Het DeltaWat model: Prognose van de Waterkwaliteit in de Rijn

Samenvatting

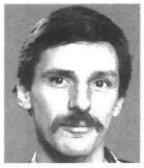
De Rijnoeverstaten hebben vanaf 1950 samengewerkt in de Internationale Rijn Commissie om te komen tot een verbetering van de waterkwaliteit van de Rijn door enerzijds emissiereducties van prioritaire stoffen en anderzijds het stellen van waterkwaliteitsdoelen die op een bepaalde termijn gehaald moeten worden. Bij het stellen van prognoses, alsmede het evalueren van de huidige of recente situaties, is het van belang relaties te kunnen leggen tussen emissiereducties en resulterende waterkwaliteit. Het DeltaWat modelinstrumentarium legt deze relaties op basis van stroomgebiedswijde emissiemodellen voor diverse stoffen en een geïntegreerd waterkwaliteitsmodel voor de rivier en de rivierbodem. In dit waterkwaliteitsmodel is de voorspelling van stofconcentraties gekoppeld aan de voorspelling van drie functionele groepen van algen. Hierdoor ontstaat een koppeling tussen (voorgenomen) nutriëntenscenario's en de beschikbaarheid van contaminanten. Een gevolg is o.a., dat een nutriëntenreductiescenario leidt tot een toegenomen concentratie van aan particulair materiaal geadsorbeerd cadmium, waarvoor een separate kwaliteitsdoelstelling bestaat. Voor een aantal stoffen (Totaal P, Ammonium, Cadmium en Lindaan) worden dergelijke analyses uitgevoerd en de resultaten ruimtelijk weergegeven. Niet altijd lijken de kwaliteitsdoelstellingen in het jaar 2000 bij de voorgenomen nutriëntenscenario's gehaald te zullen worden.



T. ALDENBERG
RIVM



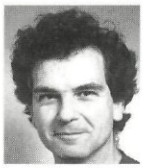
P. J. T. M. VAN PUIJENBROEK
RIVM



J. M. KNOOP
RIVM



P. R. G. KRAMER
RIVM



F. G. WORTELBOER
RIVM



G. M. VAN DIJK
RIVM

Inleiding

Het nationale en internationale beleid en beheer van de Rijn heeft als hoofddoelstelling: ecologisch herstel van het Rijnecosysteem. De belangrijkste factoren die daarbij een knelpunt vormen zijn de waterkwaliteit, enerzijds, en de algehele hydrologische en geomorfologische condities, die de omvang en de kwaliteit van habitats voor verschillende organismen bepalen, anderzijds.

Vanaf 1950 hebben de Rijnoeverstaten samengewerkt in de Internationale Rijn Commissie (IRC) om te kunnen komen tot een verbetering van de waterkwaliteit [Ruchay, 1995; Malle, 1996]. In 1987 werd overeengekomen de emissies van stoffen in 1995 met 50% te reduceren ten opzichte van die in 1985 en in 1993 zijn voor een vijftigtal prioritaire stoffen waterkwaliteitsnormen vastgesteld, aangeduid met de Duitse term *Zielvorgaben*. Dit zijn waterkwaliteitsniveaus die omstreeks 2000 in de Rijn bereikt zouden moeten zijn en waaraan de inspanningen tot het terugdringen van verontreiniging getoetst worden.

In 1993 was dit niveau voor een groot deel van de prioritaire stoffen overigens al gerealiseerd [IRC, 1994]. De onderzoeksresultaten over het ecologisch herstel tot 1992 zijn beschreven door Van Dijk en Marteijn [1993].

Met het voor een groot deel realiseren van de waterkwaliteitsdoelstellingen rijst de vraag in hoeverre de geformuleerde doelstellingen voor waterkwaliteitverbetering (emissiereducties en waterkwaliteitsdoelstellingen) ook een daadwerkelijk ecologisch herstel garanderen, en op welke termijn. Beantwoording van deze vraag vereist inzicht in de relaties tussen emissies van stoffen, omzettingsprocessen, concentraties in het water en de effecten op het rivierecosysteem. Voor het uitvoeren van een dergelijke complexe analyse vormen mathematische modellen een belangrijk hulpmiddel.

In dit artikel wordt in het kort het model DeltaWat gepresenteerd, dat een bijdrage aan een dergelijke analyse kan vormen. Ook worden enkele resultaten van het model gepresenteerd en een schets van de gebruiksmogelijkheden.

Het model DeltaWat

Doel van de ontwikkeling van DeltaWat is te komen tot een geïntegreerd model voor de voorspelling van het lot en het effect van nutriënten en toxische stoffen in de Rijn en voor rivieren in het algemeen.

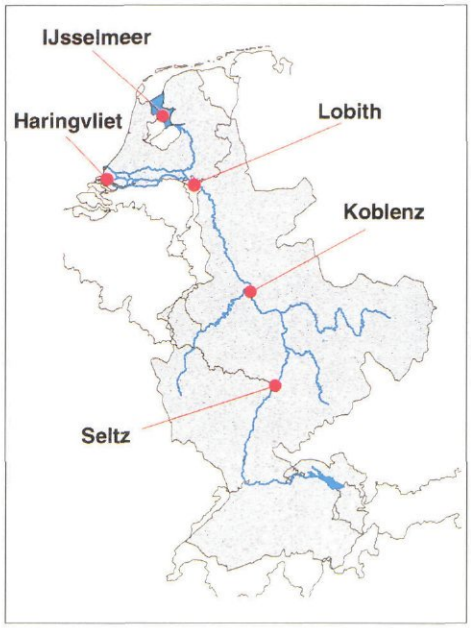
In eerste instantie is DeltaWat opgezet als onderzoeksmodel om inzicht te krijgen in de samenhang tussen rivierafvoerdynamiek, transportprocessen, algengroei, verdeling van stoffen over beschikbare fracties, afbraak van stoffen en longitudinale concentratiegradiënten. Daarbij worden effecten vooralsnog uitgedrukt in veranderingen in algenbiomassa en daaraan gerelateerd particulair materiaal.

