

Een Biologisch Filter : haalbaar of niet ...?

evaluatie van de mogelijkheden voor de zuivering van inlaatwater van het Volkerak-Zoommeer met een driehoeksmosselfilter

H.H. Reeders

verslag van de projectgroep :

J.A.W. de Wit	(DBW/Riza-AO biologie)
E.C.L. Martijn	(" -AO biologie)
H.H. Reeders	(" -AO biologie)
J. Hartman	(" -WS delta)
L. Voogt	(" -AO fysica)
C.W. Iedema	(Directie Zeeland)
S. Vereeke	(" ")
P.L. Duijnsveld	(Directie Zuid-Holland)

DBW/Riza nota 89.059
oktober 1989

Inhoudsopgave

	blz.
1. Inleiding	4
1.1 Probleemstelling	4
1.2 Het Biologisch Filter - een haalbaarheidsstudie	5
2. Het Biologisch Filter	6
2.1 De driehoeksmossel <i>Dreissena polymorpha</i>	6
2.2 Uitgangspunten voor het filter	7
2.3 Fysiologische randvoorwaarden voor het Biologisch Filter	9
3. Effectiviteit van het filter	10
3.1 Waterhuishoudkundige aspecten - het inlaatbeheer van de Volkeraksluizen	10
3.2 De belasting van het Volkerak-Zoommeer met micro-verontreinigingen - huidige situatie en prognose	10
3.3 Het rendement van het filter - fysische aspecten	11
3.4 Het rendement van het filter - reductie van de vrachten microverontreinigingen	13
4. Overige aandachtspunten	14
4.1 Verontreinigingsgraad gedeponeerd materiaal	14
4.2 IJsgang	15
4.3 Predatie van vogels en vissen	15
4.4 Ethische aspecten van het filter	16
5. Kosten	16
6. Conclusies en aanbevelingen	17
7. Literatuur	19

Bijlagen :

- I. Randvoorwaarden Biologisch Filter - O₂-voorziening, afvoer metabolieten (NH₄⁺) en voeding. (H.H. Reeders)
- II. Inlaatbeheer, Volkeraksluizen in relatie tot biologisch filter (S. Vereeke)
- III. Maatgevend debiet Volkeraksluizen t.b.v. rendement Biologisch Filter (S. Vereeke)
- IV. Vrachten van micro-verontreinigingen in het Volkerak-Zoommeer via de Dintel en het Hollands Diep. (Th.E.M. ten Hulscher & H.H. Reeders)
- V. Schatting vrachtberekening van een aantal microverontreinigingen op Volkerak-Zoommeer : vergelijking van diverse datasets. (E. Daemen)
- VI. De belasting met microverontreinigingen uit Brabant in 1995/2000 op het Volkerak-Zoommeer (J.A.W. de Wit)
- VII. Valsnelheid pseudofaeces driehoeksmossel. (H.H. Reeders)
- VIII. Berekening van het fysisch rendement, van een volledig resp. een partieel biologisch filter (L.Voogt)
- IX. Reductie van de vrachten microverontreinigingen door een biologisch filter bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer (H.H. Reeders)
- X. Verontreinigingsgraad pseudofaeces (H.H. Reeders)
- XI. Predatie van vogels en vissen op de driehoeksmossel-culture (E. Marteiijn)

1. Inleiding.

1.1 Probleemstelling

Het Volkerak-Zoommeer (Fig. 1) is een zoetwatermeer in ontwikkeling. Voorheen was dit een brakwater-getijdegebied, doch na de sluiting van de Philipsdam in april 1987 verzoette het gebied. De aanvoer van zoet water geschiedt m.n. via de afvoer van de Brabantse rivieren (Mark en Dintel; gem. $12 \text{ m}^3/\text{s}$) en via de Volkeraksluizen (gem. $14 \text{ m}^3/\text{s}$). Bij de Volkeraksluizen wordt water ingelaten vanuit het Hollandsch Diep. Zowel de Rijn als de Maas monden uit in dit bekken. Het ingelaten water is dan ook sterk verontreinigd met organische en anorganische micro-verontreinigingen (Turkstra, 1988). Dit geldt eveneens voor de Dintel.

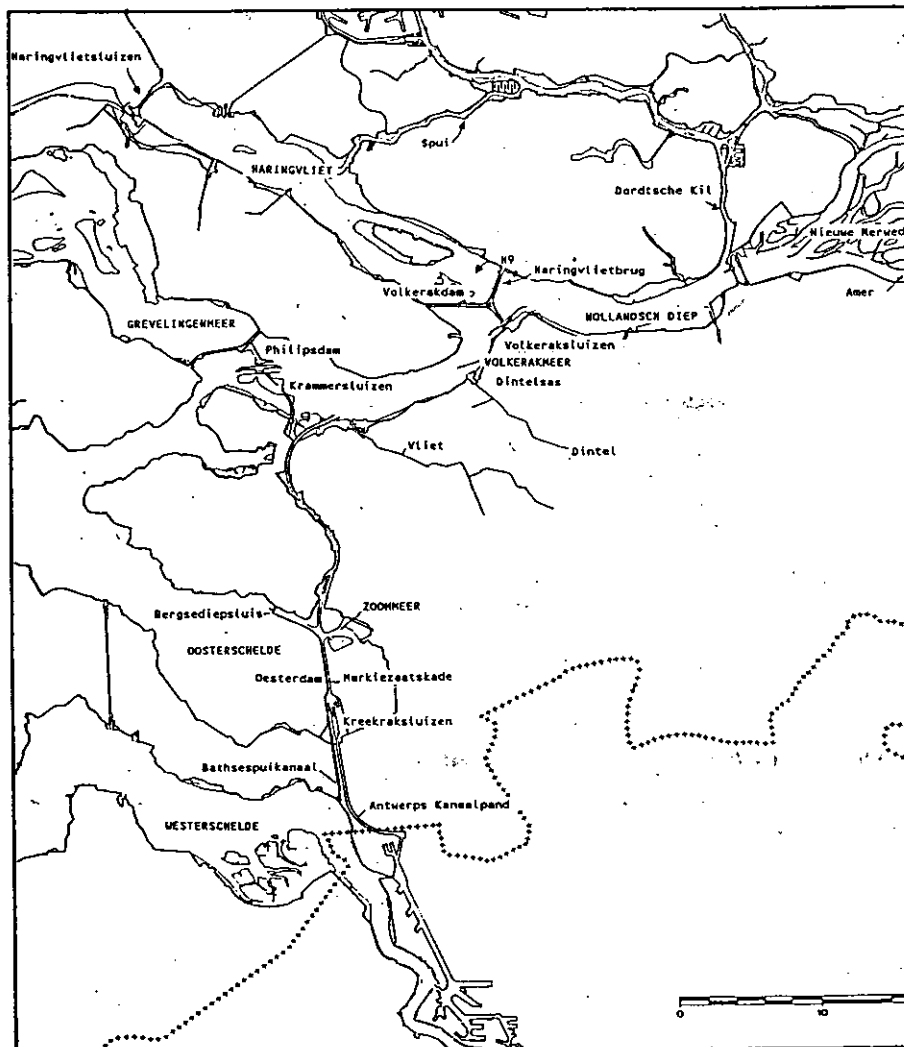


Fig. 1 *Het Volkerak-Zoommeer.*

De onderwater-bodem van het Volkerak-Zoommeer is nog relatief schoon. Door de inlaat van verontreinigd water dreigt echter het probleem van oplading. De Directie Zeeland, beheerder van dit gebied, zoekt naar mogelijkheden voor de reductie van de vrachten verontreinigingen zodat oplading van de bodem wordt voorkomen. Saneringen in het afwateringsgebied van het Volkerak-Zoommeer hebben een hoge prioriteit, maar zullen niet op korte termijn gerealiseerd kunnen worden. Om te voorkomen dat de bodem van het Volkerak-Zoommeer tussentijds zal opladen met verontreinigingen richt de aandacht zich op korte termijn op een vermindering van de belasting via de inlaat bij de Volkeraksluis. Daartoe zijn aanvankelijk verschillende opties globaal onderzocht, zoals de constructie van een lamellen-systeem voor het bevorderen van de bezinking van verontreinigd slib. Tevens is de aanleg van een bezinkbassin overwogen, maar het hiervoor benodigde ruimtebeslag bleek niet realistisch. In het kader van een studie naar de mogelijkheden om de fosfaatbelasting van het meer te verminderen wordt mede onderzocht wat de effecten zijn van defosfatering van het inlaatwater op de belasting met zwevende stof en de daaraan gehechte microverontreinigingen. Optimalisatie van het inlaatbeheer bij de Volkeraksluizen om inkomende vrachten te minimaliseren (Tamminga, 1988) speelt blijvend een rol. De installatie van een 'Biologisch Filter', bestaande uit driehoeksmosselen, lijkt een kansrijke optie, waaraan het onderzoek momenteel nog volop gaande is (Reeders, 1989^c).

1.2 Het Biologisch Filter : een haalbaarheidsstudie

De resultaten van het hiervoor genoemde verkennende onderzoek waren aanleiding voor de Directie Zeeland en de Dienst Binnenwateren een onderzoek te starten naar de mogelijkheden van een biologisch filter. Een eerste aanzet voor de beeldvorming en het formuleren van probleemgebieden betreffende het filter wordt gegeven in de DBW/Riza notitie "Mogelijkheden voor een biologisch filter bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer - een eerste verkenning" (H.H. Reeders, 1989^a). In een multi-disciplinaire projectgroep van de Dienst Binnenwateren, de Directie Zeeland en de Directie Zuid-Holland zijn de biologische, fysische en milieu-chemische aspecten van het filter, voor zover mogelijk, uitgewerkt. Tevens is een schatting gemaakt van het zuiverend rendement en de te verwachten kosten van een filter met de gewenste capaciteit. De nota vormt de weerslag van de bevindingen van de projectgroep, en heeft tot doel informatie te leveren voor de afweging t.a.v. de continuering van de ontwikkeling van het filter.

2. Het Biologisch Filter

2.1 De driehoeksmossel *Dreissena polymorpha*

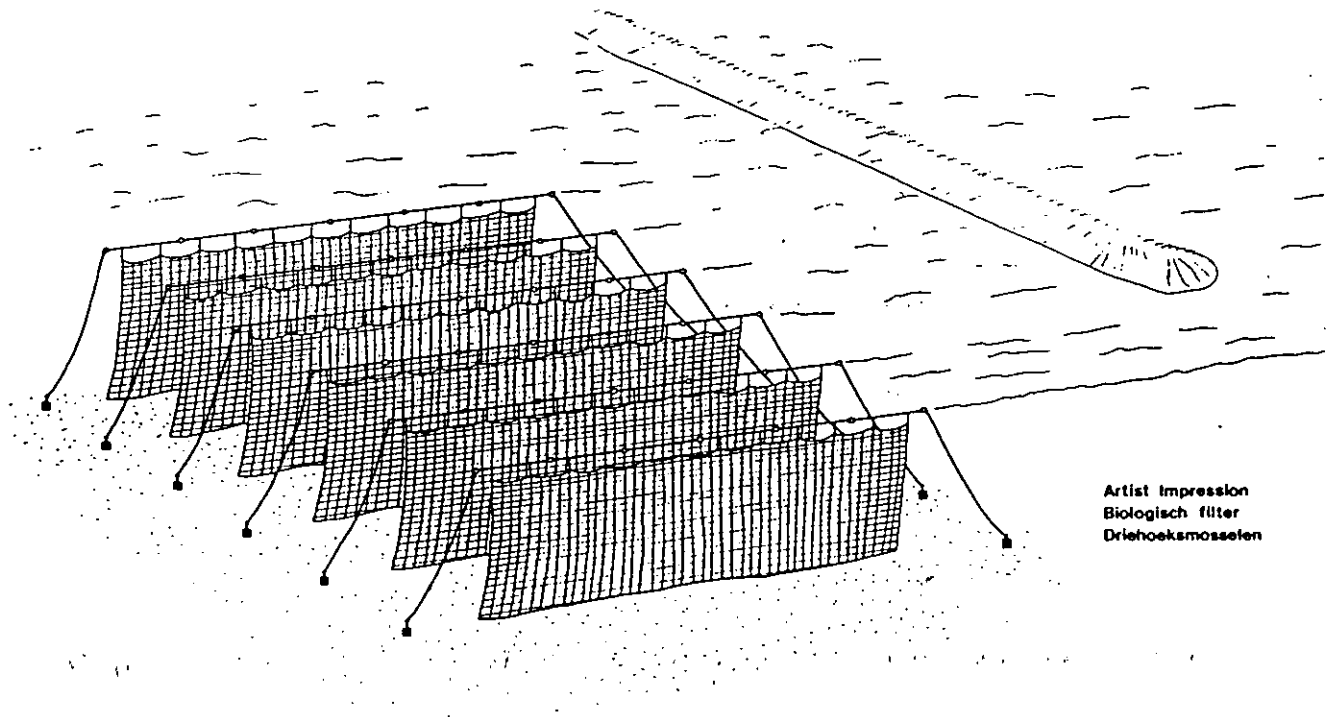
Sinds het begin van de vorige eeuw is de driehoeksmossel inheems in de Nederlandse wateren. De mossel komt zowel voor in stromend als stagnant water. In bijvoorbeeld de Rijn en de Maas resp. het IJsselmeer en Haringvliet komen grote populaties voor. In natuurlijke water-systemen kan een populatie driehoeksmosselen een aanzienlijke invloed hebben op de stof-kringloop, afhankelijk van de populatiedichtheid. Dit is bekend uit onderzoek in Polen (Stanczykowska *et al.*, 1976), de Bodensee (Klee, 1971), Rusland (Lvova-Katchanova, 1971), en eigen land (Reeders, Bij de Vaate & Slim, 1989).

Driehoeksmosselen zijn zgn. 'filter-feeders': het voedsel wordt vergaard door filtratie van het water. Hierbij worden alle partikels $> 1 \mu\text{m}$ door de mossel uit het water gezeefd. Inwendig vindt voedselselectie plaats. De oneetbare delen, zoals slibdeeltjes, worden uitgescheiden in de vorm van 'pseudo-faeces'. Pseudofaeces is onverteerd, met mucus samengeklonterd materiaal dat via de instroomopening van de mossel het lichaam verlaat ("braakballen"); echte faeces is verteerd materiaal. De pseudofaeces-pellets bezinken op de bodem, met als resultaat een versnelde sedimentatie van zwevend materiaal. Dit filtratie proces is aan te wenden voor het waterkwaliteitsbeheer. Terwijl hier de reductie van de zwevend slib vracht met de daaraan gehechte verontreinigingen centraal staat, kan de driehoeksmossel eveneens worden ingezet in Actief Biologisch Beheer van geëutrofiëerde wateren met overmatige algenbloei (Reeders, 1989^b).

Het idee driehoeksmosselen in te zetten voor het waterkwaliteitsbeheer is vrij nieuw. De driehoeksmossel lijkt reeds te worden toegepast in zuiverings-systemen ("Bio-plateau's") van kanalen in de Sovjet-Unie (Kharchenko & Lyshenko, 1986). Ook in Polen zijn er in dit verband ontwikkelingen gaande (Wisniewsky, pers. med.). De ontwikkeling is echter nog in volle gang.

2.2 Uitgangspunten voor het filter

Het biologisch filter wordt opgebouwd gedacht uit hangcultures driehoeksmosselen (Piesik, 1983), geplaatst in de spuikom van de Volkeraksluizen (Fig. 2). De scheepvaart ondervindt geen hinder van een dergelijk filter op deze plaats. De hangcultures bestaan uit door driehoeksmosselen gekoloniseerde netten. Hangcultures worden mondiaal toegepast in de commerciële mosselkweek, waarbij meestal gebruik gemaakt wordt van touwen (voor een overzicht zie Reeders, 1989^a). Het is een zeer rendabele vorm van aquacultuur. Kolonisatie van de netten dient door de mosselen zelf te geschieden met minimale inspanning voor de beheerder. Dit is onderwerp van studie in 1989. Het koloniserend vermogen van de soort is enorm vanwege het vrijlevende larvestadium ("veliger larven") dat in grote aantallen in het water aanwezig is na de broedval (\pm juni).



Artist Impression
Biologisch filter
Driehoeksmosselen

Fig. 2 Een impressie van het Biologisch Filter bij de Volkeraksluizen.

De afmeting van het filter, ofwel het totaal aantal benodigde driehoeksmosselen, is afhankelijk van de hoeveelheid te zuiveren water en het zuiverend vermogen van de mossel. Uit onderzoek aan de pseudofaecesproductie in 1988 (Reeders, 1989^a in voorb.) kan een **vuistregel** opgesteld worden voor het **zuiverend vermogen van een populatie driehoeksmosselen** : een populatie-eenheid driehoeksmosselen van 1000 individuen met een natuurlijke lengte-frequentie samenstelling (uit Bij de Vaate, 1982) produceert per etmaal 15 g pseudofaeces (droge stof) bij een zwevend stof gehalte van 15 mg/l en een temperatuur van 15 °C; vrij vertaald betekent dit dat in stromend water per dag **1 m³ water geheel partikelvrij wordt gefiltreerd door een dergelijke populatie-eenheid**. Uit metingen in het Wolderwijd (Reeders, 1989^b) blijkt dat deze vuistregel gerechtvaardigd is.

Bij alle berekeningen is uitgegaan van het volgende :

- De huidige jaar-gemiddelde inlaat bij de Volkeraksluizen bedraagt **14 m³/s**; het minimale spuidebiet bedraagt momenteel echter ca. 25 m³/s, doch zal na technische aanpassingen lager dan 20 m³/s kunnen worden.
- Voor de rendementsberekening van het filter is een maatgevend debiet van 18 m³/s gehanteerd.
- Het zwevend stof gehalte bij de Volkeraksluizen bedraagt 12 mg/l (langjarig gemiddelde; Tamminga, 1988).
- Voor het zuiverend vermogen van de driehoeksmossel wordt als vuistregel aangehouden dat 1 mossel per dag 1 l langsstromend water geheel partikelvrij kan filtreren (zie boven).
- Een schatting voor de benodigde populatie-omvang driehoeksmosselen voor zuivering van deze waterstroom is dan $\pm 1.2 \cdot 10^9$ individuen.
- De dichtheid driehoeksmosselen in de hangcultures wordt geschat op 5000/m², hetgeen in natuurlijke populaties niet uitzonderlijk is.
- De maaswijdte van het net is 15 cm.
- De laagdikte driehoeksmosselen wordt geschat op 2 lagen.
- De opbouw van het filter is modulair : **100 net-modules van 8*300=2400 m²** (diepte*breedte spuikom), totaal 24 ha, hangend in de verticaal.
- De afstand van de modules is 10 m.

Naast een volledig filter is tevens een partieel filter onderscheiden. Boven dit filter blijft 10% van de waterkolom vrij i.v.m. ijsgang.

2.3 Fysiologische randvoorwaarden voor het Biologisch Filter

Voor het fysiologisch gezond functioneren van het biologisch filter zijn van belang (Bijlage I) :

1. de zuurstof-voorziening
2. afvoer van schadelijke metabolieten (NH_4^+)
3. energie / voedsel-voorziening

Gedurende de periode dat er water wordt ingelaten in het Volkerak-Zoommeer, de **zomerperiode**, is er een vrijwel continue verversing van de spuikom voor peilhandhaving en zout-bestrijding, zodat de omstandigheden optimaal zijn voor het functioneren van het filter. Gedurende de **winterperiode** wordt het inlaten echter soms gedurende lange tijd (enkele weken tot maanden) gestopt, zodat geen verversing van de spuikom meer plaatsvindt. De vraag is of de spuikom in de winterperiode met een zekere frequentie dient te worden doorgespoeld voor onderhoud van het filter. De zuurstofvraag van driehoeksmosselen in de winter is relatief laag, zodat de afname in O_2 kan worden gecompenseerd door re-aeratie. Het O_2 -gehalte blijft dan op peil.

Het NH_4^+ -gehalte stijgt in zeer geringe mate t.o.v. de achtergrond-concentratie, maar bereikt geen toxische waarden voor de driehoeksmossel. De extra hoeveelheid NH_4^+ door excretie is te verwaarlozen t.o.v. de reeds aanwezige hoeveelheid. Er stelt zich een evenwicht in tussen de produktie van NH_4^+ en omzetting door **nitrificatie**, waarbij NH_4^+ wordt omgezet in NO_3^- .

Uit laboratorium-observaties blijkt dat driehoeksmosselen gedurende lange tijd (weken) kunnen hongeren alvorens sterfte optreedt. Doorspoelen van de inlaatkom in de winterperiode voor verversing met een frequentie van circa eens per 3 weken lijkt voldoende waarborg voor de overleving van het filter. Een hogere doorspoelfrequentie, indien waterhuishoudkundig gezien mogelijk, is aan te bevelen voor het op peil houden van de lichaamsconditie van de mosselen.

3. Effectiviteit van het Biologisch Filter

3.1 Waterhuishoudkundige aspecten - het inlaatbeheer van de Volkeraksluizen

Het inlaatbeheer is er op gericht zo min mogelijk water in te laten vanuit het Hollandsch Diep. Inlaat geschiedt voor de peilhandhaving, de landbouw en voor doorspoeling ter voorkoming van te hoge chloride-gehalten. Voor het biologisch filter is het inlaatdebiet van belang i.v.m. de dimensionering en rendement. Gemiddeld is de inlaat bij de Volkerak-spuisluisen 14 m³/s (Bijlage II). Gedurende de zomermaanden is de waterbehoefte het grootst : tijdens een 'droge dekade' gemiddeld 20 m³/s en wanneer er wordt doorgespoeld (propstromen : zout bestrijding) 43 m³/s (\pm 4 weken per jaar). Naar verwachting zal de landbouw-watervoorziening de komende jaren toenemen. Daardoor zal de gemiddelde inlaat toenemen tot 18 m³/s. Voor een gemiddelde zomersituatie zal dit leiden tot een inlaat van 35-40 m³/s, in extreme gevallen 50-60 m³/s. Gedurende de winterperiode, wanneer de waterbehoefte minimaal is, wordt 2 à 3 maanden geen water ingelaten. Doorspoelen van de spui om voor onderhoud van het filter in deze periode met een frequentie van eens per 3 weken levert voor het waterkwaliteits- en -kwantiteitsbeheer geen grote problemen op. Voor een hoog rendement van het biologisch filter dient de inlaat zo gelijkmatig mogelijk te zijn, zonder hoge piekwaarden. Dit is, afgezien van perioden van doorspoeling, mogelijk. Bij de kleinste hefhoogte van de spuien is het debiet momenteel ca. 25 m³/s. Dit is te hoog voor de zuiverings-capaciteit van het filter met de beoogde omvang. Door technische aanpassingen van de spuien is het op termijn mogelijk een minimale inlaat te realiseren van 20 m³/s of minder (Bijlage III).

3.2 De belasting van het Volkerak-Zoommeer met microverontreinigingen - huidige situatie en prognose

Bepaling van de vrachten microverontreinigingen is geen eenvoudige zaak vanwege de grote variatie in gehalten door het jaar heen. De methode voor de berekening van de vrachten wordt gegeven in Bijlage IV. Bij de berekeningen van de huidige belasting van het Volkerak-Zoommeer is uitgegaan van gegevens omtrent de gehalten microverontreinigingen in het WAKWAL-bestand alsmede opgaves door het Hoogheemraadschap West-Brabant (Bijlage V). De vrachten zijn een functie van deze gehalten en de afvoer resp. inlaat van Dintel en Volkeraksluizen (gem. 12 m³/s en 14 m³/s). Bij de toekomstprognose is uitgegaan van de uitwerking van RAP/NAP op de gehalten microverontreinigingen in het Haringvliet/Hollandsch Diep in 2000 (DHV, 1989) en de belasting vanuit Brabant op het Volkerak-Zoommeer (Bijlage VI). Door de verwachte steiging in landbouw-waterbehoefte zal op termijn de hoeveelheid bij de Volkeraksluizen ingelaten water toenemen tot ca. 18 m³/s. Dit is in de berekeningen verwerkt. In Tabel 1 staan de totaalvrachten van enige naar milieubelang geselecteerde micro-verontreinigingen (opgelost & geabsorbeerd aan zwevend stof) vanuit de Dintel en het Hollandsch Diep/Haringvliet voor de huidige situatie en drie toekomst-scenario's.

