

Het Zweedse 'Reningsverk - Recipient' - projekt*

waarbij de kwaliteitsverbetering van een groot aantal meren wordt gevolgd nadat de fosfaatbelasting drastisch is gereduceerd

Inleiding

De Zweedse overheidsinstantie voor de uitvoering van het milieubeleid, Statens Naturvårdsverket, is in 1972 gestart met een omvangrijk projekt voor de bestudering van de invloed van chemische afvalwaterbehandeling (defosfatering) op het verloop van de waterkwaliteit van een groot aantal verschillende meren.

Centrale vraagstelling van dit zgn. 'Reningsverk-Recipient'-projekt (RR-projekt) is 'Wat levert defosfatering ons op voor de kwaliteit van het ontvangende water'.



I.R. S. H. HOSPER
Rijksinstituut voor Zuivering
van Afvalwater, Lelystad

Tevens zijn enkele meren in het projekt opgenomen waar de effluentlozingen volledig zijn gestopt.

In dit artikel wordt achtereenvolgens ingegaan op:

1. Eutrofiëringsbestrijding in Zweden.
2. Het Reningsverk-Recipient-projekt.
3. Het belang voor het waterkwaliteitsbeheer in Nederland.

Ten slotte volgt een overzicht van reeds verschenen publikaties m.b.t. het projekt.

1. Eutrofiëringsbestrijding in Zweden

Medio 1975 werd het afvalwater van ca. 60 % van de Zweedse urbane bevolking (d.w.z. kernen groter dan 200 inw.) gedefosfateerd in een kleine 600 installaties.

Diskussies over al of niet defosfateren beperken zich nu tot die gebieden waar rechtstreeks op de open zee kan worden geloosd (bijv. Göteborg). De belasting van het zoete Zweedse oppervlaktewater met fosfaten van huishoudelijke oorsprong is door deze maatregelen afgenomen van ca. 7000 ton P/j tot ca. 3500 ton P/j (vgl. Nederland ca. 18000 ton P/j, door konventionele zuivering afgenomen tot ca. 14000 ton P/j).

De snelle ontwikkeling van de 'derde trapszuivering' is op gang gekomen in het begin van de jaren 70, toen in de westerse landen een felle discussie gevoerd werd over vervanging van polyfosfaten in wasmiddelen. Mede omdat het onwaarschijnlijk was dat deze polyfosfaten snel zouden worden vervangen door bijv. NTA, heeft men in

Zweden de beslissing genomen onmiddellijk te starten met een groots opgezet programma voor de bouw van fosfaatverwijderingsinstallaties.

Opmerkelijk is dat dit besluit nauwelijks is voorafgegaan door uitgebreide studies van fosfaatbalansen en water-sedimentrelaties e.d. in de betreffende ontvangende wateren. De filosofie is simpel: Fosfor is in natuurlijke situaties het element dat in hoofdzaak de omvang van de algenproductie bepaalt. Terughouding van fosfaten in zuiveringsinstallaties moet daarom deel uitmaken van de strategie voor verantwoord waterkwaliteitsbeheer.

Dat de derde trapszuivering in Zweden zo'n grote vlucht heeft genomen kan op verschillende manieren worden verklaard:

1. De waterkwaliteit in de meren wordt in hoofdzaak bepaald door verontreiniging van zuiver lokale oorsprong via eenvoudig beheersbare puntlozingen. In Nederland is de situatie dikwijls veel complexer.

- Vrijwel alle meren in Zweden, zowel in het noorden als in het zuiden, zijn van nature voedselarm en zeer helder. De stroomgebieden waardoor de meren worden gevoed zijn relatief klein, de watertoevoer (dus ook de waterversing) is vooral in het drogere groeiseizoen en tijdens de vorstperiode gering, evenals de natuurlijke toevoer en afvoer van plantenvoedende stoffen. In een dergelijk meer heeft de introductie van een afvalwaterlozing ingrijpende gevolgen.

- In de verontreinigde d.w.z. sterk geëutrofiëerde meren in Zweden bedraagt het aandeel in de totale fosfaatbelasting van een enkele effluentlozing in vele gevallen meer dan 90 %. De bouw van een installatie met fosfaatverwijdering zal dus de belasting drastisch verlagen.

2. De Zweedse bevolking is opgegroeid met het natuurlijke gegeven van vele duizenden zeer heldere meren.

Door de lozing van afvalwater zijn er scherpe contrasten ontstaan. Binnen een en dezelfde gemeente komen naast elkaar voor meren met een natuurlijke waterkwaliteit en meren die geteisterd worden door massale bloei van blauwvieren, vissterfte en stank. Beide watertypen zijn van elkaar gescheiden omdat ze deel uitmaken van verschillende stroomgebieden of omdat ze zich bovenstrooms resp. benedenstrooms van een bepaalde lozing bevinden.

3. Het subsidiesysteem voor de bouw van zuiveringsinstallaties is zodanig dat de rijksbijdrage groter is, naarmate de zuivering uitgebreider wordt. Van 1968 - 1971 bedroegen deze subsidies 30 - 50 % van de bouwkosten, maar de afgelopen 3 jaar werd ter stimulering van de werkgelegenheid het rijksaandeel verhoogd tot max. 75 %.

2. Het 'Reningsverk-Recipient'-projekt

2.1. Doelstellingen

Het RR-projekt is erop gericht meer inzicht te verkrijgen in het herstelproces van verschillende watertypen, nadat bepaalde saneringsmaatregelen zijn getroffen (defosfatering of volledige afleiding van het effluent).