Het DeltaWat model is ontwikkeld in een gezamenlijk onderzoeksproject van het RIVM, het Waterloopkundig Laboratorium en de Universiteit Utrecht (Nederland), IIASA (Oostenrijk), VITUKI (Hongarije), en IGH (Duitsland). Van dit samenwerkingsverband en de in 1995 gehouden Internationale Bijeenkomst *'The Rhine Delta-study'* werd eerder in H_2O verslag gedaan [Knoop, 1996].

Hoewel gestreefd wordt naar een geïntegreerd model voor de waterkwaliteit van de rivier zelf, is gebleken, dat het praktischer is een separaat emissie-immissie model te ontwikkelen, wil men in staat zijn om de diverse bronnen van verontreinigingen in te kunnen schatten en door scenario's te kunnen aansturen. De in dit artikel gepresenteerde scenario's zijn ontwikkeld met dit emissie-immissie model. Uiteindelijke doel van DeltaWat is het geschikt te maken, in samenwerking met andere instellingen van de Rijksoverheid (RIZA, IBN) en instellingen van internationale organisaties (IRC-werkgroepen), voor de evaluatie van scenario-analyses in relatie tot (voorgenomen) emissiereductiedoelstellingen. Centraal in die evaluatie zouden niet alleen waterkwaliteitsparameters moeten staan, maar ook de kwaliteit van het ecosysteem van de rivier.

Schematisatie en systeemdefinitie

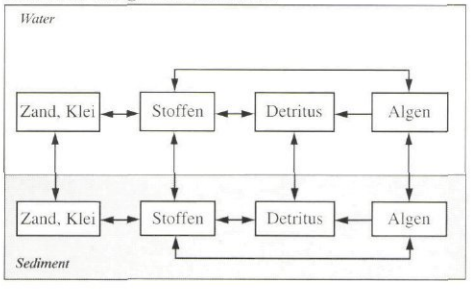
DeltaWat omvat de Rijn vanaf de Bodensee, de zijrivieren de Moezel, de Neckar en de Main, de Nederrijn/Lek, de Waal, de IJssel en het IJsselmeer, en het Noordelijk



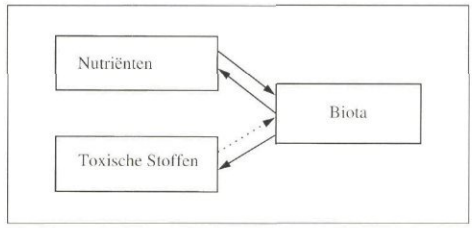
Afb. 1 - Het in DeltaWat gemodelleerde watersysteem van de Rijn en de vijf belangrijkste meetstations.

Deltabekken. In het model is het riviersysteem opgedeeld in 52 gekoppelde segmenten, die elk als volledig gemengd worden beschouwd. Afbeelding 1 geeft een geografisch overzicht van het gemodelleerde watersysteem en ook de vijf belangrijkste locaties, waar veel metingen van beschikbaar zijn: Seltz, Koblenz, Lobith, Haringvliet en IJsselmeer.
In het model worden per segment water-, stof- en biomassabalansen bijgehouden. De onderscheiden stoffen zijn nutriënten (stikstof, fosfor en silicium) en toxische stoffen (cadmium en lindaan). De algenbiomassa wordt onderscheiden in drie functionele groepen: diatomeeën, groenwieren en blauwwieren. Er is ook een variant van DeltaWat in ontwikkeling, waarin zoöplankton als systeemvariabele is meegenomen.
In afbeelding 2 is de opbouw van het model in een water- en daaraan gespiegelde bodemfase, weergegeven. De nutriëntenkringlopen van stikstof, fosfor en silicium zijn verdeeld over algen, detritus, anorganisch materiaal en opgeloste fracties op

Afb. 2 - Schematische weergave van de modelstructuur van DeltaWat. Water- en bodemfase met ieder compartimenten voor nutriënten, toxische stoffen, algen, detritus en anorganisch materiaal.



basis van het principe van massabalansen. Adsorptie-evenwichten zorgen voor een continue aanpassing van gebonden en opgeloste fracties, naast opname en uitscheiding door de biotische componenten. Ook de toxische stoffen komen in opgeloste en gebonden vorm voor, de laatste door adsorptie aan zowel anorganisch als organisch materiaal.
Het organisch materiaal bestaat uit levende stof (algen) en dode stof (particulair materiaal, detritus), dat grotendeels via antropogene immissies in de rivier komt, maar ook door het plankton gevormd wordt. De verschillende hoofdgroepen van variabelen (nutriënten, toxische stoffen en biomassa) beïnvloeden elkaar op de volgende manieren (afb. 3). Nutriënten hebben invloed op de groei van algen, enerzijds, hoge/lage algendichtheden veroorzaken hoge/lage nutriëntenopname anderzijds. Evenzo is voor toxische stoffen de beïnvloeding wederzijds: toxische stoffen remmen biologische processen en een hoge algendichtheid gaat gepaard met een hoog particulair organisch materiaal gehalte, dat stofadsorberend c.q. verwijderend werkt. Bovendien gaan hoge algendichtheden vaak samen met hoge bacteriedichtheden, die voor een verhoogde afbraak van organische toxische stoffen kunnen zorgen. Echter in DeltaWat is de invloed van toxische stoffen op biomassastofstromen nog niet meegenomen (gestippelde pijl in afb. 3).

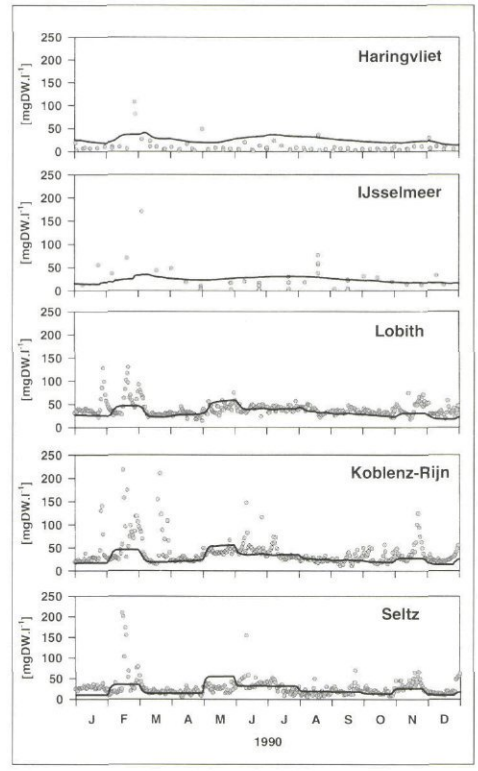


Afb. 3 - Gemodelleerde interacties (getrokken pijlen) tussen nutriënten, biota en toxische stoffen. Gestippelde pijl is niet gemodelleerd.