Tabel 1. Totaalvrachten microverontreinigingen (opgelost & geadsorbeerd) Volkerak-Zoommeer in g/dag ¹ voor de huidige situatie, ² bij effectuering van RAP/NAP en gelijkblijvende debieten (Dintel 12 m³/s en inlaat HD/HV 14 m³/s), ³ bij steigende landbouwwaterbehoefte (inlaat HD/HV 18 m³/s) zonder effecten van RAP/NAP, ⁴ bij effectuering van RAP/NAP alsmede een steiging in landbouwwaterbehoefte

Verbinding	¹ huidige situatie			² effectuering RAP/NAP			³ steigende landbouwwaterbehoefte			⁴ gecombineerde prognose (2&3)		
	Dintel	HD/HV	Tot	Dintel	HD/HV	Tot	Dintel	HD/HV	Tot	Dintel	HD/HV	Tot
PCB-153	0.213	1.358	1.765	0.17	0.564	0.815	0.213	1.746	2.153	0.17	0.725	0.976
BaP	49.72	218.29	299.2	39.78	104.1	158.76	49.72	280.66	361.56	39.78	133.85	188.5
Lindaan	26.82	63.43	99.31	14.75	31.72	51.0	26.82	81.55	117.43	14.75	40.78	60.06
HCB	0.122	6.278	7.297	0.098	2.511	2.968	0.122	8.07	9.09	0.098	3.229	3.685
Cd	165.9	133.1	317.96	91.25	57.22	156.64	165.9	171.1	356.0	91.25	73.57	173.0

Door de veronderstelde effecten van RAP/NAP worden de vrachten microverontreinigingen ± gehalveerd. In dat geval zal verhoging van de inlaat bij de Volkeraksluizen vanwege de verwachte toename in landbouw waterbehoefte een relatief geringe verhoging in belasting met zich mee brengen.

3.3 Het rendement van het filter - Fysische aspecten

Het plaatsen van een omvangrijk filter als beoogd heeft waterloopkundige consequenties. Het creëert een hydraulische weerstand voor de waterstroom. Deze weerstand is een functie van de maaswijdte van de netten en de mate van begroeiing door driehoeksmosselen. De weerstand mag niet zo groot worden dat het merendeel van het water over en langs een module gaat in plaats van erdoor heen. Bij een maaswijdte van 10 cm zal dit probleem reeds snel optreden indien de aangroei met mosselen sterk is. Grotere maaswijdtes, 15-20 cm, zijn dus benodigd. Bij grotere maaswijdtes zal de dichtheid van de culture, en daarmee het zuiverend vermogen, echter kleiner zijn vanwege het kleinere hechtingsoppervlak per m². Voor een maximaal rendement van het filter moet een optimum worden gevonden tussen een zo klein mogelijke weerstand en een zo groot mogelijke mosselculture. Hier is uitgegaan van een dichtheid van 5000.m⁻². Deze randvoorwaarde is gesteld vanwege het nog ontbreken van informatie omtrent de haalbare dichtheden in het filter, en beperkt verdere optimalisatie.

De waterstroom loopt van module naar module, en wordt stapsgewijze gezuiverd. De onderlinge afstand van de modules speelt een belangrijke rol bij de optimalisatie van het zuiverings rendement. Het water moet na passage van een module weer gemengd zijn alvorens het de volgende module bereikt. Deze minimale afstand bedraagt 10 x de maaswijdte, en is dus 1-2 m. De door een module geproduceerde

pseudofaeces wordt meegevoerd door de waterstroom, en dient te zijn bezonken voor de volgende module is bereikt. Hierbij speelt de valsnelheid van de pseudofaeces een belangrijke rol, welke is bepaald in een klein experiment : 8.8 mm/s (Bijlage VII). Bij een debiet van 18 m³/s. betekent dit dat de afstand tussen de filter-modules ca. 10 m dient te bedragen voor bezinking van de pseudofaeces alvorens de waterstroom de volgende module bereikt. De beschikbare ruimte in de spuikom (0.5 km aan weerszijden van de spuikuis) is daarvoor voldoende.

Het rendement van het biologisch filter, reductie van de zwevend slib last, is direct afhankelijk van het te zuiveren doorgaande debiet en het totaal aantal driehoeksmosselen ("vermogen" van het filter). Een rekenmodel voor het zuiverend vermogen van het filter (Voogt, 1989) is afgeleid uit resultaten van onderzoek aan de pseudofaeces-productie van de driehoeksmossel in 1988 (Reeders, 1989). Het verband tussen pseudofaeces productie en zwevend stof gehalte is hierbij lineair, terwijl beneden een concentratie van 2 mg/l geen pseudofaeces meer wordt geproduceerd. Bij de berekening van het rendement is onderscheid gemaakt tussen een zgn. "volledig" filter, waarbij de gehele waterkolom in contact staat met de mosselculture, en een "partieel" filter, waarbij 10% van de waterkolom vrij wordt gelaten boven de netten om redenen van schade door ijs. De netten worden aldus onder de waterspiegel opgehangen. Een model voor de bepaling van het rendement is opgesteld, waarin zijn opgenomen het aantal mosselen, het debiet, de maaswijdte en laagdikte van de mosselen (en daarmee de weerstand van het filter), en het aantal modules. Voor de huidige uitgangspunten bedraagt de reductie van zwevend slib bij de inlaat van een volledig filter 49%, van een partieel filter 40% (berekening : Bijlage VIII).

N.B. Deze rendementen berekend op basis van het geschatte aantal benodigde driehoeksmosselen (zie par. 2.2) zijn lager dan 100% vanwege de fysische karakteristieken van het filter.

De uitgangspunten voor de berekening van het reductie-rendement zijn aan de veilige kant gekozen. Zo is vooral de mossel-dichtheid op de culture, en daarmee het aantal mosselen in het totale filter, een cruciale factor. Deze dichtheid is gesteld op 5000.m⁻², maar recente resultaten van de kolonisatie-experimenten op netten in het Haringvliet wijzen erop dat dit veel hoger zal liggen. Daar er nog geen sprake is van een volgroeide culture kan over de te halen dichtheid nog geen definitieve uitspraak worden gedaan. Ter indicatie : bij een verdubbeling van het aantal mosselen in het filter, een dichtheid van 10.000.m⁻², wordt het fysisch rendement ca. 1.3 x zo groot (Bijlage VIII).

3.4 Het rendement van het filter - reductie van de vrachten micro-verontreinigingen

Het filter verwijdert alleen de fractie aan zwevend stof gehechte microverontreinigingen. De mate van hechting binding aan zwevend stof (K_d -waarde) is per microverontreiniging verschillend, en hangt tevens af van de concentratie zwevend stof. De grootste effectiviteit van het filter is te verwachten bij stoffen met een grote K_d -waarde. De reductie in vracht dient dan ook per stof te worden bekeken.

De geschatte percentages vrachtreductie voor de belangrijkste microverontreinigingen door het filter (partieel/volledig) bij de inlaat resp. t.o.v. de totaalvracht in het Volkerak-Zoommeer zijn afhankelijk van het gekozen scenario (Tabel 1), en variëren van (Bijlage IX geeft tevens reducties in $g.dag^{-1}$):

	reductie % bij inlaat	reductie % t.o.v. totaalvracht
PCB-153	35-45%	25-35%
Cd	25-30%	10-15%
BaP	25-30%	15-25%
HCB	5-10 %	5-10 %
lindaan	p.m.	p.m.

Voor een volledig filter is het rendement hoger dan voor een partieel filter. Het rendement van het filter t.o.v. de totaalvracht naar het Volkerak-Zoommeer is hoger naarmate het aandeel van de belasting vanuit het Hollandsch Diep/Haringvliet groter is, en aldus de zuiverende werking van het filter ondergaat. Dit zou bijvoorbeeld het geval zijn bij een omlegging van de Mark naar het Hollandsch Diep, wat onderwerp van studie is geweest, of bij sanering van de Brabantse rivieren.

Daar de werking van het filter berust op verwijdering van partikels met de daaraan gehechte stoffen, wordt tevens een reductie in fosfaat vracht bewerkstelligd ($p-PO_4$). Dit is van belang i.v.m. de eutrofiëring van het Volkerak-Zoommeer. Een eerste berekening (DHV, 1989) heeft uitgewezen dat de fosfaatvracht bij de Volkeraksluizen op deze wijze met ca. 20% kan worden verminderd (30 ton P/jaar¹).

4. Overige aandachtspunten

4.1 Verontreinigingsgraad gedeponerd materiaal

Onderzoek naar de samenstelling en verontreinigingsgraad van pseudofaeces in 1988 leverde de volgende resultaten (Reeders, 1989^c).

Pseudofaeces heeft een sterker mineraal karakter dan zwevend materiaal. De minerale fractie in pseudofaeces bedraagt ca. 80%. De driehoeksmossel selecteert voedselpartikels (algen, bacteriën), zodat de organische fractie in het gefilterde zwevend materiaal daalt.

Bijlage X bevat de gehalten organische en anorganische microverontreinigingen in pseudofaeces. Pseudofaeces blijkt sterker te zijn verontreinigd dan zwevend materiaal. Dit geldt met name voor de organische microverontreinigingen. De minerale fractie in pseudofaeces is fijnkorreliger dan in zwevend materiaal, hetgeen een verklaring vormt voor de geringe verhoging in het gehalte anorganische microverontreinigingen, welke de toetsingswaarde overschrijden. De gehalten aan PAK's, omgerekend naar standaardbodem, overschrijden in vrijwel alle gevallen de toetsingswaarde, voor BaP zelfs de signaleringswaarde. De gehalten aan PCB-153 en PCB-138 overschrijden de signaleringswaarde, de overige PCB's de toetsingswaarde. De som der PCB's overschrijdt de signaleringswaarde (3^e Nota Waterhuishouding).

De pseudofaeces is dermate verontreinigd dat volgens de normen sanering van het gedeponerde materiaal nodig zal zijn. Volgens de gehanteerde klassificering voor baggerslib valt de pseudofaeces in Klasse III/IV.

Per jaar wordt door het gehele filter naar schatting 2200 ton (drooggewicht) ofwel 1500 m³ pseudofaeces geproduceerd. Hierdoor wordt de bodem jaarlijks met 5 mm opgehoogd. Het materiaal sedimenteert op 8 m diepte. Resuspensie speelt op deze diepte geen rol, zodat hierdoor geen rendementsverlies optreedt.

De omstandigheden in de laag gedeponerde pseudofaeces zullen naar verwachting anaeroob zijn. Mineralisatie van de pseudofaeces zal dan ook geen grote rol spelen, zeker niet gezien het minerale karakter. Uit onderzoek van het ECN (Bijlage IV) is bekend dat de meeste metalen, waaronder Cd, onder reducerende omstandigheden worden geïmmobiliseerd. Een nalevering van metalen vanuit de anaerobe bodem (= gereduceerd) valt eveneens niet te verwachten.

4.2 IJsgang

Zelfs bij geringe vorst is het heffen van de schuiven van de Volkerak inlaatsluis niet meer mogelijk vanwege het vastvriezen van de rubber afdichtingen. Er moet dan ook op worden gerekend dat tijdens vorstperioden gedurende langere tijd geen water kan worden ingelaten. De kans op het optreden van 1 of meer vorstperioden in het winterseizoen is ca. 60%. Het optreden van een vorstperiode wil niet altijd zeggen dat een vast ijsdek ter plaatse zal ontstaan. Wel zal het semi-stagnante zoete water al in een vrij vroeg stadium geheel of gedeeltelijk dichtvriezen. Bij de constructie van het filter is het daarom zaak hiermee rekening te houden door een ruimte boven de netten vrij te houden (partieel filter). Bij strenge winters waarin zich een pakket ijs heeft gevormd kan bij invallende dooi kruierend ijs ontstaan. Ook hiermee dient bij de constructie van het filter rekening te worden gehouden. Hierbij kan gedacht worden aan een zodanige bevestiging van de netten dat het mogelijk is deze uit te varen.

4.3 Predatie van vogels en vissen

Voorwaarde voor het functioneren van het biologisch filter is onder meer het continu aanwezig zijn van voldoende aantallen Driehoeksmosselen. Als gevolg van predatie door vogels en vissen kan dit vermogen worden gereduceerd. Vogelsoorten waarvoor driehoeksmosselen een belangrijke prooi vormen zijn Kuifeend, Tafeleend, Brilduiker en Meerkoet. Deze komen in Nederland in grote aantallen buiten de broedtijd voor. Met uitzondering van de Kuifeend, vormen Driehoeksmosselen slechts een gedeelte van het dagelijks menu of zijn slechts gedurende een beperkte periode van het jaar een voedselbron (Bijlage XI). Onder de vissen eten vooral Blankvoorn en (Kol)blei, en in mindere mate Aal, driehoeksmosselen.

Rekening houdend met het aandeel van de driehoeksmossel in het menu van de betreffende vogelsoorten bedraagt de predatie max. $3.5 \cdot 10^9$ stuks. Het aantal driehoeksmosselen in het filter wordt geschat op zo'n $1.5 \cdot 10^9$ stuks, zodat geconcludeerd mag worden dat predatie door vogels zeker een punt van aandacht verdient bij de opzet van het filter. Dit dient echter enigszins te worden genuanceerd. Gemiddeld kan gesteld worden dat predatie van enige omvang plaatsvindt tot een diepte van 3 meter. Het aantal driehoeksmosselen dat zodoende blootstaat aan predatie is dan een factor 10 kleiner dan het voor de vogels benodigde aantal. Daarnaast geldt dat de mate van predatie behalve van de diepte ook van de wijze van bevestiging van de mosselen afhangt. Deze vatbaarheid voor predatie van driehoeksmosselen op hangcultures door vogels kan proefondervindelijk worden vastgesteld in kooiproeven. Daarnaast moeten mogelijkheden voor het voorkómen van predatie door vogels worden onderzocht (verjagingstechnieken e.d.). Voor vis is het nog niet mogelijk een schatting van de predatie te maken (zie Bijlage XI).

4.4 Ethische aspecten van het filter

Ten aanzien van het ethisch aspect dat men een voor vogels aantrekkelijke voedselbron creëert, die echter opgeladen wordt met toxische stoffen als Cadmium en PCB's, geldt dat de concentraties in de mosselen van het filter niet hoger liggen dan die van mossels in het Haringvlietgebied. De meeste vogels, die mogelijk op het filter afkomen, zullen uit dit gebied of van andere plaatsen uit het reeds sterk vervuilde Benedenrivierengebied afkomstig zijn. De voedselbron die het filter vormt (een effectief aantal van $0.45 \cdot 10^9$ stuks) is klein in vergelijking tot de totale driehoeksmossel populatie in het Haringvliet/Hollandsch Diep (ca. $42 \cdot 10^9$ bij een gem. dichtheid van 314 m^{-2} in het Haringvliet (8500 ha) en 399 m^{-2} in het Hollandsch Diep (3900 ha); E. van Nes, pers. med.). Het is daarom niet aannemelijk dat vogels van andere plaatsen dan het Benedenrivierengebied op het filter zullen prefereren. Ethische problemen moeten dan ook in het licht van bovenstaande gegevens worden beschouwd. Bovendien dient men zich in dit geval bewust te zijn van het feit, dat men het filter gebruikt met de doelstelling het gehele Volkerak-Zoommeer van oplading met toxische stoffen te vrijwaren. Het uiteindelijk rendement, en dat geldt zeker voor vogels, zal hiermee hoger zijn dan de mogelijke nadelen veroorzaakt door vervuilde mosselen in het filter.

5. Kostenraming Biologisch Filter

Op basis van de geschetste opzet van het biologisch filter is door de afdeling kostprijszaken van de Directie Zeeland een eerste raming gemaakt van de kosten. Het betreft nog een globale raming, daar er nog geen concreet ontwerp van het filter bestaat. Uitgegaan is van een volledig filter, zonder rekening te houden met speciale constructies i.v.m. ijsgang, onderhoud e.d. Het filter wordt in principe geacht onderhoudsvrij te zijn. Daar er nog geen ervaringen met een dergelijk filter zijn zal in de praktijk moeten blijken wat de jaarlijkse kosten zijn voor onderhoud en afschrijving. De geringe ophoging van de bodem ($\pm 5 \text{ mm}$ per jaar) maken baggerwerkzaamheden wat dit betreft niet noodzakelijk. De aldus geschatte kosten voor aanleg van het biologisch filter bedragen ca. fl 4.5 miljoen.

6. Conclusies en aanbevelingen

1. Een biologisch zuiveringssysteem bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer voor reductie van de vrachten microverontreinigingen in de vorm van hangcultures driehoeksmosselen is in principe mogelijk. De studie heeft hiertegen geen principiële bezwaren opgeleverd.
2. Uitgaande van een filter opgebouwd uit 100 modules van 8 x 300 m, vervaardigd uit hangende netten met een maaswijdte van 15 cm, een totale populatie driehoeksmosselen van 1.2 miljard (culture-dichtheid : 5000.m² netoppervlak) en een debiet van 18 m³/s, wordt het rendement van de verwijdering van zwevend stof bij de waterinlaat vooralsnog geschat op 40% (partieel filter) resp. 49% (volledig filter).
3. De bereikte vracht-reductie van micro-verontreinigingen is afhankelijk van de mate van hechting van een stof (K_d-waarde) aan zwevend stof.
Het rendement van het filter ter plaatse van de inlaat bedraagt voor PCB-153 35-45%, voor Cd 25-30%, voor BaP 25-30% en voor HCB 5-10%.
De reductie van de vracht van een stof t.o.v. de totale belasting van het Volkerak-Zoommeer is afhankelijk van het relatieve aandeel dat via de Volkeraksluizen binnenkomt vanuit het Hollandsch Diep/Haringvliet, en aldus de zuiverende werking van het filter ondergaat. Voor PCB-153 wordt dit geschat op 25-35%, voor Cd 10-15%, voor Benzo-a-pyreen 15-25%, en voor HCB 5-10%.
Op termijn spelen RAP/NAP een rol alsmede een verwachte toename in landbouw waterbehoefte, welke een toename in inlaat met zich mee zal brengen. Het uitvoeren van RAP/NAP heeft op termijn (1995) geen noemenswaardige verlaging van het %-rendement tot gevolg daar zowel de belasting vanuit de Dintel als vanuit het Hollandsch Diep/Haringvliet in vrijwel gelijke mate afneemt.
4. Volgens de huidige normering is de verontreinigingsgraad van de gedeponeerde pseudofaeces zodanig dat in enkele gevallen de signaleringswaarde wordt overschreden, m.n. voor de organische microverontreinigingen.
5. De totale kosten van het biologisch filter worden in eerste instantie geraamd op ca. fl 4.5 miljoen.
6. Optimalisering van het inlaatregime is belangrijk. Hoge pieken dienen te worden voorkomen, daar het filter is gedimensioneerd op een inlaatdebiet van max. 18 m³/s. De minimale hefhoogte van de spuien dient hiertoe technisch te worden aangepast. Een zo gelijkmatig mogelijke inlaat verhoogt het zuiverend rendement.

7. Gedurende de winterperiode, wanneer er normaliter geen water wordt ingelaten, dient het filter minimaal eens per 3 weken te worden verversd. Indien waterhuishoudkundig mogelijk is een hogere frequentie raadzaam voor het op peil houden van een goede conditie van de culture.
 8. Bij de constructie van het filter moet rekening worden gehouden met ijsgang.
 9. Predatie op de driehoeksmosselculture door vogels (duikeenden) en vissen (blankvoorn) is een potentiële bedreiging voor het zuiverend rendement van het filter. Er dient gekeken te worden naar preventieve maatregelen, zoals verjaging etc.
9. Aanbevelingen

Met de haalbaarheidsstudie is de eerste fase van het onderzoek naar de mogelijkheden van een biologisch filter afgerond. In de volgende fase zou in de vorm van proeven op meso-schaal en praktijkschaal nog bestaande onzekerheden moeten worden weggenomen. Dit vormt tevens een eerste stap in de richting van de realisering van een biologisch filter, waarbij ervaring kan worden opgedaan t.a.v. constructie, onderhoud e.d. In de praktijkproef zal onder meer aandacht moeten worden geschonken aan het volgende :

- * vertaling van de fysische en biologische randvoorwaarden in een concreet ontwerp.
- * de kolonisatie van driehoeksmosselen op net-substraten.
- * de hydraulische weerstand van het filter.
- * aanleg, onderhoud en beheer.
- * predatie door vogels en, indien noodzakelijk, preventieve maatregelen.

7. Literatuur

DHV (1989) - Probleemverkennde studie bestrijding eutrofiëring Zoommeer. Concept-rapport oktober '89.

Kharchenko T.A. & A.V. Lyashenko (1986) - Destruction of allochthonous organic matter in canals in the presence of *Dreissena*. *Gidrobiol. Zh.* 21, 90-95.

Klee O. (1971) - Die größte Kläranlage im Bodensee : eine Muschel. *Mikrokosmos* 5, 129-132.

Lvova-Katchanova A.A. (1971) - [The role of *Dreissena polymorpha* Pallas in the self purification process in Uchinski reservoir.] In : Stanczykowska, Lawacz & Mattice 1975.

Piesik Z. (1983) - Biology of *Dreissena polymorpha* (Pall.) settling on stylon nets and the role of this mollusc in eliminating the seston and the nutrients from the watercourse. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 30 (4), 353-361.

Reeders H.H. (1989^a) - Mogelijkheden voor een biologisch filter bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer - een eerste verkenning. DBW/Riza notitie nr. 89.009X.

Reeders H.H. (1989^b) - De driehoeksmossel en actief biologisch beheer - in situ metingen van de filtratie-snelheid in het Wolderwijd 1988. DBW/Riza Nota 89.030.

Reeders H.H. (1989^c) - De driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) als natuurlijk waterfilter - onderzoek naar mogelijkheden voor reductie van de verontreinigde sliblast bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer. DBW/Riza Nota 89.052.

Reeders H.H., A. Bij de Vaate & F.J.Slim (1989) - The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biology* 22, 133-141.

Stanczykowska A., W. Lawacz & J. Mattice (1975) - Use of field measurements of consumption and assimilation in evaluation of the role of *Dreissena polymorpha* Pall. in a lake ecosystem. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 22 (4), 509-520.

Tamminga G.H. (1988) - De invloed van beperking van de inlaat bij de Volkerak-sluizen op de belasting van het Volkerak-Zoommeer. DBW/Riza Nota 88.035.

Turkstra E. (1988) - Vergelijking waterkwaliteit Dintel en Hollandsch Diep/ Haringvliet in verband met de belasting van het Volkerakmeer. DBW/Riza Nota 88.038.

Vaate A. bij de (1982) - Schatting van de jaarlijkse produktie van driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het IJsselmeer, Markermeer en IJmeer. RIJP werkdocument 1982-20 Abw.

Voogt L. (1989) - Rendement van een biologisch filter. DBW/Riza notitie nr. 89.036X.

Bijlagen

Bijlage I

FYSIOLOGISCHE RANDVOORWAARDEN BIOLOGISCH FILTER - O₂-voorziening, afvoer metabolieten (NH₄⁺) en voeding.

