend op de te verwachten concentratieverschillen.

Van de organische microverontreinigingen werden in aansluiting op het A-programma, PCB's en PAK's gekozen, mede op grond van de verbeterde detectie (hoge accumulatiefactoren) in combinatie met ecologische relevantie.

2.2. KEUZE VAN LOCATIES

De keuze werd grotendeels bepaald door de gekozen verontreinigingen: er werd zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij het A-programma. De gekozen locaties zijn vermeld in tabel 1, de nummers in deze tabel komen overeen met de locaties op de kaart (figuur 1).

2.3. HET VERZAMELEN EN DE VOORBEHANDELING VAN HET PROEFMATERIAAL

De driehoeksmosselen werden verzameld bij de Afsluitdijk. Deze dieren hebben een laag gehalte aan zware metalen en organische microverontreinigingen. Na het verzamelen werd een populatie samengesteld van onbeschadigde dieren van gelijke lengte (1,5-2,0 cm). Uit deze populatie werden vervolgens de proefgroepen (monsters) samengesteld volgens een "random" procedure. Elk monster bestond uit 100 exemplaren. Deze monsters werden, in daartoe door TNO ontwikkelde polytheenkorven, op de gekozen locatie geëxponeerd. Na een periode van 40-60 dagen (in deze studie 42 dagen, nl. van 13 augustus tot 12 oktober) werden de monsters weer opgehaald. De monsters worden in het veld ingevroren (-60°C) in polytheenzakken op vaste koolzuur en bewaard bij -18°C tot verdere verwerking. De schelpdieren werden op het laboratorium, na ontdooien, ontdaan van hun schelp en eventuele byssusdraden. Alle weefsels wer-

Tabel 1 Lijst van bemonsteringsplaatsen van het mosselonderzoek KWAPROMA 1982.

1	Remilly (in duplo uitgezet)	LO
2	Donchery	RO
4	Nouzonville	*
5/6	Denville	*
7	Vireux	LO
8	Heer Agimont	LO
9	Anseremme	LO
10	Profondeville	*
11	Nameche	LO
12	Huy/Ahin	LO
13	Ivoz-Ramet	*
13-bis	Luik (Le chat noir)	RO
14-bis	Eysden	RO
15	Borgharen	LO
17	Maaseik	*
18	Weerd	RO
19/20	Belfeld	RO
20	Velden	*
21	Well	RO
21/22	Afferden	RO
22	Milsbeek	*
23	Grave	LO
25	Kerkdriel	RO
26	Heusden	*
27	Keizersveer	RO

Referentiemonsters: Den Oever I
 Den Oever II
 Markermeer

Opmerking: Op de met * gemerkte plaatsen zijn de korven niet teruggevonden.
 LO = Linkeroever
 RO = Rechteroever

den gehomogeniseerd in zuurgespoeld glaswerk met een "Ultra turrax"¹⁾ en in dit glaswerk opgeslagen (-18°C).

Een deel van de aldus verkregen homogenaten werd gebruikt voor de bepalingen van het asvrijdrooggewicht, een ander deel voor de overige bepalingen.

Eventueel resterend homogenaat werd opgeslagen in een zgn. specimenbank ²⁾.

Figuur 5 geeft een overzicht van het verzamelen en verwerken van meetnet-monsters.

Behalve deze homogenaten werden ook controle-monsters (standaarden) geanalyseerd. Deze standaarden bestaan uit "non-spiked" gehomogeniseerd mosselweefsel (*Mytilus edulis*). Sinds 1973 wordt hiervoor dezelfde batch weefselhomogenaat gebruikt in een frequentie van 1 standaard per 10 te onderzoeken monsters.

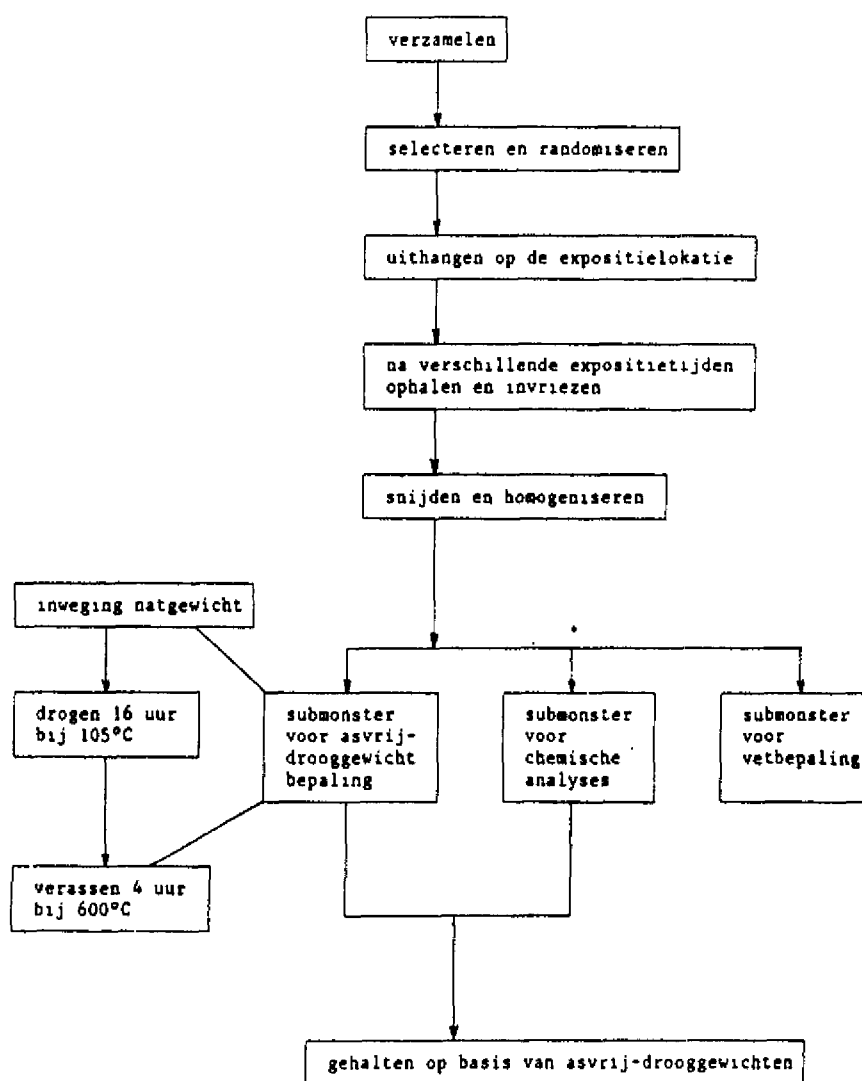


Fig. 5. Overzicht van het verzamelen en verwerken van de monsters.

¹⁾ In 1976 werd gebruik gemaakt van de standaard fabrieksuitvoering; in 1978 en 1979 werd deze uitvoering door TNO voorzien van een van messenwerk delrin (kunststof) en in 1982 van titaan.

²⁾ Sinds 1971 wordt door MT-Biologie een specimenbank in stand gehouden van resterende homogenaten.

2.4. CHEMISCHE ANALYSES

Gehalten aan de metalen werden na natte destructie bepaald met behulp van atomaire absorptie spectrometrie (AAS). Gehalten aan PCBs werden bepaald na enzymatische ontsluiting met behulp van capillaire gaschromatografie (CG). Gehalten aan PAKs werden na extractie bepaald met behulp van vloeistof chromatografie (HPLC).

Tabel 2 geeft overzicht van de verschillende parameters die aan het mosselweefsel werden bepaald.

Tabel 2 Overzicht van parameters van de het mossel onderzoek KWAPROMA 1982.

	Parameter	Eenheid
1	Sterfte	%
2	Vet	%
3	Vocht	%
4	Asrest	%
5	Cadmium	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
6	Lood	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
7	Koper	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
8	Fluorantheen	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
9	Benzo(b)fluorantheen	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
10	Benzo(k)fluorantheen	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
11	Benzo(a)pyreen	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
12	Benzo(g,h,i)peryleen	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
13	Indeno(1,2,3,-cd)pyreen	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
14	2-monochloorbifenyyl	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
15	4,4'-dichloorbifenyyl (15)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
16	2,4-4'-trichloorbifenyyl (28)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
17	2,5-2'5'-tetrachloorbifenyyl (52)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
18	2,4-2'5'-tetrachloorbifenyyl (49)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
19	2,3-2'5'-tetrachloorbifenyyl (44)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
20	2,5-3'4'-tetrachloorbifenyyl (70)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
21	2,4,5-2'5'5'-pentrachloorbifenyyl (101)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
22	2,3,4-2'5'5'-pentachloorbifenyyl (87)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
23	2,4,5-2'4'5'5'-hexachloorbifenyyl (153)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
24	2,3,4-2'4'5'5'-hexachloorbifenyyl (138)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
25	2,3,4,5-2'4'5'5'-heptachloorbifenyyl (180)	$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1. CONDITIE VAN DE MOSSELEN

Hoewel het verzamelen van de mosselen zeer voorzichtig gebeurt en streng geselecteerd wordt op onbeschadigde exemplaren, treedt altijd enige sterfte op tengevolge van verzamelen en transport. Daarnaast treedt sterfte op gedurende de expositieperiode, deels natuurlijk en deels veroorzaakt door een ongunstige waterkwaliteit. Een sterftepercentage van 10-35 is normaal, afhankelijk van het seizoen. De sterfte is weergegeven in tabel 3. In dezelfde tabel zijn opgenomen het gehalte aan extraheerbaar vet (% van natgewicht) en het asvrij drooggewicht, berekend per mossel (mg zacht weefsel).

Tabel 3 Mosselonderzoek KwaProMa 1982. Sterfte (%), vetgehalte (% van natgewicht) en het gewicht (mg asvrij-droog weefsel per mossel).