Een consequentie van de in het model verwerkte effecten, weergegeven door de getrokken pijlen in afbeelding 3, is, dat er relaties tussen nutriëntenscenario's en de concentraties van toxische stoffen gelegd kunnen worden, ook al is het beeld door het ontbreken van de invloed van de toxische stoffen op biologische processen nog onvolledig. Met het model kunnen dus analyses uitgevoerd worden naar het effect van verschillende nutriëntenscenario's op de concentraties van toxische stoffen (cadmium en lindaan).

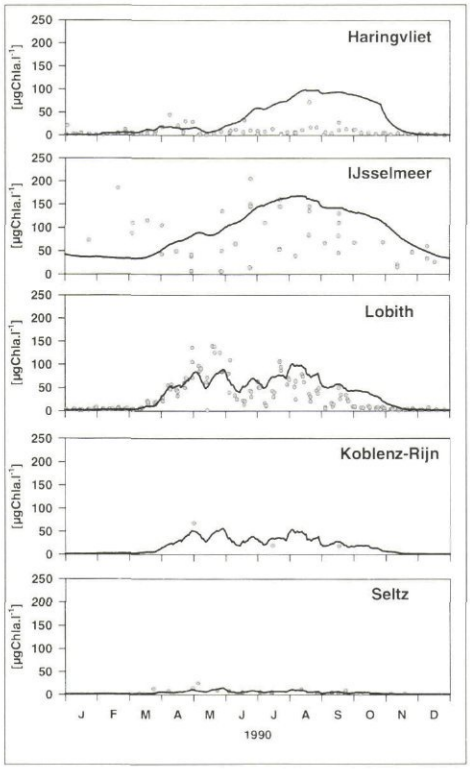
Afregeling van het model op kalibratiejaar 1990

Het model is afgeregeld op het kalibratiejaar 1990, omdat van dit jaar verreweg de meeste gegevens voorhanden zijn.
Voor een juiste beschrijving van de waterkwaliteit is het in de eerste plaats van belang de fysisch-chemische omstandigheden in de rivier goed in model te krijgen, en dan vooral de waterbalansen en de dynamica van de concentratie van het gesuspendeerde materiaal, omdat met dit materiaal een belangrijk deel van het transport van stoffen in de rivier plaatsvindt. Hierbij is voor een belangrijk deel gebruik gemaakt van de bijdragen van het WL [1994].

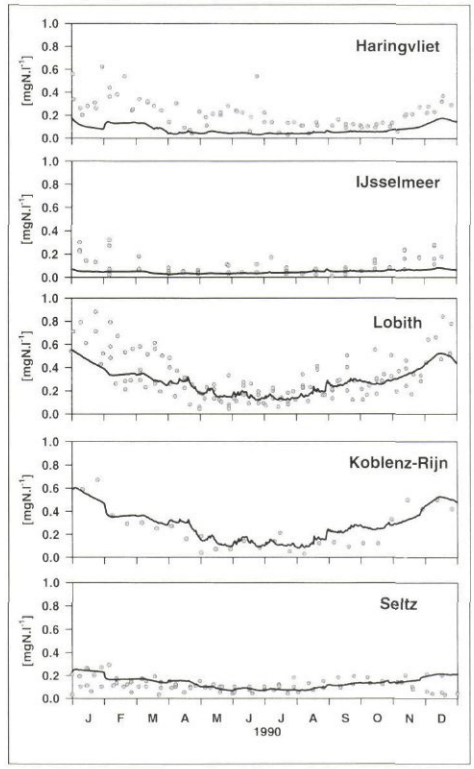


Afb. 4 - Kalibratie van de gesuspendeerd materiaalconcentratie voor het jaar 1990.

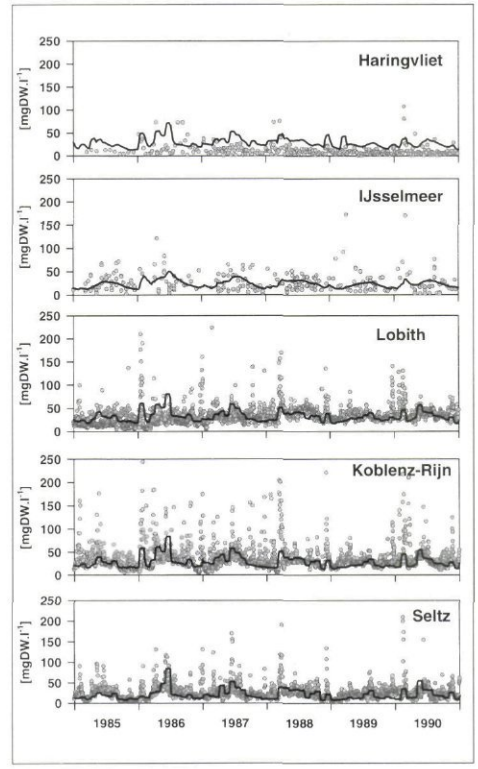
In afbeelding 4 zijn de gemeten en berekende concentraties gesuspendeerd materiaal [mgDW/l] (DW = drooggewicht) uitgezet voor 1990. Hoewel de gesimuleerde concentraties redelijk overeenkomen met de gemeten niveaus, met een duidelijke overvoorspelling in het Haringvliet, laat de afbeelding ook zien, dat de dynamica van zeer hoge concentraties, die gepaard gaan met relatief kortdurende zeer hoge afvoerdebieten, niet goed wordt voorspeld. Dit komt voornamelijk door de dertigdaagse middeling van het afvoerregime, waardoor een groot deel van deze dynamica verloren gaat. Een mogelijk effect hiervan is het onderschatten van de stofvrachten over langere tijd.
Afbeelding 5 toont het verloop van de chlorofyl-α concentratie [µgChla/l] in de vijf meetpunten in 1990. Hoewel er geen



Afb. 5 - Kalibratie van de chlorofyl-α concentratie voor het jaar 1990.