H.H. Reeders

Inleiding

Voor een goed functioneren van het biologisch filter dient te worden voldaan aan een aantal fysiologische randvoorwaarden : het zuurstof-gehalte mag niet te laag worden voor de driehoeksmosselen, er moet voldoende afvoer van metabolische afvalprodukten zijn, en het voedsel-aanbod mag niet beperkend zijn. NH₄⁺, het belangrijkste afvalprodukt bij mosselen, kan bij hoge concentraties toxisch zijn.

Tijdens de periode dat er regelmatig wordt gespuut (zomer) zijn door de continue verversing geen problemen van dien aard te verwachten. Tijdens de winterperiode kunnen de spuisluizen gedurende meerdere weken of zelfs maanden gesloten blijven. Gedurende deze periode lijkt het raadzaam enige malen de spui-kom door te spoelen voor het onderhoud van het filter. Hoe kleiner de afstand tussen de filter-modules, hoe belangrijker doorspoelen is. Bij grotere tussenruimte bevindt het biologisch filter zich in een groter watervolume, en zal de noodzaak om door te spoelen kleiner zijn.

De O₂-behoefte van het filter

Per module van 2400 m² (12 miljoen *Dreissena polymorpha* ; gehanteerde populatie-opbouw als voorheen : H.H. Reeders, DBW-notitie 88.009X) is een geschatte zuurstofvraag per etmaal 4127 g O₂ bij een watertemperatuur van 10 °C (berekend uit gegevens Dorgelo & Smeenk 1988, en m.b.v. het zuurstof-nomogram uit Wetzel 1975). Indien de ruimte tussen de modules 10 m bedraagt is het watervolume per module 24000 m³. Gedurende de winterperiode (november - februari) is het zuurstof-gehalte gemiddeld ± 11 mg/l (kwartaalberichten 1984-1986, meetpunt Haringvliet-brug). Zuurstof is homogeen verdeeld over de waterkolom, daar er geen stratificatie optreedt. Per module is gemiddeld 264 * 10³ gram O₂ beschikbaar. Door reaeratie zal de verbruikte zuurstof aangevuld worden tot een nieuw in te stellen evenwichts-concentratie. Bij een windsnelheid van 5 m/sec, relatief gering in de winterperiode, ligt dit evenwicht 0.07 mg/l lager dan de uitgangskoncentratie (berekend a.d.h. van : Boers, Van Ballegooijen & van Hese 1989).

De O₂-norm voor schelpdierwater is ≥ 7 mg/l (Kruik, 1989). Deze norm betreft *Mytilus*, de zoutwatermossel. Hierbij spelen naast overleving tevens commerciële aspecten een rol. De kritieke ondergrens van het O₂-gehalte voor overleving ligt lager.

Conclusie : de zuurstof-voorziening van het biologisch filter ten tijde dat er niet wordt gespuut loopt geen gevaar, daar reaeratie het verbruik van zuurstof volledig compenseert.

Afvalstoffen

De produktie van NH₄⁺ is afhankelijk van de activiteit van de mossel. Deze is in de winter lager dan in de zomerperiode. De piek-produktie bij *Mytilus edulis*, de zoutwater-mossel, valt in het voorjaar (\pm juni), vlak vóór de broedval, en is een factor 10 hoger dan normaal (Prins, Pouwer & Vonck : BALANS nota 1987-28). In die periode zijn de glycogeen-reserves van de mossel uitgeput, en wordt de eiwitvoorraad aangesproken. Voor de driehoeksmossel is hieraan geen onderzoek verricht, maar dit zal vergelijkbaar zijn. In de winterperiode is dus geen hoge NH₄⁺ excretie te verwachten. Een schatting van de hoeveelheid per module geproduceerde NH₄⁺ kan worden afgeleid uit de totale biomassa aan driehoeksmosselen (\pm 140 kg droog vleesgewicht) en de excretie per g lichaamsgewicht (max. 60 μ g/uur; Prins, Pouwer & Vonck 1987). Dit levert een maximale produktie per etmaal ("worst case") van \pm 200 gram NH₄-N. Dit verhoogt de NH₄⁺-concentratie in het omringende water van een module (24000 m³) met 8.3 μ g/l. Gedurende de winter-periode is de NH₄⁺-concentratie ter hoogte van de Haringvlietbrug gemiddeld \pm 0.6 mg/l. De relatieve verhoging in NH₄⁺-concentratie bedraagt derhalve 1.4 % per etmaal.

Door nitrificatie wordt NH₄⁺ omgezet in NO₃⁻. Bij een temperatuur van 10 °C is dit \pm 10% per dag (pers. meded. P. Boers). De nieuwe evenwichtsconcentratie, waarbij beide processen elkaar opheffen, ligt 83 μ g/l hoger, d.w.z. op \pm 0.68 mg/l. Dit gehalte aan NH₄⁺ is nog niet toxisch voor vis (Maas-Diepeveen & v.d. Guchte : DBW/Rica nota in concept). Ditzelfde geldt voor het te verwachten NH₃-gehalte (0.012 mg/l) in evenwicht met NH₄⁺ bij de heersende pH (gem. 7.8) en temperatuur (10 °C) (loc. cit.). Omzetting van NH₄⁺ naar NH₃ speelt pas bij zeer hoge pH (> 9) een substantiële rol.

Conclusie : De uitstoot aan NH₄⁺ door het biologisch filter is in vergelijking tot de heersende NH₄⁺-gehalten in het Haringvliet/Hollands Diep van zeer geringe betekenis; NH₄⁺ bereikt geen toxische waarden in de spuikom tijdens de periode in de winter dat er geen water wordt ingelaten in het Volkerak-Zoommeer.

Voedselvoorziening

Uit de door Walz (1978) opgestelde formule voor de "ingestion rate" (bruto opname) voor *Dreissena polymorpha* ($I = 0.069 \cdot L^{2.203}$, met L=lengte van de mossel; T= 15 °C) is de C-behoefte per module te berekenen. Voor een module volgens bovenstaande dimensies is dit 9384 g C per etmaal. Het TOC-gehalte in de winterperiode (november-februari) is gemiddeld ± 4.5 mg/l. Per dag is derhalve een onderhoudsvolume nodig van 2085 m³ per module. Voor het gehele biologisch filter (100 modules) betekent dit een onderhouds-debiet van 2.4 m³/sec.

De C-behoefte ligt lager in de winterperiode, wanneer er lagere temperaturen heersen dan bij de experimenten van Walz. Het totale onderhoudsdebit kan dan geschat worden op 1-2 m³/sec, afhankelijk van de temperatuur. Indien er niet doorgespoeld kan worden is de C-voorraad in de spuikom in ± 11 dagen geheel uitgeput. Door intermitterend te spuien, waarbij de spuikom geheel wordt ververs, kan het gemiddelde onderhouds-debiet worden verlaagd. Dit is van belang voor het waterkwantiteits-beheer van het Volkerak-Zoommeer. Hierbij wordt door het filter gezuiverd water ingelaten : geen input van verontreinigingen (!). Uit laboratoriumstudies aan jonge stadia driehoeksmosselen is bekend dat deze gedurende 2 à 3 maanden kunnen hongeren, alvorens sterfte optreedt (A. Bij-de Vaate, pers. meded.). Voor een massaal afsterven van het filter gedurende de periode dat er niet gespuut wordt hoeft derhalve geen grote vrees te bestaan.

Conclusie : Daar driehoeksmosselen bestand zijn tegen lange perioden hongeren bestaat er geen groot gevaar voor afsterven van de cultures ten tijde dat er geen water wordt ingelaten in het Volkerak-Zoommeer (winter); voor een optimaal onderhoud van het filter is het echter raadzaam dit gedurende deze periode enige malen door te spoelen (b.v. 3 à 4-wekelijks), of indien mogelijk continu met 1-2 m³/sec.

Literatuur

- Boers P.C.M., L. van Ballegooijen & O. van Hese (1989) - Een zuurstofbalans van het Markermeer. DBW/Riza Nota 89.003.**
- Dorgelo J. & J.-W. Smeenk (1988) - Contribution to the ecophysiology of *Dreissena polymorpha* (Pallas) (Mollusca : Bivalvia) : growth, filtration rate and respiration. Verh. Int. Verein. Limnol. 23, 2202-2208.**
- Kruik H.J. de (1989) - Schelpdierwater-onderzoek in de rijkswateren 1987. DGW-Nota 89.002.**
- Prins T.C., A. Pouwer & W. Vonck (1987) - Invloed van seston kwaliteit op suspensie-eters. Diho/DGW-Nota BALANS 1987-28.**
- Reeders H.H. (1989) - Mogelijkheden voor een biologisch filter bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer - een eerste verkenning. DBW/Riza Notitie 89.009X**
- Walz N. (1978) - The energy balance of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* Pallas in laboratory experiments and in Lake Constance. I. Pattern of activity, feeding and assimilation efficiency. Arch. Hydrobiol./Suppl. 55 (1), 83-105.**
- Wetzel R.G. (1975) - Limnology. Saunders-Philadelphia.London.**

Bijlage II

ministerie van verkeer en waterstaat

RIJKSWATERSTAAT

Directie Zeeland

Notitie nr. AXW 89.018

aan: werkgroep HBFV
van: Vereeke
inzake: inlaatbeheer Volkeraksluizen
in relatie tot biologisch filter
bijlage: div.
afschrift aan: AXW

datum :24-2-89

In het kader van de studie naar de haalbaarheid van een biologisch filter van driehoeksmosselen bij de Volkeraksluizen is gevraagd een beschrijving te geven van het huidige door Directie Zeeland gevoerde inlaatbeheer. Hierbij zullen waar mogelijk ook de mogelijkheden tot aanpassingen binnen het huidige beheer en de onmogelijkheden worden aangegeven. Het doel is inzicht te verschaffen in de hoeveelheden in te laten water, in gemiddelde en extreme gevallen, en hoe de verdeling van de inlaat over het jaar gezien ligt.

Beschrijving huidig inlaatbeheer.

Het inlaatbeheer bij de Volkeraksluizen is er op gericht zo min mogelijk water van het Holands Diep in te laten naar het Zoommeer. Ten aanzien van de inlaat zijn een aantal situaties te onderscheiden.

Ten eerste water benodigd ten behoeve van peilhandhaving op het Volkerak-Zoommeer. Dit speelt met name in de droge perioden in de zomer en het najaar. In het beheersplan is vastgelegd dat het peil ten alle tijde gehandhaafd dient te worden op NAP tenzij de waterkwaliteit van het hiervoor benodigde inlaatwater te slecht is (selectief inlaatbeheer). Het peil mag in de laatstgenoemde periode dalen tot NAP -0.25 m. alvorens weer met inlaten begonnen wordt.

Ten tweede is gegarandeerd dat altijd voldoende water beschikbaar is voor landbouwwateronttrekkingen. Tot op heden zijn deze onttrekkingen nog minimaal geweest, voor de toekomst moet echter gerekend worden op een toename. Voor de korte termijn moet gerekend worden op een toename van de onttrekkingen met 6 m³/s jaargemiddeld (wat in droge perioden een toename van de inlaat kan betekenen van ca 18 m³/s) en voor de lange termijn met een toename van ca 10 m³/s jaargemiddeld (ca 30 m³/s in een droge periode). Het water nodig voor deze onttrekkingen zal extra ingelaten moeten worden via de Volkeraksluizen. Landbouwwateronttrekkingen zullen hoofdzakelijk plaatsvinden in de periode mei t/m september

Ten derde is inlaatwater nodig ten behoeve van doorspoeling van het meer, ten tijde van het groeiseizoen, om de chloridegehalten op het meer voldoende laag te kunnen houden. Om een redelijke effectiviteit te bereiken is hiervoor afgesproken dat het meer wordt doorgespoeld met 22,5 m³/s. Voor de inlaat betekent dit een verhoging van het inlaatdebiet ten behoeve van peilhandhaving en landbouwwateronttrek-

king met 22,5 m³/s. Het groeiseizoen is hierbij gedefinieerd van april t/m september. De verwachting hiervan is dat gedurende het groeiseizoen gedurende 1 week per 4 a 5 weken doorgespoeld dient te worden.

Om een indruk te verschaffen in de debieten zijn waterbalansen opgesteld voor een gemiddeld jaar, een droge dekade en een natte dekade (nota DBW 88.041). Deze balansen zijn weergegeven in bijlage 1.

Bij deze balansen dienen nog de volgende opmerkingen geplaatst te worden:

Momenteel wordt de mogelijkheid bekeken om het debiet door de Kreekraksluizen terug te brengen tot 3 a 4 m³/s. Op de jaargemiddelde balans betekent dit een afname van het inlaatdebiet volkerak met ca. 2 m³/s. Voor de balans van de droge dekade houdt dit een beperking van de inlaat in van 7 m³/s.

In de balansen is geen rekening gehouden met eerdergenoemde toename van de landbouwwateronttrekkingen. De bij de landbouwwateronttrekkingen genoemde debieten dienen hiertoe nog bij de in de balansen gegeven inlaatdebieten te worden opgeteld, wat in een droge dekade kan leiden tot inlaatdebieten van ca. 50 a 60 m³/s. (extreem)

Bij de genoemde balansgegevens voor een droge en een natte dekade moet opgemerkt worden dat deze situatie zich naar verwachting niet meer dan een tot enkele weken per jaar zal voordoen. Voor een gemiddelde zomersituatie, ten tijde dat wordt doorgespoeld, moet gerekend worden op een inlaatdebiet van ca. 35 a 40 m³/s.

Om de overlevingskansen van het biologisch filter optimaal te houden is het van belang dat regelmatig het water waarin de mosselen hangen, de noordelijke voorhaven, wordt verversd. De vraag hierbij aan het beheer is de mogelijkheden aan te geven om op gezette tijden door middel van inlaten van water naar het Zoommeer de inhoud van de voorhaven te verversen.

Hierbij is het van belang te weten dat buiten het groeiseizoen het meer niet wordt doorgespoeld en naar verwachting nauwelijks inlaat van water nodig zal zijn. Langdurige perioden waarin geen water wordt ingelaten zullen zich naar verwachting in de zomer en het najaar niet voordoen. In de winter en het voorjaar kan het echter zijn dat gedurende 2 of 3 maanden geen water ingelaten behoeft te worden. Om gedurende deze periode eens per 3 weken een dag water in te laten ten behoeve van het in leven houden van het biologisch filter lijkt niet bezwaarlijk gezien de geringe bijdrage aan de jaarbalans (ca. 0,25 m³/s), waarbij er nog vanuit gegaan kan worden dat het inlaatwater grotendeels gefiltreerd zal zijn. Meer is echter niet wenselijk, mede gezien de moeite en de kosten waarmee getracht wordt het inlaatdebiet met 2 m³/s te beperken (beperking waterverlies Kreekraksluizen).

Voor een optimale werking van het biologisch filter is het van belang dat de stroomsnelheden van het water langs de mosselen laag blijven. Vandaar de wens om de inlaatdebieten zo regelmatig mogelijk over een periode te verdelen.

In het huidige beheer is ten aanzien van de inlaat sprake van een praktische beperking. Op dit moment is het niet mogelijk een

hefhoogte van de schuiven van de Volkerak in te stellen kleiner dan 40 cm. Bij een gemiddeld verval over de sluis van ca. 0,5 m. betekent een minimaal realiseerbaar debiet van ca 27 m³/s. De debietregeling wordt verkregen door de openingstijd van de schuiven desgewenst te beperken. Om zoveel mogelijk aan de wensen tegemoet te komen zal getracht worden de inlaatdebieten zoveel mogelijk regelmatig te laten verlopen. Door BER wordt nagegaan of de beperking ten aanzien van de minimaal realiseerbare hefhoogte geheel of gedeeltelijk is op te heffen. Ten aanzien van de doorspoeling moet er echter op gewezen worden dat doorspoelen met kleinere debieten dan 22,5 m³/s geen effectieve zoutbestrijding lijkt te zijn zodat aanpassing hiervan niet mogelijk is.

Gemeten gegevens 1988.

In 1988 is vanaf februari voor het eerste jaar volgens het normale beheer gewerkt. De hierbij gevonden gegevens met betrekking to neerslag, afvoer Brabantse rivieren een inlaat Volkerak zijn weergegeven in bijlage 2 t/m 4. De situatie in 1988 mag niet als representatief gezien worden voor een gemiddeld jaar gezien de grote neerslaghoeveelheden (950mm in 1988 tegen ca 760mm normaal). Tevens zijn in dit jaar een aantal proefmetingen met een akoestische debietmeter uitgevoerd waarvoor soms betrekkelijk hoge inlaatdebieten zijn gerealiseerd. Gedurende de maand januari zijn nog inlaatdebieten gebruikt ten behoeve van de ontzilting van het meer.

Het gemiddeld debiet van de Brabantse rivieren bedroeg ca 18,5 m³/s. Het jaargemiddeld inlaatdebiet van de Volkeraksluizen was ca. 8,9 m³/s.

Hoewel het najaar na oktober vrij droog was, is toch geen aanvullende inlaat vanuit het Hollands Diep meer nodig geweest in de periode van december 1988 t/m februari 1989.

AANVOER		AFVOER	
Inlaat Volkerak	10	Krammersluizen	8
(Doorspoeldebiet	4	Kreekraksluizen	7
Volkerakschutsluizen	2	Bergsediepsluis	0
Afvoer Brabantse rivieren	12	Verdamping	2
Doorspoeling Dintel	0	Wegzijging	2
Neerslag	2	Landbouwwatervoorziening	0
Polderlozingen	2	(Lozing Bathsespuisluis	10
Kwel	1	Doorspoeldebiet	4
TOTAAL	33		33
WATERBALANS VOOR EEN GEMIDDELD JAAR (getallen in m³/s)			

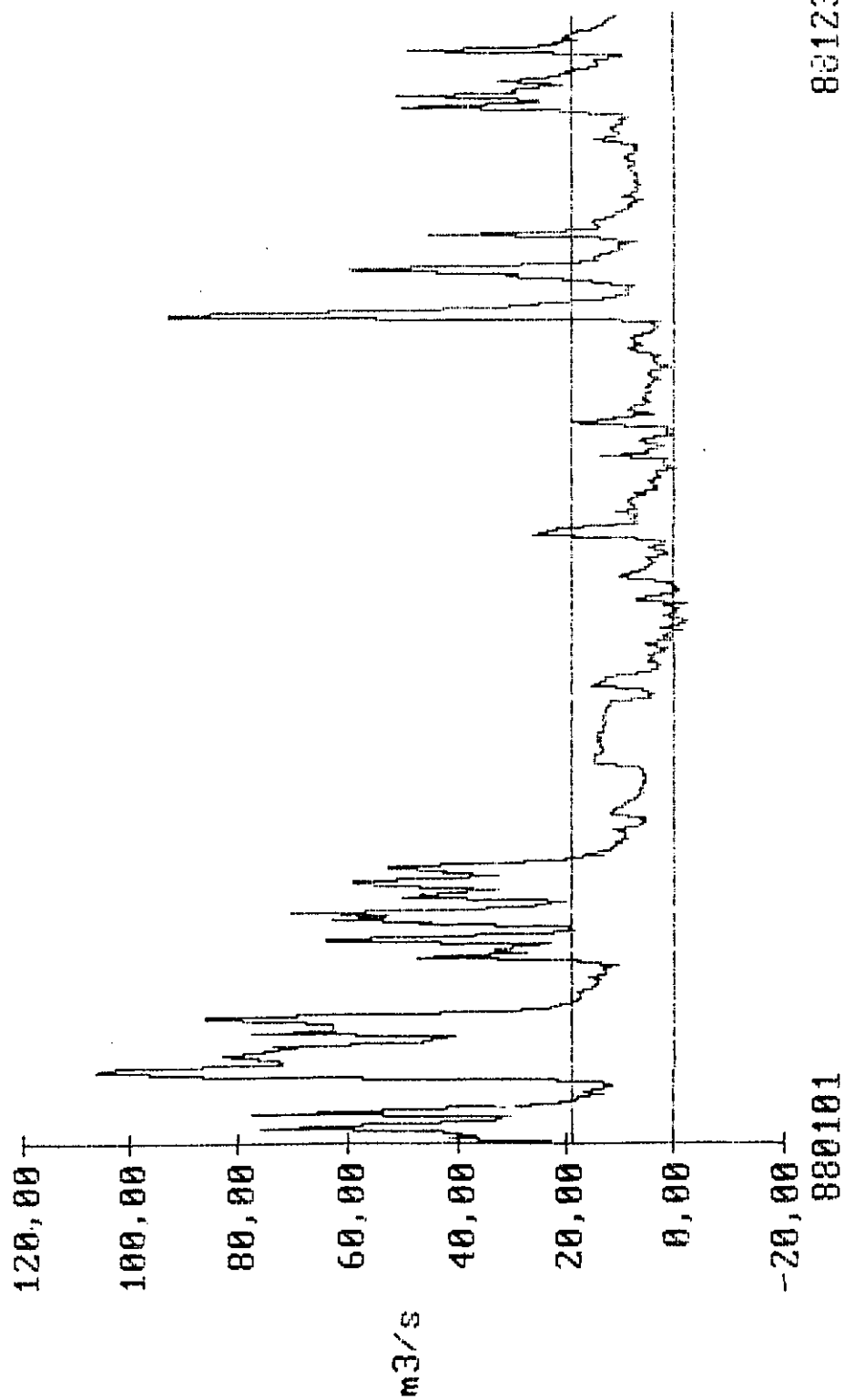
Bovenstaande benadering leidt tot een jaargemiddeld inlaatdebiet bij de Volkerakinlaatsluis van $10 + 4 = 14 \text{ m}^3/\text{s}$.

AANVOER		AFVOER	
Inlaat Volkerak	20	Krammersluizen	8
(Doorspoeldebiet	(23)	Kreekraksluizen	7
Volkerakschutsluizen	2	Bergsediepsluis	0
Afvoer Brabantse rivieren	- 1	Verdamping	4
Doorspoeling Dintel	0	Wegzijging	2
Neerslag	0	Landbouwwatervoorziening	1
Polderlozingen	0	(Lozing Bathsespuisluis	0
Kwel	1	Doorspoeldebiet	(23)
TOTAAL	22 (45)		22 (45)
WATERBALANS VOOR EEN DROGE DEKADE (getallen in m³/s)			

Bovenstaande balans leidt voor een droge dekade tot een inlaat via de Volkerakinlaatsluis van $20 \text{ m}^3/\text{s}$ dan wel, indien wordt doorgepoeld, van $43 \text{ m}^3/\text{s}$.

