

Een modelmatige benadering van de waterkwaliteit van de Rijn

Voordracht uit de 14e vakantie cursus in behandeling van afvalwater, 'De Rijn', gehouden op 19 en 20 april 1979 te Delft.

Literatuur

1. Persbericht Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne 79/43/MH d.d. 8 februari 1979.
2. Wegman, R. C. C. en Greve, P. A., *Halogenated hydrocarbons in Dutch Water samples over the years 1969-1977*; Proceedings International Symposium on the Analysis of Hydrocarbons and Halogenated Hydrocarbons; Hamilton, Ontario, Canada, 23-25 mei 1978, Plenum Press, Burlington, 405-415 (1980).
3. Wegman, R. C. C. en Greve, P. A., *Organochlorines, Cholinesterase Inhibitors and Aromatic Amines in Dutch Water Samples*, (September 1969-December 1975); Pestic. Monit. J., 12, 149-162 (1978).
4. Greve, P. A., *Potentially hazardous substances in surface waters. Part I, Pesticides in the river Rhine*; Sci Total Environ., 1, 173-180 (1972).
5. Greve, P. A.; ongepubliceerde gegevens.
6. Canton, J. H., Greve, P. A., Slooff, W. en van Riel, G. J., *Toxicity, accumulation and elimination studies of α -Hexachlorocyclohexane (α -HCH) with freshwater organisms of different trophic levels*. Water Res., 9, 1163-1169 (1975).
7. Greve, P. A. en Wit, S. L., *Endosulfan in the Rhine river*. Water Poll. Contr. Fed., 43, 2338-2348 (1971).
8. Wegman, R. C. C. en Hofstee, A. W. M., *Chlorophenols in surface waters of the Netherlands, 1976-1977* Water Research (1979), vol. 13, 51-657 (1979).
9. Greve, P. A. en Wegmann, R. C. C., *Bestimmung und Vorkommen von aromatischen Aminen und ihrer Derivaten in niederländischen Oberflächenwässern*. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem, 46, 9-80 (1975).
10. Kwartaalrapporten Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, uitgave: Rijks Instituut voor Zuivering van Afvalwater (Lelystad).
11. Wegman, R. C. C. en Greve, P. A. *The micro-oloumetric determination of extratable organic halogen in surface water; application to surface waters of The Netherlands*. The Science of the Total Environment, 7, 235-245 (1977).
12. Greve, P. A., Freudenthal, J. en Wit, S. L., *Potentially hazardous substances in surface waters, II. Cholinesterase inhibitors in Dutch surface waters*. The Science of the Total Environment, 1, 253-265 (1972).
13. Fritschi, G., Greve, P. A., Kuszmaul, H. en Wegman, R. C. C. *Cholinesterasehemmende Stoffe im Bereich des Rheins*. Organische Verunreinigungen in der Umwelt; Erich Schmidt Verlag, Berlin (1978), p. 265-270.

Inleiding

In dit artikel zal aan de hand van een modelmatige benadering van de waterkwaliteit getracht worden beleids- en onderzoekaspecten met betrekking tot de Rijn te koppelen, met als centrale vraagstelling 'Hoe zal de kwaliteit van de Rijn er in 1985 uitzien, uitgaande van een verwezenlijking van de huidige beleidsvoornemens'. Een modelmatige benadering kan in dit verband geïnterpreteerd worden als het kwantificeren van de componenten van het complexe verschijnsel 'vervuiling van de

- betere mogelijkheden om alternatieve c.q. additionele beleidsmaatregelen te definiëren en te evalueren;
- betere communicatiemogelijkheden tussen beleidsvoorbereiders, beheerders en onderzoekers;
- het aangeven van dominante factoren en processen waardoor doelmatig onderzoek bevordert wordt;
- aannamen en veronderstellingen kunnen meer expliciet gemaakt worden waardoor gevolgen beter zichtbaar worden gemaakt;
- betere mogelijkheden om hypothesen en gegevens te testen teneinde de invloed van onzekerheden te schatten.



R. KLOMP
Waterlooptkundig Laboratorium,
afd. Milieuhydrodynamica



J. A. VAN PAGEE
Waterlooptkundig Laboratorium,
afd. Milieuhydrodynamica

De voordelen van een dergelijke aanpak liggen dus zowel op het beleids- en beheersvlak als op het technisch wetenschappelijk gebied.