Afb. 6 - Kalibratie van de ammoniumconcentratie voor het jaar 1990.



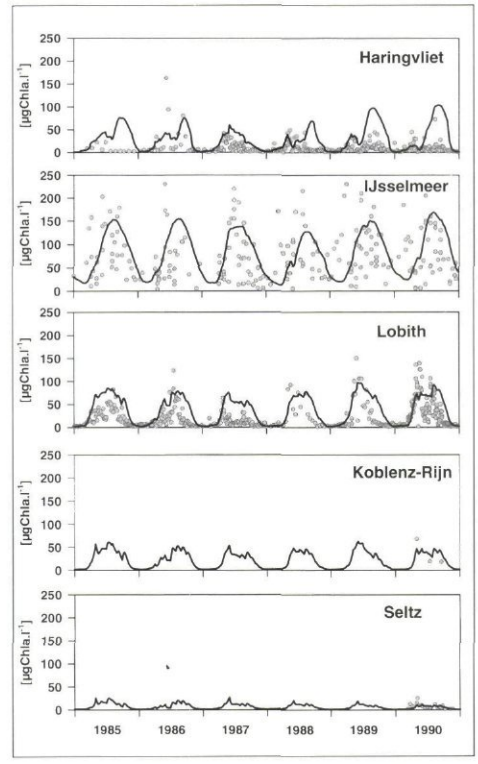
Afb. 7 - Validatie van de gesuspendeerd materiaal-concentratie over de periode 1985-1990.

gegevens over de aparte algengroepen voorhanden waren, werd de basisopzet van de opsplitsing in algengroepen gehandhaafd onder de hypothese dat een beter begrip van de successie van deze groepen door het jaar heen, en over de lengteas tot en met de sedimentatiegebieden, waar de overgang van rivier naar de meer stagnante wateren manifest wordt, anders niet mogelijk zou zijn. Het resultaat vanaf Seltz tot en met Lobith is bevredigend, terwijl de chlorofylkalibratie in het IJsselmeer en het Haringvliet nog duidelijk te wensen over laat (afbeelding 5). Nadere bestudering laat zien, dat, in het IJsselmeer, vooral de siliciumniveaus en daarmee samenhangende diatomeeënpiek in het voorjaar extra aandacht behoeven. In het Haringvliet treedt in het model een najaarsbloei van blauwalgen op, die niet realistisch is. Een belangrijk ontwerpprincipe voor het model is dat identieke parameters in verschillende segmenten dezelfde waarde hebben en niet per segment worden aangepast. Dit principe is als werkhypothese ook voor de algensuccessie gehandhaafd, met uitzondering van de graasdrukparameter van zoöplankton of fytoplankton, die in de semistagnante sedimentatiegebieden in waarde toeneemt. Verdere kalibratie zal uitwijzen of deze aanpak te handhaven is.
Het kalibratieresultaat voor de ammoniumconcentratie [mgN/l] (afb. 6) laat zien, dat de winterniveaus in Lobith wat achter blijven; het Haringvliet wordt ondervoorspeld, het IJsselmeer daarentegen is nu goed. Hierbij moet opgemerkt worden, dat het niet om de kalibratie van de individuele stoffen of fracties gaat, maar om het tegelijkertijd goed krijgen van de samenhang tussen alle componenten, zoals weergegeven in afbeelding 2.
Hoewel DeltaWat in de fysische schematisatie (omvang van de segmenten, tijdsmiddeling van de modelinvoer) sterk vereenvoudigd is ten opzichte van de werkelijkheid, is de beoogde samenhang in de modelformulering van de chemische en biologische kwaliteitsparameters van meer dan gemiddelde complexiteit.
Dit heeft tot gevolg, dat afregeling door parameteraanpassing met de hand vrijwel ondoenlijk is, en dat omvangrijke numerieke inspanningen gepleegd moeten worden, in combinatie met *expert judgement*, om de multivariabele multi-parameter-samenhang in de vingers te krijgen.
Heeft men één variabele, of groep van variabelen, redelijk gekalibreerd, dan kan het afregelen van een volgende set dit resultaat weer teniet doen. Het met simultane optimalisatietechnieken hiermee om kunnen gaan is een belangrijk leerproces geweest.

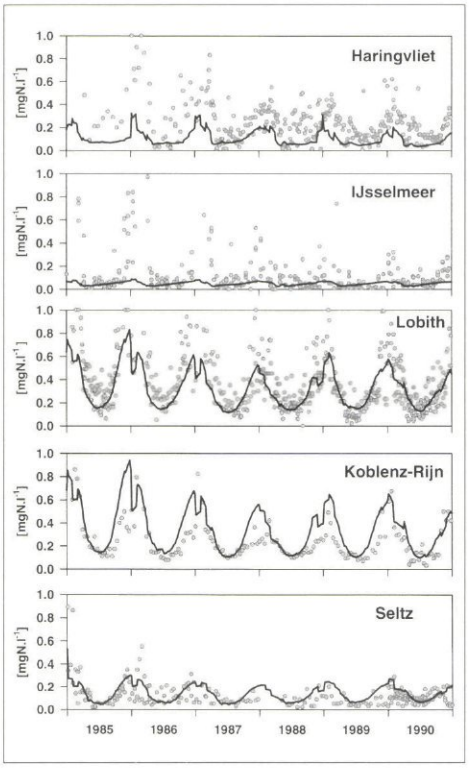
Validatie op periode 1985-1990

De validatie van het model, m.b.t. alle componenten, heeft nog maar ten dele plaatsgevonden. Afbeelding 7 laat voor het gesuspendeerde materiaal een validatierun zien over de periode 1985-1990 op basis van de kalibratie van 1990. De niveaus worden goed voorspeld, met uitzondering van het Haringvliet. Evenals voor het kali-

Afb. 8 - Validatie van de chlorofyl-α concentratie over de periode 1985-1990.



bratiejaar 1990 is te zien dat kortdurende pieken in de concentratie gesuspendeerd materiaal niet worden gerepresenteerd door het model, vanwege de maandgemiddelde invoergegevens.
De voorspelde en gemeten patronen in de chlorofyl-α concentratie (afb. 8) komen redelijk tot goed overeen, met overvoorspelling in het Haringvliet. Dit resultaat geeft aan dat de opbouw van het chlorofyl over de lengteas bevredigend wordt beschreven, in aanmerking genomen, dat de sedimentatiegebieden toch behoorlijk van karakter verschillen ten opzichte van de riviersegmenten.