Locatienr.	Sterfte (%)	Vetgehalte (%)	Gewicht (mg)
1 (Remilly)	34	1,13	46
2	29	0,90	29
7	34	0,90	32
8	48	0,66	17
9	34	0,89	30
11	40	1,23	22
12	33	0,96	25
13-bis	57	1,23	17
14-bis	32	1,16	21
15	32	0,79	22
18	42	-	29
19/20	36	1,05	26
21	35	1,08	28
21/22	26	1,28	27
23	20	1,43	27
25	34	1,21	20
27 (Keizersveer)	30	1,36	21
Blanco t = o	-	0,64	16,5

Het vetgehalte van mosselen is slechts weinig indicatief voor de conditie omdat mosselen juist glycogeen als reserve stof gebruiken. Dit betekent dat het grootste deel van het extraheerbaar vet, betrekking heeft op structuurvetten, waaruit o.a. membranen zijn opgebouwd, en niet op depôtvetten. Dit heeft tot gevolg dat onder energetisch ongunstige omstandigheden het glyco-geen gehalte eerst zal dalen, waardoor het vetgehalte relatief toeneemt. Om die reden kunnen gehalten van organische microverontreinigingen voor dieren met een dergelijke fysiologie niet zonder meer worden omgerekend op basis van vetgehalten.

In figuur 6 is de sterfte van de proefdieren op de verschillende locaties (voor linker- en rechteroever) weergegeven. In figuur 7 is weergegeven de sterfte en de relatieve gewichtsverandering per dag (eindgewicht - uitgangsgewicht.100% / uitgangsgewicht.dag⁻¹).

Uit deze figuur blijkt dat mosselen op twee locaties niet in gewicht toeneemen, hetgeen samenvalt met een relatief hoge sterfte (ca. 50%). De groei is duidelijk geremd op de trajecten Agimont-Roermond en Lith-Keizersveer. De groei was zeer goed op de locatie Remilly. Omdat de groei een resultante is van veel factoren (temperatuur, contaminanten en voedsel) waarbij de eisen die driehoeksmosselen stellen zeker niet overeen hoeven te komen met de eisen van andere waterbewoners en gebruikers kunnen hier op dit moment (m.u.v. duikeenden) geen vérgaande ecologische conclusies aan worden verbonden.

3.2. GEHALTEN AAN CADMIUM (Cd), KOPER (Cu) EN LOOD (Pb)

De gehalten aan Cd, Cu en Pb werden omgerekend op basis van asvrij-drooggewichten.

In de figuren 8a (Cd), 9 (Cu) en 10a (Pb) zijn de geografische trends weergegeven in geaccumuleerd metaal. Ter vergelijking zijn de opgeloste concentraties in het water weergegeven in de figuren 8b (Cd) en 10b (Pb). Voor Cu zijn geen concentraties opgelost metaal beschikbaar.

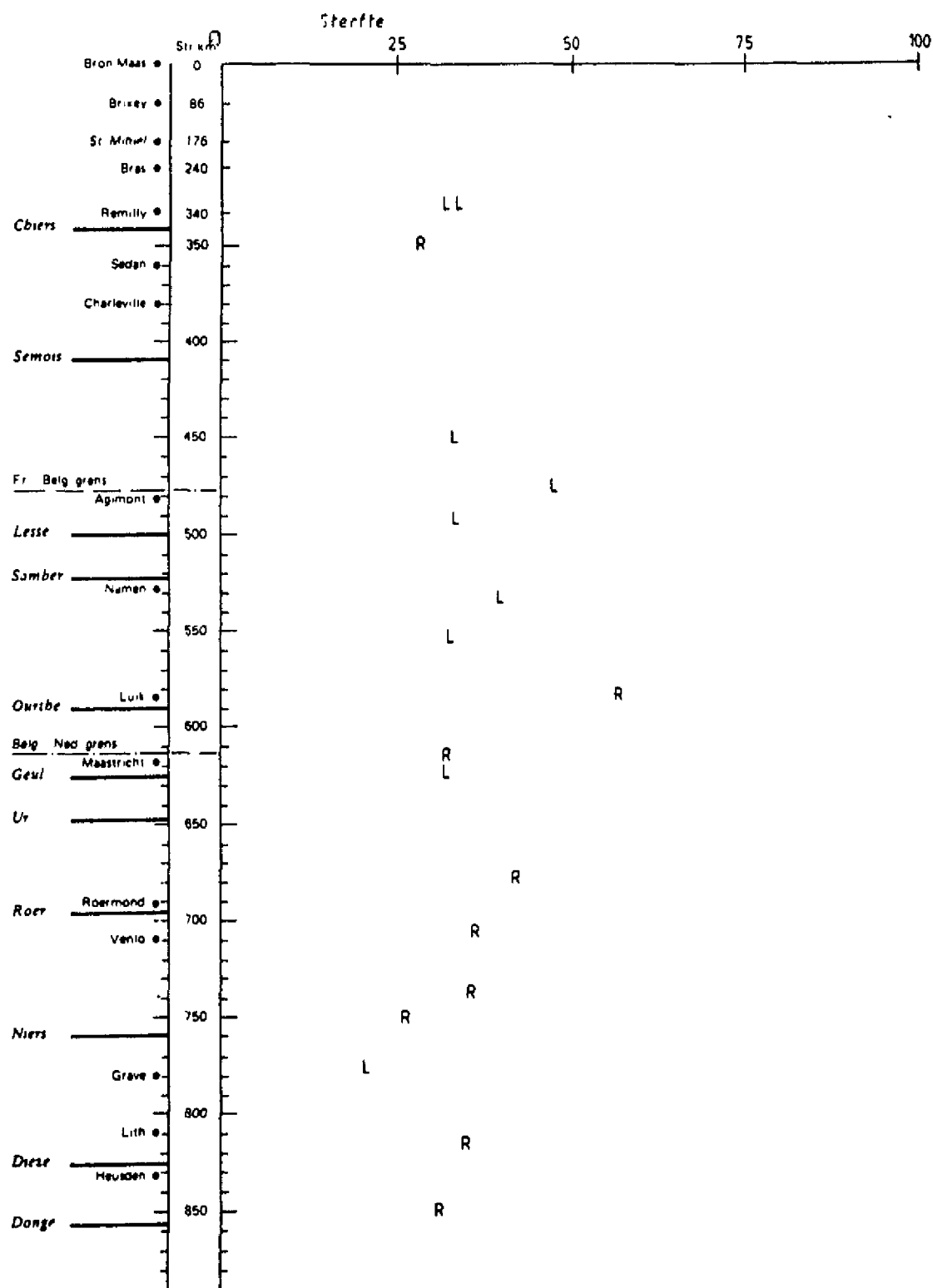


Fig. 6. Het sterftepercentage van geëxponeerde driehoeksmosselen na 42 dagen als functie van de locatie.

L = Linkeroever

R = Rechteroever

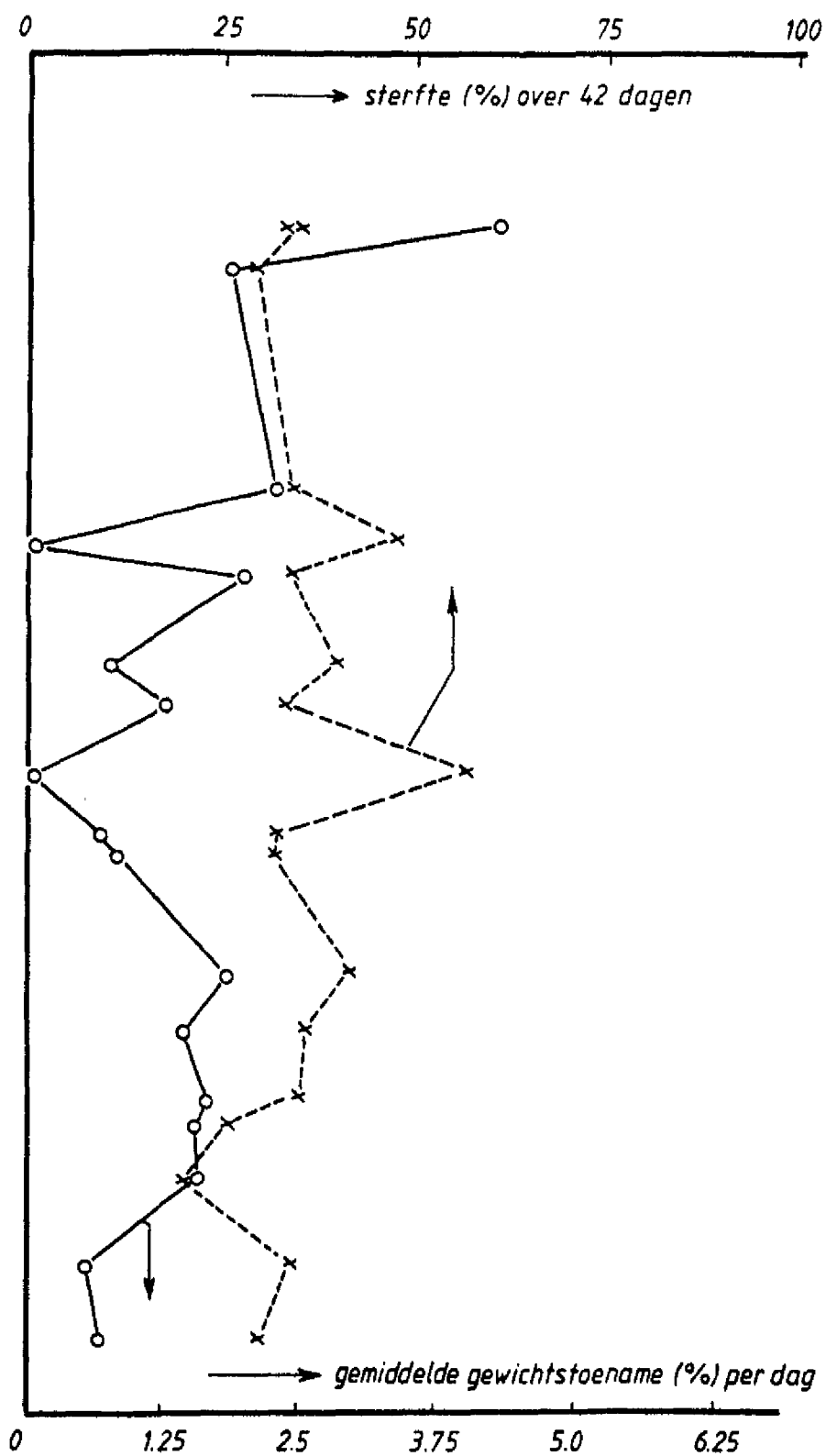


Fig. 7. De sterfte en de groei van driehoeksmosselen als functie van de locatie (zie tekst).