De doelstellingen kunnen als volgt worden geformuleerd:

- a. Vaststellen van de belasting met nutriënten en organische stof voor en na de introductie van chemische afvalwaterzuivering (of volledige afleiding van het effluent).

- b. Vaststellen van het aandeel van de effluentlozing in verhouding tot de belasting uit andere bronnen.

- c. Vaststellen van de fosfor- en stikstofbalansen voor de ontvangende meren en bestudering van de rol van het bodemslib (input/output, accumulatie).

- d. Onderzoek naar de veranderingen in de samenstelling van het fytoplankton. Vaststellen van het totale algenproducerend vermogen (Algal growth potential, zie 2.3.3) en van het relatieve belang van N en P als limiterende factoren (m.b.v. verrijkingsexperimenten).

- e. Het vaststellen van de tijd verstreken voordat

- de N- en P-koncentraties afnemen;

- de biomassa afneemt;

- het doorzicht groter wordt;

- een nieuw evenwicht tot stand is gekomen tussen de nieuwe nutriëntenbelasting en de nutriëntenconcentraties.

- f. Bestudering van de invloed van fosfor- en stikstofbelasting of het trofie-niveau (= mate van eutrofiëring) en hoe de veranderende belasting de waterkwaliteit beïnvloedt.

- g. Trachten vast te stellen of en onder welke omstandigheden het nodig is om stikstof uit het afvalwater te verwijderen om eutrofiëring te bestrijden.

2.2. Organisatie en omvang

In 1972 is gestart met het onderzoek van 18, in meerdere opzichten, verschillende typen meren (zie 2.4.) verspreid over vrijwel geheel Zweden, waarvan 15 gesaneerd zijn d.m.v. mech.-biolog. zuivering + defosfatering (meestal m.b.v. Al-sulfaat) en 3 d.m.v. een volledige afleiding van het effluent. Het programma is recent uitgebreid tot in totaal 25 meren. De werking van de zuiveringsinstallaties wordt kontinu gevolgd en de fosfor- en stikstofbelasting door deze installaties alsmede door de overige bronnen

* Verslag van een studiebezoek aan Dr. Curt Forsberg en medewerkers van Statens Naturvårdsverket (= National Environment Protection Board) gedetacheerd bij de Universiteit van Uppsala, op 25 en 26 augustus 1975.

(beken e.d.) wordt vastgesteld (input). Om de netto-belastingen te kunnen berekenen worden eveneens de uitstromende beken bemonsterd (output). Een overzicht van het volledige bemonsteringsprogramma, zoals gestart in 1972 is weergegeven in afb. 1. De vele werkzaamheden die moeten worden verricht, zowel ter plaatse als in de laboratoria zijn door Naturvårdsverket voor een groot deel uitbesteed aan diverse instanties. De bemonstering (meren, effluënten, beken) en de metingen ter plaatse (temperatuur, pH, doorzicht) worden uitgevoerd door de plaatselijke overheden. Het onderzoeksprogramma opgesplitst in 'Basisonderzoek' en 'Speciaalonderzoek' (zie tabel I en II) wordt uitgevoerd door resp. de Universiteit van Uppsala (Inst. voor plantenfysiologie) en het eigen onderzoekslaboratorium te Drottningholm.

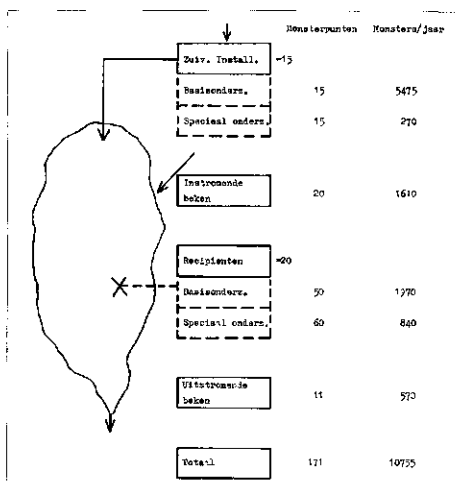
Uit het onderzoeksprogramma blijkt overigens dat verschillende belangrijke aspecten van de eutrofiëringsproblematiek niet nader worden beschouwd. Biologische studies als produktiviteitsmetingen, bodemfaunastudies en kartering van de hogere waterplanten worden niet uitgevoerd; voornamelijk omdat deze studies te arbeidsintensief zijn voor een dergelijk (in de breedte opgezet) project.

Voor de financiering van het project wordt jaarlijks ca. f 500.000,— beschikbaar gesteld.

2.3. Methodiek

Mede ten behoeve van het RR-project zijn een aantal nieuwe methodieken ontwikkeld, betrekking hebbende op de frekwente monsternamen en voorbehandeling van de monsters, de efficiënte 'monitoring' van effluënten en het meten van de zgn. 'Algal growth potential' van effluënten en oppervlaktewateren.

2.3.1. Monsternamen en voorbehandeling
Vooral in de sterk verontreinigde meren is een frekwente monsternamen noodzakelijk om de optredende fluktuaties te kunnen volgen. De frekwentie varieert binnen de meren van het project van 1 tot 7 keer per week. In de meeste meren wordt vanaf een boot bemonsterd. Met behulp van een



Afb. 1 - Schematisch overzicht van het bemonsteringsprogramma.

TABEL II - Speciaal onderzoek.