In 1976 is een samenwerkingsproject gestart tussen Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA), Directie Waterhuishouding & Waterbeweging (W & W), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) en het Waterlooptkundig Laboratorium (WL).

In de eerste probleemanalyserende fase m.b.t. de waterkwaliteit van de Rijn [1] is nagegaan welke deelaspecten in deze van belang zijn en op welke wijze zij aan elkaar zijn gerelateerd (afb. 1).

Een modelmatige benadering kan op vele niveaus plaatsvinden zoals:

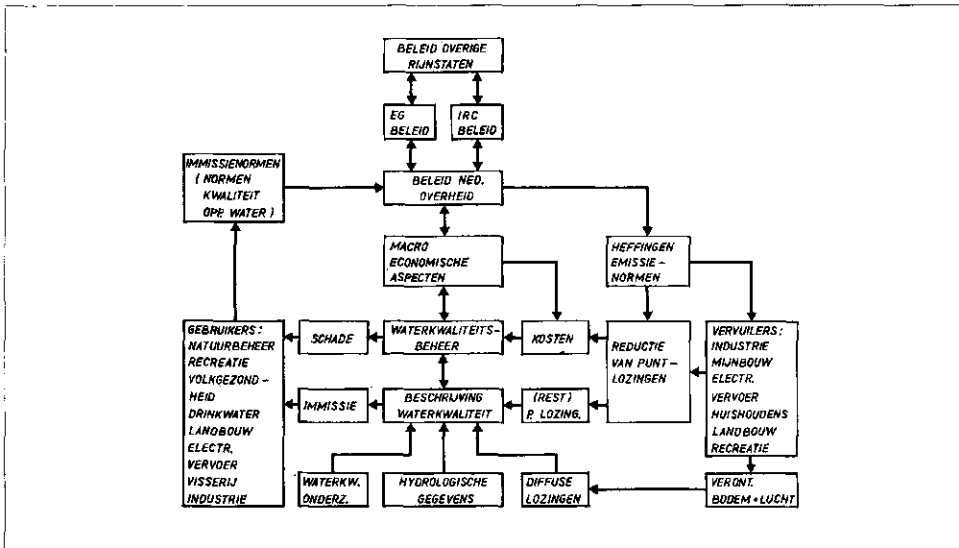
- analyse van het overheidsbeleid ter zake (hoe zal het beleid zich moeten ontwikkelen om de doelstellingen m.b.t. het bestrijden van verontreiniging van de Rijn te realiseren?);
- analyse van de macro-economische gevolgen (wat is de invloed van kosten van

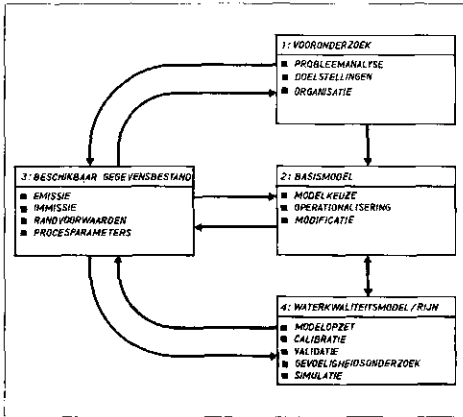
Rijn' en de relaties tussen deze componenten op basis waarvan het verschijnsel kan worden beschreven.

Centraal in deze benadering staat dus het analyseren en kwantificeren van het te onderzoeken verschijnsel. De belangrijkste voordelen verbonden aan een dergelijke benadering zijn:

- meer kwantitatieve informatie komt ter beschikking van beleid en beheer, zowel m.b.t., de herkomst van de belasting, de invloed van processen, als de gevolgen van voorgenomen beleidsmaatregelen;

Afb. 1 - Overzicht van verschillende deelaspecten m.b.t. de waterkwaliteit van de Rijn.