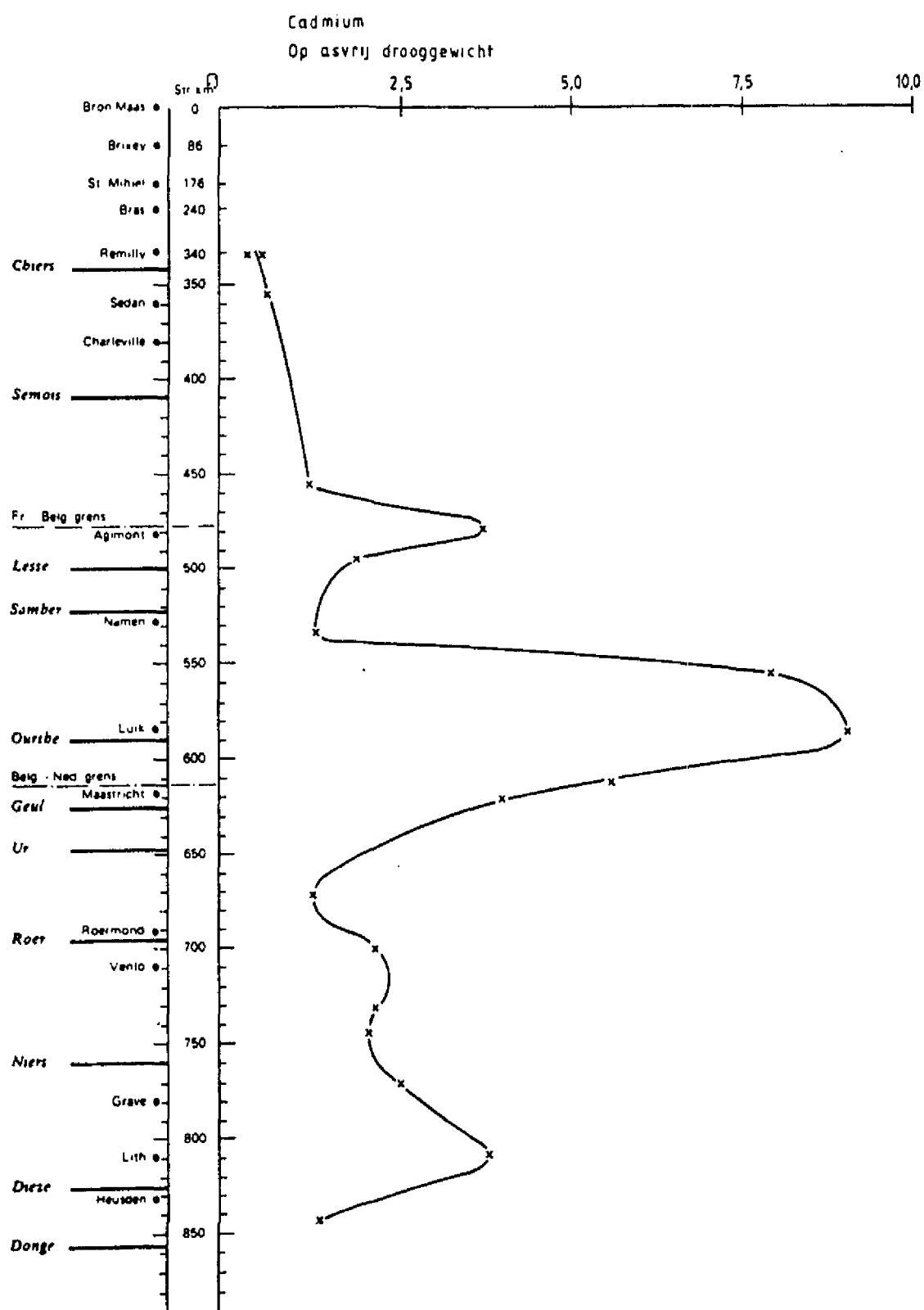


Fig. 8a. Geografische trend in door driehoeksmosselen geaccumuleerd metaal.