Afb. 9 - Validatie van de ammoniumconcentratie over de periode 1985-1990.

De ammoniumconcentratie runs over 1985-1990 (afb. 9) laten een goede opbouw zien in de rivier tot en met Lobith. In de sedimentatiegebieden is sprake van ondervoorspelling in de winter. Hoewel DeltaWat zeer acceptabele resultaten biedt, kan een uitgebreidere validatie van meerdere componenten tegelijkertijd, en liefst gedurende een periode met duidelijke stofbelasting verschillen, zinvol zijn en nog tot verdere verbeteringen leiden.

Indirecte effecten nutriënten scenario's

Als men samenhang in een model mogelijk maakt in de reactie van verschillende nutriëntenfracties, algengroepen, organisch en anorganisch materiaal en toxische stoffenfracties op invloeden van buitenaf (natuurlijke variatie, scenario's), dan zijn er twee consequenties: de kalibratie vergt substantieel meer inspanning dan in een eenvoudiger model, en ten tweede kunnen indirecte effecten van bepaalde scenario's voor verrassingen in de modelrespons zorgen, die tegenintuïtief zijn en om meer diepgaande analyses voor de interpretatie vragen. Uiteraard hebben beide gevolgen dezelfde mathematische oorzaak: meer samenhang, meer complexiteit.
DeltaWat is onderworpen aan een drietal nutriëntenscenario's: het 'hoge' scenario, het 'lage' scenario en een 'extra laag' scenario. Uitgangspunt voor de samenstelling van de scenario's zijn de emissiereductiedoelstellingen en verwachtingen van de Internationale Rijn Commissie [IRC, 1994]. Voor de stoffen cadmium en lindaan zijn in 1992 respectievelijk 1990 de reductiedoelstellingen al gerealiseerd, de kwaliteitsdoelstellingen echter nog geenszins. Er is aangenomen dat voor deze stoffen de belasting vanaf die jaren niet meer verandert, hoewel verdere reducties vooral voor cadmium nog worden voorzien [IRC, 1994].
Voor stikstof (nitraat/nitriet) wordt door de IRC niet meer verwacht dat de oorspronkelijke doelstellingen binnen de gestelde termijn worden gehaald. Voor beide stoffen worden in sommige landen nog verbeteringen verwacht vooral voor lozingen van rwzi's.

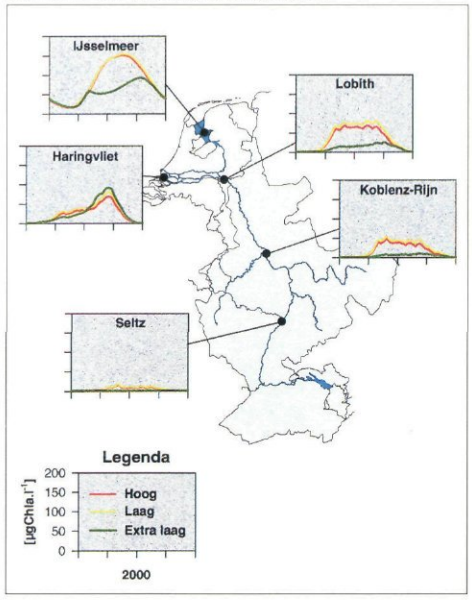
De drie respectievelijke scenario's zijn als volgt opgesteld:
1. Het 'hoge' scenario. Dit is het referentiescenario, waarbij is uitgegaan van een belasting die vanaf 1994 constant is, het laatste jaar waarvoor gegevens voorhanden waren.
2. Het 'lage' scenario. Hierbij is uitgegaan van de IRC verwachting dat vooral in Duitsland, Zwitserland en Nederland verdere verbetering van de rwzi's tot daling van de belasting kan leiden. Dit is geïmplementeerd in de vorm van een bevolking die vanaf 1995 vrijwel in haar geheel is aangesloten op zuiveringsinstallaties met een verbeterd zuiveringsrendement. De uitkomst van deze aanname is vrijwel gelijk aan de IRC verwachting voor de emissiereductie.
3. Het 'extra lage' scenario. Omdat de beide voorgaande scenario's in de modelruns nog onvoldoende respons te zien gaven, waarover verderop meer, is een extra laag scenario ontwikkeld, waarbij de totale fosfaatvracht (vrijwel uitsluitend puntbronnen) en de stikstofbijdrage van de industrie en van de huishoudens vanaf 1995 zijn teruggebracht tot 10% van de situatie in 1990.
In tabel I staan de nutriëntvrachten voor de verschillende scenario's samengevat.

TABEL I – *Totale belasting van het oppervlaktewater in het Rijnstroomgebied.*

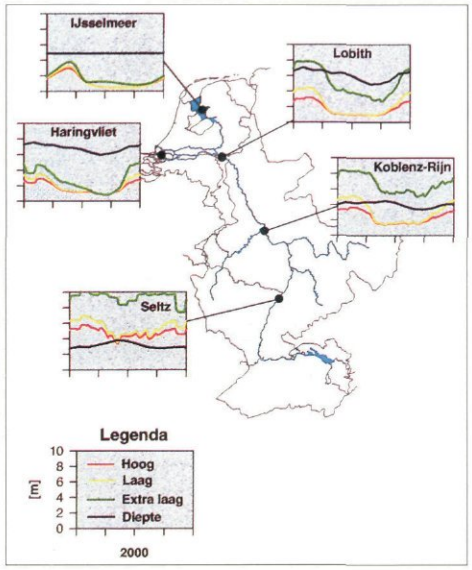
Stof scenario	1985	1990	1995 - 2000
Cadmium [tn/jr]			
alle scenario's	23	11	5
Lindaan [tn/jr]			
alle scenario's	5	1	1
N-totaal [kt/jr]			
hoog scenario	466	419	477
laag scenario	466	419	421
extra laag scen.	466	419	321
P-totaal [kt/jr]			
hoog scenario	54	29	31
laag scenario	54	29	26
extra laag scen.	54	29	5