Afb. 2 - Samenvatting activiteiten in het kader van de modelmatige benadering van de waterkwaliteit van de Rijn.

zuivering en de schade van verontreiniging op het Bruto Nationaal Product?);

- analyse van saneringsaspecten (hoe kunnen de saneringskosten geminimaliseerd worden bij gegeven kwaliteitsdoelstellingen?);
- analyse en kwantificering van schade van het Rijnwater als gevolg van verontreiniging (welke prioriteiten moeten aan het beleid gesteld worden om de schade zo effectief mogelijk te verminderen?);
- analyse en kwantificering van de relatie tussen lozing van vervuilende stoffen en kwaliteit van het benedenstrooms gelegen water (wat is de invloed van bepaalde saneringsmaatregelen op de kwaliteit van het ontvangende water?).

Uiteindelijk is besloten de modelmatige aanpak vooral te richten op het laatste aspect, waarbij het ontwikkelen en toepassen van mathematische modellen voor de Rijn centraal staat. Met deze modellen wordt beoogd te berekenen welke effecten kunnen worden verwacht van zowel in Nederland als in de overige Rijnstaten voorgenomen saneringsmaatregelen, alsmede kwantitatieve informatie aan te dragen voor de ontwikkeling van nieuwe c.q. additionele saneringsmaatregelen.

Deze 2e studiefase is begin 1978 in opdracht van het RIZA door het WL in samenwerking met RIZA, W & W en RID ter hand genomen.

Het onderzoek

De voor de studie noodzakelijke werkzaamheden kunnen worden onderverdeeld in verschillende fasen en categorieën (afb. 2). Hierbij is de wisselwerking tussen 1. de ontwikkeling en toepassing van het model, 2. de beschikbare gegevens en 3. de aanwezige kennis omtrent waterkwaliteitsprocessen, van bijzonder belang voor een optimale keuze van de complexi-

teit van het model, mede in het licht van de doelstelling van het project.

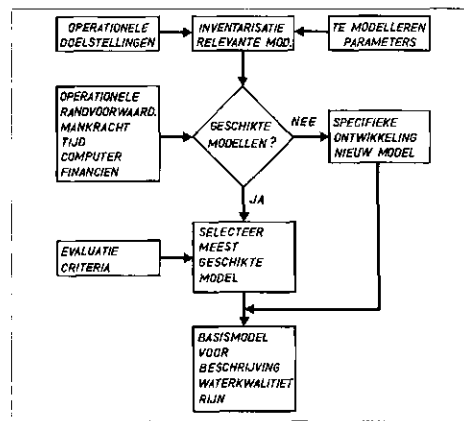
1. Het vooronderzoek

In het kader van het vooronderzoek werd op basis van de probleemanalyse in overleg met het RIZA besloten de hoogste prioriteit te geven aan de nutriëntenhuishouding van de Rijn, mede in verband met de eutrofiëringsproblematiek in onze min of meer stagnante wateren, die in belangrijke mate gevoed worden door de Rijn (IJsselmeer) of in de toekomst Rijnwater zullen inlaten (zoete Deltawateren).

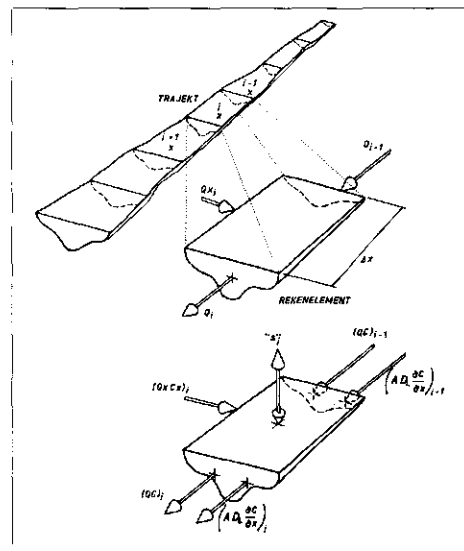
Voor de studie zijn de volgende operationele doelstellingen geformuleerd:

- ontwikkelen van wiskundige modellen ter beschrijving van de zuurstof-, fosfaat- en stikstofhuishouding van de Rijn;
- simulatie van voorgenomen en eventueel alternatieve c.q. additionele saneringsmaatregelen teneinde de consequenties voor zuurstof-, fosfaat- en stikstofhuishouding aan te geven.

Afb. 3 - Schematisch overzicht model selectie procedure.



Afb. 4 - Discretisatie van de rivier in rekenelementen en trajecten [2].



Het model zal in het bijzonder uitsluitel moeten geven omtrent de te verwachten zuurstof- en nutriënteniveaus nabij Lobitz Kampen en Gorinchem.