AANVOER		AFVOER	
Inlaat Volkerak	0	Krammersluizen	8
(Doorspoeldebiet	0	Kreekraksluizen	7
Volkerakschutsluizen	2	Bergsediepsluis	0
Afvoer Brabantse rivieren	55	Verdamping	0
Doorspoeling Dintel	0	Wegzijging	2
Neerslag	5	Landbouwwatervoorziening	0
Polderlozingen	10	(Lozing Bathsespuisluis	56
Kwel	1	Doorspoeldebiet	0
TOTAAL	73		73
WATERBALANS VOOR EEN NATTE DEKADE (getallen in m³/s)			

totaal brabant



datum

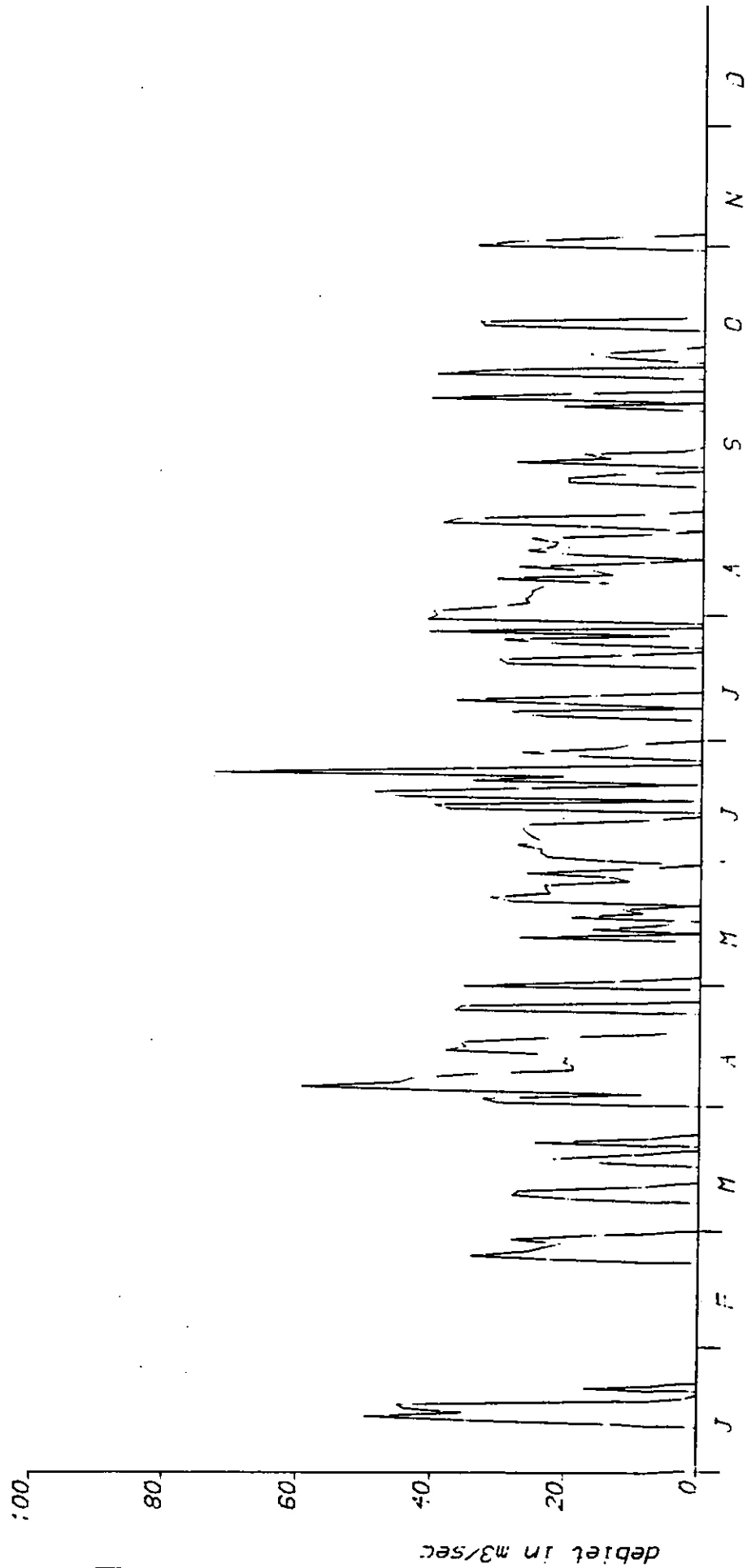
881231

880101

DEBIET VOLKERAKSLUIZEN

Rijkswaterstaat
Directie Zeeland
Middelburg

LOKATIE -437 Q313



Begindatum :880101

Begintijd :0000

Tijds in maanden

Bijlage III

ministerie van verkeer en waterstaat

RIJKSWATERSTAAT

Directie Zeeland

Notitie nr AXW 89.034

datum : 30-5-'89

aan: H. Reeders
van: S. Vereeke
inzake: Maatgevend debiet Volkeraksluizen
t.b.v. rendement biologisch filter
bijlage:
afschrift aan:

Het verwachte jaargemiddelde inlaatdebiet bij de Volkeraksluizen voor een gemiddeld jaar bedraagt ca 14 m³/s (incl. doorspoeling). Bij toename van de landbouwwateronttrekkingen kan dit op een termijn van ca 5 jaar mogelijk stijgen tot ca 18 m³/s jaargemiddeld.

Omdat sprake is van jaargemiddelde debieten zijn deze niet geschikt voor het maken van rendementsberekeningen voor het biologisch filter. Hiervoor zijn debieten maatgevend die met de inlaatsluis over een periode van een jaar gezien het meest gerealiseerd worden.

Op dit moment wordt meestal gebruik gemaakt van debieten behorend bij een hefhoogte van 40 cm. Hogere debieten (hefhoogten) worden eigenlijk alleen gebruikt bij doorspoeling van het meer of testen van meetinstrumenten. Het debiet behorend bij een hefhoogte van 40 cm bedraagt ca 21 a 23 m³/s. Hierbij is uitgegaan van een gemiddeld verval over de sluis van ca 40 a 50 cm. De gebruikte afvoercoëfficiënt van de Volkerakinlaatsluis (0,63) is afkomstig van de ijkmeting t.b.v. INVOL en ADM gehouden in september 1988.

Bij toename van het jaargemiddeld debiet tot ca 18 m³/s zal waarschijnlijk het maatgevend debiet t.b.v. de rendementsberekeningen niet wijzigen. De toename van dit debiet zal veelal gerealiseerd worden door toename van de periode waarin gespuid wordt.

De hefhoogte van 40 cm wordt ingegeven door het feit dat dit momenteel de kleinste hefhoogte is die door middel van centrale bediening kan worden ingesteld. Uit informatie van BER blijkt dat het wel mogelijk is kleinere hefhoogten in te stellen bij handmatige bediening ter plaatse van de schuiven.

Momenteel wordt bij BER nagegaan of het mogelijk is de centrale bediening geschikt te maken voor het instellen van kleinere hefhoogten als 40 cm. Als dit mogelijk zou blijken te zijn kan dit betekenen dat het maatgevend debiet t.b.v. rendementsberekeningen teruggebracht kan worden tot ca. 16 a 18 m³/s. Dit kan bereikt worden omdat bij meer vrijheid in de instelbare hefhoogtes een gelijkmatiger en meer in de tijd gespreid inlaatbeheer gevoerd kan worden.

Bijlage IV

VRACHTEN VAN MICRO-VERONTREINIGINGEN IN HET VOLKERAK-ZOOMMEER VIA DE DINTEL EN HET HOLLANDSCH DIEP

**Dorien ten Hulscher
H.H. Reeders**

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

- Een biologisch filter bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer zal voor een beperkt aantal sterk aan zwevend slib gehechte stoffen, waaronder Cd en PCB-153, een significante reductie in totaalvracht (Dintel + Volkerak-sluizen) tot gevolg kunnen hebben.
- Resuspensie van het bezonken materiaal en mineralisatie van de pseudofaeces treden onder de omstandigheden van de gedeponeerde pseudofaeces (8 m diepte, anaeroob) niet op, en vormen geen probleem voor het rendement van het biologisch filter.
- Vanwege de reducerende omstandigheden van de gedeponeerde pseudofaeces (anaerobie) zullen de meeste metalen worden geïmmobiliseerd, en zal nalevering door diffusie vanuit het poriewater naar het bovenstaande water verwaarloosbaar zijn.
- Fluctuaties in gehalten micro-verontreinigingen en debiet zijn de oorzaak van onzekerheden in de berekende jaarvrachten, en daarmee van reducties door het biologisch filter. De vrachten via de Dintel resp. de Volkeraksluizen verschillen per stof; ruwweg kan gesteld worden dat de inbreng van de Dintel overeenkomt met die van het HD/HV.
- Op termijn speelt het bereiken van de ten doel gestelde reducties in lozingen door het RAP een rol, evenals ontwikkelingen in de waterkwaliteit van de Dintel.

Hierbij enkele aandachtspunten bij de haalbaarheid van een biologisch filter om de belasting van het Volkerakmeer/Zoommeer met microverontreinigingen te verminderen. De bovenstaande conclusies worden hier nader uitgewerkt. De opmerkingen zijn gebaseerd op notitie nr. 89.009X (H.H. Reeders) waarin de mogelijkheid van zo'n biologisch filter wordt uitgewerkt.

De centrale vraag is: **In hoeverre is een biologisch filter op deze plaats effectief voor vermindering van de totaal belasting van het Volkerakmeer/Zoommeer met microverontreinigingen.**

Deze vraag kan worden onderverdeeld in :

1. hoeveel procent van de totale vracht wordt naar schatting met de pseudofaeces naar de bodem getransporteerd.
2. kan vanuit de gedeponeerde pseudofaeces nalevering plaats vinden.

Voor de beantwoording van deze vragen dienen de volgende punten in overweging te worden genomen.

- * Het Hollands Diep/Haringvliet levert maar een deel van de totale belasting van het Volkerakmeer/Zoommeer. De Dintel draagt m.n. voor Cd en Benzo(a))pyreen niet onaanzienlijk bij aan de totaalvracht (zie bijlage 1.).
- * Een toe- of afname in de vracht werkt recht evenredig door op te verwachten concentraties in de bodem (T.E.M. ten Hulscher : DBW/Riza nota 89.050).
- * In het Rijnactie programma (RAP) is een reductie van de lozingen overeengekomen. Dit zal ook een reductie in de belasting van het Volkerakmeer/Zoommeer via het Hollands Diep/Haringvliet tot gevolg hebben. Deze ontwikkeling loopt echter op vertraagde termijn t.o.v. de sanering. De autonome trend in afname van gehalten micro-verontreinigingen die momenteel wordt waargenomen in de Rijn zal, indien deze trend zich blijft voortzetten, op zich leiden tot een 50 % reductie in 1995.
- * Alleen deeltjesgebonden verontreinigingen zullen door het biologisch filter uit het water verwijderd kunnen worden. Door de vrij lage concentratie zwevend stof in het Haringvliet bij de Volkeraksluizen (gem. ca. 12 mg/l, range: 2-31 mg/l; Turkstra 1988 - Vergelijking waterkwaliteit Dintel en Hollandsch Diep/Haringvliet in verband met de belasting van het Volkerakmeer, DBW/Riza nota 88.038) zal, alleen voor stoffen met een hoge adsorptiecoëfficiënt (Kd) het merendeel gebonden aan deeltjes voorkomen. In bijlage 2 is dit nader uitgewerkt. Voor matig tot goed oplosbare organische verbindingen zal de effectiviteit van het filter laag zijn.

Een voordeel van dit biologische filter is dat de met het Hollands Diep/Haringvliet naar het Volkerakmeer/Zoommeer aangevoerde verontreiniging zeer lokaal geconcentreerd wordt in plaats van verspreid door het gehele systeem.

Hieronder wordt voor een aantal verbindingen de reductie in vracht gegeven, uitgaande van 75% rendement van het biologisch filter (eerste aanname in notitie 89.009X). Voor deze verbindingen zijn ook de toekomstige gehalten in het Volkerak-meer/Zoommeer voorspeld (T.E.M. ten Hulscher : DBW/riza nota 89.050). Zowel de absolute reductie van de invoer via Hollands Diep/Haringvliet als de reductie t.o.v. de totaalvracht wordt weergegeven (zie Bijlage 1). Vanwege een groeiende landbouw-watervoorziening zal de ingelaten hoeveelheid via de Volkeraksluizen de komende jaren naar schatting toenemen tot $\pm 18 \text{ m}^3/\text{sec}$. Dit levert een prognose van het reductie-% t.o.v. de totaalvracht.

Verbinding	% gebonden HD/HV bij 12 mg/l zw. stof	reductie HD/HV-vracht in g/dag		reductie % min. t.o.v. min. en max. t.o.v. max. totaalvracht		progn. reductie HD/HV-vracht bij toenemende inlaat Volkeraksluizen in g/dag		progn. reductie % t.o.v. totaalvracht bij toenemende inlaat V'sluizen	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
PCB-153	94	0.54	1.09	52.9	52.4	0.69	1.4	55.6	55.6
BaP	61	42.2	66.4	28.3	28.8	54.3	85.4	30.9	31.4
HCB	20	0.06	0.15	8.7	11.5	0.07	0.189	8.8	12
Cd	64	34.9	233	19.8	25.9	44.9	299.6	22.7	28.8

Bij de berekeningen voor de organische microverontreinigingen is er gemakshalve van uit gegaan dat deze niet binden aan DOC (opgelost organisch materiaal). De schatting van het % gebonden is daarmee een maximale schatting. Door binding aan DOC zal een groter deel in de mobiele fase voorkomen (in het water opgelost of gebonden aan deeltjes $< .45 \mu\text{m}$). Daar staat tegenover dat het zwevend stof gehalte in het HV/HD een stijgende trend vertoont (Turkstra 1988 : DBW/Riza nota 88.038), zodat de hoeveelheid aan slib gehechte, en dus door het biologisch filter verwijderbare, microverontreinigingen eveneens toeneemt.

Wat betreft de vraag of de met de pseudofaeces naar de bodem getransporteerde microverontreinigingen naar het water nageleverd kunnen worden zijn 3 processen van belang : diffusie vanuit het poriewater, resuspensie en mineralisatie.

Diffusie is alleen van belang bij omstandigheden in de bodem waarbij metalen gemobiliseerd kunnen worden. In de waterbodem (direct onder het oppervlak) heersen normaal gesproken anaerobe omstandigheden. Bij anaerobe omstandigheden in de bodem worden de meeste metalen, zoals Cd, vastgelegd. Alleen arseen is mobieler onder anaerobe omstandigheden (zie de bijgevoegde samenvatting van een door het ECN verrichte studie naar mobiliteit van zware metalen onder verschillende condities : bijlage 3).

Resuspensie speelt bij de diepte (8 m) waar de pseudofaeces sedimenteert geen rol. Daar 80 % van de pseudo-faeces mineraal is (H.H. Reeders : onderzoek Keizersveer 1988) zal ook mineralisatie geen rol van betekenis spelen, zeker niet onder de te verwachten anaerobe omstandigheden van het bezonken materiaal.

BIJLAGE 1. Bijdrage van Hollands Diep/Haringvliet en Dintel aan de belasting van het Volkerak/Zoommeer voor enkele microverontreinigingen.

De gegevens in deze tabel zijn ontleend aan een concept nota waarin de toekomstige gehalten in de waterbodem van het Volkerak/Zoommeer worden voorspeld (1). Vanwege fluctuaties in gehalten van de microverontreinigingen (Turkstra 1988 : DBW/Riza nota 88.038) worden zowel minimale als maximale vrachten gepresenteerd. Vrucht = gehalte x debiet. De meest recente jaargemiddelde debiet-berekeningen voor Dintel en Volkeraksluizen worden hier gehanteerd : 12 resp. 14 m³/sec. De toenemende landbouw-waterbehoefte levert een prognose van 12 resp. 18 m³/sec. De berekende toename in vrachten via het HD/HV is eveneens in de tabel verwerkt.

Vrachten in g/dag.

Verbinding	HD/HV		Dintel		totaalvrucht		prognose HD/HV		prognose totaalvrucht	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
PCB-153	0.76	1.54	0.26	0.54	1.02	2.08	0.98	1.98	1.24	2.52
BaP	92.3	145.1	57	85.4	149.3	230.4	118.7	186.6	175.7	272
Lindaan	53.8*	53.8*	17.6*	17.6*	71.4	71.4	69.2	69.2	86.8	86.8
HCB	0.37	0.98	0.32	0.32	0.69	1.3	0.48	1.26	0.8	1.58
Cd	72.8	485.4	103.4	414.4	176.4	899.8	93.6	624.1	197.6	1038.5

* Beneden de detectiegrens, aanname : concentratie = 0.5*detectiegrens

(1) T.E.M. ten Hulscher (1989) - Voorspelling van de gehalten van enkele microverontreinigingen in de waterbodem van het Volkerakmeer en Zoommeer. DBW/Riza nota nr. 89.050.

BIJLAGE 2: Berekening van de fraktie microverontreiniging in gebonden vorm in het water.

Voor zware metalen kan uit het gemeten totaalgehalte, de verde-
lingscoëfficiënt en de concentratie zwevend stof in water een
fraktie gebonden aan zwevend stof berekend worden. Daarvoor wordt
gebruik gemaakt van de volgende berekeningswijze.

De verdeelingscoëfficiënt (Kd) geeft de verdeling weer tussen de
aan zwevend stof gebonden hoeveelheid microverontreiniging en de
in water opgeloste hoeveelheid microverontreiniging. Daarbij
wordt verondersteld dat er evenwicht bestaat tussen de gebonden
en opgeloste vorm.

In formule:

$$Kd = \frac{\text{concentratie in zwevend stof } (\mu\text{g/g})}{\text{concentratie in water } (\mu\text{g/l})} \quad (Kd \text{ in l/g})$$

$$Kd = \frac{(Ct - Co)/S}{Co}$$

Ct = totaalgehalte in water ($\mu\text{g/l}$)

Co = opgeloste conc. ($\mu\text{g/l}$)

S = zwevend stof conc. in water (g/l)

omschrijven levert:

$$Co = \frac{1}{1 + (Kd \cdot S)} \cdot Ct$$

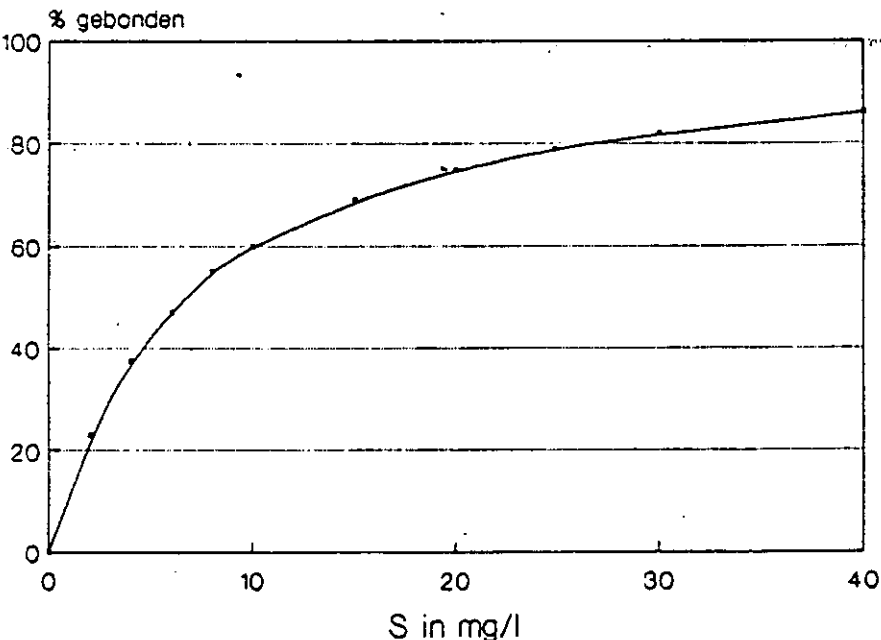
De factor $\frac{1}{1 + (Kd \cdot S)}$ is de fractie van de totaal aanwezige

hoeveelheid metaal in l.l. water die in opgeloste vorm aanwezig
is.

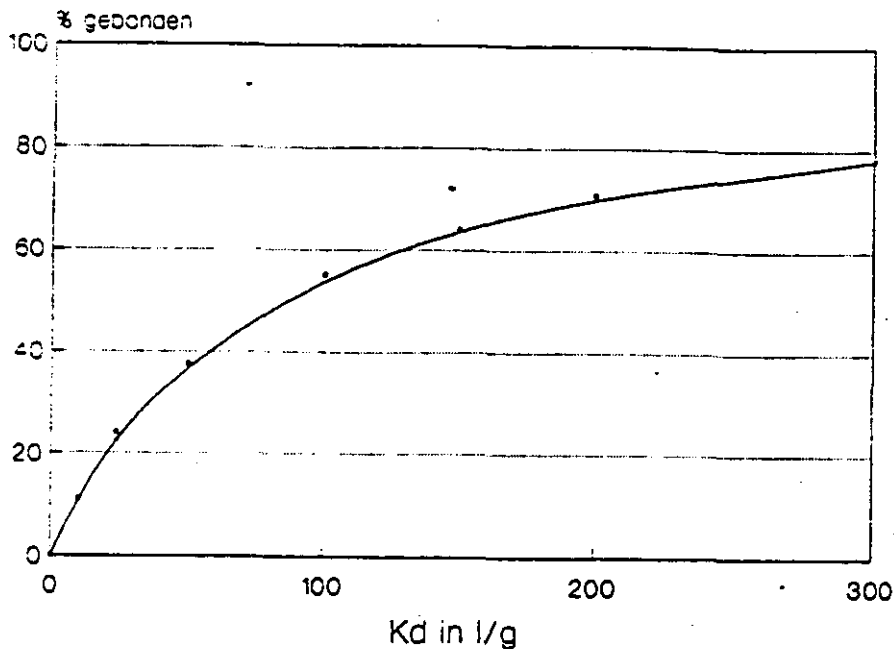
In gebonden vorm is $\left[1 - \frac{1}{1 + (Kd \cdot S)} \right] \cdot 100\%$ aanwezig.

Bij hoge Kd zal deze factor naar 100% gaan, evenals bij een hoge
zwevend stof concentratie.

Hieronder wordt grafisch weergegeven wat de invloed van de
zwevend stof concentratie is op de hoeveelheid in gebonden vorm
voor de voorbeeld stof cadmium (vrij hoge Kd: 150 l/g).



In de volgende grafiek is de invloed van de Kd waarde op de hoeveelheid in gebonden vorm weergegeven bij de gemiddeld bij de Volkeraksluizen voorkomende zwevend stof concentratie van 12 mg/l.



Uit deze grafieken blijkt dat voor de microverontreinigingen met een verdelingscoëfficiënt lager dan ca. 150 l/g nog een aanzienlijk deel opgelost in water voor zal komen.

In de onderstaande overzicht zijn voor enkele mogelijk relevante stoffen Kd waarden gegeven (voor organische microverontreinigingen uitgaande van zwevend stof met 10% organisch koolstof).

hexachloorbenzeen	21	l/g
PCB-153	1380	"
benzo(a)pyreen	128	"
lood	690	"
chrom	300	"
cadmium	150	"
zink	140	"
koper	50	"
nikkel	9.1	"
arseen	5.4	"

Hieruit blijkt dat voor de meeste verbindingen een aanzienlijk deel in de waterfase voor zal komen. Voor organische microverontreinigingen zal dit ook bij een relatief hoge verdelingscoëfficiënt nog het geval zijn omdat opgelost organisch materiaal in water ook als adsorbens dient.

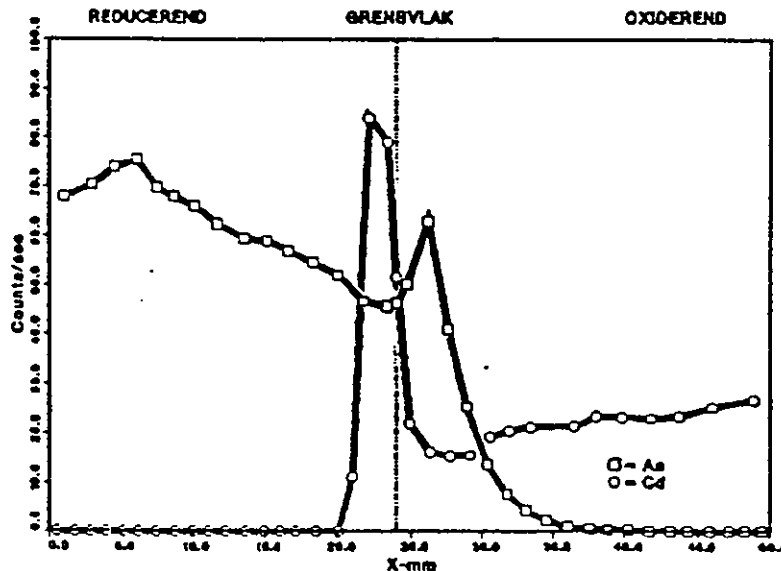
ECN-88-41

INTERACTIE VAN MICROVERONTREINIGINGEN MET ZWEVEND STOF EN MET DE
WATERBODEM ONDER OXIDERENDE EN REDUCERENDE OMSTANDIGHEDEN

H.A. van der Sloot
J.A.L.W. Tielen
D. Hoede
J. Wijkstra

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van
Rijkswaterstaat - Dienst Binnen Wateren
onder contractnr. DB-195 (ECN-0261).