Hydrologie	— waterbalansen — verblijftijd
Stoftransport	— aandeel zuiveringsinstallaties in totale belasting met N, P en COD
Stofbalansen	— berekening van input, output en accumulatie van N, P en COD
Dieptevariaties	— N, P, O ₂ en COD in zomer en winter
Sedimentonderzoek	— uitwisselen tussen sediment en water, aandeel van het sediment in de totale belasting met N, P en COD.

speciale buis wordt op 3 - 5 plaatsen per meer een geïntegreerd monster genomen uit de bovenste 2 m (0 - 2 m) van het water. Na menging van deze monsters wordt hieraan 200 ml onttrokken, overgebracht in een 250 ml plastic container, onmiddellijk ingevroren (diepvries) en gekoeld vervoerd naar het laboratorium. Na snel ontdooien worden de monsters van de afzonderlijke dagen zodanig gemengd dat de analyses direkt een week- of maandgemiddelde geven.

Het invriezen en snel ontdooien blijkt de samenstelling van het water niet significant te beïnvloeden, ook niet voor die ionen die gemakkelijk vrijkomen uit algencellen als

PO₄³⁻, NO₃⁻ en NH₄⁺ (zie ook 3.2.). De invloed op het chlorophylgehalte is wellicht iets groter. Omdat frekwent monsternamen tijdrovend en duur is, heeft men getracht dit te vereenvoudigen. In drie meren bleek gebruik gemaakt te kunnen worden van het innamewerk van de plaatselijke waterleiding. Monsters genomen in het waterleidingbedrijf kwamen goed overeen met monsters die op de hierboven beschreven wijze zijn verzameld.

In een ander meer waar het noodzakelijk is om vaak te monsternamen (Ramsjön) is een speciale voorziening aangelegd. Van een diepte van 1 m op een representatief punt in het meer wordt door een 600 m lange plastic slang (b.d. 38 mm), die op de bodem is verankerd, continu water naar de wal gepompt (11 l/min). De slang komt uit in de zuiveringsinstallatie die aan de oever van het meer is gelegen, zodat de mensen die de installatie bedienen snel, moeiteloos en zeer frekwent monsters kunnen aftappen (de bemonstering van effluent en meer kost hier dagelijks slechts 4 min.). De chemische samenstelling van het water blijkt ondanks het pompen en het 600 m lange transport door de slang niet af te wijken van de op konventionele wijze verzamelde watermonsters. Van tijd tot tijd moet wel ter plaatse op het meer het doorzicht worden bepaald.

2.3.2. 'Minitest'

Bij de effluentcontrole van zuiveringsinstallaties legt Naturvårdsverket de grootste nadruk op het gehalte aan totaal-fosfaat en COD.

Bemonsterings- en analysefrekwentie van de effluënten zijn voorgeschreven en afhankelijk gesteld van het aantal aangesloten i.e.'s. Volgens voorschrift moet een installatie met een belasting van meer dan 20.000 i.e.'s continu en proportioneel het effluent bemonsternamen en eenmaal per week moet dit samengestelde monster worden geanalyseerd. Om monsternamen en transport van monsters te vergemakkelijken is er een nieuw bemonsterings- en analyseprogramma ontwikkeld dat werkt met uiterst kleine volumina, genaamd 'Minitest'. Deze methode wordt nu nog vrijwel alleen toegepast voor de zuiveringsinstallaties van het RR-project. Het 'monitoring'-programma voor de effluënten van de zuiveringsinstallaties die deel uitmaken van het RR-project verloopt als volgt.

Op de installaties worden continu en evenredig met het debiet (proportioneel) dagmonsters genomen. Na zorgvuldig mengen van het dagmonster wordt 4 ml overgebracht in een klein plastic (wegwerp-) buisje en ingevroren. Iedere maandag worden na ontdooien 7 dagmonsters per post verzonden naar het

TABEL I - Basisonderzoek.

	Effluënten	Beken	Meren
Frekwentie	continue proportioneel	1-2/week	1-7/week
Parameters	PO ₄ -P tot-P NO ₃ -N tot-N COD AGP*	PO ₄ -P tot-P NO ₃ -N tot-N COD	PO ₄ -P tot-P NH ₄ -N NO ₂ -N NO ₃ -N org-N COD pH geleid. temp.

TABEL III - Enkele achtergrondgegevens voor de meren van het RR-project.

(Zuiv. inst.)	Meer	Water opp. km ²	Lengte km	Breedte km	Volume m ³ · 10 ⁶	Max. diepte m	Gem. diepte m	Verblijftijd jaar	Stroom geb. opp.	Stroomgeb. wateropp.
(Rönninge)	Malmsjön	1,2	2,5	0,5	3,0	5,5	2,5	1	12,2	10:1
(Uppsala)	Uttran	3	5	1	15,7	16	5,3	5	21,3	7:1
(Gnesta)	Ekoln-Görväln	98	42	16	1094	50	11,1	1,2	3972	41:1
(Katrineholm)	Sillen	10,5	11	1,5	85,8	21	8,1	1	360	35:1
(Motala)	Djulösjön	1,3	1,7	0,7	7	12	5		1600	12:1*
(Nässjö)	Boren	28	12	4	170	12	6	0,2	6437	6:1+
(Växjö)	Ryssbysjön	2,8	2	1,5	5,7	3,1	2,1	0,2	97	35:1
(Växjö)	S. Bergundasjön	4,2	3,3	2	10,9	5,4	2,6	1	47	11:1
(Arvika)	N. Bergundasjön	2,1	3	1,3	6,9	4,7	3,3	0,5	56	27:1
(Molkom)	Kyrkviken	5,9	3	2,5	58,3	16	10	1	89	15:1
(Morgongava)	Molkomsjön	5,2	4	2,5	30,8	12	6	0,5	188,8	36:1
(Vikmanshyttan)	Ramsjön	0,4	1	0,5		3,5			3,6	9:1
(Storvik)	Gåran	0,14	0,8	0,3		3,1			25,8	184:1
(Själövad)	Glaningen	0,8	1,2	0,7		3			68,5	87:1
	Näsbyssjön	4,1	3	2	10,8	8,5	4,5		128	31:1
	Veckefjärden	2,4	2,8	1,3		8				
	S. Asvalltjärn	0,02	0,2	0,2		4			0,2	10:1
	Ala Lombolo	0,29	0,9	0,5	0,37	2	1			

* Exclusief het bovenste deel van het stroomgebied van de rivier Nyköpingsån.