Kwaliteitsprofiel Maas
19 - 30 september 1982

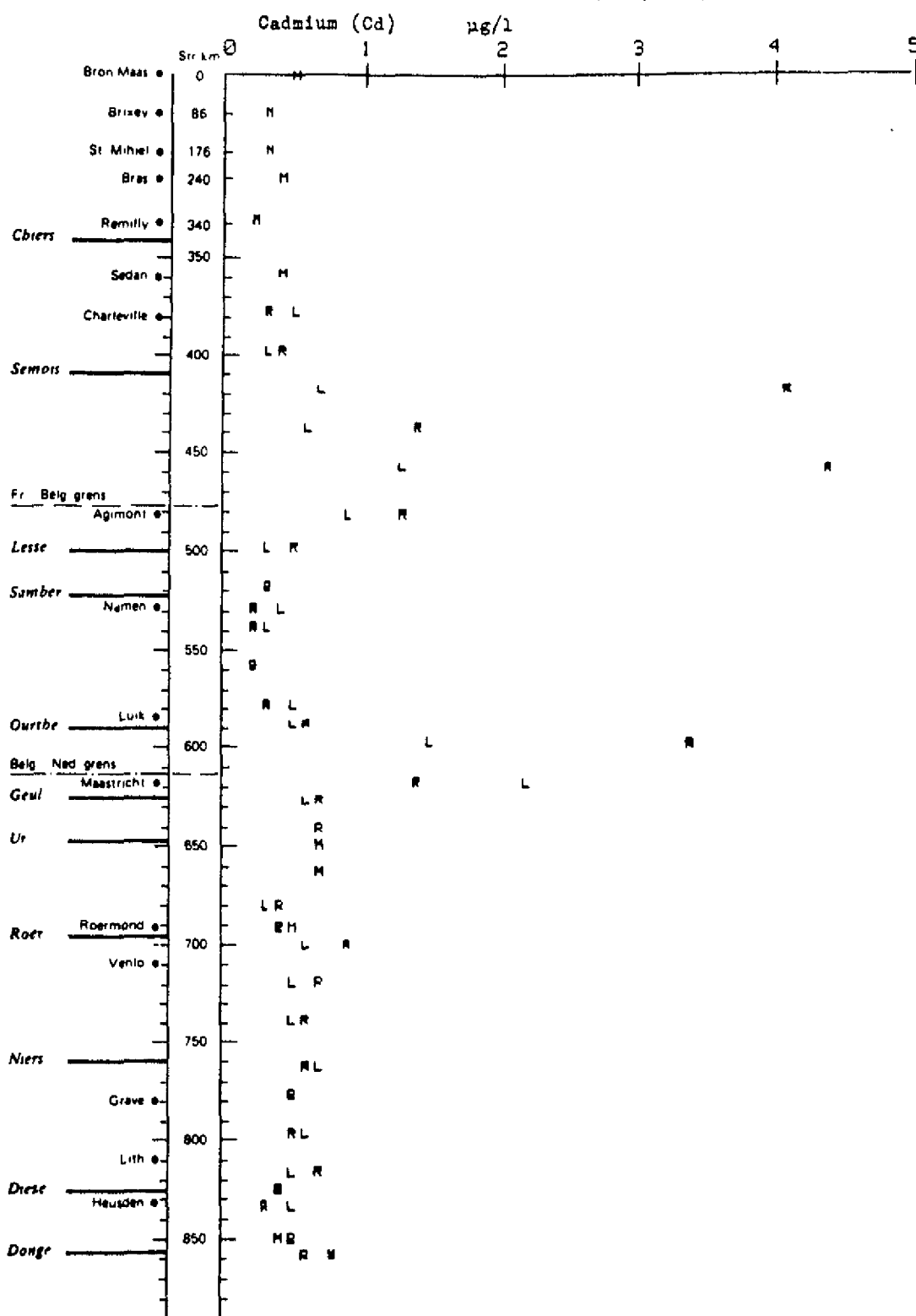


Fig. 8b. Concentraties aan opgelost Cd in $\mu\text{g.l}^{-1}$

M = Midden
L = Linkeroever
R = Rechteroever

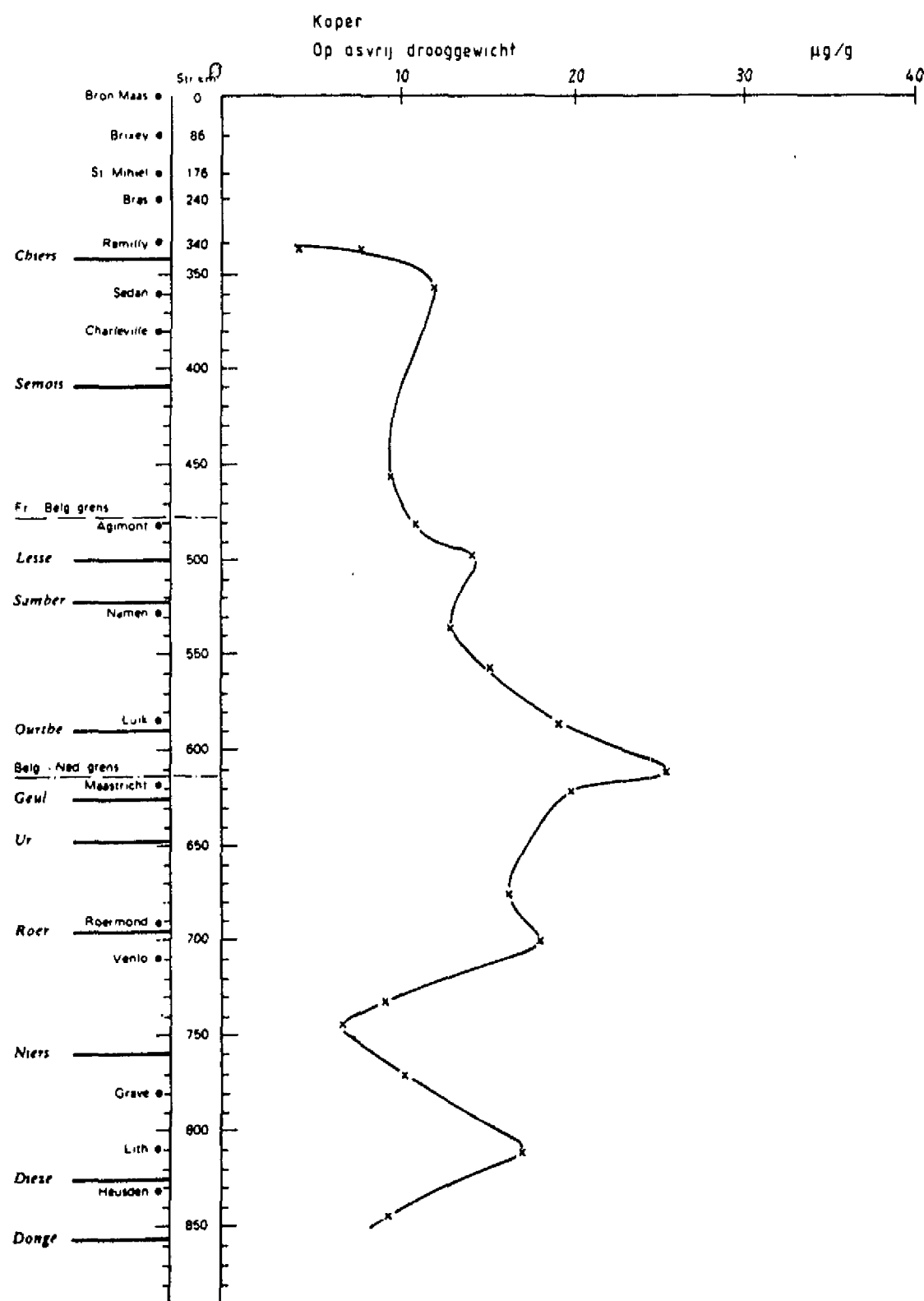


Fig. 9. Geografische trend in door driehoeksmosselen geaccumuleerd metaal.

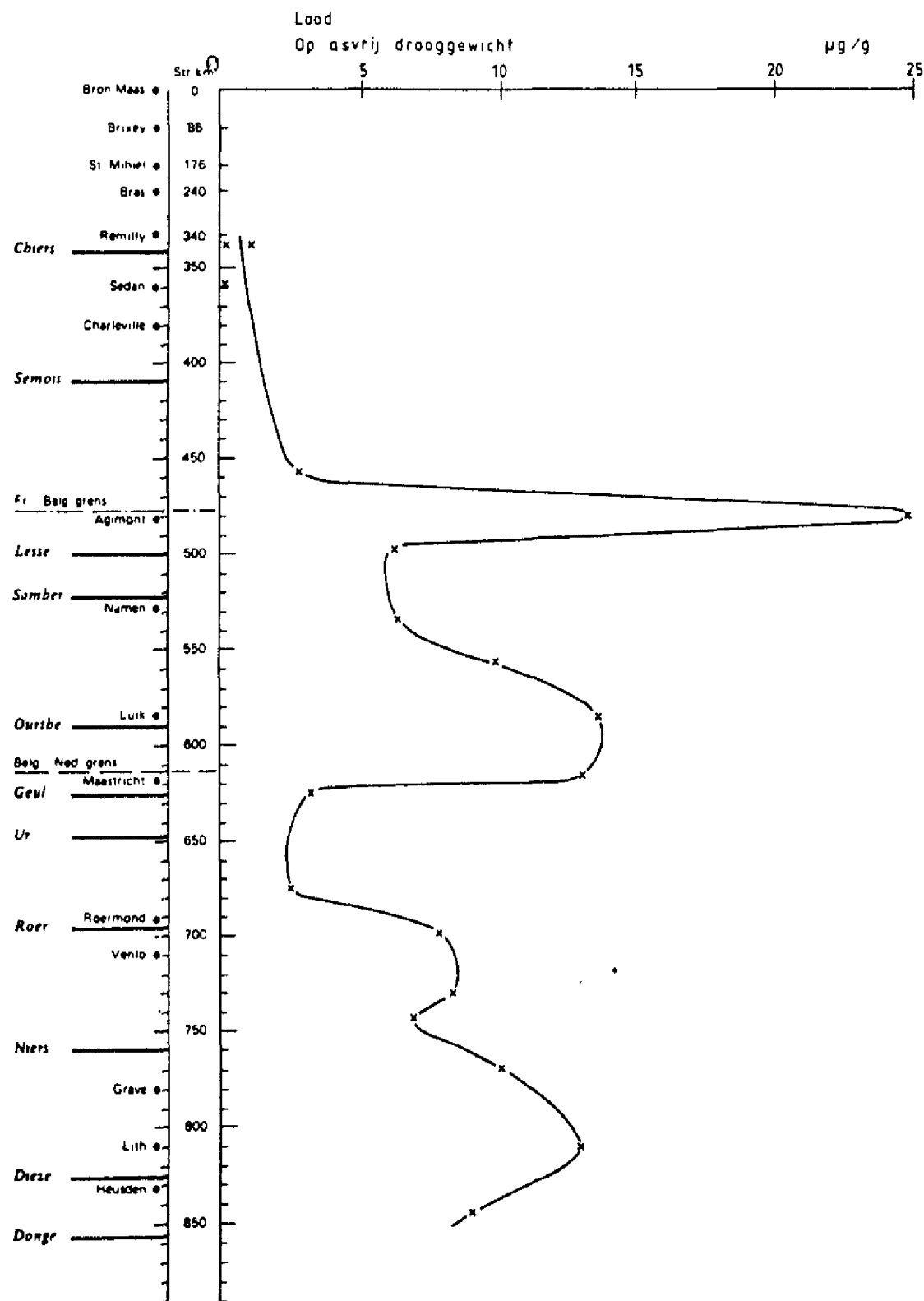


Fig. 10a. Geografische trend in door driehoeksmosselen geaccumuleerd metaal.