2. Het basismodel

Bij de aanvang van de ontwikkeling van een wiskundig waterkwaliteitsmodel dient een keuze te worden gemaakt tussen een eigen modelontwikkeling en een modelontwikkeling op basis van een reeds bestaand model.

Met name in de Verenigde Staten zijn vele modellen voorhanden, die in principe als basis kunnen dienen voor het waterkwaliteitsmodel Rijn.

Om een geschikte keuze te kunnen maken uit de vele bestaande waterkwaliteitsmodellen werd een selectieprocedure ontworpen (afb. 3) waarbij o.a. evaluatiecriteria in verband met toepassing op de Rijn werden opgesteld.

In het licht van reeds vermelde doelstellingen, kennis van het te modelleren systeem en beschikbare gegevens werd, op basis van deze criteria, de voorkeur gegeven aan een zgn. steady state model, waarmee de waterkwaliteit uitsluitend gedurende perioden die groter zijn dan de looptijd van de rivier wordt beschreven. Gedurende deze periode wordt de afvoer constant verondersteld. De uiteindelijke keuze viel op QUAL II als basismodel voor de Rijn vanwege de grote ervaring die in de VS met het model is opgedaan als beleidsonderbouwend instrument bij vele regionale waterkwaliteitsplannen [2, 3].

Conceptueel wordt de te modelleren rivier onderverdeeld in een aantal berekenings-elementen waarvoor de waterbalans wordt opgesteld. Op basis van deze waterbalans wordt een massabalans voor het element geformuleerd. Hierin worden zowel advec-

tief (Q.c) als dispersief transport ($A_x D_L \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$)

beschouwd (afb. 4). De rekenelementen zijn zelf volledig gemengd verondersteld.

Functioneel bestaat het basismodel uit een stelsel gekoppelde differentiaalvergelijkingen. De basis hiervoor wordt gevormd door de massatransportvergelijking.

De overige termen worden gevormd door reacties, interacties, lozingen en onttrekkingen (afb. 5). Voor wat betreft deze overige termen van de vergelijkingen kan gesteld worden dat het model de belangrijkste interacties van de nutriëntencyclus, algendynamiek en zuurstofhuishouding bevat.

Ten behoeve van het project is het oorspronkelijke QUAL II model uitgebreid met modules voor niet biochemisch oxydeerbaar materiaal, organisch + particulier stikstof en fosfaat. Door deze

afb. 5 - Functionele beschrijving waterkwaliteit in MODQUAL.

Concentratieveranderingen zijn een gevolg van resp. dispersief transport, advectioneel transport, lozingen en reacties.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial (A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial (A_x v C)}{A_x \partial x} + \frac{S_e}{A_x dx} + \text{reacties}$$

In MODQUAL zijn de volgende reactie-termen voor de zuurstof- en nutriëntenhuishouding opgenomen:

- Zuurstof (C) : $+ K_2 (C_s - C) - K_1 L \frac{K_4}{H} + (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) A - \alpha_5 \beta_1 N_1 - \alpha_6 \beta_2 N_2$
- Biochemisch zuurstofverbruik (L) : $-(K_1 + K_3) L$
- Niet biochem. oxideerbaar materiaal (L₂) : $- K_5 L_2$
- Organisch + particulier stikstof (N₀) : $-(\beta_0 + \beta_3) N_0 + \alpha_1 \rho A$
- Ammonium (N₁) : $-\beta_1 N_1 + \beta_0 N_0 - \gamma \alpha_1 \mu A + \frac{\sigma_4}{H}$
- Nitriet (N₂) : $-\beta_2 N_2 + \beta_1 N_1$
- Nitriet (N₃) : $+\beta_2 N_2 - (1 - \gamma) \alpha_1 \mu A$
- Ortho-fosfaat (P₀) : $-\alpha_2 \mu A + f_{de} - f_{ad} + \frac{\sigma_3}{H}$
- Organisch + particulier fosfor (P₁) : $-\sigma_2 P_1 + \alpha_2 \rho A + f_{ad} - f_{de}$
- Algen (A) : $+(\mu - \rho - \sigma_1) A$