Petten, april 1988



SAMENVATTING

De problematiek van verontreinigde waterbodems vraagt meer inzicht in de factoren, die de mobilisatie van microverontreinigingen bepalen.

In het onderhavige onderzoek is daartoe met een recent gemodificeerde methode van mobiliteitsmeting het diffusiegedrag van een aantal geselecteerde anorganische microverontreinigingen - As, Cd, Zn, Hg, Mn, Ag - en het radionuclide Cs-137 bestudeerd. De metingen zijn uitgevoerd met waterbodems van een 4-tal locaties nl. Waalhaven (R'dam), Maasmond (R'dam), Ketelmeer en als referentie de Oostvaardersplassen. De metingen zijn zowel onder reducerende als oxiderende condities uitgevoerd, vanwege de grote invloed van deze beide omstandigheden op de afgifte van microverontreinigingen.

Uit mobiliteitsmetingen is gebleken, dat de effectieve diffusiecoëfficiënt van een element weinig variatie vertoont in monsters van verschillende locatie, maar in sterke mate bepaald wordt door de redox conditie van het sediment. Alleen Cd, en in mindere mate Zn, is onder oxiderende condities mobieler in een zout milieu (Maasmond). De interactie met de matrix kan onder deze omstandigheden door vergelijking met de effectieve diffusiecoëfficiënt van een min of meer inerte component gekwantificeerd worden. De binding van metalen aan oplosbare organische complexen (fulvine zuren), blijkt onder oxiderende condities van belang. De vraag is of de berekende retentie reëel is of dat het metaal-organische complex door z'n structuur een geringere mobiliteit in water vertoont, waarvoor nog gecorrigeerd dient te worden. In de waterbodem is de toplaag van het sediment meestal geoxideerd, daaronder is het sediment reducerend. Op het grensvlak tussen oxiderend en reducerend materiaal treden belangrijke chemische omzettingen op, die bestudering verdienen. Door de veelal grote verschillen in effectieve diffusiecoëfficiënten treden er in dit geval precipitatie reacties op of nabij het grensvlak op. Zo is arseen zeer mobiel onder reducerende condities ($pD_e = 10,8$) en vrijwel immobiel onder oxiderende condities ($pD_e = 12,8$). Cadmium daarentegen is zeer mobiel onder oxiderende condities ($pD_e = 10,6$) en immobiel onder reducerende condities ($pD_e = 13$). As en Cd slaan aan weerszijde van het grensvlak tussen oxiderend en reducerend sediment neer.

Bijlage V

ministerie van verkeer en waterstaat

RIJKSWATERSTAAT
Directie Zeeland

Schatting vrachtberekening van een aantal micro-
verontreinigingen op het Volkerak-Zoommeer:
vergelijking van diverse datasets

E.Daemen (RWS Directie Zeeland)

mei 1989

In een DBW/RIZA nota van Dorien ten Hulscher (concept maart 1989) zijn voorspellingen gedaan van de gehalten van enige microverontreinigingen in het Zoommeer op grond van o.a. de belastingen via Hollands Diep-Haringvliet (HDHV) en Dintel. De voorspellingen hebben betrekking op de gehalten aan Cd, PCB-153, BaP, HCB en Lindaan.

Voor de berekening van de belasting van Cd is uitgegaan van de data uit het WAKWAL-bestand (HDHV) resp. de opgave van het Hoogheemraadschap West-Brabant (Dintel).

De belasting van de organische microverontreinigingen is gebaseerd op metingen van de gehalten in zwevend materiaal (Turkstra, 1988).

Turkstra had slechts de beschikking over de resultaten van 3 (Dintel) resp. 5 metingen (HDHV). Inmiddels zijn meer gegevens van metingen in zwevende stof beschikbaar gekomen. De vrachtberekeningen zijn daarom opnieuw uitgevoerd cf. de methode van ten Hulscher, echter nu met een uitgebreidere dataset.

Berekening (zie ten Hulscher, maart 1989):

$$1. \quad C_p \text{ (mg/m}^3\text{)} = C_s \text{ (ug/kg)} * S \text{ (g/m}^3\text{)} * 10^{-6}$$

waarbij: C_p = hoeveelheid mive per m³ gebonden aan zwev.stof

C_p^s = conc. mive in zwevend slib

S^s = concentratie zwevend slib

10^{-6} = factor voor omrekening van de eenheden

$$2. \quad C_1 \text{ (mg/m}^3\text{)} = C_p * [1 / (K_{oc} * POC * 10^{-6})]$$

waarbij: C_1 = hoeveelheid vrij opgeloste mive per m³

K_{oc} = org.koolstof-water verdelingscoëff. (l/kg oc)

POC = part. org. materiaal (op basis van conc. aan zw. materiaal en C-gehalte van zw. materiaal)

10^{-6} = factor voor omrekening van de eenheden

$$3. \quad C_k \text{ (mg/m}^3\text{)} = K_{doc} * DOC * 10^{-6} * C_1$$

C_k = hoeveelheid mive per m³ gebonden aan DOC

K_{doc} = DOC-water verdelingscoëfficiënt

DOC = opgelost organisch materiaal in water (mg/l)

$$4. \quad \text{totale vracht: } C_t = C_p + C_1 + C_k$$

Stoofstelselgegevens:

	Dintel	HDHV
zwev.stof (mg/l)	10.4	11.9
% OC	14.8	5.6
POC (mg/l)	1.54	0.56
DOC (mg/l)	6.0	3.4
debiet	15	13
debiet **	12	18

* Deze debieten zijn gehanteerd in de berekening van ten
Hulscher;

** Voorspellingen duiden erop dat indien in de toekomst ook landbouwwater aan het zoommeer onttrokken wordt de debieten via Dintel en HDHV resp ca. 12 m³/s en 18 m³/s zullen bedragen.

Stofeigenschappen:

	Cd	PCB-153	BaP	Lindaan	HCB
log K _{oc}	5.9	7.14	6.11	3.30	5.34
log K _{doc}	0	6.45	6.25	2.6	4.64

Opm. De totale vracht aan Cd is niet bepaald met behulp van bovenstaande formules doch op basis van gegevens uit het WAKWAL-bestand (HDHV) resp. van Het Hoogheemraadschap West-Brabant.

concentraties:

Cd: mg/m³ (totaal-gehalte)
overige stoffen: ug/kg zwevende stof

data Turkstra (1988)

	Cd	PCB-153	BaP	Lindaan	HCB
Dintel (n=3)	0.33	15	500	5	5
HDHV (n=5)	0.11	35	825	5	26.5

Uitgebreidere dataset

	Cd	PCB-153	BaP	Lindaan	HCB
Dintel (n=9)	0.16	10.7	670	7.6	2.38
HDHV (n=8)	0.11	44	1625	5.86	49.38

Opm. data Dintel Cd----> als conc. < det. grens ----->
gerekend met helft van det.grens (0.05 mg/m³)

Met bovenstaande gegevens zijn de vrachtberekeningen vervolgens opnieuw uitgevoerd, waarbij bovendien de verschillende debiet scenario's in beschouwing zijn genomen (HDHV: 13 cq. 18 m³ en Dintel: 15 cq. 12 m³)

Onderstaande tabellen tonen de gemiddelde vrachten per dag (g/dag) voor de diverse datasets

1. DINTEL

1A: beperkte dataset (n=3) debiet 15 m³/s (ten Hulscher)

1B: beperkte dataset (n=3) debiet 15 m³/s (enige data bijgesteld)

1C: uitgebreide dataset (n=9) debiet 15 m³/s

1D: uitgebreide dataset (n=9) debiet 12 m³/s

	Cd	PCB-153	BaP	Lindaan	HCB
1A	518.4	0.542	88.91	22.03	0.38
1B	427.7	0.373	46.38	22.05	0.32
1C	207.4	0.266	62.15	33.52	0.152
1D	165.9	0.213	49.72	26.82	0.122

2. HDHV

2A: beperkte dataset (n=5) debiet 13 m³/s (ten Hulscher)

2B: beperkte dataset (n=5) debiet 13 m³/s (enige data bijgesteld m.n. [HC])

2C: uitgebreide dataset (n=8) debiet 13 m³/s

2D: uitgebreide dataset (n=8) debiet 18 m³/s

	Cd	PCB-153	BaP	Lindaan	HC
2A	123.6	0.993	101.09	49.98	0.589
2B	123.55	1.003	101.05	50.13	3.1
2C	123.55	1.261	202.70	58.90	5.83
2D	171.07	1.746	280.67	81.55	8.073

Op bijgevoegde tabellen is een gedetailleerd overzicht gegeven van de vrachtberekeningen:

Tabel 1: Dintel beperkte dataset, debiet 15 m³/s (cf. ten Hulscher, enkele meetdata wijken af)

Tabel 2: cf. 1, uitgebreide dataset, debiet 15 m³

Tabel 3: cf. 2, debiet 12 m³

Tabel 4: Dintel beperkte dataset, debiet 13 m³ (cf. ten Hulscher, enkele meetdata wijken af)

Tabel 5: cf. 4, uitgebreide dataset, debiet 13 m³

Tabel 6: cf. 5, debiet 18 m³

Tabel 1.

Dintel '87-88 (conc. in zwevend slib '87, n=3)
 [Cd]=totale concentratie (gem '87 data HWB)

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Koc	794328.2	13803842.6	1288249.6	1995.3	218776.2
Kdoc		2818382.9	1778279.4	398.1	43651.6
H (Henry)		10	0.0212	0.096	35
Dintel					
zw.stof(S)	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
% oC	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
POC	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
DOC	6	6	6	6	6
	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06
debiet	15	15	15	15	15
	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Dintel					
Cs		15	500	5	5
Cp		0.000156	0.005200	0.000052	0.000052
Cl		0.000007	0.002621	0.016923	0.000154
Ck		0.000124	0.027966	0.000040	0.000040
Ct	0.33	0.000287	0.035787	0.017015	0.000247
g/dag	427.68	0.373	46.38	22.05	0.320

Tabel 2.

Dintel '87-88 (conc. in zwevend slib '87-'88, n=9)
 [Cd]=totale concentratie (gem. '88 data HWB)

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Koc	794328.2	13803843	1288249.6	1995.3	218776.2
Kdoc		2818382.9	1778279.4	398.1	43651.6
H (Henry)		10	0.0212	0.096	35
Dintel					
zw.stof(S)	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
% oC	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
POC	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
DOC	6	6	6	6	6
	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06
debiet	15	15	15	15	15

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Dintel					
Cs		10.7	670	7.6	2.38
Cp		0.000111	0.006968	0.000079	0.000025
Cl		0.000005	0.003512	0.025723	0.000073
Ck		0.000089	0.037475	0.000061	0.000019
Ct	0.16	0.000205	0.047955	0.025863	0.000117
g/dag	207.36	0.266	62.15	33.52	0.152

Tabel 3.

Dintel '87-88 (conc. in zwevend slib '87-'88, n=9)
 [Cd]=totale concentratie (gem. '88 data HWB)
 voorspeld gemiddeld debiet: 12 m3/s

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Koc	794328.2	13803843	1288249.6	1995.3	218776.2
Kdoc		2818382.9	1778279.4	398.1	43651.6
H (Henry)		10	0.0212	0.096	35
Dintel					
zw.stof. (S)	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
% oC	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
POC	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
DOC	6	6	6	6	6
	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06
debiet	12	12	12	12	12
	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Dintel					
Cs		10.7	670	7.6	2.38
Cp		0.000111	0.006968	0.000079	0.000025
Cl		0.000005	0.003512	0.025723	0.000073
Ck		0.000089	0.037475	0.000061	0.000019
Ct	0.16	0.000205	0.047955	0.025863	0.000117
g/dag	165.89	0.213	49.72	26.82	0.122

Tabel 4.

HDHV '87: 5 bemonsteringen
[Cd]=totale concentratie

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Koc	794328.2	13803842.6	1288249.6	1995.3	218776.2
Kdoc		2818382.9	1778279.4	398.1	43651.6
H (Henry)		10	0.0212	0.096	35
HDHV					
zw.stof(S)	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
% oC	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
POC	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
DOC	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06
debiet	13	13	13	13	13
	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
HDHV					
Cs		35	825	5	26.25
Cp		0.000417	0.009818	0.000060	0.000312
Cl		0.000045	0.011374	0.044508	0.002131
Ck		0.000432	0.068771	0.000060	0.000316
Ct	0.11	0.000893	0.089963	0.044627	0.002760
g/dag	123.55	1.003	101.05	50.13	3.100

Tabel 5.

HDHV '87-'88 (conc. in zwevend slib '87-'88, n=8)
[Cd]=totale concentratie

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Koc	794328.2	13803843	1288249.6	1995.3	218776.2
Kdoc		2818382.9	1778279.4	398.1	43651.6
H (Henry)		10	0.0212	0.096	35
HDHV					
zw.stof (S)	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
% oC	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
POC	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
DOC	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06	1E-06
debiet	13	13	13	13	13
HDHV	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Cs		44	1655	5.875	49.375
Cp		0.000524	0.019695	0.000070	0.000588
Cl		0.000057	0.022818	0.052296	0.004008
Ck		0.000543	0.137959	0.000071	0.000595
Ct	0.11	0.001123	0.180471	0.052437	0.005191
g/dag	123.55	1.261	202.70	58.90	5.830

Tabel 6.

HDHV: concentraties mive'e 1987-1988
 voorspeld gemiddeld debiet, inclusief onttrekking
 t.b.v. landbouw: 18 m3 per sec.

	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Koc	794328.2	13803843	1288249.6	1995.3	218776.2
Kdoc		2818382.9	1778279.4	398.1	43651.6
H (Henry)		10	0.0212	0.096	35
HDHV					
zw.stof (S)	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
% oC	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
POC	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
DOC	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
debiet	1E-06 18	1E-06 18	1E-06 18	1E-06 18	1E-06 18
HDHV	Cd	PCB-153	BAP	Lindaan	HCB
Cs		44	1655	5.875	49.375
Cp		0.000524	0.019695	0.000070	0.000588
Cl		0.000057	0.022818	0.052296	0.004008
Ck		0.000543	0.137959	0.000071	0.000595
Ct	0.11	0.001123	0.180471	0.052437	0.005191
g/dag	171.07	1.746	280.67	81.55	8.073

Bijlage VI

De belasting met microverontreinigingen uit Brabant in 1995/2000 op het Volkerak-Zoommeer

J.A.W. de Wit
juli 1989

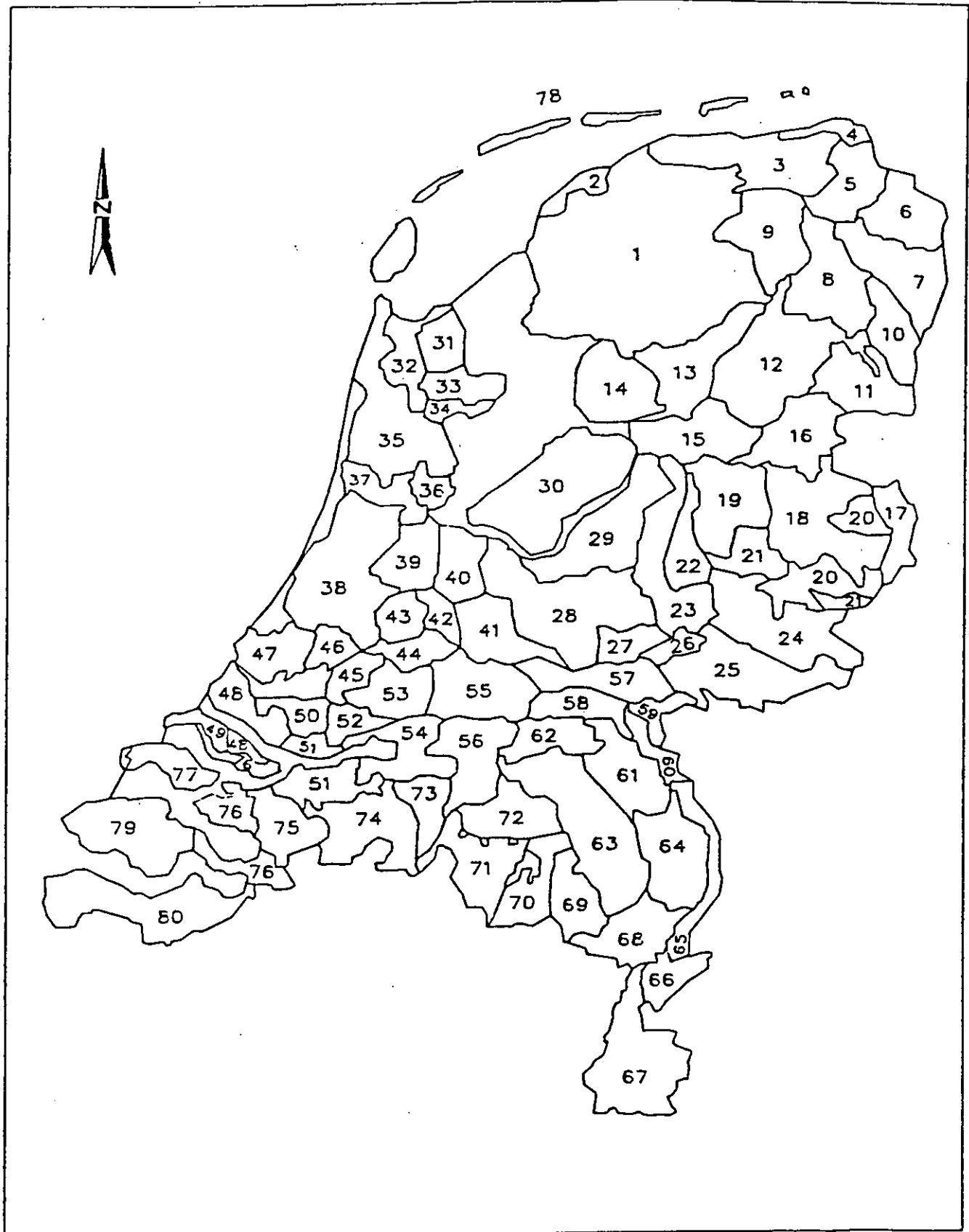
1. In het project stofstromen zijn ten behoeve van de 3^e nota waterhuishouding analyses verricht van de huidige belasting met microverontreinigingen per PAWN district (bijlage 1).
Daarnaast zijn berekeningen gedaan wat de konsekventies zijn van de realisatie van de afspraken in het kader van het Rijn-actieplan en het Noordzee-actieplan en wat de konsekventies zijn van verdergaande scenario's t.a.v. de terugdringing van de belasting met milieuvreemde stoffen (streefbeelden).
2. In bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de belasting per district voor een aantal relevante stoffen (Cd, γ -HCH, HCB, PAK, PCB), onder de huidige situatie en voor verschillende scenario's.

Daarnaast wordt per district en per stof de relatieve afname van de belasting gegeven bij de verschillende scenario's.

3. De belasting per district is niet gelijk te stellen met de belasting op het Volkerak-Zoommeer. De districten wateren doorgaans maar ten dele af op het Volkerak-Zoommeer.
Voor de verdere beschouwingen van de belasting van dit meer lijkt het evenwel een redelijke aanname te veronderstellen dat de belasting in het district evenredig doorwerkt naar de belasting op het Volkerak-Zoommeer.
4. Dit betekent dat in 1995-2000 de belasting uit de overige bronnen dan de waterinlaat Hollandsch Diep - Volkerak-sluizen met de volgende percentages verminderd zal worden:

Cadmium	45%
γ HCH	45%
HCB	20%
PAK	20%
PCB	20%

PAWN-districten



FILE : E:\TD\TJR050.D85 AANMAAKDATUM : 27 FEB 1989 TIJD : 14:55
 TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR 1985, STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

75 ROSENDAL

STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	758.872	45.456	86.203	32.485	29.852	25.855	539.022	.000	
2 NH4-N	114.363	18.756	33.602	12.410	12.127	15.513	21.955	.000	
3 NO3-N	617.618	26.699	49.894	8.030	15.928	.000	517.066	.000	
4 TOT-P	35.693	.209	6.590	17.520	.923	6.464	3.987	.000	
5 PO4-P	30.885	.209	6.362	13.140	.723	6.464	3.987	.000	
6 K	98.136	1.590	9.112	.000	.941	.000	86.493	.000	
7 Cl	1216.666	22.383	6.058	138.032	17.862	.000	1032.331	.000	
8 Na	700.694	13.337	1.870	.000	7.895	.000	677.591	.000	
9 Mg	72.299	1.647	1.520	.000	.975	.000	68.158	.000	
10 Ca	134.383	5.422	5.379	.000	3.210	.000	120.372	.000	
11 SO4	339.188	132.256	2.682	.000	78.298	.000	125.952	.000	
12 Cu	468.035	158.735	16.577	132.930	109.776	50.017	.000	.000	
13 Cd	7.505	3.549	.203	.741	2.627	.385	.000	.000	
14 Zn	764.657	229.428	33.748	185.190	254.731	61.560	.000	.000	
15 Ni	41.733	11.509	1.526	15.792	9.059	3.848	.000	.000	
16 Hg	2.760	1.490	.035	.180	.900	.154	.000	.000	
17 Pb	2356.156	154.171	6.884	53.737	2134.439	6.925	.000	.000	
18 Cr	21.686	5.689	.182	8.689	5.588	1.539	.000	.000	
19 As	15.223	6.810	.246	2.449	4.179	1.539	.000	.000	
20 6-HCH	4.223	.528	.014	.159	.320	.100	.000	3.102	
21 HCB	.146	.089	.001	.000	.053	.002	.000	.000	
22 PAK-1	.347	.198	.003	.003	.119	.023	.000	.000	
23 PAK-2	10.055	6.195	.091	.011	3.674	.085	.000	.000	
24 PCB153	.069	.042	.002	.000	.025	.000	.000	.000	
25 TRITIUM	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-COLI	.189	.000	.000	.184	.006	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	111.401	.000	.000	102.455	8.946	.000	.000	.000	
28 BOD	50.779	.000	.000	39.785	10.994	.000	.000	.000	

FILE : E:\TD\TJRD50.D85 AANMAAKDATUM : 27 FEB 1989 TIJD : 14:55
 TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR 1985, STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