Kwaliteitsprofiel Maas
19 - 30 september 1982

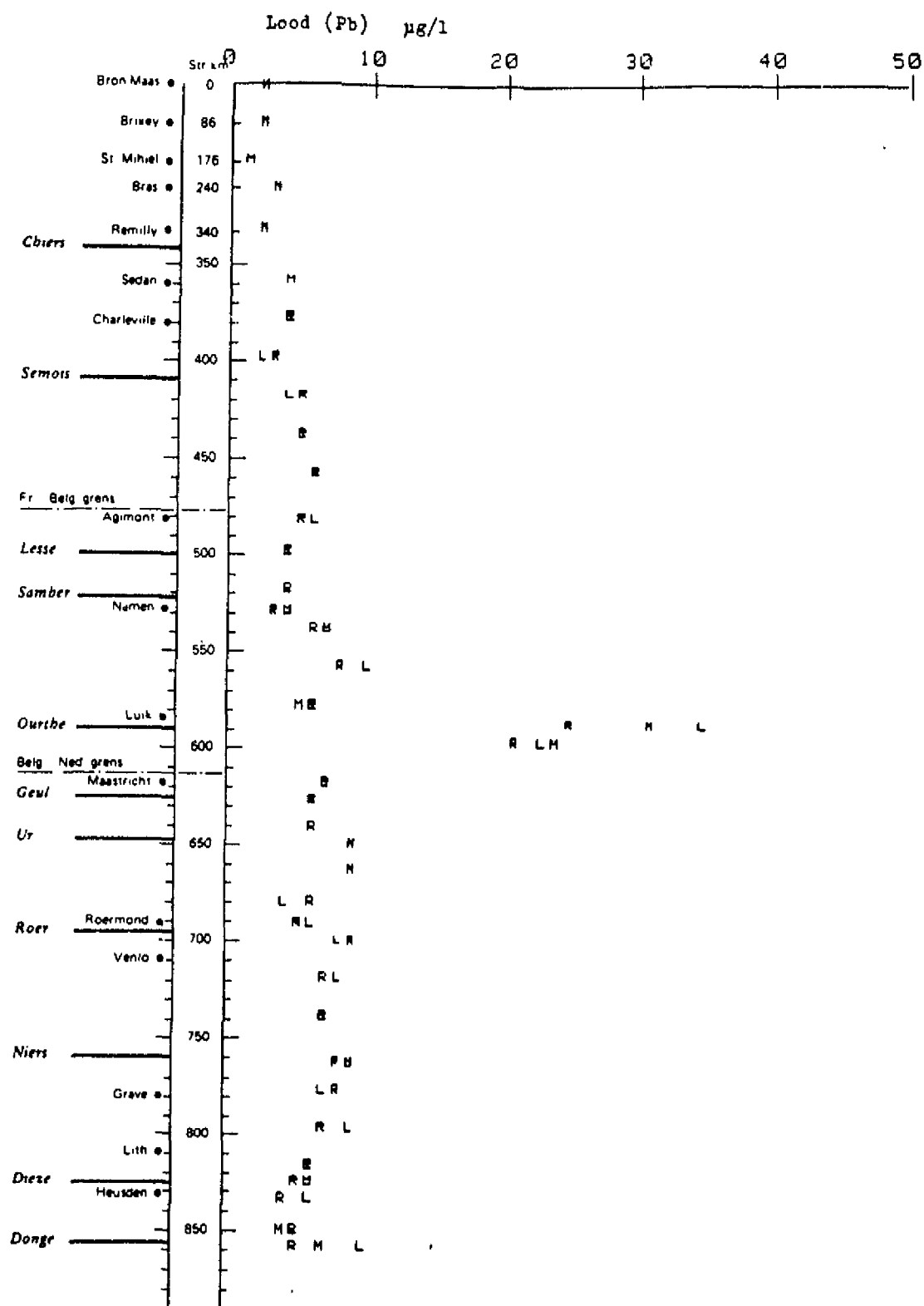


Fig. 10b. Concentraties aan opgelost Pb in $\mu\text{g.l}^{-1}$

M = Midden
L = Linkeroever
R = Rechteroever

Cadmium

Uit de figuur 8a blijkt dat de biologische beschikbaarheid (BB) van Cd vrij laag is aan het begin (Remilly) van het traject. De BB neemt enigszins toe tot km 450 (Vireux). Op km 475 (Heer Agimont) is de BB sterk verhoogd, waarna de BB weer afneemt tot km 540. Deze afname wordt, evenals in de Rijn (zie inleiding), toegeschreven aan complexering van vrij Cd. De grootste toename werd gevonden te Huy/Ahin (km 550) met vervolgens een extra bijdrage in de omgeving van Luik (km 580). Hierna nemen de concentraties geleidelijk af met een geringe toename ter hoogte van Venlo en een relatief sterkere toename ter hoogte van Kerkdriel (km 810). Dit beeld komt voor de Belgische situatie globaal overeen met de resultaten van het wateronderzoek en is indicatief voor lozingen. Voor de Nederlandse situatie blijkt echter dat de BB sterk verandert bij gelijkblijvende concentraties in het water. Dit verschil kan veroorzaakt zijn door het verschil in tijdstippen van de monsternames. Het is echter waarschijnlijker dat veranderingen in de fractie vrij Cd een rol spelen. Een bewijs hiervoor kan pas geleverd worden door de metingen te herhalen. Het absolute niveau van Cd in de driehoeksmosselen over het traject Grave-Keizersveer komt globaal overeen met de niveaus in 1977 (Marquenie en De Kock, 1983) en in 1982 (Del Castilho en Marquenie, 1984). Het niveau te Eijsden (km 620) varieert sterk, afhankelijk van de waterafvoer. In juni 1982 werd ca. $45 \mu\text{g.g}^{-1}$ in driehoeksmosselen gemeten, 20 dagen later werd toen $24 \mu\text{g.g}^{-1}$ gemeten en in deze studie, in oktober 1982 ca. $5 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Koper

Het profiel voor koper is anders dan dat voor cadmium. De BB neemt toe over de trajecten Remilly-Donchery (km 340-360), Vireux-Anseremme (km 460-500), Nameche-Eijsden (km 530-620), Weerd-Belfeld (km 680-700) en Afferden-Kerkdriel (km 740-810). De interpretatie van dit beeld is echter minder eenvoudig dan voor cadmium. Het element koper wordt door driehoeksmosselen snel geaccumuleerd en geëlimineerd (Marquenie, 1983).

Dit betekent, voor deze expositieperiode, waarin de waterafvoer van de Maas en van de zijrivieren sterk varieerde, dat pieken in het BB-profiel in benedenstroomse richting kunnen verschuiven. Hierbij ontstaat een "staart" van langzaam oplopende concentraties.

Lood

Het profiel van lood vertoont in vorm grote overeenkomst met dat van cadmium. De hoogste concentratie in driehoeksmosselen werd echter bereikt te Heer Agimont (km 480). De concentraties in mosselen die aan dezelfde oever ca. 25 km stroomopwaarts en -afwaarts werden geëxponeerd, waren veel lager. Deze plaatselijk zeer sterke verhoging in de BB van lood duidt waarschijnlijk op de directe nabijheid van een lozingspunt. Het betreft hier zeer waarschijnlijk een bron die niet continu operationeel is, omdat deze lozing niet werd aangetroffen in de analyses van de watermonsters die eenmalig werden uitgevoerd (zie figuur 10b).

Zowel voor cadmium als voor lood blijkt dat metaalgehalten in mosselen belangrijk duidelijker indicaties geven voor lozingssituaties dan afgeleid kan worden uit wateranalyses. Een meetnet met mosselen vervult om die reden een waardevolle indicator functie.

3.3. GEHALTEN AAN PCB COMPONENTEN

Gehalten aan PCB componenten werden omgerekend op basis van asvrij-drooggewichten. Van omrekening op basis van vetgewichten wordt, gezien de eerdere opmerkingen tot dusver, geen beter inzicht in het profiel verwacht. Gehalten aan 2 mono- en 4,4' dichloorbifenyl bleken niet aantoonbaar ($< \sim 250 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ asvrij droog weefsel). Voor de overige componenten geldt een detectiegrens van circa $20 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (asvrij-drooggewicht). Uitsluitend 2,3,4,2',4',5' hexa- en 2,3,4,5,2',4',5' heptachloorbifenyl bleken aantoonbaar in het uitgangsmateriaal ($t = 0$) in concentraties van respectievelijk 37 en $40 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

De concentraties van de overige chloorbifenylen worden gegeven in tabel 4.

Tabel 4 De concentraties van PCB componenten in driehoeksmosselen ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ asvrij-droogweefsel) over het traject Remilly-Keizersveer. Tevens zijn opgenomen de gemiddelde concentraties voor het traject bovenstrooms van Agimont (locatie 1-9) en benedenstrooms van Well (locaties 21-27).

Locatie (fig. 1)	PCB component (zie tabel 2)									
	28	52	49	44	70	101	87	153	138	180
1	-	-	-	-	-	20	-	-	33	31
2	-	-	-	-	-	32	-	-	44	37
7	-	-	-	-	-	64	-	-	62	61
8	-	-	-	-	-	32	-	-	40	84
9	-	-	-	-	-	41	-	-	54	53
11	-	-	37	52	260	150	51	-	200	140
12	-	-	-	-	100	130	39	-	150	93
13-bis	-	-	-	-	-	180	-	-	230	200
14-bis	-	-	57	-	-	180	44	-	210	150
14	-	200	50	-	59	170	50	300	210	140
18	38	160	48	33	63	150	43	240	190	140
19/20	160	270	100	99	110	160	40	310	170	170
21	170	200	110	110	120	190	60	280	220	190
21/22	150	220	110	110	150	190	60	280	210	180
23	180	220	110	110	160	200	60	310	230	180
25	140	200	97	90	110	170	51	270	200	180
27	120	200	82	82	130	150	44	280	190	170
Gemiddeld 1-9 (n=5)	-	-	-	-	-	37.8 (16.4)	-	-	46.6 (11.5)	53.2 (21.0)
21-27	152 (23.9)	208 (11.0)	110 (12.4)	100 (13.4)	134 (20.7)	180 (20)	55 (7.3)	284 (15.2)	210 (15.8)	180 (7.1)

- = < ~ 20

Tussen haakjes: variatiecoëfficiënt in %

Uit deze tabel blijkt dat in het bovenstroomse deel van de Maas (tot Anseremme, ca. km 500) geen belangrijke PCB verontreiniging aanwezig is. De gemeten concentraties gaan die van het schone uitgangsmateriaal nauwelijks te boven.

Tussen Anseremme (km 500) en Well (km 730) treedt een patroon op van plaatselijk sterk verhoogde concentraties die vaak in benedenstroomse richting weer iets lager zijn. Een afname van de BB van PCB-componenten werd in 1979 ook in de Rijn gevonden (Marquenie, in prep.). Dergelijke afnames worden, evenals voor metalen, toegeschreven aan adsorptieprocessen. Vervluchtiging kan echter ook een rol spelen. Afbraak speelt waarschijnlijk uitsluitend een rol bij laaggechloreerde PCBs (mono-, di- en trichloorbifenylen).

Het valt op dat de concentraties benedenstrooms van Well (ca. km 730) vrijwel constant blijven tot aan Keizersveer (km 860). Een mogelijke verklaring is dat op dit laatste traject een dynamische evenwichtssituatie bestaat waarbij de echt opgeloste concentraties in het water niet meer veranderen.

De toename in de concentratie van verschillende componenten tussen opeenvolgende locaties is weergegeven in tabel 5. Bij het samenstellen van deze tabel werd rekening gehouden met een variabiliteit van ca. 20% (ontleend aan tabel 4, gemiddelden voor locaties 21-27). Uit deze tabel blijkt dat er een viertal lozingssituaties zijn te onderscheiden van duidelijk verschillend karakter.

- Een eerste toename in concentraties wordt waargenomen nabij Namen (km 530). Met name component 70, 101, 138 en 180 zijn hierin vertegenwoordigd.
- Een tweede, geringe, toename treedt op nabij Luik (km 590): component 152 en 180.
- Een derde toename in concentraties wordt gevonden te Borgharen (km 620). Opvallend is het verschijnen van slechts 2 componenten nl. 52 en 153 in de chromatogrammen, terwijl de concentraties van de overige componenten (m.u.v. component 70) niet noemenswaard veranderen.
- Een vierde toename in concentraties wordt gevonden stroomafwaarts van Roermond. Hier betreft het vooral laaggechloreerde PCBs: component 28, 52, 44 en 153.

Tabel 5 Toename van PCB-concentraties in mosselweefsel ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) tussen verschillende locaties langs het traject.