Verklaring van de gebruikte symbolen

A_x	oppervlak dwarsdoorsnede	m^2
C_s	zuurstofverzadigingswaarde	g/m^3
D_L	dispersie coëfficiënt	m^2/dag
f_{ad}, f_{de}	adsorptie en desorptie van ortho-P	$gP/m^3 \cdot dag$
H	diepte	m
K_1	afbraakconstante C-BOD	dag^{-1}
K_2	reaeratieconstante	dag^{-1}
K_3	sedimentatieconstante C-BOD	dag^{-1}
K_4	bodemrespiratie	$gO_2/m^2 \cdot dag$
K_5	sedimentatieconstante voor L ₂	dag
ρ	belasting door lozingen	g/dag
σ	tijd	dag^{-1}
v	stroomsnelheid	m/dag
x	plaatscoördinaat	m
$\alpha_1, \dots, \alpha_6$	stochiometrische parameters	g/g
β_0	ammonifikatieconstante	dag^{-1}
β_1	sedimentatieconstante part. N	dag^{-1}
β_2, β_3	nitrifikatieconstanten	dag^{-1}
γ	NH ₄ -fractie in N-opname door algen	—
μ	groeisnelheid algen	dag^{-1}
ρ	respiratieconstante algen	dag^{-1}
σ_1	sedimentatieconstante algen	dag^{-1}
σ_2	sedimentatieconstante part. P	dag^{-1}
σ_3	vrijkomen ortho-P uit de bodem	$gP/m^2 \cdot dag$
σ_4	vrijkomen NH ₄ -N uit de bodem	$gN/m^2 \cdot dag$

- mineralisatie + desorptie van organisch + particulier P (j)
 - adsorptie van ortho-P (k)
 - bezinking van organisch + particulier P (l)
 - vrijkomen van ortho-P uit het sediment (m)
 - opname van ortho-P door algen (n)
- Met betrekking tot de zuurstofhuishouding zijn de volgende processen en interacties opgenomen:
- toevoer via grensvlak lucht/water (reaeratie) (o)
 - productie door algen (fotosynthese) (p)
 - respiratie van algen (q)
 - afbraak van biochemisch zuurstofverbruik (C-BOD) (r)
 - bezinking van biochemisch oxideerbaar materiaal (s)
 - bezinking van niet biochemisch oxideerbaar materiaal (t)
 - zuurstofverbruik door de bodem (u)
 - oxydatie van NH₄ tot NO₃ (v)
- Hierbij kan nog opgemerkt worden dat de zuurstoftoevoer door fotosynthese gekoppeld is aan de groei van algen welke een functie is van instraling, lichtklimaat van het water (extinctie), gemiddelde diepte en nutriëntenconcentraties.
- Naast het geïntegreerde gedeelte bevat het model een algemeen moduul voor niet-conservatieve stoffen, die beschreven worden met een extra eerste orde afbraak mechanisme zonder interacties (bijv. colibacteriën) en een moduul voor conservatieve stoffen (bijv. chloride), waarvan het verloop uitsluitend door advection en dispersie bepaald wordt.
- Een groot aantal processen in het model zijn temperatuur afhankelijk, zoals de groeisnelheid van algen, respiratie, nitrificatie, ammonificatie, BOD afbraak en reaeratie.

3. Beschikbaar gegevensbestand

De acquisitie en analyse van gegevens m.b.t. de kwaliteit van de Rijn is één van de hoofdonderdelen van de studie, maar vormt tevens een kritieke fase vanwege het internationaal karakter van de Rijn, de vele beheerders en veelal conflicterende belangen.

De gegevens, die nodig zijn voor de ontwikkeling en toepassing van het Rijnmodel zijn te onderscheiden in vier categorieën: emissie, immissie, randvoorwaarden en procesparameters.