De basisgedachte achter een nutriëntenreductie is de te verwachten verbetering van de waterkwaliteit, tot uitdrukking komend in een lager chlorofylgehalte. Immers, lagere nutriëntenniveaus verminderen de aanwas van algen.
In afbeelding 10 is de chlorofyl-α concentratie uitgezet voor het jaar 2000 in de vijf meetstations als resultaat van de drie nutriëntenscenario's. De rode lijnen vormen het resultaat van het hoge (ongewijzigde) scenario; de gele lijnen zijn het resultaat van het lage scenario en de groene lijnen zijn het gevolg van het extra lage scenario. We zien, dat het voorgenomen nutriëntenreductie scenario in het op 1990 gekalibreerde DeltaWat model leidt tot een *licht verhoogd* chlorofylniveau. Dit verrassende resultaat was in feite de reden om een extra laag P-scenario te introduceren met het doel het systeem te testen op een meer extreme inputverandering.
De verklaring van dit effect is de volgende.

Afb. 10 - Prognose van de chlorofyl-α concentratie in het jaar 2000 voor drie nutriëntenscenario's.



Door de hoge nutriëntgehalten in de rivier is de groei van de algen niet nutriëntbeperkt, maar lichtbeperkt. Bij het implementeren van de reductie van de nutriëntenbelasting op het riviersysteem moet men aannamen doen in welke vorm de nutriënten de rivier belasten. De reductie van de nutriëntbelasting wordt bereikt door aan te nemen, dat het afvalwater van het overgrote deel van de inwoners binnen het Rijnstroomgebied wordt gezuiverd met een hoog rendement. Hierdoor wordt ook de belasting met particulair materiaal verlaagd. Het gevolg daarvan is, dat het lichtklimaat zodanig verbetert, dat de algen van een gedeeltelijke opheffing van de lichtbeperking profiteren: in de zomerperiode geven het hoge en lage scenario dezelfde zichtdiepte (afb. 11). De algen hebben de vrijkomende licht-'niche' opgevuld.

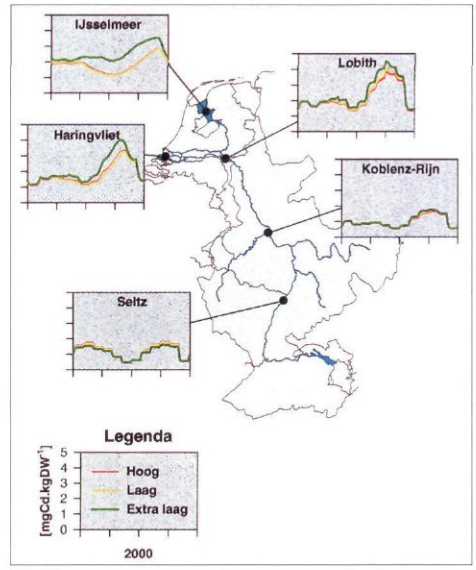


Afb. 11 - Prognose van het (theoretische) doorzicht in het jaar 2000 voor drie nutriëntenscenario's. De actuele diepte is als zwarte lijn weergegeven.

Doordat het particulair gehalte door de nutriëntverlaging wordt beïnvloed, verandert ook het adsorptiepatroon van cadmium aan het particulair materiaal. Het netto effect is dat de concentratie van cadmium in het gesuspendeerde materiaal licht verhoogd wordt in het lage nutriëntscenario en nog verder verhoogd wordt in het extra lage scenario (afb. 12).
De oorzaak-gevolg keten is dus: nutriëntverlaging, detritus verlaging, toegenomen adsorptie van een zwaar metaal.

IRC waterkwaliteitsdoelstellingen

Om een indruk te geven van de mogelijke beleidsrelevantie van het model DeltaWat, is een scenariostudie uitgevoerd naar de effecten van nutriëntenreductie op een viertal waterkwaliteitsparameters, waarvoor



Afb. 12 - Prognose van het cadmiumgehalte van het gesuspendeerd materiaal in het jaar 2000 voor drie nutriëntenscenario's.

in het kader van de Internationale Rijn Commissie (IRC) kwaliteitsdoelstellingen zijn geformuleerd. In tabel II staan de IRC kwaliteitsdoelstellingen voor de concentraties totaal-fosfor, ammonium, cadmium gebonden aan gesuspendeerd materiaal en totaal-lindaan weergegeven [IRC, 1995].

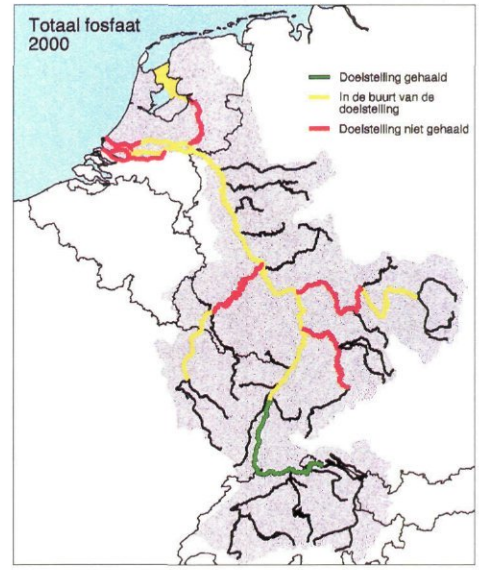
TABEL II – *IRC kwaliteitsdoelstellingen.*

Totaal P	0,150	[mg P/l]
Ammonium	0,2	[mg N/l]
Cadmium	1	[mg Cd/kg gesuspendeerd materiaal]
Lindaan	2	[ng γ HCH/l]