Lokatie	Chloreringsgraad (aantal Cl atomen)									
	3	4	4	4	4	5	5	6	6	7
	Component identificatie									
	28	52	49	44	70	101	87	153	138	180
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	40	50	260	110	50	-	150	90
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	50	-	30	-	110
13b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14b	-	200	-	-	60	-	-	300	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	120	110	50	70	50	-	-	70	-	-
19/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Deze gegevens geven tevens aanleiding te veronderstellen dat bij de tweede lozingssituatie slechts één bron betrokken is. Zonder te corrigeren voor verschil in bioaccumulatiefactoren duidt het patroon op een Aroclor 1260. De overige lozingssituaties hebben een meer samengesteld karakter of duiden op processen, voorafgaande aan de lozing, die onderlinge verhouding van componenten beïnvloeden.

Samenvattend blijkt voor de Nederlandse situatie dat de contaminatie van het benedenstroomse deel van de Maas en daarmee het Haringvliet met tetra-, penta-, hexa- en heptachloorbifenylen vooral afkomstig is van de Belgische industriegebieden. Eén tetra- en één hexachloorbifenyl werden na het passeren van de Nederlandse grens aangetroffen; tri-, en tetrachloorbifenylenen worden ter hoogte van Roermond in Nederland aan dit spectrum toegevoegd. Dit kwalitatief scherpe onderscheid tussen de 4 lozingssituaties kon niet gemaakt worden in het KwaProMa rapport op grond van wateranalyses.

3.4. GEHALTEN AAN PAK-COMPONENTEN

De resultaten op basis van asvrij-droog gewichten, zijn weergegeven in tabel 6. Uit deze tabel blijkt dat de concentraties aan PAK in mosselen sterk toenemen op een viertal trajectdelen; nl. tussen:

Remilly en Donchery (km 350)

Anseremme en Namen (km 540)

Huy/Ahin en Luik (km 590)

Well en Afferden (km 750).

Evenals voor bijv. cadmium werd opgemerkt, neemt de beschikbaarheid van PAK vervolgens geleidelijk af. Dit verschijnsel is goed geïllustreerd voor het Maastraject tussen Luik en Well. Deze afname moet worden toegeschreven aan een afname van de concentraties opgeloste PAK. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door adsorptie aan deeltjes (inclusief sedimenten), verdamping en afbraak.

Deze processen verlopen kennelijk component specifiek zoals blijkt uit figuur 11 voor fluorantheen en benzo(a)pyreen. De biologische beschikbaarheid van fluorantheen neemt na het passeren van lozingen steeds weer geleidelijk af tot niveaus die bijna overeenkomen met dat van Remilly. De biologische beschikbaarheid van benzo(a)pyreen neemt veel "langzamer" af. Dit heeft tot gevolg dat nieuwe lozingen een additief effect hebben. De beschikbaarheid van benzo(a)pyreen verandert benedenstrooms van Luik niet sterk meer. Juist dit beeld komt overeen met de resultaten van de Ames-toets zoals beschreven in het KwaProMa-rapport (figuur 12), namelijk een constante verhoging van het aantal revertanten benedenstrooms van Luik.

Tabel 6 Concentraties van PAK componenten in driehoeksmosselen ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ asvrij-droog weefsel) over het traject Remilly-Keizersveer.

Lokatie (fig. 1)	PAK component (zie tabel 2)					
	fl.antheen	benzo(b)fl.	b(k)fl.	b(a)py- reen	b(ghi)pery- leen	indeno- (1,2,3-cd)p.
1	500	200	95	110	~ 50	~ 50
2	2600	910	450	580	130	130
7	590	390	170	220	150	92
8	530	430	200	230	140	90
9	620	180	84	84	<48	36
11	2000	1400	600	780	250	210
12	1100	980	480	680	220	180
13b	6200	1800	900	1500	430	360
14b	5700	1300	580	1100	420	310
15	5300	1200	570	1000	370	270
18	2700	1000	450	680	250	190
19/20	2300	1200	540	870	330	220
21	1600	1000	470	700	330	220
21/22	2800	1800	850	1200	480	400
23	1600	1100	490	750	340	220
25	900	850	390	580	330	210
27	-	-	-	-	-	-

- = niet geanalyseerd.

Uit deze resultaten blijkt ook dat een belangrijk deel informatie verloren gaat indien de verschillende PAK-componenten gesommeerd worden tot één totaal (Σ PAK).

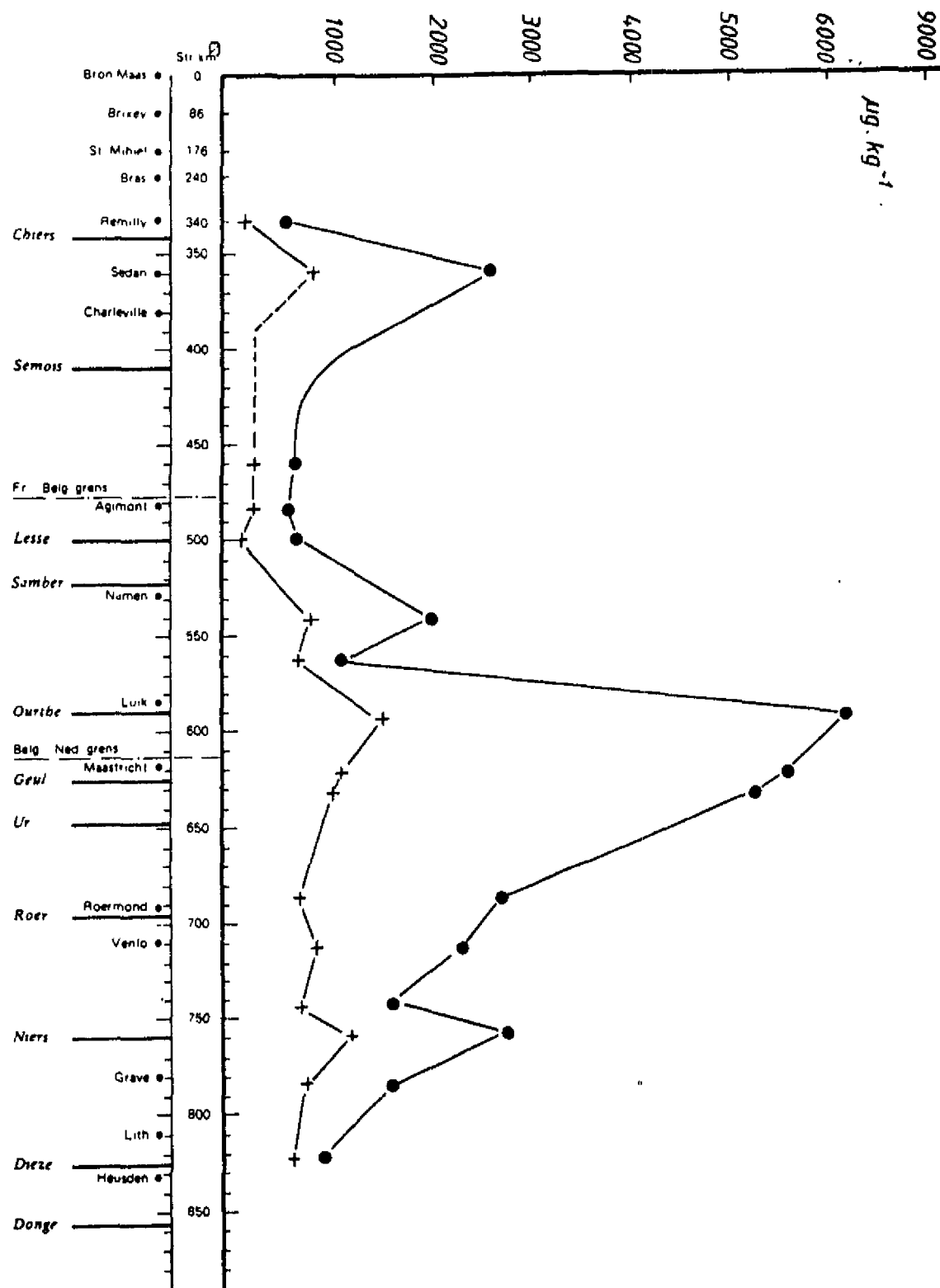


Fig. 11. Geografische trend in de gehalten van fluorantheen en benzo(a)pyreen ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ asvrij-droog weefsel) van driehoeksmosselen in het Maastraject.