51 HOLNDIEP STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	1018.846	77.968	23.232	93.440	39.275	35.801	749.129	.000	
2 NH4-N	270.077	32.001	6.293	58.400	18.350	21.480	133.552	.000	
3 NO3-N	718.662	45.967	16.928	20.440	19.750	.000	615.577	.000	
4 TOT-P	81.756	.272	3.265	31.755	1.549	8.950	35.964	.000	
5 PO4-P	73.458	.272	3.265	23.816	1.191	8.950	35.964	.000	
6 K	354.708	2.604	11.010	.000	1.102	.000	339.992	.000	
7 Cl	8528.536	69.033	7.940	442.081	43.962	.000	7965.519	.000	
8 Na	1643.346	35.844	2.770	.000	15.160	.000	1589.572	.000	
9 Hg	789.864	4.581	1.806	.000	1.938	.000	781.539	.000	
10 Ca	3521.618	8.546	3.571	.000	3.615	.000	3505.887	.000	
11 SO4	576.209	227.965	3.679	.000	96.416	.000	248.150	.000	
12 Cu	361.687	73.380	21.461	148.692	48.897	69.257	.000	.000	
13 Cd	8.676	4.511	.244	.855	2.533	.533	.000	.000	
14 Zn	1044.306	382.898	68.861	205.155	302.151	85.240	.000	.000	
15 Ni	57.484	19.208	2.488	19.626	10.835	5.328	.000	.000	
16 Hg	4.055	2.487	.041	.238	1.076	.213	.000	.000	
17 Pb	2880.558	257.301	8.674	60.382	2544.612	9.589	.000	.000	
18 Cr	30.814	9.494	.240	12.153	6.797	2.131	.000	.000	
19 As	22.460	11.365	.327	3.613	5.024	2.131	.000	.000	
20 G-HCH	7.556	.881	.018	.351	.390	.139	.000	.000	5.778
21 HCB	.217	.149	.002	.001	.063	.003	.000	.000	.000
22 PAK-1	.518	.331	.004	.007	.144	.032	.000	.000	.000
23 PAK-2	14.981	10.339	.113	.025	4.388	.117	.000	.000	.000
24 PCB153	.103	.070	.002	.000	.030	.000	.000	.000	.000
25 TRITIUM	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
26 E-COLI	.417	.000	.000	.405	.012	.000	.000	.000	.000
27 ZWSTOF	31.755	.000	.000	21.900	9.855	.000	.000	.000	.000
28 BOD	71.197	.000	.000	49.275	21.922	.000	.000	.000	.000

FILE : E:\D\ATJRD50.D85 AANMAKDATUM : 27 FEB 1989 TIJD : 14:55
 TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR 1985, STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

76 ZOOM STOF	TOTAALVRACHT ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING EFFLUENT RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GMAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	1314.425	18.547	42.661	98.156	1034.056	.000
2 NH4-N	369.993	3.109	15.934	58.893	251.349	.000
3 NO3-N	895.379	15.437	24.997	.000	782.706	.000
4 TOT-P	183.077	3.604	1.048	24.539	138.004	.000
5 PO4-P	179.001	3.604	.836	24.539	138.004	.000
6 K	5866.956	14.396	1.513	.000	5847.794	.000
7 Cl	138558.000	8.434	47.715	.000	137735.800	.000
8 Na	47487.090	2.758	12.687	.000	47444.360	.000
9 Mg	14810.440	2.130	1.567	.000	14803.380	.000
10 Ca	36246.740	3.578	5.158	.000	36226.900	.000
11 S04	528.659	3.894	123.923	.000	134.242	.000
12 Cu	783.057	41.192	161.585	189.885	.000	.000
13 Cd	13.976	.372	4.185	1.461	.000	.000
14 Zn	1367.505	112.919	395.170	233.704	.000	.000
15 Ni	79.691	3.348	14.484	14.606	.000	.000
16 Hg	5.265	.053	1.432	.584	.000	.000
17 Pb	3831.742	315.506	3427.165	26.292	.000	.000
18 Cr	39.286	11.641	8.882	5.843	.000	.000
19 As	29.557	13.937	6.645	5.843	.000	.000
20 6-HCH	13.662	1.080	.513	.380	.000	11.448
21 HCB	.278	.182	.085	.009	.000	.000
22 PAK-1	.694	.406	.191	.088	.000	.000
23 PAK-2	19.055	12.678	5.902	.321	.000	.000
24 PCB153	.130	.086	.040	.001	.000	.000
25 TRITIU	.000	.000	.000	.000	.000	.000
26 E-COLI	.263	.000	.008	.000	.000	.000
27 ZWSTOF	14.755	.000	5.392	.000	.000	.000
28 BOD	30.933	.000	13.953	.000	.000	.000

FILE : E:\TDATJRD50.D85 AANMAAKDATUM : 27 FEB 1989 TIJD : 14:55
 TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR 1985, STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

77 SCHOUWEN

STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	588.616	48.492	29.154	45.569	14.179	47.531	403.692	.000
2 NH4-N	293.938	18.405	9.043	29.748	5.601	28.518	202.624	.000
3 NO3-N	269.266	30.087	20.111	10.894	7.106	.000	201.068	.000
4 TOT-P	114.879	.290	3.421	16.060	.800	11.883	82.425	.000
5 PO4-P	110.681	.290	3.421	12.045	.616	11.883	82.425	.000
6 K	3365.217	4.911	6.981	.000	1.119	.000	3352.207	.000
7 Cl	81698.230	186.148	5.563	2430.725	119.799	.000	78956.010	.000
8 Na	27325.580	102.971	2.021	.000	23.458	.000	27197.130	.000
9 Mg	8502.381	12.665	.904	.000	2.885	.000	8485.927	.000
10 Ca	20784.430	11.620	3.333	.000	2.647	.000	20766.830	.000
11 SO4	294.189	175.690	1.521	.000	40.025	.000	76.953	.000
12 Cu	234.627	55.310	10.685	57.261	19.422	91.949	.000	.000
13 Cd	5.729	3.067	.239	.755	.961	.707	.000	.000
14 Zn	705.018	260.299	35.423	175.454	120.675	113.168	.000	.000
15 Ni	53.848	18.073	1.253	21.717	5.733	7.073	.000	.000
16 Hg	2.698	1.691	.016	.294	.415	.283	.000	.000
17 Pb	1218.139	192.619	2.584	70.738	939.466	12.731	.000	.000
18 Cr	25.582	6.454	.057	13.103	3.138	2.829	.000	.000
19 As	15.577	7.726	.076	3.005	1.941	2.829	.000	.000
20 G-HCH	5.106	.599	.005	.226	.148	.184	.000	3.946
21 HCB	.129	.101	.000	.000	.023	.004	.000	.000
22 FAK-1	.327	.225	.001	.004	.054	.042	.000	.000
23 PAK-2	8.846	7.028	.035	.016	1.611	.156	.000	.000
24 PCB153	.060	.048	.001	.000	.011	.000	.000	.000
25 TRITIU	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
26 E-COL1	.268	.000	.000	.260	.008	.000	.000	.000
27 ZWSTOF	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
28 BOD	38.843	.000	.000	26.645	12.198	.000	.000	.000

FILE : E:\TD\TJRD50.D20 AANKAARDATUM : 29 FEB 1989 TIJD : 14:14
 TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

2000

RAP/NAP

51 HOLNDEEP

STOF	TOTAALVRACHT	ATMGSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	865.794	59.581	21.897	90.649	32.332	16.215	645.119	.000	
2 NH4-N	254.676	32.001	5.926	66.119	18.987	9.729	121.913	.000	
3 NO3-N	586.845	27.580	16.045	8.000	12.014	.000	523.206	.000	
4 TOT-P	52.627	.272	4.105	8.000	1.081	2.270	36.899	.000	
5 PO4-P	50.422	.272	4.105	6.037	.839	2.270	36.899	.000	
6 K	361.207	2.604	8.973	.000	1.102	.000	348.528	.000	
7 Cl	8787.814	69.033	6.836	500.515	45.913	.000	8165.517	.000	
8 Na	1682.953	35.844	2.467	.000	15.160	.000	1629.482	.000	
9 Mg	809.149	4.581	1.469	.000	1.938	.000	801.162	.000	
10 Ca	3608.662	8.546	2.587	.000	3.615	.000	3593.914	.000	
11 SO4	582.421	227.965	3.660	.000	96.416	.000	254.380	.000	
12 Cu	160.101	36.690	15.324	74.827	29.734	23.526	.000	.000	
13 Cd	4.829	.2256	.144	.611	1.576	.241	.000	.000	
14 Zn	631.568	191.449	47.830	133.059	220.623	38.608	.000	.000	
15 Ni	34.579	9.604	1.901	14.028	6.633	2.413	.000	.000	
16 Hg	3.850	2.487	.037	.154	1.075	.097	.000	.000	
17 Pb	361.379	128.650	4.937	43.159	180.290	4.343	.000	.000	
18 Cr	19.264	4.747	.119	8.686	4.746	.965	.000	.000	
19 As	12.093	5.683	.162	2.678	2.604	.965	.000	.000	
20 G-HCH	4.269	.705	.014	.397	.318	.063	.000	2.772	
21 HCB	.173	.119	.001	.001	.051	.001	.000	.000	
22 FAK-1	.407	.265	.003	.008	.117	.014	.000	.000	
23 FAK-2	11.957	8.271	.090	.028	3.515	.053	.000	.000	
24 PCB153	.032	.056	.002	.000	.024	.000	.000	.000	
25 TRITIU	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-COLI	.472	.000	.000	.459	.014	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	35.952	.000	.000	24.795	11.158	.000	.000	.000	
28 BOD	80.608	.000	.000	55.786	24.820	.000	.000	.000	

FILE : E:\DATA\JRD50.D20 AANMAKEDATUM : 26 FEB 1989 TIJD : 14:14
 TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR , STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

RMP/NAP

2000

75 ROSENDAL	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAJV	DIVERSE BR
STOF									
1 TOT-N	486.253	34.776	35.834	30.464	23.891	11.934	349.353	.000	
2 NH4-N	79.583	18.756	9.653	13.937	12.253	7.161	17.824	.000	
3 NO3-N	386.306	16.020	26.137	3.000	9.620	.000	331.529	.000	
4 TOT-P	13.775	.209	3.602	4.000	.695	1.671	3.597	.000	
5 PO4-P	13.204	.209	3.602	3.572	.553	1.671	3.597	.000	
6 K	86.976	1.590	8.220	.000	.941	.000	76.225	.000	
7 Cl	1111.112	22.383	5.505	155.018	18.430	.000	909.777	.000	
8 Na	620.123	13.337	1.740	.000	7.895	.000	597.151	.000	
9 Mg	64.028	1.647	1.339	.000	.975	.000	60.066	.000	
10 Ca	119.203	5.422	4.489	.000	3.210	.000	106.082	.000	
11 SO4	324.236	132.256	2.683	.000	78.298	.000	111.000	.000	
12 Cu	236.197	79.367	12.263	67.613	59.638	17.315	.000	.000	
13 Cd	4.169	1.775	.130	.514	1.573	.178	.000	.000	
14 Zn	472.964	114.714	27.542	116.515	185.778	28.415	.000	.000	
15 Ni	25.271	5.754	1.268	10.950	5.523	1.776	.000	.000	
16 Hg	2.607	1.490	.033	.114	.899	.071	.000	.000	
17 Pb	273.031	77.086	4.171	37.259	151.319	3.197	.000	.000	
18 Cr	13.525	2.844	.091	6.025	3.855	.710	.000	.000	
19 As	8.147	3.405	.123	1.761	2.148	.710	.000	.000	
20 G-HCH	2.431	.422	.011	.179	.259	.046	.000	1.514	
21 HCB	.116	.071	.001	.000	.042	.001	.000	.000	
22 PAK-1	.271	.159	.003	.003	.096	.011	.000	.000	
23 PAK-2	8.021	4.956	.072	.013	2.941	.039	.000	.000	
24 PCB153	.055	.034	.001	.000	.020	.000	.000	.000	
25 TRITIU	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-SOLI	.212	.000	.000	.206	.006	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	125.109	.000	.000	115.063	10.046	.000	.000	.000	
28 BOD	57.027	.000	.000	44.681	12.347	.000	.000	.000	

76 ZOOM
STOF

2000

RAP/NAP.

	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAJV	DIVERSE BR
1 TDT-N	1074.358	63.473	16.703	26.011	33.133	44.104	890.934	.000	
2 NH4-N	320.646	31.577	3.085	10.101	16.071	26.462	233.350	.000	
3 NO3-N	725.242	31.896	13.618	7.000	15.144	.000	657.584	.000	
4 TDT-P	152.276	.429	4.010	4.000	.786	6.175	136.876	.000	
5 PO4-P	151.799	.429	4.010	3.670	.640	6.175	136.876	.000	
6 K	5871.256	3.254	12.176	.000	1.513	.000	5854.312	.000	
7 Cl	138791.500	45.806	7.291	798.559	50.586	.000	137889.300	.000	
8 Na	47539.670	27.293	2.444	.000	12.687	.000	47497.240	.000	
9 Mg	14826.590	3.370	1.778	.000	1.567	.000	14819.880	.000	
10 Ca	36286.180	11.096	2.646	.000	5.158	.000	36267.280	.000	
11 SO4	528.789	266.599	3.874	.000	123.923	.000	134.391	.000	
12 Cu	372.129	162.423	28.548	32.728	84.441	63.990	.000	.000	
13 Cd	7.479	3.632	.220	.479	2.492	.656	.000	.000	
14 Zn	804.373	234.758	81.840	97.685	285.081	105.010	.000	.000	
15 Ni	46.178	11.776	2.694	16.334	8.811	6.563	.000	.000	
16 Hg	4.884	3.050	.049	.091	1.431	.263	.000	.000	
17 Pb	452.667	157.753	5.686	36.600	240.815	11.814	.000	.000	
18 Cr	23.400	5.821	.127	8.728	6.099	2.625	.000	.000	
19 As	15.146	6.968	.171	1.993	3.389	2.625	.000	.000	
20 G-4CH	7.087	.864	.016	.245	.414	.171	.000	5.378	
21 HCB	.220	.146	.002	.000	.068	.004	.000	.000	
22 PAK-1	.527	.325	.004	.005	.154	.039	.000	.000	
23 PAK-2	15.138	10.142	.110	.017	4.725	.144	.000	.000	
24 PCB153	.104	.069	.002	.000	.032	.000	.000	.000	
25 TRITIUM	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-COL1	.292	.000	.000	.283	.009	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	16.306	.000	.000	10.352	5.953	.000	.000	.000	
28 BOD	34.216	.000	.000	18.746	15.470	.000	.000	.000	

FILE : E:\TD\TJD50.D20 AANVAARDATUM : 28 FEB 1989 TIJD : 14:14
 * TOTALE BELASTING VAN DISTRICTSWATER PER JAAR 1986, STOF 1 T/M 11, 27 EN 28 IN TON, REST IN KG

RAP/NAP

2000

STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF.	DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GMAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	579.931		36.457	26.448	45.032	11.831	21.357	438.806		.000
2 NH4-N	274.878		18.405	8.665	33.486	5.778	12.814	195.730		.000
3 NO3-N	289.317		18.052	17.793	6.000	4.396	.000	243.076		.000
4 TOT-P	93.717		.290	3.796	4.000	.555	2.990	82.086		.000
5 P04-P	92.652		.290	3.796	3.058	.433	2.990	82.086		.000
6 K	3366.027		4.911	6.503	.000	1.119	.000	3353.495		.000
7 Cl	82043.460		186.148	5.294	2736.160	129.524	.000	78986.360		.000
8 Na	27335.950		102.971	1.943	.000	23.458	.000	27207.590		.000
9 Mg	8505.550		12.665	.814	.000	2.885	.000	8489.187		.000
10 Ca	20792.410		11.620	3.358	.000	2.647	.000	20774.790		.000
11 S04	294.245		175.690	1.547	.000	40.025	.000	76.983		.000
12 Cu	106.849		27.655	7.885	28.631	11.691	30.986	.000		.000
13 Cd	3.155		1.533	.157	.538	.609	.318	.000		.000
14 Zn	411.026		130.150	26.134	113.403	90.490	50.850	.000		.000
15 Ni	32.395		9.036	1.076	15.497	3.518	3.178	.000		.000
16 Hg	2.436		1.691	.014	.190	.414	.127	.000		.000
17 Pb	225.399		96.310	1.540	50.340	71.489	5.721	.000		.000
18 Cr	16.236		3.227	.028	9.354	2.355	1.271	.000		.000
19 As	8.439		3.863	.038	2.220	1.047	1.271	.000		.000
20 6-HCH	2.820		.479	.004	.254	.122	.083	.000		1.879
21 HCB	.102		.081	.000	.000	.019	.002	.000		.000
22 PAK-1	.249		.180	.001	.005	.044	.019	.000		.000
23 PAK-2	7.030		5.633	.028	.018	1.292	.070	.000		.000
24 PCB153	.048		.038	.000	.000	.009	.000	.000		.000
25 TRITIU	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
26 E-CD-1	.302		.000	.000	.293	.009	.000	.000		.000
27 ZWSTDF	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
28 B0D	43.724		.000	.000	29.993	13.731	.000	.000		.000

STREEFBEELDEN

51 HOLLNDEP STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	689.938	62.298	21.857	9.065	2.991	1.622	592.116	.000	
2 NH4-N	149.720	16.321	5.925	6.612	.963	.973	118.927	.000	
3 NO3-N	535.103	45.967	15.947	.000	.000	.000	473.189	.000	
4 TOT-P	40.429	.272	4.203	.000	.000	.000	35.954	.000	
5 PO4-P	40.429	.272	4.203	.000	.000	.000	35.954	.000	
6 K	347.315	2.604	4.430	.000	1.102	.000	339.180	.000	
7 Cl	8020.402	69.033	4.872	.000	.000	.000	7946.496	.000	
8 Na	1638.604	35.844	1.825	.000	15.160	.000	1585.775	.000	
9 Mg	787.009	4.581	.818	.000	1.938	.000	779.673	.000	
10 Ca	3509.018	8.546	2.594	.000	.361	.000	3497.516	.000	
11 SO4	575.603	227.965	3.665	.000	96.416	.000	247.557	.000	
12 Cu	90.606	36.690	4.926	29.931	9.649	9.411	.000	.000	
13 Cd	2.703	2.256	.087	.092	.232	.036	.000	.000	
14 Zn	319.010	191.449	12.868	39.918	63.193	11.582	.000	.000	
15 Ni	18.268	9.604	.711	4.910	2.199	.845	.000	.000	
16 Hg	2.516	2.487	.029	.000	.000	.000	.000	.000	
17 Pb	358.513	128.650	4.229	43.159	178.132	4.343	.000	.000	
18 Cr	9.754	4.747	.119	3.040	1.509	.338	.000	.000	
19 As	6.767	5.683	.163	.402	.376	.145	.000	.000	
20 G-HDH	.482	.440	.009	.020	.010	.003	.000	.000	
21 HCB	.075	.074	.001	.000	.000	.000	.000	.000	
22 PAK-1	.168	.166	.002	.000	.000	.000	.000	.000	
23 PAK-2	5.226	5.169	.056	.000	.000	.000	.000	.000	
24 PCB153	.036	.035	.001	.000	.000	.000	.000	.000	
25 TRITIUM	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-COLI	.047	.000	.000	.046	.001	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	30.374	.000	.000	24.795	5.579	.000	.000	.000	
28 BOD	6.820	.000	.000	5.579	1.241	.000	.000	.000	

STREEFBEBEIDEN

75 ROSENDAL		TOTAALVRACHT	ATMOSF.	DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	KWAZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
STOF											
1	TOT-N	434.557		36.265	35.576	3.046	2.312	1.193		356.165	.000
2	NH4-N	40.808		9.566	9.653	1.394	.624	.716		18.856	.000
3	NO3-N	389.937		26.699	25.929	.000	.000	.000		337.309	.000
4	TOT-P	7.231		.209	3.215	.000	.000	.000		3.807	.000
5	PO4-P	7.231		.209	3.215	.000	.000	.000		3.807	.000
6	K	98.008		1.590	4.847	.000	.941	.000		80.629	.000
7	Cl	988.517		22.383	3.782	.000	.000	.000		962.351	.000
8	Na	654.155		13.337	1.264	.000	7.895	.000		631.659	.000
9	Mg	67.053		1.647	.903	.000	.975	.000		63.537	.000
10	Ca	122.444		5.422	4.489	.000	.321	.000		112.212	.000
11	SO4	330.651		132.256	2.683	.000	78.298	.000		117.414	.000
12	Cu	142.034		79.367	6.868	27.045	21.827	6.926		.000	.000
13	Cd	2.209		1.775	.098	.077	.232	.027		.000	.000
14	Zn	222.958		114.714	11.654	34.954	53.112	8.524		.000	.000
15	Ni	12.735		5.754	.689	3.832	1.837	.622		.000	.000
16	Hg	1.517		1.490	.027	.000	.000	.000		.000	.000
17	Pb	270.534		77.086	3.537	37.259	149.456	3.197		.000	.000
18	Cr	5.536		2.844	.091	2.109	1.244	.249		.000	.000
19	As	4.211		3.405	.123	.264	.312	.107		.000	.000
20	G-HCH	.290		.264	.007	.009	.008	.002		.000	.000
21	HCB	.045		.045	.001	.000	.000	.000		.000	.000
22	PAK-1	.101		.099	.002	.000	.000	.000		.000	.000
23	PAK-2	3.143		3.097	.045	.000	.000	.000		.000	.000
24	PCB153	.022		.021	.001	.000	.000	.000		.000	.000
25	TRITIU	.000		.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000
26	E-COLI	.021		.000	.000	.021	.000	.000		.000	.000
27	ZWSTOF	120.086		.000	.000	115.063	5.023	.000		.000	.000
28	SOO	5.085		.000	.000	4.468	.617	.000		.000	.000

STREEKBELEID

77 SCHIJVEN

STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPOS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	511.010	39.473	27.915	4.503	1.076	2.136	435.907	.000	
2 NH4-N	218.201	9.387	8.815	3.349	.293	1.281	195.077	.000	
3 NO3-N	290.008	30.087	19.090	.000	.000	.000	240.830	.000	
4 TOT-P	86.152	.290	3.870	.000	.000	.000	81.991	.000	
5 PO4-P	86.152	.290	3.870	.000	.000	.000	81.991	.000	
6 K	3375.052	4.911	6.162	.000	1.119	.000	3362.861	.000	
7 Cl	79398.090	186.148	4.998	.000	.000	.000	79206.980	.000	
8 Na	27411.840	102.971	1.842	.000	23.458	.000	27283.570	.000	
9 Mg	8529.435	12.665	.987	.000	2.885	.000	8512.897	.000	
10 Ca	20851.420	11.620	6.717	.000	.265	.000	20832.820	.000	
11 SO4	294.390	175.690	1.478	.000	40.025	.000	77.198	.000	
12 Cu	63.406	27.655	8.087	11.453	3.817	12.395	.000	.000	
13 Cd	1.902	1.533	.153	.081	.087	.048	.000	.000	
14 Zn	230.308	130.150	26.287	34.021	24.595	15.255	.000	.000	
15 Ni	17.748	9.036	1.080	5.424	1.096	1.112	.000	.000	
16 Hg	1.705	1.691	.014	.000	.000	.000	.000	.000	
17 Pb	222.824	96.310	1.482	50.340	68.972	5.721	.000	.000	
18 Cr	7.634	3.227	.027	3.274	.661	.445	.000	.000	
19 As	4.567	3.863	.036	.333	.145	.191	.000	.000	
20 G-HCH	.322	.299	.002	.013	.004	.004	.000	.000	
21 HCB	.051	.051	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
22 PAK-1	.113	.113	.001	.000	.000	.000	.000	.000	
23 PAK-2	3.531	3.514	.017	.000	.000	.000	.000	.000	
24 PCB153	.024	.024	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
25 TRITIUM	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-COLI	.030	.000	.000	.029	.000	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
28 BOD	3.686	.000	.000	2.999	.687	.000	.000	.000	