— emissiegegevens: gegevens over lozingen op de Rijn en op de belangrijkste mee te modelleren zijrivieren, alsmede de belasting via zijrivieren, voorzover niet meegemodelleerd;

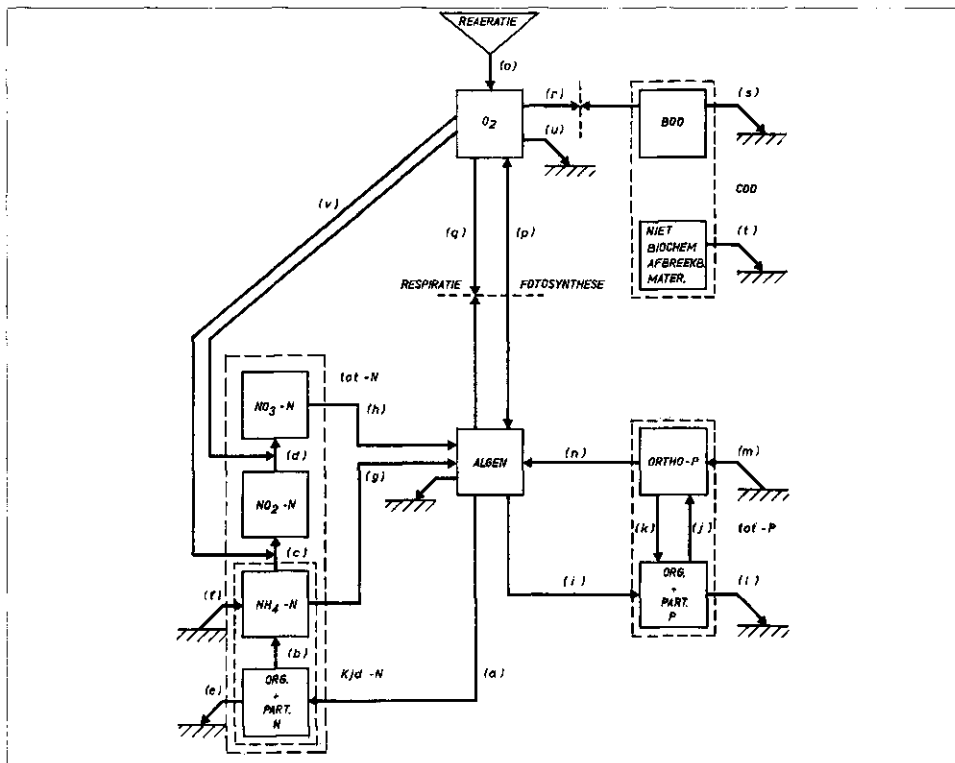
- oxydatie van NH₄ tot NO₂ (1e trap nitrificatie) (c)
 - oxydatie van NO₂ tot NO₃ (2e trap nitrificatie) (d)
 - bezinking van particulier N (e)
 - vrijkomen van NH₄ uit het sediment (f)
 - opname van NH₄ en NO₃ door algen (g) (h)
- Bij de fosfaathuishouding zijn de volgende processen en interacties opgenomen:
- vrijkomen van organisch P tijdens afsterven van algen (i)
 - vrijkomen van organisch N tijdens afsterven van algen (i)

uitbreidingen is het mogelijk tevens COD, tot-N, Kj-d-N, ortho-P en tot-P te modeleren.

De gemodificeerde integrale modelstructuur aan het ook op andere onderdelen verbeterde model (MODQUAL) is weer gegeven in afb. 6.

Met betrekking tot de stikstofhuishouding zijn de volgende processen en interacties opgenomen:

- vrijkomen van organisch N tijdens afsterven van algen (a)
- ammonificatie organisch N (b)



Afb. 6 - Schematische integrale structuur van MODQUAL m.b.t. de zuurstof- en nutriëntenhuishouding.

- immissiegegevens: gegevens over de kwaliteit van dat deel van het stroomgebied van de Rijn dat wordt gemodelleerd;
- randvoorwaarden: specifieke randvoorwaarden voor het model zoals temperatuur, debiet en hydraulische relaties;
- procesparameters: reactieconstanten, die deels te beschouwen zijn als ijkingsgrootheden van het model.

Emissiegegevens

De beschikbaarheid van emissiegegevens is tot op heden beperkt, enerzijds omdat slechts een gedeelte daadwerkelijk wordt gemeten en anderzijds vanwege het confidentiële karakter van diverse, vooral industriële lozingsgegevens. Tevens ontbreken gegevens over diffuse belasting (afstroming urbane- en landbouwgebieden e.d.). Met betrekking tot puntbronnen is gebruik gemaakt van een 2-tal inventarisaties van de Internationale Rijncommissie (IRC) voor resp. 1973 en 1977 [4]. Tevens is bij deze inventarisaties een prognose opgenomen voor 1985. De geïnventariseerde lozingsgegevens zijn uitgedrukt in inwonereenheden en -equivalenten (i.e.). Voor een juiste inbreng van de lozingsgegevens zou evenwel de betekenis van een i.e. in termen van BOD, P- en N-belasting voor zowel stedelijk als industrieel afvalwater, tesamen met gegevens over de aard van de zuivering bekend moeten zijn. Voorts zij opgemerkt dat uit