+ Exclusief het stroomgebied van het meer Vättern.

laboratorium te Uppsala. Het volume van 4 ml wordt gebruikt voor analyse van AGP (0,2 ml, zie 2.3.3.), totaal-P (1 ml), PO₄-P (1 ml) en COD (1 ml). Het restant wordt gebruikt voor analyse van totaal-N na menging van de dagmonsters tot een maandmonster.

De meeste analyses worden uitgevoerd m.b.v. een auto-analyzer (Braun Systematik, Zeiss flow photometer, Bo Philip electronic en Addo-printer) met een capaciteit van 120 analyses per uur.

De op maandag verzonden monsters worden onderzocht op totaal-P, ortho-P en COD op dinsdagochtend. Dezelfde dag kunnen de beheerders van de installaties de resultaten telefonisch vernemen.

De methode die gebaseerd is op kleine volumina en conservering door invriezen, is getest t.a.v. het ortho-P-gehalte en het totaal-P gehalte. De effluentmonsters van zowel een biologische als biologisch-chemische installatie werden in 10-voud geanalyseerd. De analyses werden direct uitgevoerd (i), na invriezen en ontdooien (ii) en na invriezen, ontdooien en een dag onderweg met de post (iii). De resultaten geven aan dat het effluent homogeen genoeg is om met een klein monstervolume te kunnen werken. De spreiding in de uitkomsten is nl. zeer gering. Tevens blijkt dat invriezen, ontdooien en bewaren gedurende een dag het gehalte aan ortho-P en totaal-P niet significant verandert.

2.3.3. 'Algal growth potential'-test (AGP)

De AGP-test is ontwikkeld uit bestaande Amerikaanse algentest-methoden om op efficiënte en routinematige wijze het 'algenproducerend vermogen' te meten van effluënten en oppervlaktewateren. De bemestende capaciteit van effluënten kan op deze manier beter worden beoordeeld dan

op grond van uitsluitend chemische analyse van de nutriënten. Het effect van toxische of juist groeistimulerende bestanddelen in het effluent komt namelijk ook tot uitdrukking. Tevens is het mogelijk om de groei-beperkende factoren vast te stellen door aan de buisjes waarin de groei plaatsvindt bepaalde stoffen toe te voegen (N, P, sporenelementen, complexvormers voor binding van toxische metalen).

In het kort komt de methodiek hierop neer:

Effluënten: De groei vindt plaats in 5 cm lange plastic buisjes. Ongefiltreerd effluent wordt verdund tot 2,5% met een 'standaard'-recipient'-oplossing (imitatie voor ontvangend water, N en P beide limiterend) tot een totaal volume van 2,5 ml. De standaard-recipient bevat 5 verschillende soorten test-algen*, soorten die goed gedijen in verontreinigd water. Na inkubatie bij 21 °C en continue belichting (4300 lux, 1 x per dag schudden) wordt na verschillende perioden het algenvolume bepaald. Het volume wordt gemeten d.m.v. een elektronische deeltjes-teller (Cellescope 302) die in staat is om het aantal cellen te tellen in instelbare deeltjes-grootte klassen. Een geprogrammeerde tafelcomputer (Compucorp 445) geeft direct totaal-volume, gemiddeld volume en grootte-verdeling der cellen. Iedere test wordt in vier-voud uitgevoerd. Maat voor de AGP is het verschil in algenvolume tussen de buisjes met effluent en zonder effluent (dus alleen standaard-recipient) op het moment dat het aantal cellen maximaal is.

Oppervlaktewateren: Voor de algentest met oppervlaktewater wordt gebruik ge-

* *Euglena gracilis*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Oocystis submarina* (variabilis), *Scenedesmus quadricauda* en *Selenastrum capricornutum*.

maakt van gefiltreerd water. De test-alg is *Selenastrum capricornutum* en de AGP is de maximale hoeveelheid algen uitgedrukt in mm³/l die kan worden opgekweekt in het monster. Omdat er voor de *Selenastrum*-algen een goede correlatie blijkt te bestaan tussen algenvolume en chlorophyl-a concentratie kan de AGP ook worden uitgedrukt in µg/l chlorophyl-a. Het totale algenproducerend vermogen van het betreffende water is de som van AGP, uitgedrukt in µg/l chlorophyl-a en de werkelijk gemeten chlorophyl-a concentratie in het meer. Een hoge AGP duidt erop dat in het gefiltreerde meerwater nog een aanzienlijke voorraad voedingsstoffen voorhanden is die pas opgenomen wordt als de omstandigheden voor groei in alle opzichten optimaal zijn. In sterk verontreinigde wateren (in Nederland bijv. Eem- en Gooimeer) zijn niet de nutriënten N en P beperkend maar andere factoren zoals lichtintensiteit. Het gevolg is dat er een voorraad aan opgeloste N- en P-verbindingen wordt gevormd in het water.