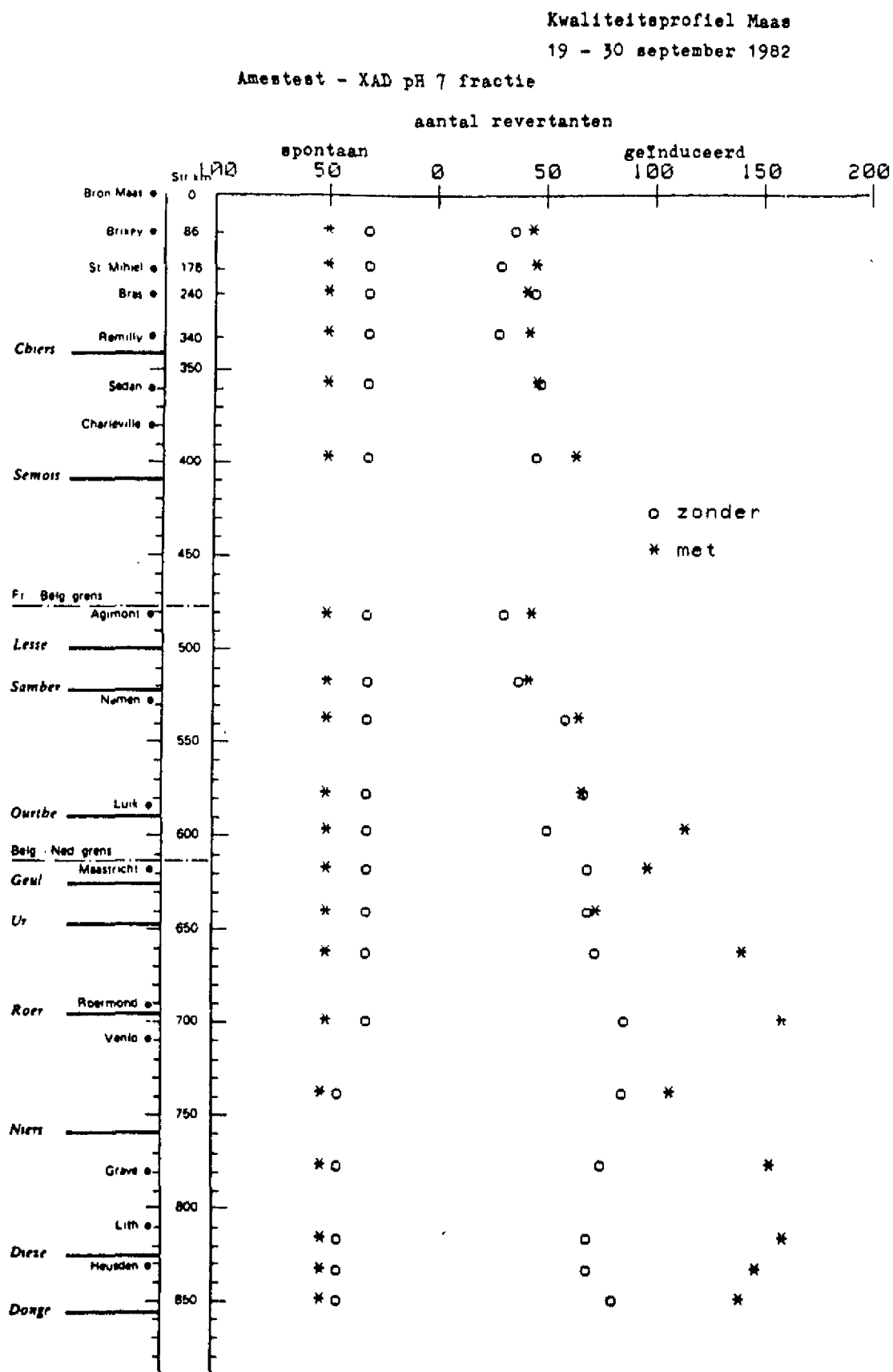


Fig. 12. Resultaten van de Ames-toets, toegepast op watermonsters uit de Maas.

4. CONCLUSIES

1. Het actief biologisch meetnet , dat tijdens de uitvoering van het KwaProMa-programma in de Maas werd opgezet, voldeed aan de verwachting: de biologische beschikbaarheid van zware metalen, PCB's en PAK werd in kaart gebracht.
2. Het expositieprogramma verliep niet geheel zonder problemen; er konden, mede door de korte voorbereidingstijd, niet altijd geschikte expositie-locaties worden gevonden aan dezelfde oever (links of rechts) van de Maas. Bovendien werd een aantal uitgezette korven met mosselen niet teruggevonden.
De waterafvoer van de Maas was niet constant tijdens de expositieperiode; deze nam sterk toe kort voor de monsternamen van de mosselen.
3. Een aantal van genoemde veldtechnische problemen is in de toekomst te ondervangen. Geen van de problemen bleek van overwegende invloed op de interpretatie van de resultaten.
4. Op een tweetal locaties werd een verhoogde sterfte gevonden; nl. bij Heer Agimont (km 480) en Luik (km 590). De nog levende mosselen waren niet gegroeid op deze beide locaties. Globaal neemt de potentie tot groei van mosselen af in benedenstroomse richting. De groei was duidelijk geremd bij Heer Agimont (km 480), op het deeltraject km 500-680 en benedenstrooms van km 780.
5. De biologische beschikbaarheid van zware metalen is duidelijk sterk verhoogd ter plaatse van Belgische industrie centra, rond Agimont (met name lood) en Luik (met name cadmium). Opvallens is de verhoogde beschikbaarheid ter hoogte van Lith (cadmium, koper en lood) en de geleidelijke toename van loodconcentraties in mosselen stroomafwaarts van Roermond (vanaf km 700). Voor een aantal situaties is een gedetailleerder onderzoek gewenst. Dit betreft met name de trajecten Namen-Luik en Grave-Lith en de invloed van de zijrivieren (bijv. de Roer t.a.v. lood).

6. De biologische beschikbaarheid van PCBs is duidelijk verhoogd op een viertal deeltrajecten. Het contaminatiepatroon van het benedenstroomse deel van de Maas (stroomafwaarts van Roermond) wordt voor midden- en hooggechloreerde PCBs bepaald door lozingen in het Belgische deel en voor midden- en laaggechloreerde PCBs bepaald door lozingen in het Nederlandse deel van de Maas. Stroomafwaarts van Roermond bleven de concentraties in driehoeksmosselen verhoogd op een constant niveau voor alle daar gelegen locaties. Een nader onderzoek is gewenst naar de invloed van de zijrivieren de Sambre en de Roer.
7. De biologische beschikbaarheid van PAK bleek min of meer sterk verhoogd op een viertal deeltrajecten. Stroomafwaarts van die deeltrajecten neemt de beschikbaarheid geleidelijk af op een component-specifieke wijze. Als voorbeeld geldt dat de beschikbaarheid van fluorantheen langs het traject vrijwel steeds afneemt tot het niveau van het begin van het traject (Remilly), alvorens een nieuwe lozingssituatie wordt opgemerkt, terwijl de beschikbaarheid van benzo(a)pyreen zo langzaam afneemt dat nieuwe lozingssituaties een additief karakter hebben. De beschikbaarheid van benzo(a)pyreen is daardoor blijvend verhoogd benedenstrooms van Luik.
8. Niet alle lozingssituaties, die via analyse van geëxposeerde mosselen in kaart werden gebracht, werden ook ontdekt via de chemische analyse van watermonsters. Een belangrijke reden hiervoor is dat de respons van mosselen in hoge mate wordt bepaald door echt opgeloste of ionogeen aanwezige verontreinigingen (sterk mobiele fracties). Deze mobiele fracties zijn in zuiveringsstappen moeilijker te verwijderen dan fracties die aan deeltjes gebonden zijn. De analyse van watermonsters is echter wel noodzakelijk om de omvang van een lozing te kunnen bepalen.
9. Een ander belangrijk voordeel van het gebruik van mosselen ontstaat door het integrerend karakter van de metingen waardoor ook discontinue lozingen opgemerkt kunnen worden. Tot slot wordt opgemerkt dat metingen aan en via mosselen een directe basis kunnen vormen voor de interpretatie en voorspelling van ecotoxicologische verschijnselen in het veld.

5. LITERATUUR

Castilho, P., del en J.M. Marquenie (1984)

Zware metalen in aquatische systemen. Deel 6: bindingsvormen en opname door organismen.

Rapport MT-TNO R83/205a: 70 pp.

Goldberg, E.D., V.T. Bowen, J.W. Farrington, G. Harvey, J.H. Martin, P.L. Parker, R.W. Risebrough, W. Robertson, E. Schneider, and E. Gamble (1978).

The musselwatch

Environ. Conserv. 5: 101-125.

Goldberg, E.D. (1976)

The health of the oceans.

Unesco Press, Paris: 172 pp.

Hueck, H.J. (1976)

Active surveillance and use of bioindicators.

In: R. Amavis and J. Smeets (ed.). Principles and methods for determining ecological criteria on hydrobiocenoses.

Pergamon Press, Oxford: 275-286.

Kock, W.Chr. de (1983)

Accumulation of cadmium and polychlorinated biphenyls by *Mytilus edulis* transplanted from pristine water into pollution gradients.

Can. J. Fish Aquat. Sci. 40 (suppl. 2): 282-294.

Kock, W.Chr. de and J. Kuiper (1981)

Possibilities for marine pollution research at the ecosystem level.

Chemosphere 10 (6): 561-575.

Kock, W.Chr. de en J.M. Marquenie

De experimentele toepassing van de mossel, *Mytilus edulis*, L., bij het meten van zware metalen en organische micro-verontreinigingen in Nederlandse kustwateren.

Rapport MT-TNO, MD-N&E 81/2: 126 pp.

KwaProMa (1983)

Het kwaliteitsprofiel van de Maas 19-30 september 1982.

RIWA, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven. Amsterdam: 146 pp.

Draulans, D. (1982)

Foraging and Size selection of mussels by the tufted duck, *Aythya fuligula*.

J. Animal Ecol. 51: 943-956.

Marquenie, J.M. (1981)

The freshwater mollusc *Dreissena polymorpha* as a potential tool for assessing bio-availability of heavy metals in aquatic systems.

Proc. Int. Conf. Heavy metals in the Environment, CEP Consultants, Edinburgh: 409-412.

Marquenie, J.M. (1984)

Zware metalen in aquatische systemen. Deel 5: opname en afgifte door organismen.

Rapport MT-TNO, R83/245: 56 pp.

Marquenie, J.M., W.Chr. de Kock and P.M. Dinneen (1983)

Bioavailability of heavy metals in sediments.

Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environment, CEP Consultants, Edinburgh.

Marquenie, J.M. and J.W. Simmers (1984)

Bioavailability of heavy metals, PCB and PCA components to the earth-worm, *Eisenia foetida*

Proc. Int. Conf. Environmental Management, CEP Consultants, Edinburgh: 318-326.

Philips, D.H. (1977)

The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. A review.

Environ. Pollut. 13: 281-317.

Phillips, D.H.J. (1980)

Quantitative aquatic biological indicators.

Pollution monitoring series, Applied Science Publishers Ltd., London:
488 pp.

Voorstudie over actief biologische monitoring aan de
Rijn; door A. B. de laetle
Dön 1972, 1e editie
1

Accumulatie van milieuvreemde stoffen in driehoeksmosselen.

METHODEN.

Het inzetten van de mosselen.