de beschikbare gegevens slechts jaargemiddelde belastingen kunnen worden afgeleid. Uit een nadere analyse van de IRC inventarisaties blijkt dat op basis van i.e.'s de afvalwaterproductie van puntlozingen op de Rijn (traject Konstanz-Lobith) voor ca. 1/3 van huishoudelijke en ca. 2/3 van industriële herkomst is (zie tabel I).

Opgemerkt kan worden dat de totale afvalwaterproductie een duidelijk stijgende tendens vertoond over de periode 1973-1985. Het blijkt dat deze stijging voor een belangrijk deel wordt veroorzaakt door een stijging van de belasting van huishoudelijke herkomst, hetgeen een gevolg is van enerzijds de bevolkingsgroei, anderzijds een uitbreiding van rioolstelsels, waardoor meer afvalwater direct via zuiveringsinstallaties op het oppervlaktewater zal worden geloosd.

TABEL I - Herkomst en behandeling van afvalwater op de Rijn (traject Konstanz-Lobith), de Waal en de IJssel (afgeleid uit IRC-inventarisaties).

	Rijn			IJssel			Waal	
	1973	1977	1985	1973	1977	1985	1977	1985
totale afvalwater-productie (10 ⁶ i.e.)	73,0	80,8	91,7	1,2	1,8	1,8	0,6	0,6
uitsplitsing afvalwater-productie volgens:								
herkomst:								
huishoudelijk (10 ⁶ i.e.)	20,6	27,3	32,2	0,4	1,0	1,0	0,3	0,3
industriële (10 ⁶ i.e.)	52,4	53,3	59,5	0,8	0,8	0,8	0,3	0,3
zuiveringsaard:								
geen (10 ⁶ i.e.)	23,8	11,1	0,8	0,6	0,2	0,0	0,6	0,0
mechanisch (10 ⁶ i.e.)	25,8	12,3	1,6	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0
biologisch (10 ⁶ i.e.)	4,9	4,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
partieel biologisch (10 ⁶ i.e.)	18,5	53,2	85,2	0,2	1,5	1,8	0,1	0,0

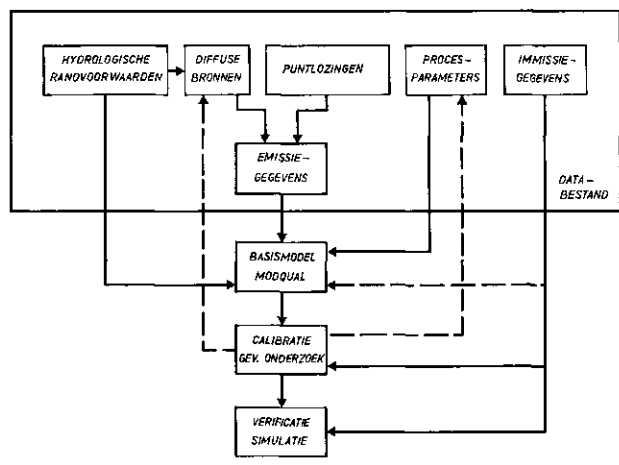
Met betrekking tot de aard van de zuivering kan worden opgemerkt dat sinds 1973 toen nog ca. 2/3 van de afvalwaterproductie niet of slechts mechanisch werd gezuiverd er een duidelijke toename van biologisch oxydatieve zuivering heeft plaatsgevonden.

Voor 1985 wordt zelfs gepland dat ca. 90 van de afvalwaterproductie biologisch zal worden gezuiverd.

Op basis van de afvalwaterproductie in i.e. zijn de lozings op de Rijn onderscheiden kleine puntlozingen en zijrivieren (< 0,95 M.i.e.), grote puntlozingen (> 0,95 M.i.e.) grote zijrivieren (> 0,95 M.i.e.) (zie tabel II)

TABEL II - Uitsplitsing van de afvalwaterproductie van puntlozingen op de Rijn (afgeleid uit IRC-inventarisaties).