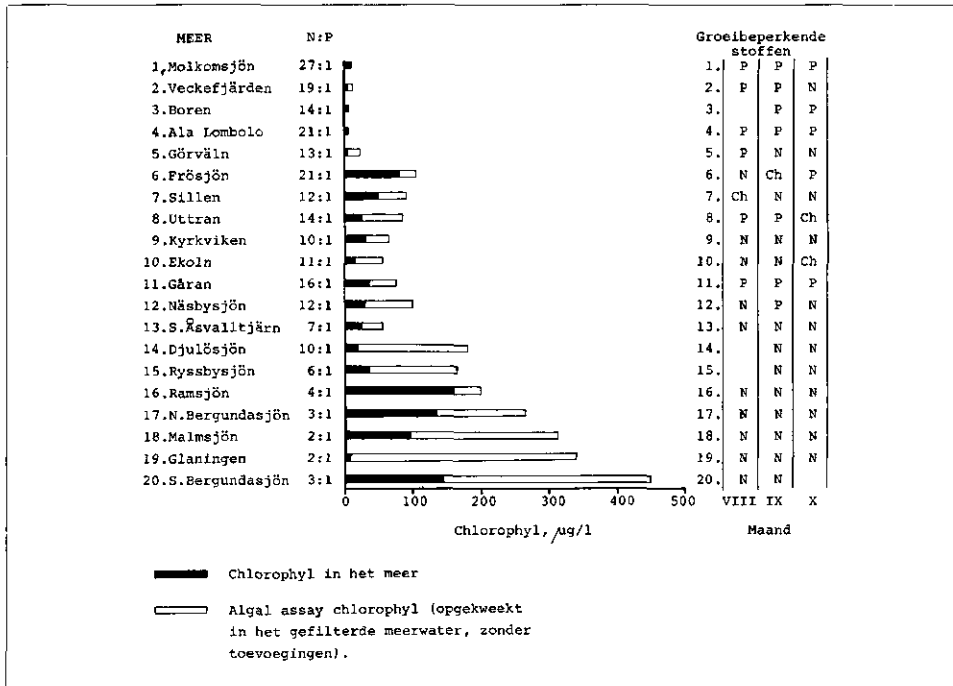
2.4. Achtergrondgegevens en voorlopige resultaten

Voor het bestuderen van het herstelproces dat optreedt na sanering van het oppervlaktewater, moet een groot aantal basisgegevens over de betreffende meren bekend zijn. Voor het project is het van belang dat de meren die onderzocht worden verschillend van karakter zijn, zodat de resultaten meer algemeen van belang zijn. In tabel III zijn een aantal basisgegevens van de meren van het RR-project weergegeven. Waterkwaliteitsgegevens van de meren verzameld van augustus - oktober 1972 staan vermeld in tabel IV. In afb. 2 staan voor dezelfde periode weergegeven de N/P-verhouding, het

TABEL IV - Waterkwaliteit van de meren van het RR-projekt.

Meer	Bemonsterings- periode	Aantal monsterdagen	Zichtdiepte m	Temp. °C	pH	Geleid. µmho	Tot-N mg/l	Tot-P mg/l	N:P	Zwev. stof mg/l	COD mg O ₂ /l	Chlorophyl µg/l
S. Bergundasjön	2/8— 6/10	27	0,4	16	9,1	282	3,250	1,200	3:1	50	67	146
Glaningen	9/8—29/10	65	1,5	12	7,7	113	2,000	0,990	2:1	20	42	9
Malmsjön	2/8—29/10	38	0,4	14	9,3	267	2,020	0,830	2:1	70	67	96
N. Bergundasjön	2/8— 6/10	27	0,4	16	9,1	244	2,360	0,790	3:1	40	52	138
Ramsjön	1/8—29/10	67	0,5	10	8,3	186	1,840	0,500	4:1	24	68	162
Ryssbysjön	20/9—13/10	11	0,7	9	7,9	131	1,620	0,296	6:1	16	54	41
Djulösjön	20/9—30/10	18	1,7	10	7,7	149	1,310	0,134	10:1	7	33	20
S. Asvalltjärn	1/8—18/10	38	1,8	8	7,2	43	0,810	0,123	7:1	10	30	25
Näsbyssjön	1/8—31/10	67	0,7	12	7,3	61	1,060	0,086	12:1	21	44	29
Gäran	1/8—30/10	56	1,2	12	8,0	111	1,290	0,082	16:1	12	37	38
Ekoln	1/8—29/10	73	1,9	14	8,7	340	0,860	0,078	11:1	9	29	15
Kyrkviken	2/8— 6/10	20	2,2	14	8,1	70	0,670	0,070	10:1	7	24	30
Uttran	1/8—30/10	85	1,5	12	8,4	228	0,950	0,068	14:1	12	30	23
Sillen	1/8—30/10	55	1,0	14	9,0	177	0,800	0,066	12:1	9	26	46
Frösjön	2/8—30/10	39	0,8	13	9,0	173	1,140	0,054	21:1	13	37	83
Görvåln	14/8—30/10	33	3,4	15	8,2	194	0,570	0,043	13:1	7	22	4
Ala Lombolo	3/8—16/10	24	> 2	7	8,0	392	0,680	0,032	21:1	9	20	6
Boren	1/9—30/10	27	1,4	13	8,1	104	0,370	0,027	14:1	13	14	8
Veckefjärden	1/8—27/10	64	2,1	12	6,9	39	0,470	0,025	19:1	10	19	5
Molkomsjön	2/8—30/10	52	2,0	14	7,4	55	0,430	0,016	27:1	5	11	10

Gemiddelden voor de aangegeven periode, frekwentie 3 - 5 maal per week. De meren zijn gerangschikt volgens afnemend tot-P gehalte.