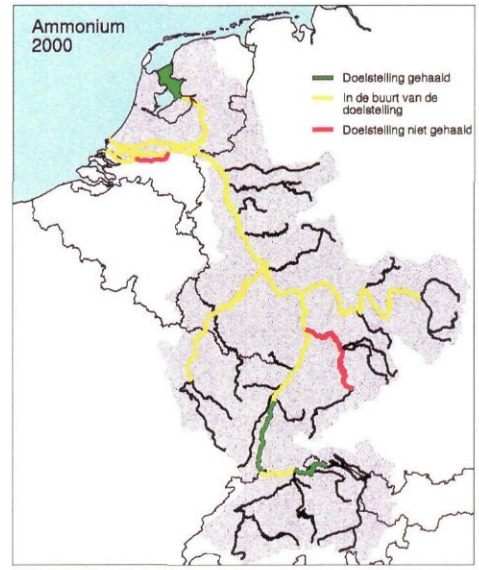
De P-doelstelling heeft betrekking op het 50-percentiel in een jaarreeks, de overige doelstellingen hebben betrekking op het 90-percentiel. Met behulp van de verkeerslichtkleuren kunnen prognoses ten opzichte van de kwaliteitsdoelstelling ruimtelijk worden weergegeven in het rivierstroomgebied. Rood staat voor meer dan twee keer de norm ('Doelstelling niet gehaald'), geel voor rond de norm ('In de buurt van de doelstelling') en groen voor minder dan de helft van de norm ('Doelstelling gehaald').
Afbeeldingen 13, 14, 15 en 16 laten voor respectievelijk fosfor, ammonium, cadmium en lindaan zien, dat onder het realistische lage scenario (voorgenomen beleid) in het jaar 2000 nog niet in het hele gebied aan de kwaliteitsdoelstellingen wordt voldaan.

Conclusies en toekomstige uitbreidingen

Concluderend kan gesteld worden, dat DeltaWat diverse mogelijkheden biedt voor een analyse van de samenhang tussen nutriëntenscenario's, algengroei en de

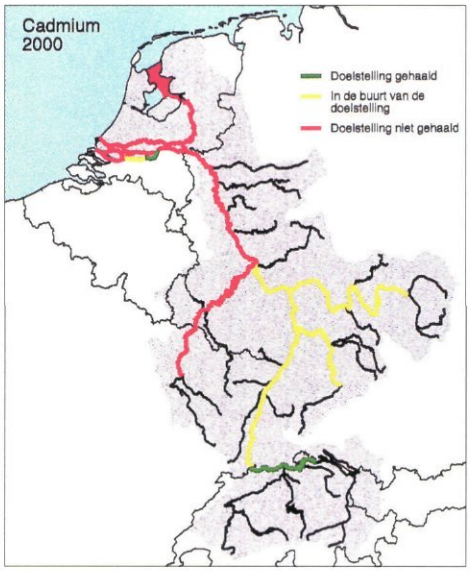


Afb. 13 - Prognose van het bereiken van de IRC kwaliteitsdoelstelling voor Totaal Fosfaat in 2000 onder het lage scenario (voorgenomen beleid).

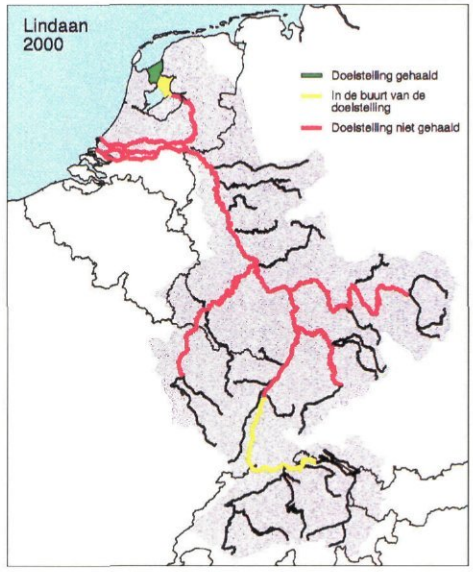


Afb. 14 - Prognose van het bereiken van de IRC kwaliteitsdoelstelling voor Ammonium in 2000 onder het lage scenario (voorgenomen beleid).

gehaltes aan toxische stoffen, verdeeld over diverse fracties in de rivier de Rijn.
De modelresultaten zijn, afhankelijk van de beschouwde variabele en de locatie, redelijk. Over het gehele stroomgebied gezien, echter, zijn ze goed te noemen, in aanmerking genomen, dat de parametrisatie over het hele stroomgebied gelijk is gehouden: dus geen aparte kalibratie per modelsegment. Verdere kalibratie en validatie kan desondanks nog tot verbeteringen leiden.
Een belangrijke constatering is, dat als men een geïntegreerd model bouwt voor het begrijpen c.q. evalueren, van de samenhang tussen nutriëntenbelasting, particulair materiaal, licht, etc., men ook in



Afb. 15 - Prognose van het bereiken van de IRC kwaliteitsdoelstelling voor Cadmium in 2000 onder het lage scenario (voorgenomen beleid).



Afb. 16 - Prognose van het bereiken van de IRC kwaliteitsdoelstelling voor Lindaan in 2000 onder het lage scenario (voorgenomen beleid).

de afregeling en de evaluatie van runs van het model dan ook met die samenhang geconfronteerd wordt en voor tal van verrassingen komt te staan. Slechts door nader simulatieonderzoek kunnen deze effecten dan weer zinvol geïnterpreteerd en begrepen worden. De auteurs zijn van mening, dat aan de hand van dergelijke studies een samenhangend emissiebeleid voor meerdere stoffen met in achtneming van hun interacties geformuleerd en geëvalueerd kan worden.

Door de integratie van fysische aspecten, abiotische en biotische componenten is een verdere uitbreiding naar een ecosysteem model een logische stap. Het model vormt een basis voor uitbreidingen naar een ecologisch model, waarin interacties tussen voedselgroepen (zoöplankton, vis, benthos), de invloed van het habitat (oeverzones, paaigronden) en theoretische concepten voor rivierecosystemen, zoals het River Continuum Concept, geëvalueerd kunnen worden.