Driehoeksmosselen worden verzameld in het IJsselmeer in de omgeving van de Afsluitdijk; coördinaten lokatie: X : 141.000
Y : 549.000

Het verzamelen van de mosselen zal plaatsvinden met behulp van een kor. Vanwege de grootte van de maaswijdte van het net worden daarmee uitsluitend kluitjes driehoeksmosselen opgevist. Omdat slechts mosselen met een schelpenlengte van 18 tot 23 mm in het experiment zullen worden gebruikt, is het noodzakelijk de kluitjes mosselen uit elkaar te halen. Belangrijk is dat de mosselen van elkaar worden losgesneden. Worden ze van elkaar losgetrokken dan is de mogelijkheid aanwezig dat de byssusklier uit het lichaam van de mossel wordt getrokken. Dieren waarbij dat is gebeurd kunnen zich niet meer vasthechten en zullen als gevolg daarvan waarschijnlijk gedurende een lange tijd in een soort van stress-situatie blijven verkeren.

Om een indruk te krijgen van de groei van de driehoeksmosselen gedurende de expositieperiode zal op een aantal lokaties de lengtegroei en de biomassatoename van juveniele dieren worden gevolgd. Daartoe zullen tevens dieren met een schelpenlengte van 6 tot 7 mm moeten worden verzameld.

De mosselen zullen in korfjes op de te selekteren lokaties worden uitgehangen.

Uitgaande van een biomassa, uitgedrukt als asvrijdroog vleesgewicht, van 20 tot 30 mg per dier van 18 tot 23 mm, zijn ongeveer 275 dieren per lokatie en per expositieperiode noodzakelijk om over voldoende weefsel te kunnen beschikken waarin de analyses zijn uit te voeren.

Voor de bepaling van de groei van de juveniele dieren dient te worden uitgegaan van tenminste 50 dieren per lokatie.

Na het opvissen dient er op te worden gelet dat de mosselen zoveel mogelijk onder water worden bewaard op een zo koel mogelijke plaats. Er mag dan uitsluitend water worden gebruikt afkomstig van de lokatie waar de mosselen zijn opgevist; het gebruik van leidingwater is niet toegestaan.

De vangst kan daartoe het beste in plastik emmers of bakken worden overgebracht waarin het materiaal eerst goed gespoeld moet worden om het aangehechte slib te verwijderen.

Na het lossnijden worden de juveniele mosselen, met behulp van een streomikroskoop tot op de 0,1 mm nauwkeurig gemeten. De lengteklassen van de adulte dieren die voor het experiment in aanmerking komen worden verzameld door de losgesneden dieren te zeven. Dieren afkomstig uit de zeeffractie die de gewenste maat oplevert (18 tot 23 mm) gaan daarna in een aparte bak van waaruit de korfjes worden gevuld. Ook nadat de korfjes met mosselen zijn gevuld moeten de dieren onder water blijven bewaard.

De juveniele dieren worden direkt na het meten in potjes, gevuld met water, overgebracht. Elk potje bevat het juiste aantal dieren dat per plek nodig is (50 exemplaren). Op de lokaties worden de juveniele mosselen pas in de korfjes overgebracht. Om achteraf een zo nauwkeurig mogelijke schatting te kunnen maken van de lengtegroei tijdens het experiment dient er zorg voor worden gedragen dat de spreiding in de lengte van de dieren in één korfje zo minimaal mogelijk is.

Er zal naar worden gestreefd op een 30-tal lokaties in de Rijn korfjes met adulte driehoeksmosselen uit te hangen. Om de andere lokatie zal tevens een korfje met juveniele dieren worden bijgeplaatst.

De expositieduur zal 1 en 2 maal 30 tot 35 dagen bedragen. Inklusief het aantal mosselen dat nodig is om de uitgangssituatie te kunnen vastleggen zijn tenminste 16.500 adulte en 750 juveniele mosselen voor het experiment nodig.

Daarnaast is het wenselijk een aantal mosselen extra in de korfjes aan te brengen, in de eerste plaats om een eventuele hoge mortaliteit onder de dieren te kunnen opvangen en in de tweede plaats om na elke expositieperiode een aantal dieren te kunnen konserveren ten behoeve van een histologisch onderzoek dat wellicht noodzakelijk kan worden geacht wanneer zich extreme situaties voordoen.

Uitgaande van 25 dieren extra per groep en per lokatie betekent dit dat in totaal minimaal 18.000 adulte en 1.125 juveniele driehoeksmosselen nodig zijn.

De driehoeksmosselen worden in IJsselmeerwater naar de lokaties in de Rijn vervoerd. Het is voldoende wanneer de korfjes, met daarin de mosselen, tijdens het vervoer net onder water staan. Er moet voldoende extra IJsselmeerwater worden meegenomen om tenminste één keer onderweg te kunnen verversen.

Analyses.

Na het bemonsteren van de korfjes moeten de mosselen aan de buitenkant zo goed mogelijk worden schoongeborsteld om naderhand kontaminatie van het weefsel met slib, dat zich aan de buitenzijde van de schelp kan hebben vastgezet, tegen te gaan.

Ten behoeve van een histologisch onderzoek dienen de mosselen te worden gekonserveerd in 10% formaldehyde-oplossing.

Voor alle overige analyses zullen de mosselen direkt na het bemonsteren worden ingevroren en vervolgens in glazen potjes bewaard in vast koolzuur. Het is van belang de mosselen afzonderlijk te laten bevriezen om ze daarna tot één monster per plek samen te voegen. Op deze wijze kan men er zeker van zijn dat alle mosselen op hetzelfde moment ingevroren zijn. Vooral voor het glycoegehalte in het weefsel is het belangrijk dat de tijd tussen het bemonsteren en het invriezen tot een minimum wordt beperkt.

Voordat de analyses in het weefsel van de mosselen kunnen worden uitgevoerd, is het noodzakelijk de dieren uit de schelp te halen. Dat kan het beste gebeuren met een pincet voorzien van spits toelopende punten nadat de dieren zijn ontdooid. Er dient op te worden gelet dat de dieren die gebruikt gaan worden voor een analyse van zware metalen met een pincet van kunststof uit de schelp worden gehaald, wanneer een analyse van organische micro-

verontreinigingen een zal moeten worden uitgevoerd dient een pincet van metaal moet worden gebruikt.

Zijn de dieren uit de schelp gehaald dan moeten ze met gedemineeraliseerd water worden gespoeld. Het weefsel wordt daartoe op een zeefje gelegd waarna het spoelen kan plaatsvinden. Evenals bij het te gebruiken pincet is het belangrijk dat uit het materiaal waar het zeefje van vervaardigd is geen stoffen kunnen vrijkomen die de analyses kunnen storen.

LOKATIES.

Voorgesteld wordt het onderzoek op de in tabel 1 genoemde lokaties uit te voeren. Naast de kilometerraai is hierin tevens aangegeven waar belangrijke zijrivieren in de Rijn uitmonden. In totaal gaat het om 27 lokaties (inklusief de referentieplek).

Op de lokaties zoals vermeld in tabel 2 zullen tevens korfjes met juveniele driehoeksmosselen worden uitgehangen ter bepaling van de groei, uitgedrukt in lengte- en biomassatoename.

FASERING.

De volgende fasering zal worden aangehouden:

datum	fase
eind januari	projektvoorstel gereed en geaccepteerd;
eind maart	alle opstellingen gereed, alle benodigde spullen moeten zijn aangeschaft;
11 t/m 13 april	verkenning lokaties;
begin mei	douaneformulieren gereed maken;
30 en 31 mei	verzamelen van de mosselen en inzetten in de korfjes;
1 t/m 3 juni	korfjes met de mosselen uitzetten op de lokaties;
4 t/m 6 juli	bemonstering van de korfjes op de helft van de totale expositieperiode;
10 t/m 12 aug.	bemonstering van de korfjes na de totale expositieperiode;
eind augustus	monsters aanbieden aan de laboratoria;
eind oktober	resultaten analyses;
half december	eerste concept rapportage;
eind januari 1989	definitieve versie eindrapport.

Lelystad, 30 maart 1988

A. bij de Vaate

Tabel 1. Overzicht van lokaties in het stroomgebied van de Rijn waar het onderzoek wordt voorgesteld. Tevens is aangegeven waar belangrijke zijrivieren in de Rijn uitmonden.

Lokatie	Kilometerraai	Zijrivier
IJsselmeer, Afsluitdijk (referentielokatie)		
Waal:		
Vuren	948	
Ochten	906	
IJssel:		
Kampen	994,5	
Deventer	945	
Rijn:		
Bimmen	865*	
Lobith	863*	
Wesel	815	
	814,5	Lippe
Ruhrort	781	
	780	Ruhr
Düsseldorf-Hamm	738	
	735,5	Erft
Köln	689	
	659,5	Sieg
Bonn-Bad Godesberg	645	
	629,5	Ahr
	592*	Mosel
Koblenz	590*	
	586	Lahn
Bacharach	543	
	529,5	Nahe
Mainz	498	
	497	Main
Gernsheim	462	
	428	Neckar
Ludwigshafen	425	
	344*	Sauer
Seltz	340*	
	335	Moder
	311	Ill
Strasbourg	293	
Rhinau	261	
Breisach	225*5	
Village-Neuf	174	
Laufenburg	?	
	?	Aare
Rekingen	90*	
	?	Thur
Stein am Rhein	?	

* internationaal I.R.C.-meetpunt.

Tabel 2. Overzicht van lokaties in het stroomgebied van de Rijn waar korfjes met juveniele mosselen zullen worden uitgezet.

IJsselmeer, Afsluitdijk (referentieplek)

Kampen

Vuren

Lobith

Ruhrort

Köln

Kesselheim

Mainz

Germersheim

Strasbourg

Village-Neuf

Rekingen

Stein am Rhein

versie: 31 maart 1988

verzonden 28-10-88 aan dir. Zeeland (W. Idema)

AV2/drpol11.acc