Afb. 2 - De ratio tot-N : tot-P, chlorophyl-a en groeibeperkende stoffen (verrijkingsexp.), augustus-oktober 1972, bovenste water 0-2 m. De meren zijn gerangschikt volgens toenemend tot-P gehalte. Test-alg *Selenastrum capricornutum*.

chlorophylgehalte van het meer, het chlorophylgehalte dat opgekweekt kan worden in gefiltreerd water (AGP) en de groeibeperkende stoffen onder laboratoriumcondities (N, P en Ch, chelaatvormende stoffen voor binding van toxische metalen).

De meest verontreinigde meren zijn Södra Bergundasjön, Glaningen, Malmsjön, Norra, Bergundasjön en Ryssbysjön. Deze meren zijn tevens tamelijk ondiep (gem. 2 - 4 m) en daarom beter vergelijkbaar met Nederlandse wateren. De N/P-verhouding in deze meren is zeer laag a.g.v. de relatief hoge P-belasting door ongezuiverd of biologisch

gezuiverd afvalwater. Onder de ideale groeiomstandigheden op het laboratorium blijkt N hier de beperkende factor te zijn niet P of toxische stoffen. Zoals blijkt uit de grote hoeveelheid chlorophyl die opgekweekt kan worden in het gefiltreerde water van deze meren wordt in werkelijkheid de groei niet beperkt door bepaalde voedingsstoffen maar door andere factoren die op het laboratorium geen rol spelen, zoals lichtvoorziening en graas door dierlijk plankton.

De weinig verontreinigde wateren (Molkomsjön, Veckefjärden, Boren, Ala Lombolo)

hebben een betrekkelijk hoge N/P-verhouding, het chlorophylgehalte is laag, het doorzicht groot en de AGP levert vrijwel geen chlorophyl op. In deze wateren wordt de algenproductie werkelijk door de nutriëntenconcentratie beperkt. Fosfaat is hier meestal de beperkende factor. Gegevens over de periode na 1972 zijn nog nauwelijks verwerkt, zodat in dit stadium weinig kan worden meegedeeld over het verloop van de waterkwaliteit nadat de defosfatering is gestart. In een aantal gevallen is de defosfatering van het afvalwater ook pas zeer recent van start gegaan. Over de situatie in het sterk verontreinigde Ramsjön kan iets meer worden verteld. Dit meer is tot begin 1973 belast met ca. 6 g P/m² . jaar, waarvan iets meer dan de helft afkomstig is van de restbelasting door de zuiveringsinstallatie. Tabel V demonstreert de afname van gem. en max. chlorophyl en totaal-P. Deze afname kan behalve door de verminderde P-belasting niet verklaard worden door verschillen in lichtintensiteit, temperatuur of neerslag tussen beide jaren.

TABEL V - Maximum en gemiddelde waarden voor fosfaat en chlorophyl-a. Ramsjön. 1972, 1973. Bovenste water 0 - 2 m.

Jaar	maximum		gemiddelde	
	tot-P mg/l	chlof. µg/l	tot-P mg/l	chlof. µg/l
1972	0,96	258	0,66	153
1973	0,51	181	0,35	123

De verwachting bestaat dat bepaalde meren die gedurende lange tijd zwaar zijn belast zich uiterst langzaam zullen herstellen. Het meer S. Bergundasjön bijv. (4,2 km², verblijftijd 1 j.) is sinds 1927 belast met vnl. huishoudelijk afvalwater van de stad Växjö (nu 80.000 inw.). Sinds 1974 wordt

er helemaal niet meer op geloofd. De fosfaatbelasting is gereduceerd met 98 % maar de interne belasting vanuit de dikke laag bodemslib zal een verbetering van de waterkwaliteit mogelijk nog tientallen jaren in de weg staan. De belangrijkste oorzaak hiervan is het gebrek aan doorspoeling. Vooral in de zomermaanden wanneer de totaal-P-koncentratie hoog is, is de verversing en dus de afvoer gering. Het kringloop-systeem van fosfaat is vrijwel gesloten, input en output zijn zeer klein.

3. Belang voor het waterkwaliteitsbeheer in Nederland

Het Zweedse RR-project waarin de relatie fosfaatbelasting - waterkwaliteit onder de natuurlijke omstandigheden wordt bestudeerd bevat tal van aspecten die ook voor de Nederlandse situatie van belang zijn. Dit geldt zowel voor de toegepaste methodieken als voor de kennis die verzameld wordt over het herstelproces in verschillende typen meren.

1. Bemonstering van oppervlaktewater

Het Zweedse idee om gebruik te maken van bestaande faciliteiten (drinkwater-innamewerken, zuiv. inst. aan de oevers) teneinde tegen geringe kosten toch zeer frekwent te kunnen monstereën, kan plaatselijk ook voor Nederland van belang zijn. Zo zal het water dat vrijwel dagelijks de spuisluisen in de Afsluitdijk passeert representatief zijn voor een deel van het noordelijk IJsselmeer. Vergelijkend onderzoek moet uitwijzen in hoeverre dit het geval is. Op deze wijze wordt tevens een voor balansstudies (input/output) belangrijke koppeling gelegd tussen kwantiteit (in- en uitlaatdebieten) en kwaliteit.