Voor het ecologische gedeelte zijn op het RIVM een aantal voedselwebmodellen ontwikkeld voor de invloed van nutriënten en biomanipulatiemaatregelen op de waterkwaliteit van stagnante wateren, *PCLake* [Janse *et al.*, 1992; Aldenberg *et al.*, 1995; Janse en Van Liere, 1995] en voor de analyse van de invloed van toxische stoffen in voedselwebben van riviersedimentatiegebieden, *CATS-2* [Traas *et al.*, 1993; Kramer *et al.*, 1994]. Onderdelen van deze modellen worden successievelijk ingebouwd in DeltaWat, maar op zodanige wijze, dat het model modulair gebruikt kan worden: met en zonder zoöplankton, of voedselweb, en voor verschillende toxische stoffen.

Literatuur

Aldenberg, T., Janse, J. H. and Kramer, P. R. G. (1995). *Fitting the dynamic model PCLake to a multi-lake survey through Bayesian statistics.* Ecol. Modell., 78, 83-99.

Dijk, G. M. van en Marteijn, E. C. L. (red.). *Ecologisch herstel van de Rijn, van onderzoek naar beleid (1988-1992).* EHR rapport 50.

IRC (1994). *Aktionsprogramm Rhein. Vergleich der Gewässergüte des Rheins mit den Zielvorgaben 1990-1993 - Zwischenbilanz -.* IKSR, dec. 1994, Koblenz.

IRC (1995). *Aktionsprogramm Rhein. Stoffdatenblätter für die Zielvorgaben.* IKSR, dec. 1995, RIZA, Lelystad.

Janse, J. H., Aldenberg, T. and Kramer, P. R. G. (1992). *A mathematical model of the phosphorus cycle in Lake Loosdrecht and simulation of additional measures.* Hydrobiologia, 233, 119-136.

Janse, J. H. and Van Liere, L. (1995). *PCLake: a modelling tool for the evaluation of lake restoration scenarios.* Wat. Sci. Techn., 31, 8, 371-374.

Knoop, J. M. (1996). *The Rhine Delta Study: Emission, Fate and Effects of Heavy Metals, Nutrients and Organic Pollutants.* Verslag van een 'International Meeting'. H_2O, (29) 1996, p. 114-115.

Kramer, P. R. G., Traas, T. P., Aldenberg, T. and Vries, M. B. de (1994). *Modelling food web accumulation of cadmium in sedimentation areas in the Rhine Delta.* Wat. Sci. Techn., 29, 3, 137-139.

Malle, K.-G. (1996) Cleaning up the River Rhine. Scientific American, Jan. 1996, 54-59.

Ruchay, D. (1995). *Living with water: Rhine river basin management.* Wat. Sci Techn., 31, 27-32.

Traas, T. P., Kramer, P. R. G., Aldenberg, T. en 't Hart, M. J. (1994). *CATS-2: een model ter voorspelling van accumulatie van microverontreinigingen in sedimentatiegebieden van rivieren.* RIVM Rapport, 719102032, RIVM, Bilthoven.

WL (1994). *Delta Study. Simulation of transport of pollutants in the river Rhine basin, the Rhine and Meuse Estuary, the North Sea Coastal Zone and Waddensea.* Vol. I: Main Report, Vol. II: Technical Report, T692, Delft Hydraulics, WL, Delft.

● ● ●

Ultra-lagedruk-hyperfiltratie

• *Slot van pagina 480.*

voorzuivering met ultrafiltratie, de integriteit van de membranen, de retentie voor bestrijdingsmiddelen en andere organische microverontreinigingen en de invloed van de watertemperatuur en de leeftijd van de membranen daarop.

Conclusies

Uit de resultaten van het oriënterende proefinstallatie-onderzoek is geconcludeerd, dat hyperfiltratie met ultralagedruk-hyperfiltratiemembranen in vergelijking met cellulose-acetaat- en conventionele composietmembranen een erg aantrekkelijke techniek is voor de verwijdering van bestrijdingsmiddelen bij de directe behandeling van oppervlaktewater.

De membranen bezitten hoge retenties voor zowel zouten als organische microverontreinigingen en werken daarnaast bij een aanzienlijk lagere voedingsdruk. Voor de onderzochte membranen en organische microverontreinigingen is gebleken dat concentraties tot 1 µg/l en in veel gevallen tot zelfs 5 µg/l moeiteloos kunnen worden verwijderd tot onder de drinkwaternorm.

De resultaten van het onderzoek hebben mede ertoe geleid dat PWN voor het nieuw te bouwen productiebedrijf Heemskerk heeft gekozen voor toepassing van ultralagedruk-hyperfiltratiemembranen.

Verantwoording

De resultaten van dit onderzoek zijn verkregen in het kader van een onderzoeksopdracht van PWN en in het kader van het VEWIN-Meerjarenonderzoeksprogramma. De auteurs danken de laboratoria van PWN, met name R. Ghijsen, mevr. S. C. M. Jansen en R. van den Haak, en Kiwa, met name mevr. M. van Bemmel, voor het analyseren van het grote aantal monsters.

Literatuur

Beerendonk, E. F. en Hofman, J. A. M. H. (1996). *'Verwijdering van bestrijdingsmiddelen met CA membranen; proefinstallatie-onderzoek te Andijk'.* Kiwa SWI 96.154, Nieuwegein, 1996.

Hofman, J. A. M. H., Beerendonk, E. F., Schultink, L. J., Kruithof, J. C., Hopman R. en Schippers J. C., (1994). *'Verwijdering van organische microverontreinigingen met hyperfiltratie'.* Kiwa SWO 94.267, Nieuwegein, 1994.

Hofman, J. A. M. H., Taylor, J. S., Duranceau, S. J., Kruithof, J. C. en Schippers, J. C. (1995). *'Vereenvoudigd model voor de beschrijving van de werking van nano- en hyperfiltratie-installaties'.* H_2O, Vol. 28, No. 1, Pag. 2-6, 9, 1995.

Janssen, H. M. J. e.a. (1997). *Kiwa SWE-rapport in voorbereiding.* Nieuwegein, 1997.

Leerdam, J. A. van, Janssen, H. M. J. en Puijker, L. M. (1994). *'Screeningsonderzoek naar bestrijdingsmiddelen in de Rijn en Maas in 1992'.* Kiwa SWE 93.033, Nieuwegein, 1994.

RIWA Samenwerkende Rijn en Maaswaterleidingbedrijven, *Jaarverslag 1993 Deel A: De Rijn,* September 1994.

● ● ●