STREEPBEELDEN

76 ZOOM STOF	TOTAALVRACHT	ATMOSF. DEPCS.	AFSPOELING	EFFLUENT	RWZIS	OVERSTORT	LOZINGEN	GWAFV	DIVERSE BR
1 TOT-N	1040.752	69.264	17.368	2.601	3.401	4.410	943.707	.000	
2 NH4-N	266.015	16.104	3.372	1.010	.818	2.646	242.064	.000	
3 NO3-N	768.799	53.160	13.996	.000	.000	.000	701.643	.000	
4 TOT-P	146.514	.429	3.969	.000	.000	.000	142.116	.000	
5 PO4-F	146.514	.429	3.969	.000	.000	.000	142.116	.000	
6 K	6141.296	3.254	6.435	.000	1.513	.000	6130.094	.000	
7 Cl	144435.500	45.806	4.818	.000	.000	.000	144384.900	.000	
8 Na	49776.340	27.293	1.649	.000	12.687	.000	49734.710	.000	
9 Mg	15523.870	3.370	.929	.000	1.567	.000	15518.010	.000	
10 Ca	37990.460	11.096	3.104	.000	.516	.000	37975.730	.000	
11 SO4	535.219	266.599	3.974	.000	123.923	.000	140.722	.000	
12 Cu	245.887	162.423	11.983	13.091	32.794	25.596	.000	.000	
13 Cd	4.343	3.632	.171	.072	.370	.098	.000	.000	
14 Zn	402.853	234.758	23.960	29.305	83.326	31.503	.000	.000	
15 Ni	23.870	11.776	1.139	5.717	2.941	2.297	.000	.000	
16 Hg	3.087	3.050	.036	.000	.000	.000	.000	.000	
17 Pb	449.640	157.753	4.489	36.600	238.985	11.814	.000	.000	
18 Cr	11.902	5.821	.126	3.055	1.982	.919	.000	.000	
19 As	8.327	6.958	.168	.299	.497	.394	.000	.000	
20 G-HCH	.583	.540	.010	.012	.013	.009	.000	.000	
21 HCB	.092	.091	.001	.000	.000	.000	.000	.000	
22 PAK-1	.205	.203	.002	.000	.000	.000	.000	.000	
23 PAK-2	6.407	6.339	.068	.000	.000	.000	.000	.000	
24 PCB153	.044	.043	.001	.000	.000	.000	.000	.000	
25 TRITIUM	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
26 E-COLI	.029	.000	.000	.028	.000	.000	.000	.000	
27 ZWSTOF	13.329	.000	.000	10.352	2.977	.000	.000	.000	
28 BOD	2.648	.000	.000	1.875	.773	.000	.000	.000	

District 51	Hollandsch Diep (Dintel)
District 75	Rosendal (Steenbergse Vliet)
District 76	Zoom (Tholen-Zuid Beveland etc.)
District 77	Schouwen

vrachten in kg/jaar per district

1985	Cd	HCH	HCB	PAK1	PAK2	PCB
51	8.676	7.556	.217	.518	14.981	.103
75	7.505	4.223	.146	.347	10.055	.069
76	13.976	13.662	.278	.694	19.055	.130
77	5.729	5.106	.129	.327	8.846	.060

2000 RAP/NAP

51	4.829	4.269	.173	.407	11.957	.082
75	4.169	2.431	.116	.271	8.021	.055
76	7.479	7.087	.220	.527	15.138	.104
77	3.155	2.820	.120	.249	7.030	.048

streefbeeld

51	2.703	.482	.075	.168	5.226	.036
75	2.209	.290	.045	.101	3.143	.022
76	4.343	.583	.092	.205	6.407	.044
77	1.902	.322	.051	.113	3.531	.024

reductie in % t.o.v. 1985

2000 RAP/NAP

51	44	44	20	21	20	20
75	38	42	20	22	20	20
76	46	48	20	24	20	20
77	45	45	7	24	20	20

streefbeeld

51	69	94	64	68	65	65
75	70	93	69	71	69	68
76	69	96	67	79	67	66
77	67	94	60	65	76	60

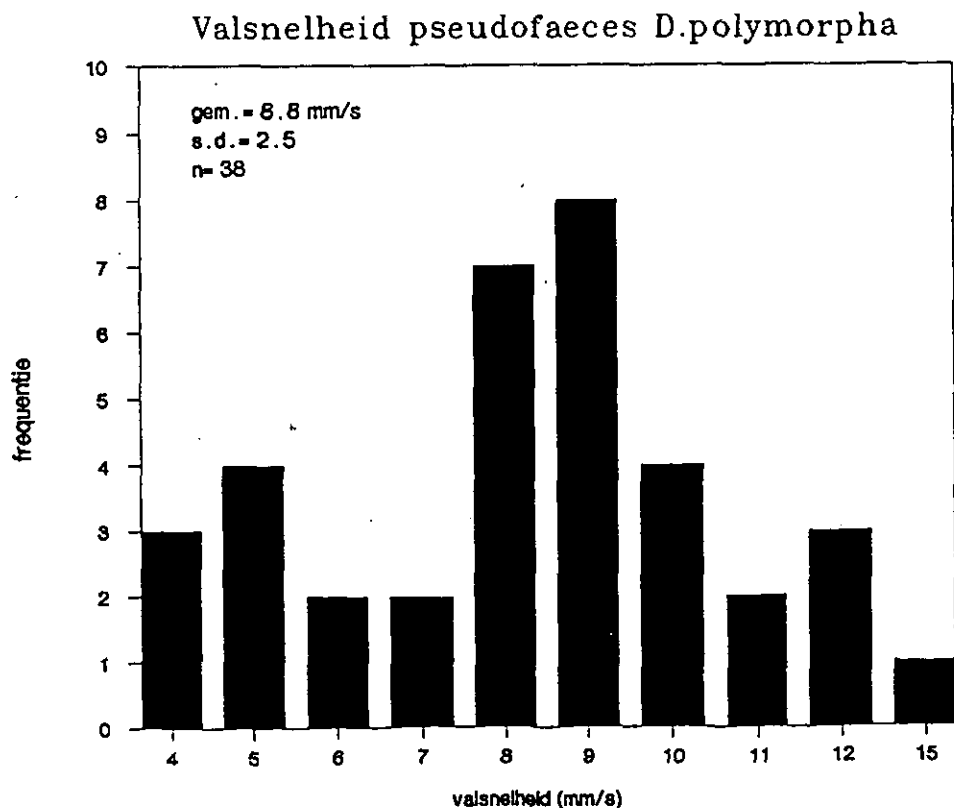
Bijlage VII

De valsnelheid van pseudofaeces van de driehoeksmossel

H.H. Reeders

De valsnelheid van pseudofaeces is van belang voor het vaststellen van de minimale afstand tussen de modules van het beoogde biologisch filter bij de Volkeraksluizen. De geproduceerde pseudofaeces dient te zijn gesedimenteerd vóórdat de waterstroom een volgende module bereikt, om verslibbing te voorkomen. Over de valsnelheid van pseudofaeces van mosselen zijn geen gegevens bekend, ook niet voor *Mytilus edulis*. Berekeningen m.b.v. fysische formules geven geen realistische waarden. Een directe meting van de valsnelheid is dus gewenst.

Een klein experiment is uitgevoerd met driehoeksmosselen uit het IJsselmeer. Uit observaties bleek dat de valsnelheid afhankelijk is van het soort pseudofaeces : algenrijke pseudofaeces, gevormd in Wolderwijdwater, heeft een lagere valsnelheid dan minerale pseudofaeces, gevormd in Wolderwijdwater aangevuld met een slib-suspensie. De situatie bij de Volkeraksluizen wordt het best benaderd door de minerale suspensie. De onderstaande figuur geeft de resultaten van het experiment. De gemiddelde valsnelheid van pseudofaeces bedraagt 8.8 mm/s (s.d.=2.5). Dit geeft als voorlopige waarde een redelijke indicatie van de grootte-orde van de valsnelheid.



Bijlage VIII

MODEL TER BEREKENING VAN HET RENDEMENT VAN EEN BIOLOGISCH FILTER

L. Voogt

Inleiding

Het bij de rendementberekeningen gebruikte model is elders uitvoerig beschreven (Voogt, 1989, a). Alleen de belangrijkste aspecten en aannamen die ten grondslag liggen aan het gebruikte model worden hier (summier) vermeld alsmede enkele berekeningsresultaten.

Het principe van een biologisch filter

In essentie berust de werking van een bio-filter bestaande uit driehoeksmosselen op een omzetting van zwevende stof met zeer lage valsnelheid in pseudo-faeces met een aanzienlijk hogere valsnelheid. De pseudo-faeces bezinkt zeer snel en is in de verdere modellering niet van belang. Essentieel is dat de omzetting van zwevende stof in pseudo-faeces zorgt voor een onttrekking van zwevende stof aan het watersysteem, daarmee zorgend voor de beoogde verlaging van de concentratie zwevende stof. De mate waarin dit plaatsvindt blijkt lineair afhankelijk te zijn van de zwevende stofconcentratie zelf:

$$p = ac - b$$

met:

p = de pseudo-faeces-produktie van een driehoeksmossel,
c = de zwevende stofconcentratie,
a en b = experimenteel bepaalde parameters.

Mathematische modellering

Het transport van zwevende stof in een watersysteem kan in het algemeen beschreven worden met de advektie-diffusie-vergelijking, die voor deze situatie dient te worden uitgebreid met een put-term die de onttrekking van zwevende stof door de driehoeksmosselen beschrijft. In ééndimensionale vorm leidt dit tot de volgende vergelijking:

$$u(t) \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + E \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = - N_t / V \cdot (ac - b) \quad (1)$$

met:

u = stroomsnelheid,
N_t = totaal aantal mosselen,
V = volume van het filter.

De afleiding van deze differentiaalvergelijking, die is gebaseerd op het principe van massabehoud, wordt bekend verondersteld. Voor de afleiding van de put-term, die is gebaseerd op het hiervoor genoemde verband tussen pseudo-faeces-produktie en zwevend stofgehalte, wordt verwezen naar [1].

Verwaarlozing van de eerste en derde term in het linkerlid van deze vergelijking leidt dan tot het in [1] gebruikte model:

$$u \cdot dc/dx + N_t/V \cdot (ac-b) = 0 \quad (2)$$

Een orde van grootte-beschouwing van de termen in (1) leert dat verwaarlozing van de dispersie-term terecht is, maar dat dit in zijn algemeenheid niet terecht is voor de tijdsafhankelijke term (Voogt, 1989, b). In het vervolg wordt hier nog op teruggekomen.

Voor de rendementberekeningen is dus uitgegaan van een beschrijving van het gedrag van het filter door (2), met als oplossing voor de concentratie zwevende stof aan de uitstroomopening van het filter:

$$c_L = b/a + (c_0 - b/a) \cdot \text{EXP}(- a \cdot N_t/Q) \quad (3)$$

waarin:

c_L = de concentratie op de benedenstroomse rand,

c_0 = de concentratie op de bovenstroomse rand,

Q = het debiet door het filter,

waarna het rendement van het filter zich laat berekenen als:

$$\eta = 1 - c_L / c_0 \quad (4)$$

Verdere aannamen

Alvorens daadwerkelijk rendementen te kunnen uitrekenen, zullen nog de waarden van de in (3) en (4) voorkomende parameters moeten worden vastgelegd.

Voor de bovenstroomse randvoorwaarde wordt de over 1988 gemeten gemiddelde waarde van $c_0 = 12$ (mg/l) gehanteerd.

Metingen naar de relatie tussen pseudo-faeces-productie en de concentratie zwevende stof (Reeders, 1989) leiden tot waarden voor de coëfficiënten $a = 13,3547E-09$ [m³/s] en $b = 26,7094E-12$ [kg/s] (Voogt, 1989, a).

Het totaal aantal mosselen N_t wordt enerzijds vastgelegd door het beschikbare oppervlak (op grond van de beschikbare ruimte en de moduulafstand vastgesteld op 100 modulen van elk 2.400 m²), anderzijds wordt zij bepaald door de mosseldichtheid (aanname: $M_d = 5.000-10.000$ per m²).

Het debiet blijkt in de praktijk sterk te kunnen variëren. In 1988 varieerde het daggemiddelde van 0-105 m³/s. Ten behoeve van de rendementberekeningen wordt gebruik gemaakt van een maatgevend debiet van 18 m³/s (Vereeke, 1989).

In het voorafgaande is stilzwijgend een filter beschouwd dat het volledige dwarsprofiel van het inlaatkanaal afsluit. Als dat niet het geval is, zal bovendien rekening moeten worden gehouden met dat deel van de volumestroom dat ongezuiverd over of langs het filter stroomt in plaats van erdoor. Dit deel

wordt bepaald door de hydraulische weerstand van de met mosselen begroeide netten en hangt af van de afvoercoëfficiënt ($\mu = 0,6$), het percentage van het dwarsprofiel dat afgedekt wordt door een moduul mosselen (90%) en de porositeit van de modulen zelf (44%). Dit laatste getal wordt bepaald door de maaswijdte van de modulen (15 cm) en de laagdikte van de mosselen op de modulen (2 cm) alsmede de dikte van het gebruikte materiaal voor de modulen zelf (1 cm). Met deze getallen als uitgangspunt kan dan berekend worden dat 30% van het inlaatdebiet ongezuiverd het filter passeert [1]. In de rendementsberekeningen is hiermede rekening gehouden.

Enkele resultaten

Bovenstaande uitgangspunten leiden dan tot de volgende berekeningsresultaten. De rendementen zijn gegeven in procenten voor een viertal debieten in combinatie met een tweetal mosseldichtheden (M_d).

Q [m ³ /s]	volledig filter		partieel filter	
	M_d [m ²]		M_d [m ²]	
	5.000	10.000	5.000	10.000
14	57	75	45	56
18	49	69	40	53
25	39	60	33	47
50	23	39	20	33

Slotopmerking

In het voorafgaande is opgemerkt dat het strikt genomen niet is geoorloofd met een stationair model te werken. Berekeningen met een dynamisch model conform (1) hebben evenwel uitgewezen dat dit voor wat betreft het gemiddelde rendement geen grote verschillen te zien geeft met de uitkomsten van stationaire berekeningen uitgevoerd met een konstant debiet van 18 m³/s (Voogt, 1989, b).

Literatuur

1. Voogt, L., 1989. Het rendement van een biologisch filter. Werkdokument DBW/RIZA 89.036X.
2. Voogt, L., 1989. Een dynamisch model van een biologisch filter. Werkdokument DBW/RIZA 89....X (in voorbereiding).
3. Vereeke, S., 1989. Maatgevend debiet Volkeraksluizen ten behoeve van rendement biologisch filter. Notitie AXW 89.034, Directie Zeeland.
4. Reeders, 1989. De driehoeksmossel Dreissena polymorpha als natuurlijk waterfilter - onderzoek naar mogelijkheden voor reductie van de verontreinigde sliblast bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer. DBW/Riza nota nr. 89.052.

Bijlage IX

Reductie van de vrachten micro-verontreinigingen door een biologisch filter bij de inlaat van het Volkerak-Zoommeer.

H.H. Reeders

1. Uitgangspunten

Het belang van een biologisch filter voor het Volkerak-Zoommeer, bestaande uit hangcultures driehoeksmosselen, wordt afgemeten aan het nuttig rendement : de reductie van de vrachten micro-verontreinigingen bij de inlaat (Volkeraksluizen). Vooralsnog wordt uitgegaan van de volgende karakteristieken van het filter:

- a. het gehele filter beslaat 100 modulen, netten van 8 x 300 m met een maaswijdte van 15 cm.
- b. de populatie-dichtheid driehoeksmosselen bedraagt 5000 stuks per m²; per module zijn dit 12 miljoen mosselen.
- c. op basis van onderzoek in 1988 aan de pseudofaecesproductie-capaciteit van de driehoeksmossel is een rekenmodel opgesteld voor het zuiverend vermogen van een populatie in relatie tot het zwevend slib gehalte : DBW/Riza notitie nr. 89.036X (L.Voogt).
- d. voor het bepalen van de hydraulische weerstand en het rendement van het filter wordt uitgegaan van 1 à 2 lagen mosselen rond de draad van het net.
- e. er wordt vanuit gegaan dat het huidige minimale spui-debiet door technische aanpassingen ten minste terug gebracht kan worden tot 20 m³/s (S. Vereeke : notitie Dir. Zeeland AXW 89.034).
- f. bij een spuidebiet van 18 m³/s bedraagt het rendement van verwijdering van zwevend stof door een volledig filter (100% contact met de waterstroom) 49% ; voor een partieel filter (80% contact met de waterstroom) is het rendement 40%. (berekening L. Voogt).

De vrachten micro-verontreinigingen worden berekend uit het gemiddelde debiet en concentraties bij de Volkeraksluizen resp. de Dintel (notitie E. Daemen, Dir. Zeeland). De werking van het filter berust op versnelde sedimentatie van zwevend slib met de daaraan gehechte stoffen. Alleen deze fractie wordt in beschouwing genomen, niet de opgeloste fractie micro-verontreinigingen. Het gemiddelde inlaat-debiet bij de Volkeraksluizen bedraagt 14 m³/s. De afvoer van de Dintel is gemiddeld 12 m³/s. De prognose voor de waterinlaat bij de Volkeraksluizen op de middel-lange termijn (1995) is een toename tot 18 m³/s vanwege een steiging in landbouw-watervoorziening. De afvoer van de Dintel blijft op termijn gelijk aan de huidige situatie.

2. Jaarlijkse hoeveelheid gesedimenteerde pseudofaeces

De jaarlijkse slibvracht welke bij de Volkeraksluizen het Volkerak-Zoommeer binnekomt, berekend uit het gemiddelde debiet (14 m³/s) en zwevend stof gehalte (12 mg/l), bedraagt 5.3*10⁶ kg/jaar. Het zuiverend rendement van een volledig filter is gesteld op 49%, zodat per jaar 2.6*10⁶ kg slib sedimenteert in de vorm van pseudofaeces. Indien voor de dichtheid van slib 1.5 wordt gehanteerd, betekent dit een volume van 1730 m³ per jaar. De bodem in de spuikom (1000 x 300 = 300000 m²) wordt hierdoor jaarlijks opgehoogd met 5.8 mm. Een partieel filter (rendement 40%) produceert jaarlijks 2.1*10⁶ kg pseudofaeces, ofwel 1415 m³ met een ophoging van de bodem van 4.7 mm.

3. Reductie vrachten microverontreinigingen

Op termijn dient rekening te worden gehouden met de uitwerking van het RAP/NAP op de vrachten micro-verontreinigingen. Bij de berekening van het nuttig rendement van het filter wordt onderscheid gemaakt tussen de huidige situatie en een gesaneerde situatie voor zowel Dintel als HV/HD (1995).

Tabel 1 geeft de vrachten micro-verontreinigingen uit het HV/HD resp. de Dintel bij de huidige situatie (inlaatdebiet Volkeraksluizen 14 m³/s, debiet Dintel 12 m³/s).

Tabel 2 geeft een prognose van de vrachten micro-verontreiniging ¹ bij effectuering van het RAP/NAP bij gelijkblijvende debieten, berekend op basis van de afname in totaal-concentratie van 1985 - 2000 bij scenario 2 (DHV-studie) en PAWN-gegevens per afwaterend district op het Volkerak-Zoommeer (notitie J. de Wit), ² bij een toename in landbouw-waterbehoefte (inlaatdebiet Volkeraksluizen 18 m³/s, debiet Dintel 12 m³/s) en ³ bij een combinatie van beiden (1 + 2).

Tabel 1. Totaal-vrachten micro-verontreinigingen (opgelost & geadsorbeerd aan slib) Volkerak-Zoommeer in g/dag (notitie E. Daemen). Totaalvracht is inclusief het schutverlies bij de Volkeraksluizen (2 m³/s).

Verbinding	Dintel	HV/HD (spui)	Totaalvracht
PCB-153	0.213	1.358	1.765
BaP	49.72	218.29	299.20
Lindaan	26.82	63.43	99.31
HCB	0.122	6.278	7.297
Cd	165.9	133.1	317.96

Tabel 2. Prognose vrachten micro-verontreinigingen Volkerak-Zoommeer in g/dag ¹ bij effectuering van het RAP/NAP en gelijkblijvende debieten, ² bij steigende landbouwwaterbehoefte zonder effecten van RAP/NAP, en ³ effectuering van RAP/NAP alsmede een steiging in landbouwwaterbehoefte (1 + 2). Totaalvracht is inclusief schutverlies bij de Volkeraksluizen (2 m³/s).

Verbinding	¹ effectuering RAP/NAP			² steigende landbouwwaterbehoefte			³ gecombineerde prognose (1 + 2)		
	Dintel	HV/HID	Totaal	Dintel	HV/HID	Totaal	Dintel	HV/HID	Totaal
PCB-153	0.170	0.564	0.815	0.213	1.746	2.153	0.170	0.725	0.976
BaP	39.78	104.1	158.76	49.72	280.66	361.56	39.78	133.85	188.51
Lindaan	14.75	31.72	51.0	26.82	81.55	117.43	14.75	40.78	60.06
HCB	0.098	2.511	2.968	0.122	8.07	9.09	0.098	3.229	3.685
Cd	91.25	57.22	156.64	165.9	171.1	356.0	91.25	73.57	173.0

De inkomende vracht micro-verontreinigingen bij de Volkeraksluizen wordt door het biologisch filter gereduceerd. Voor een "volledig filter" wordt een rendement gehanteerd van 49%, voor een "partieel filter" een rendement van 40% (zie boven). In Tabel 3 staat deze vrachtreductie in g/dag voor de huidige situatie alsmede de prognoses voor de drie bovengenoemde scenario's. Tevens wordt het rendement t.o.v. de totaalvracht naar het Volkerak-Zoommeer gegeven voor zowel een "volledig" als een "partieel" filter.

Het reductie-rendement van het filter zélf, ter plaatse van de inlaat bij de Volkeraksluizen, is het produkt van het fysisch rendement (49% resp. 40%) en de mate van hechting (bindings-%, stof-afhankelijk) aan zwevende stof :

	Volledig filter	Partieel filter
PCB-153	46.1%	37.6%
BaP	29.9%	24.4%
HCB	9.8%	8.0%
Cd	31.4%	25.6%
Lindaan	p.m.	p.m.

Tabel 3. Prognose reductie micro-verontreinigingen door een "volledig" resp. een "partieel" biologisch filter met een zuiverend rendement van 49% resp. 40%.

1 = onder de huidige omstandigheden

2 = bij effectuering van RAP/NAP, debieten gelijk aan de huidige omstandigheden

3 = bij steigende landbouw-waterbehoefte zonder effecten van RAP/NAP

4 = bij effectuering RAP/NAP alsmede een steigende landbouw-waterbehoefte

reductie in g/dag resp. % reductie t.o.v. de totaalvrucht naar het Volkerak-Zoommeer.

Verbinding	PCB-153	BaP	HCB	Cd	Lindaan
% gebonden bij 12 mg/l zw. stof	94	61	20	64	p.m.
Vrachtreductie :					
Volledig Filter					
1 g/dag	0.625	65.25	0.62	41.74	(0)
% reductie	35.4	21.8	8.4	13.1	(0)
2 g/dag	0.26	31.12	0.246	17.94	(0)
% reductie	31.9	19.6	8.3	11.5	(0)
3 g/dag	0.804	83.89	0.79	53.66	(0)
% reductie	37.4	23.2	8.7	15.1	(0)
4 g/dag	0.334	40.0	0.316	23.07	(0)
% reductie	34.2	21.2	8.6	13.3	(0)
Partieel Filter					
1 g/dag	0.51	53.26	0.502	34.07	(0)
% reductie	28.9	17.8	6.9	10.7	(0)
2 g/dag	0.212	25.4	0.201	14.65	(0)
% reductie	26.0	16.0	6.8	9.4	(0)
3 g/dag	0.656	68.48	0.646	43.80	(0)
% reductie	30.5	18.9	7.1	12.3	(0)
4 g/dag	0.273	32.66	0.258	18.83	(0)
% reductie	27.9	17.3	7.0	10.9	(0)

4. Discussie

Het rendement van een volledig filter is groter dan van een partieel filter. Voor de praktijk betekent dit dat gestreefd moet worden naar een zo volledig mogelijke afsluiting van de waterkolom door de hangcultures. Het % rendement hangt sterk af van de soort stof : het rendement is hoger bij stoffen die sterk aan zwevend stof zijn gehecht, zoals PCB's. Lindaan (γ -HCH) is grotendeels opgelost, zodat het filter hier geen vat op heeft.