2. Invriezen van monsters

In Zweden heeft men gunstige ervaringen met het invriezen van watermonsters. Het invries- en ontdooiproces heeft geen noemenswaardige invloed op de samenstelling van het monster. De snelheid van het ontdooiproces blijkt zeer belangrijk te zijn. De beste methode is snel ontdooien onder heet stromend water. Dit schept de mogelijkheid om de monsters gedurende bepaalde tijd op te slaan zodat (i) de analyse tot het gewenste moment kan worden uitgesteld en tevens (ii) mengmonsters kunnen worden samengesteld van de afzonderlijke monsters uit een zekere periode (bijv. iedere week monstereën en eenmaal per maand samenvoegen en analyseren). Deze laatste mogelijkheid spaart analysecapaciteit uit, terwijl wel een verantwoord gemiddelde van een bepaalde periode wordt verkregen.

3. Monitoring van effluenten ('Minitest')

In een groot land als Zweden is de 'Mini-

test' voor de controle van effluenten een uitkomst. Verspreid over het gehele land zijn momenteel ca. 1600 zuiveringsinstallaties in bedrijf voor 8 miljoen inwoners. Er wordt gewerkt met slechts enkele ml's water, het invriezen gaat dus snel en het transport naar een dikwijls ver weg gelegen laboratorium is goedkoop (per post). Het nadeel dat alleen de belangrijkste parameters kunnen worden geanalyseerd wordt op de koop toe genomen.

In Nederland is het transportprobleem minder belangrijk omdat de belangrijkste waterkwaliteitsbeheerders beschikken over een eigen laboratorium. Plaatselijk zal in Nederland de bemonstering van effluenten wel aanzienlijk moeten verbeteren. Vooral in verband met de toekomstige gedetailleerde balansstudies (P-, N-balansen) van wateren die gevoelig zijn voor eutrofiëring, dus meren en plassen, is het noodzakelijk dat de grotere installaties (in Zweden > 20.000 i.e.) beschikken over automatische bemonsteringsapparatuur (kontinu en proportioneel).

4. 'Algal growth potential'-test (AGP)

Het uitvoeren van algentesten zoals hierboven is beschreven in effluenten en oppervlaktewateren vereist kostbare apparatuur en gespecialiseerd personeel. In het kader van de eutrofiëeringsbestrijding is het m.i. op dit moment belangrijker een gedetailleerde kennis te verkrijgen van fosfaat- en stikstofhuishouding in relatie tot de werkelijk optredende algenconcentraties in het water. Het 'algenproducerend vermogen' van oppervlaktewater en de door middel van verrijgingsproeven gevonden beperkende factoren zijn nogal theoretisch van aard. In sterk verontreinigde (d.w.z. sterk bemeste) oppervlaktewateren zijn er andere factoren die de groei beperken zoals duidelijk blijkt uit afb. 4: in het gefiltreerde meerwater kan op het laboratorium nog een aanzienlijke hoeveelheid algen worden opgekweekt. Het feit dat dit in de natuur niet gebeurt kan alleen maar worden toegeschreven aan groeibeperkende factoren die op het laboratorium geen maar in de natuur wel een rol spelen.

5. Resultaten van het project

In Zweden zullen een groot aantal, voorheen meer of minder zwaar belaste meren een kwaliteitsverbetering ondergaan omdat de fosfaatbelasting sterk is afgenomen.

De vraag hier is in hoeverre de Zweedse resultaten van dit herstelproces geldig zijn voor de situatie in de Nederlandse plassen en meren.

Het verloop van de optredende kwaliteitsverbetering zal in het algemeen afhangen van de volgende factoren:

- morfometrie van het meer (diepte, grootte, vorm);
- hydrologie (waterverversing, verblijftijd, waterbeweging);
- klimatologie (temperatuur, neerslaghoeveelheid en verdeling over het jaar, expositie t.o.v. wind);
- belasting vóór en na sanering;
- aard van het bodemslib (interne belasting);
- groeibeperkende factoren vóór de sanering (in wateren waar voor sanering een overschot aan fosfaat aanwezig is en een gebrek aan bijvoorbeeld nitraat zal verlaging van de fosfaatbelasting niet direct leiden tot verminderde algengroei).

De weinig of niet-verontreinigde meren in Zweden wijken aanzienlijk af van de Nederlandse plassen en meren, maar naarmate de verontreiniging toeneemt wordt vooral in de ondiepe meren het verschil steeds kleiner. Het karakter van het meer wordt tenslotte vrijwel geheel bepaald door de 'masterfactor' waterverontreiniging en deze faktor wijkt wat betreft aard en omvang op vele plaatsen in Zweden niet af van die in Nederland. De tot voor kort zwaar belaste meren van het RR-project (Ramsjön, S. Bergundäsjön, N. Bergundäsjön, Malmsjön en Ryssbysjön) met een gemiddelde diepte van 2-4 m zijn sterk geëutrofiëerd en vertonen eenzelfde karakter als vele Nederlandse wateren: langdurig opbloeien van blauwwieren als *Oscillatoria* en *Microcystis*, een zichtdiepte van enkele dm's en chlorophylconcentraties vergelijkbaar met die in de randmeren. Uit de algentesten is gebleken dat in deze meren in het gefiltreerde water nog grote hoeveelheden algen kunnen worden opgekweekt (afb. 3). De voedingsstoffen beperken kennelijk niet de produktie. Vooral in de Zuidelijke Randmeren treft men dit ook aan: zelfs tijdens algen opbloeien in de zomer blijft er nog een aanzienlijke voorraad aan orthofosfaat en nitraat in het water aanwezig. Andere factoren voorkomen een vergroting van de algenmassa.