Het % reductie t.o.v. de totale belasting van het Volkerak-Zoommeer verschilt weinig tussen de verschillende toekomst-scenario's. In absolute hoeveelheden uitgedrukt (g/dag) is de reductie het grootst indien de landbouw-waterbehoefte toeneemt en het RAP/NAP geen effect zou ressorteren (scenario 3). Onder de huidige omstandigheden zou de reductie groter zijn dan bij het scenario (nr. 4) waarbij een steigende landbouw-waterbehoefte gepaard gaat met een effectief RAP/NAP. Bij uitblijven van effecten van RAP/NAP op de waterkwaliteit is het belang van een biologisch filter groter.

Voor PCB-153 kan, onder de huidige aannames voor het filter, een reductie-rendement worden gehanteerd van 25-35%, voor BaP van ca. 20%, voor HCB van 5-10% en voor Cd 10-15%, t.o.v. de totaalvracht. Het rendement van het filter zélf, ter plaatse van de inlaat, ligt hoger, m.n. voor de Cd-vracht. Dit betekent dat het effect van het filter groter wordt naarmate het aandeel van de vrachten microverontreinigingen via de Volkeraksluizen groter is. Zo zou bij realisering van plannen voor de afleiding van de Mark naar het Hollandsch Diep een groter deel van de vracht verontreinigingen via het biologisch filter, dus gezuiverd, het Volkerak-Zoommeer binnenkomen. Dergelijke verschuivingen in vrachten kunnen het totale rendement van het filter vergroten.

Bij de berekening van de fysische aspecten van het rendement is een worst-case benadering toegepast. Hierbij is de culture-dichtheid gesteld op 5000 mosselen per m^2 . Recente resultaten van kolonisatie onderzoek tonen echter aan dat hogere dichtheden zijn te verwachten, met positieve gevolgen voor het rendement. De gehanteerde bindings-% voor micro-verontreinigingen bij een zwevend stof gehalte van 12 mg/l zijn maximale waarden, daar geen rekening is gehouden met DOC (Th.E.M. ten Hulscher). De gepresenteerde rendementen dienen als voorlopige schattingen te worden beschouwd, daar het nog onduidelijk is of en in hoeverre deze effecten elkaar opheffen.

Bijlage X - Verontreinigingsgraad pseudofaeces :

Anorganische micro-verontreinigingen in pseudofaeces van *Dreissena polymorpha* en centrifuge slib - Volkeraksluizen, 1988 (Reeders, 1989^c).

mg/kg ; * = g/kg

Stof	28-7-88		24-8-88		8-9-88		25-9-88		20-10-88		24-11-88		21-12-88	
	psf	slib	psf	slib	psf	slib	psf	slib	psf	slib	psf	slib	psf	slib
Chroom	126	117	157	138	135	118	114	122	145	125	162	158	169	116
Koper	100	109	129	112	93	105	86	106	112	123	122	123	105	96
Cadmium	8.6	8.5	12	9.8	8.1	8.2	7.7	9.1	11	9.6	10.6	10.7	8.9	8.3
Lood	196	170	227	187	215	193	182	170	217	194	235	206	176	163
Nikkel	47	49	56	54	53	51	40	47	52	47	56	56	56	53
Zink	962	788	960	858	765	754	741	795	989	868	1195	982	857	777
IJzer *	34.1	31.1	37.2	34.9	29.9	31.3	25.4	30.2	34.4	31.2	45.4	38.1	41.8	39.5
Kwik	1.7	1.6	1.9	2	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	1.2	1.2
Calcium *	56.7	48.9	39.9	51.7	49	40.7	52.1	41.2	43.5	49	50.9	51.4	53.0	56.7
Mangaan	3615	2964	1498	1394	4545	4407	2814	3187	2385	1771	1910	1557	1289	1167

Bijlage X - Verontreinigingsgraad pseudofaeces :

Organische micro-verontreinigingen in pseudofaeces van *Dreissena polymorpha* en centrifuge-slib - Volkeraksluizen, 1988 (Reeders, 1989^c).

PAK's mg/kg druge stof	28-7-88		24-8-88		25-9-88		20-10-88		24-11-88		21-12-88	
	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib
Naftaleen	*	0.25	*	*	0.08	*	0.08	0.03	0.03	*	*	*
Acenaftaleen	0.04	*	0.3	*	*	*	0.14	*	0.13	*	0.01	0.36
Acenaftyleen	*	*	0.04	0.04	*	*	*	*	*	*	0.34	0.03
Fluoreen	0.16	0.36	0.31	0.31	0.57	0.52	0.38	0.56	0.39	0.45	0.48	0.38
Anthraceen	0.29	0.39	0.52	0.55	0.58	0.49	0.68	0.62	0.82	0.59	0.57	0.55
Fenanthreen	0.27	0.36	0.48	0.46	0.54	0.46	0.5	0.46	0.58	0.47	0.42	0.42
Fluorantheen	0.68	1.07	1.29	1.2	1.4	1.2	1.5	1.4	1.5	1.5	1.8	1.9
Pyreen	0.72	1.07	1.21	1.2	1.5	1.4	1.5	1.4	1.8	1.5	1.8	2.1
Benzo[a]anthraceen	0.5	0.67	0.79	0.67	1	0.89	1.3	1.4	1.3	1.3	0.92	1
Chryseen	0.6	0.92	1.2	0.98	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
Benzo[b]fluorantheen	0.65	0.91	1.3	1.25	1.8	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4
Benzo[k]fluorantheen	0.24	0.36	0.43	0.44	0.46	0.4	0.6	0.58	0.61	0.59	0.76	0.77
Benzo[a]pyreen	0.72	1.05	1.1	1.2	1.4	1.2	1.8	1.8	1.9	1.8	2.4	2.5
Benzo[ghi]peryleen	*	0.04	0.04	*	0.03	0.16	0.1	0.26	0.12	0.14	0.07	0.27
Dibenzo[ah]anthraceen	0.62	0.72	0.97	1	1	0.94	1.3	1.3	1.6	1.3	1.2	1.8
Indeno[1,2,3-cd]pyreen	0.33	0.54	0.69	0.58	0.49	0.43	0.73	0.54	0.74	0.59	0.93	1.3

PCB's, OCB's & pesticiden µg/kg druge stof	28-7-88		24-8-88		25-9-88		20-10-88		24-11-88		21-12-88	
	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib
PCB-28	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PCB-52	28	31	28	28	35	30	36	32	35	36	18	22
PCB-101	37	41	44	40	40	42	42	36	41	45	26	27
PCB-118	31	32	37	32	36	34	37	36	40	39	25	25
PCB-138	60	63	75	66	69	64	67	64	69	68	50	48
PCB-153	47	53	61	56	56	50	49	47	49	52	41	38
PCB-180	31	29	37	57	34	31	36	36	39	48	23	24
HCB	27	27	27	26	27	27	27	*	29	*	27	28
QCB	15	14	17	16	18	18	14	19	*	*	15	*
Hexachloorbutadieen	8	8	11	10	7	8	7	8	8	10	10	8
α-HCH	7	*	8	9	*	*	5	7	6	10	9	9
β-HCH	*	*	*	*	*	*	3	*	6	*	*	*
γ-HCH	5	10	18	18	8	10	5	7	7	10	7	7
OCl-styr	3	4	*	5	18	*	4	6	5	6	6	*
t-H-epo	17	20	23	21	18	21	15	18	18	15	17	11
hepta	10	11	14	13	11	12	10	10	11	12	11	8
aldrin	4	5	*	5	*	6	4	4	4	*	6	6
dieldrin	16	18	14	19	13	13	13	12	12	13	16	10
isodrin	8	11	6	5	12	12	7	10	9	12	6	6
endrin	69	31	31	27	20	21	23	30	25	29	36	30
pp-DDT	23	*	18	*	20	*	13	19	26	21	9	27
pp-DDE	13	16	17	17	12	15	12	9	9	*	*	*
pp-DDD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
op-DDT	*	*	21	*	*	*	18	17	18	20	23	22

* = beneden de detectielimiet of niet geïdentificeerd.

Bijlage X - Verontreinigingsgraad pseudofaeces :

Organische micro-verontreinigingen in pseudofaeces van *Dreissena polymorpha* en centrifuge-slib op basis van het organisch C-gehalte. Volkeraksluizen, 1988 (Reeders, 1989°).

PAK's in mg/kg C	28-7-88		24-8-88		25-9-88		20-10-88		24-11-88		21-12-88	
	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib	psf.	slib
Naftaleen	*	2.60	*	*	1.37	*	1.52	0.48	0.61	*	*	*
Acenaftaleen	0.65	*	5.44	*	*	*	2.67	*	2.65	*	0.23	8.35
Acenaftyleen	*	*	0.73	0.65	*	*	*	*	*	*	7.85	0.70
Fluoreen	2.62	3.74	5.63	5.03	9.73	6.53	7.24	8.93	7.96	8.20	11.09	8.82
Anthraceen	4.75	4.05	9.44	8.93	9.90	6.16	12.95	9.89	16.73	10.75	13.16	12.76
Fenantreen	4.42	3.74	8.71	7.47	9.22	5.78	9.52	7.34	11.84	8.56	9.70	9.74
Fluorantheen	11.13	11.12	23.41	19.48	23.89	15.08	28.57	22.33	30.61	27.32	41.57	44.08
Pyreen	11.78	11.12	21.96	19.48	25.60	17.59	28.57	22.33	36.73	27.32	41.57	48.72
Benzo[a]anthraceen	8.18	6.96	14.34	10.88	17.06	11.18	24.76	22.33	26.53	23.68	21.25	23.20
Chryseen	9.82	9.56	21.78	15.91	20.48	15.08	24.76	20.73	28.57	25.50	32.33	34.80
Benzo[b]fluorantheen	10.64	9.46	23.59	20.29	30.72	13.82	24.76	20.73	28.57	27.32	32.33	32.48
Benzo[k]fluorantheen	3.93	3.74	7.80	7.14	7.85	5.03	11.43	9.25	12.45	10.75	17.55	17.87
Benzo[a]pyreen	11.78	10.91	19.96	19.48	23.89	15.08	34.29	28.71	38.78	32.79	55.43	58.00
Benzo[ghi]peryleen	*	0.42	0.73	*	0.51	2.01	1.90	4.15	2.45	2.55	1.62	6.26
Dibenzo[ah]anthraceen	10.15	7.48	17.60	16.23	17.06	11.81	24.76	20.73	32.65	23.68	27.71	41.76
Indeno[1,2,3-cd]pyreen	5.40	5.61	12.52	9.42	8.36	5.40	13.90	8.61	15.10	10.75	21.48	30.16

PCB's, OCB's en pesticiden in µg/kg C

PCB-28	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PCB-52	458.3	322.2	508.2	454.5	597.3	376.9	685.7	510.4	714.3	655.7	415.7	510.4
PCB-101	605.6	426.2	798.5	649.4	682.6	527.6	800.0	574.2	836.7	819.7	600.5	626.5
PCB-118	507.4	332.6	671.5	519.5	614.3	427.1	704.8	574.2	816.3	710.4	577.4	580.0
PCB-138	982.0	654.9	1361.2	1071.4	1177.5	804.0	1276.2	1020.7	1408.2	1238.6	1154.7	1113.7
PCB-153	769.2	550.9	1107.1	909.1	955.6	628.1	933.3	749.6	1000.0	947.2	946.9	881.7
PCB-180	507.4	301.5	671.5	925.3	580.2	389.4	685.7	574.2	795.9	874.3	531.2	556.8
HCB	441.9	280.7	490.0	422.1	460.8	339.2	514.3	*	591.8	*	623.6	649.7
QCB	245.5	145.5	308.5	259.7	307.2	226.1	266.7	303.0	*	*	346.4	*
Hexachloorbutadieen	130.9	83.2	199.6	162.3	119.5	100.5	133.3	127.6	163.3	182.1	230.9	185.6
α-HCH	114.6	*	145.2	146.1	*	*	95.2	111.6	122.4	182.1	207.9	208.8
β-HCH	*	*	*	*	*	*	57.1	*	122.4	*	*	*
γ-HCH	81.8	104.0	326.7	292.2	136.5	125.6	95.2	111.6	142.9	182.1	161.7	162.4
OC1-styr	49.1	41.6	*	81.2	307.2	*	76.2	95.7	102.0	109.3	138.6	*
t-II-epo	278.2	207.9	417.4	340.9	307.2	263.8	285.7	287.1	367.3	273.2	392.6	255.2
hepta	163.7	114.3	254.1	211.0	187.7	150.8	190.5	159.5	224.5	218.6	254.0	185.6
aldrin	65.5	52.0	*	81.2	*	75.4	76.2	63.8	81.6	*	138.6	139.2
dieldrin	261.9	187.1	254.1	308.4	221.8	163.3	247.6	191.4	244.9	236.8	369.5	232.0
isodrin	130.9	114.3	108.9	81.2	204.8	150.8	133.3	159.5	183.7	218.6	138.6	139.2
endrin	1129.3	322.2	562.6	438.3	341.3	263.8	438.1	478.5	510.2	528.2	831.4	696.1
pp-DDT	376.4	*	326.7	*	341.3	*	247.6	303.0	530.6	382.5	207.9	626.5
pp-DDE	212.8	166.3	308.5	276.0	204.8	188.4	228.6	143.5	183.7	*	*	*
pp-DDD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
op-DDT	*	*	381.1	*	*	*	342.9	271.1	367.3	364.3	531.2	510.4

Bijlage XI - Predatie van vogels en vissen op de driehoeksmossel-culture

E. Marteijn

Voor een schatting van de orde-grootte van de potentiële predatiedruk door vogels is een globale rekenexercitie uitgevoerd. Hiervoor zijn de volgende aannames gemaakt, die steeds op grond van "worst case-benadering" zijn gekozen :

- Kuifeend : periode oktober tot en met maart vormen Driehoeksmosselen 100 % van het menu, die rendabel worden opgedoken tot een diepte van ca. 3,5 m..
- Tafeleend : periode september tot en met maart vormen Driehoeksmosselen gemiddeld 50% van het menu, opgedoken tot ca. 3 m. diepte.
- Brilduiker : periode oktober tot en met maart vormen Driehoeksmosselen 50 % van het menu, die eveneens tot een diepte van ca. 3 m. worden opgedoken.
- Meerkoet : periode november tot en met maart vormen Driehoeksmosselen 75 % van het menu, opgedoken tot ca. 2,5 m..

Gezien het oppervlak van de spuikom en de aantallen vogels die momenteel in het Benedenrivierengebied aanwezig zijn is gerekend met een totaal aantal van 10.000 vogels (5000 Kuifeenden/ 2000 Meerkoeten/ 2000 Tafeleenden/1000 Brilduikers).

De dagelijkse energiebehoefte (in gr. nat vleesgewicht) is gesteld op $0,35 \cdot$ lichaamsgewicht (de Haan, 1987), en bedraagt ongeveer dezelfde orde van grootte als bij gebruik van de formules zoals die door Kersten & Piersma (1987) gedefinieerd zijn voor (grote) steltlopers. De betreffende vogelsoorten zijn nagenoeg even groot. Er is gerekend met een gemiddeld lichaamsgewicht van 700 gram voor alle soorten.

De voedselbehoefte van de 10.000 vogels voor de gehele verblijfsperiode (najaar/ winter/ voorjaar) bedraagt zodoende ca. 350 ton nat vleesgewicht. Voor de Driehoeksmosselen is aangenomen dat exemplaren tussen 5-25 mm als prooi in aanmerking komen (Slager, 1987; voor kuifeend). Als gemiddelde Driehoeksmossel is een mossel van 18 mm genomen (nat gewicht 80 mg; DW=16 mg; ADW=13 mg). De hoeveelheid benodigde Driehoeksmosselen in de verblijfsperiode bedraagt op deze manier ruim $4 \cdot 10^9$, rekening houdend met de eerder genoemde aantalsverhoudingen van de betreffende soorten en het aandeel van de driehoeksmossel in het menu. Daar het aantal driehoeksmosselen in het filter op zo'n $1,5 \cdot 10^9$ wordt geschat, bij de aanname dat de populatiedichtheid in de culture $5000 \cdot m^{-2}$ bedraagt, mag men concluderen dat predatie door vogels zeker een punt van aandacht dient te zijn bij de praktische opzet van een dergelijk filter.

Bovenstaand getal voor predatie is echter een uiterst maximum. Enige nuancering dient te worden aangebracht. Voor de Kuifeend geldt dat het duiken naar prooien op grotere diepten fysiologisch gezien mogelijk is, maar energetisch niet loont. Het is reëel dit ook voor de andere soorten aan te nemen. Gemiddeld mag men stellen, dat predatie van enige omvang alleen tot 3 meter diepte zal plaatsvinden. Uitgaande van een partieel filter, waarbij de net-modules 80 cm onder het wateroppervlak worden bevestigd i.v.m. ijsgang, en een diepte van 8 m betekent dit dat predatie alleen zal optreden in 2/7 deel van het filter. Bij een homogene dichtheid driehoeksmosselen op de netten over de gehele diepte kunnen zodoende ca. $0,45 \cdot 10^9$ mosselen in principe bloot staan aan predatie door vogels. Dit is een factor 10 kleiner dan het totaal benodigde aantal. Hierdoor is het te verwachten dat grote aantallen vogels slechts tijdelijk van het filter gebruik kunnen maken en moeten uitwijken naar het nabijgelegen Haringvliet waar reeds grote dichtheden driehoeksmosselen voorkomen, of dat kleinere aantallen voor langere tijd blijven.

Daarnaast geldt dat de mate van predatie behalve van de diepte ook van de wijze van bevestiging van de mossels afhangt. Grote kluiten mossels, die sterk aan elkaar gehecht zijn middels de byssus-draden worden aanzienlijk minder gegeten dan kleine kluitjes. Dit kan de predatie beperken van 90% tot veel minder dan 50% van wat maximaal mogelijk is (Slager, 1987). Dit alles geldt voor *bodemcultures*. Voor *hangcultures* zou de vatbaarheid van de mosselen voor predatie door vogels proefondervindelijk moeten worden vastgesteld. Kooiproeven lijken hiervoor de beste methode.

Afhankelijk van de resultaten van deze predatie-proeven moeten daarna de mogelijkheden van het voorkómen van predatie door vogels worden onderzocht. Dit kan het ontoegankelijk maken van het filter voor deze vogels zijn, maar ook het gebruik van diverse verjagingstechnieken.

Voor vis is het nog niet mogelijk een betrouwbare schatting te maken van de predatie op driehoeksmosselen. Predatie zal vooral plaatsvinden door blankvoorn >15 cm. Het is niet duidelijk over welke range de vis wordt aangetrokken door het driehoeksmossel-filter. Een aantalsschatting voor blankvoorn is derhalve problematisch.

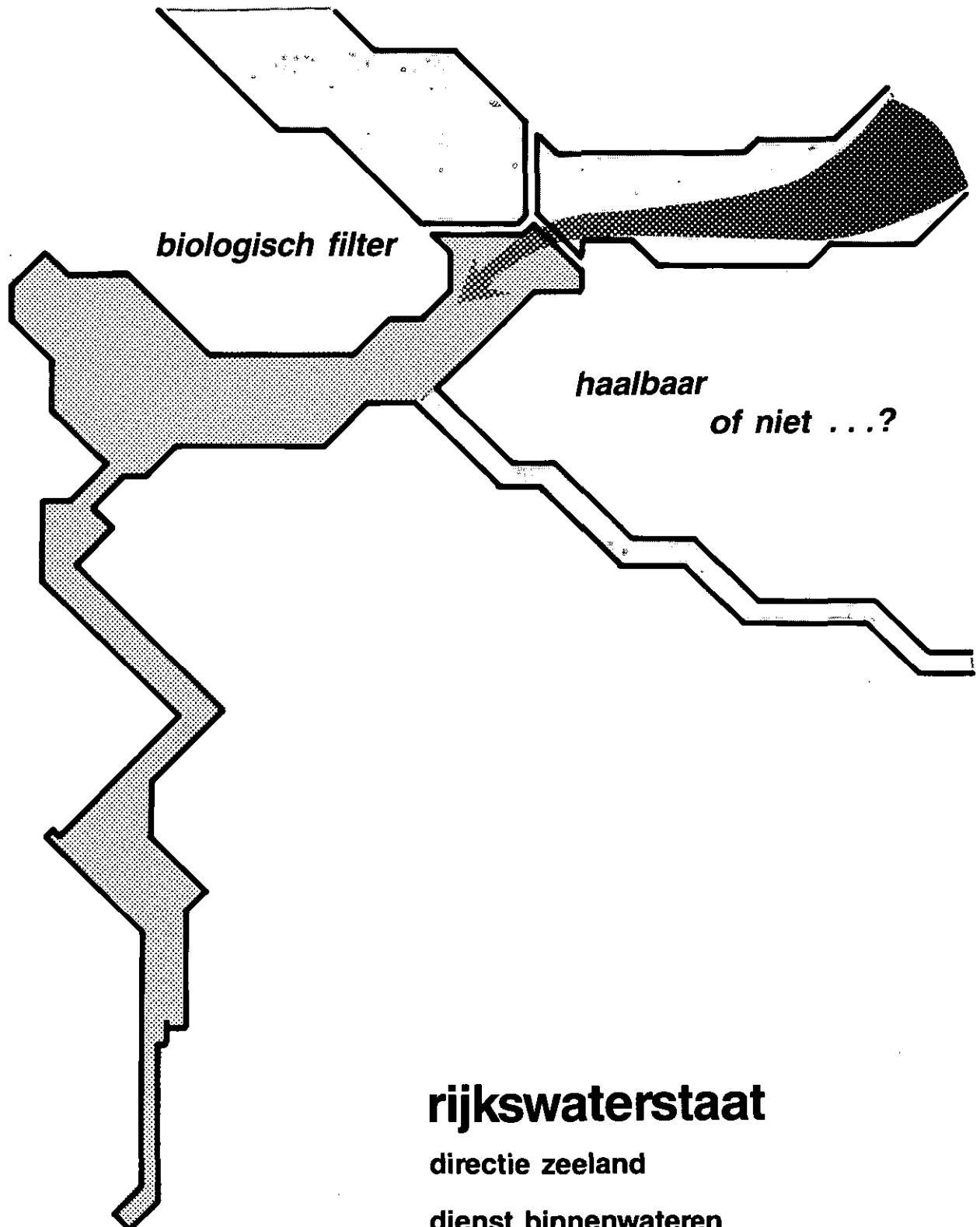
Literatuur

Haan M. de (1987) - Koolstofbalans van het Markermeer. DBW/Riza notitie 87.044X.

Kersten M. & T. Piersma (1987) - High levels of energy expenditure in shorebirds; metabolic adaptations to an energetic expensive way of life. *Ardea* 75, 175-187.

Slager B. (1987) - De beschikbaarheid van driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) voor duikeenden in het IJsselmeergebied. RIJP rapport 1988-36 cbw.

ACTIEF BEHEER ZOOMMEER



rijkswaterstaat

directie zeeland

dienst binnenwateren
riza

directie zuid-holland