Het herstelproces in de sterk geëutrofiëerde ondiepe Zweedse meren heeft te kampen met een aantal ongunstige factoren die i.h.a. in Nederland minder een rol spelen. Het probleem is dat de doorspoeling en dus ook de afvoer van P vaak zeer gering is, vooral in het droge zomerhalfjaar wanneer de totaal-P concentraties meestal hoog zijn (zie ook 2.4.). De effluentlozing in Södra Bergundäsjön bijvoorbeeld was verantwoordelijk voor bijna de helft van het gemiddelde doorstroomdebiet. In de wintermaanden stopt de waterverversing ook vrijwel geheel als gevolg van

sneeuwval en ijsbedekking (in midden-Zweden gemiddeld 3 maanden per jaar), terwijl in Nederland de afvoer van fosfaat juist in die periode aanzienlijk kan zijn door opgewerveld bodemslib onder invloed van wind in combinatie met hoge afvoeren.

Deze wateren die vaak vele tientallen jaren zijn belast met afvalwater hebben een laag 'kultuur'-slib op de bodem van enkele dm's. Een snel herstel van de waterkwaliteit in dergelijke gevallen is alleen mogelijk als de enorme interne fosfaatbelasting wordt verkleind door wegbaggeren van het slib. Konkluderend kan worden gesteld dat diverse meren van het RR-project ten aanzien van waterkwaliteit en morfometrie van het bekken vergelijkbaar zijn met een groot aantal Nederlandse wateren, maar dat door hydrologische (en klimatologische) verschillen het bodemslib in Zweden langer een ongunstige werking op de waterkwaliteit zal blijven uitoefenen. Daar staat tegenover dat in Zweden de mogelijkheden om de externe fosfaattoevoer drastisch te beperken, veel gunstiger zijn. In veel Nederlandse wateren is het aandeel van de min of meer diffuse, moeilijk beheersbare fosfaatbelasting groter (invloed Rijn, gierlozing en mestdumping door bioindustrie).

Benadrukt moet worden dat het uiteindelijke doel van het herstelproces is, het terugbrengen van de oude natuurlijke situatie. Dit betekent dat men in Zweden in het algemeen streeft naar voedselarme situaties met zeer helder water en weinig oeverbegroeiing.

In Nederland moet, vanwege de natuurlijke voedselrijkdom vooral in het lage deel van het land, het streven worden gericht op evenwichtige, matig voedselrijke milieu's. En de fosfaatbelasting van deze milieu's kan, indien het mogelijk is hier een betrouwbare schatting van te maken, dienen als richtlijn. Voor het Veluwemeer betekent dit bijv. dat de belasting uit de periode 1957-1963 moet worden nagestreefd. De huidige belasting van ca. 3 - 4 g P per m² per jaar zal moeten worden verminderd tot ruwweg 0,5 - 1 g P per m² per jaar. Na verloop van tijd zal dan weer de situatie terug moeten komen, naar aanleiding waarvan Leentvaar, weliswaar net te laat, de opmerking maakte 'Wat precies de oorzaak is van de geringe groei van plankton in het Veluwemeer zou nog eens precies moeten worden nagegaan' (De Waterkampioen, 5 jan. 1966).

4. Publikaties

Hieronder in chronologische volgorde een lijst van publikaties die van belang zijn voor een eventuele nadere bestudering van het 'Reningsverk-Recipient' project.

1. Forsberg, C., Forsberg, A., *Algal Growth*

Potential-test improves sewage effluent control. Ambio 1, 1, 1972, 26-29.

2. Forsberg, C., Hawerman, B., Ulmgren, L., *A programme for studies of the recovery of polluted lakes.* Vatten 2.72.

3. Forsberg, C., *Naturvårdsverkets RR-undersökning.* 1. Naturvårdsverkets undersökning över återhämtningsförloppet hos sjöar som avlastas föroreningar - RR - (Reningsverk-Recipient) - undersökningen. - Målsättning, Organisation och omfattning. Vatten 4.73.

4. Forsberg, C., Ryding, S. O., *Naturvårdsverkets RR-undersökning.* 2. Ytvattenkvaliteten i RR-undersökningens sjöar, Augusti-Oktober, 1972. Vatten 4.73.

5. Forsberg, C., Claesson, A., *Naturvårdsverkets RR-undersökning.* 3. Algtest med vatten från RR-undersökningens sjöar Augusti-Oktober 1972. Vatten 1.74.

6. Forsberg, C., Ryding, S. O., Höglund, L., *Naturvårdsverkets RR-undersökning.* 4. Recipientkontroll med provtagning på land. Vatten 30: 218-222, 1974.

7. Edberg, N., Ryding, S. O., *Naturvårdsverkets RR-undersökning.* 5. Specialundersökningarna. Vatten 2.74.

8. Forsberg, C., *Zentrale Nährstoffeliminierung im Rahmen der Abwasserbehandlung zur Sanierung schwedischer Seen.* Gewässerschutz-Wasser-Abwasser. Band 17, 1974, 515 S.

9. Forsberg, C., Ryding, S. O., Claesson, A., *Recovery of polluted lakes.* A Swedish research program on the effect of advanced waste water treatment and sewage diversion. Water Res. 9, 1, p. 51-59, 1975.

10. Claesson, A., Ryding, S. O., *Nitrogen — A growth limiting nutrient in eutrophic lakes.* IAWPR-Conference on nitrogen as a water-pollutant, Copenhagen, August 1975.

11. Journal Water Pollution Control Federation, April 1975. A look at Sweden's Program.