Uitsplitsing afvalwaterproductie op de Rijn (10 ⁶ i.e.)	km	1973	1977	1985
Kleine lozingsen (< 0,95 M.i.e.)				
Rhone Poulenc Ch.	198	2,7	2,0	2,0
Cellulose Strasbourg	292	1,6	1,8	1,5
Strasbourg	300	2,3	1,0	1,2
Holtzmann, Karlsruhe	363	1,0	1,0	1,0
BASF, Ludwigshafen	429	8,6	6,3	6,3
Papierwerke Waldhof	432	3,0	3,0	3,0
Köln	696	1,4	1,4	1,4
Bayer, Leverkusen	700	4,8	2,0	2,0
Bayer, Dormagen	711	—	1,7	2,0
Düsseldorf	737	—	1,3	1,3
Düsseldorf	752	—	1,0	1,1
Krefeld	766	—	1,0	1,0
Bayer, Krefeld	766	2,0	2,0	1,0
totaal		27,2	25,4	25,1
Grote zijrivieren (> 0,95 M.i.e.)				
Aare	103	3,9	4,1	4,5
Neckar	428	4,5	6,1	6,5
Schwarzbach	475	—	1,0	1,0
Main	497	8,8	9,2	11,1
Moezel	595	4,6	5,6	6,3
Wupper	703	1,4	2,1	3,3
Ruhr	780	1,3	1,6	2,4
Emscher	798	1,0	5,0	5,5
Lippe	815	1,4	1,3	2,4
totaal		26,9	35,9	43,5



Afb. 7 - De relatie tussen gegevens-acquisitie en het waterkwaliteitsmodel.

Ten behoeve van de modellering zijn de kleine lozingen gelijkmatig verdeeld over het traject waarop zij uitkomen. De grote lozingen en grote zijrivieren (voorzover niet gemodelleerd) zijn als zodanig in het model als afzonderlijke lozingen opgenomen. Aan de hand van balansstudies, 'Flieссende Velle' * onderzoek en literatuurstudies is getracht de belasting in i.e.'s om te werken op belasting in termen van BOD, P, NH-verbindingen. Tevens is gebruik gemaakt van informatie over de toegepaste afvalwaterzuiveringssystemen, teneinde de omvang van de netto belasting door puntlozingen op het stroomgebied van de Rijn te kunnen berekenen. Uit bovenstaande analyses van de emissie 1973 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- de BOD-belasting is voor het grootste gedeelte afkomstig van de industrieën waarvan vooral de BASF een belangrijk aandeel heeft;
- de stikstofbelasting via zijrivieren (met name in de vorm van nitraat) is erg groot. De grootste bijdrage is afkomstig van de Moezel;
- de P-belasting is vooral afkomstig van zijrivieren en van directe huishoudelijke lozingen op de Rijn. De rivier de Main draagt in deze het meeste bij.

Immissiegegevens

Vooral om het model te ijken en de betrouwbaarheid ervan te testen is de beschikbaarheid van een goed immissie-stand uitermate belangrijk. In beperkte mate worden de immissie-gegevens ook als invoer voor het model gebruikt. Dit betreft de bovenstroomse omstandigheden (Konstanz) en de gemeten temperatuur van het rivierwater.

Onderzoek waarbij de waterkwaliteit met de room mee bepaald wordt.

Helaas wordt door verschillen in bemonsteringsfrequentie, datum, bemonsteringsprocedure, plaats, transport en analyse een onderling vergelijk bemoeilijkt. Uit de oorspronkelijke meetgegevens werden voor de berekeningsperiode zowel gemiddelden als het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval berekend.

Randvoorwaarden

Met betrekking tot de randvoorwaarden kan worden opgemerkt dat deze voornamelijk betrekking hebben op hydrologische gegevens zoals debiet, diepte, stroomsnelheid, dwarsdoorsnede e.d.. Deze gegevens zijn voor een belangrijk deel afgeleid uit de onlangs verschenen Monografie van de Rijn [5].

Procesparameters

Tot de procesparameters behoren reactieconstanten, de mate van uitwisseling met het sediment e.d. Uit de literatuur kunnen diverse waarden c.q. relaties worden afgeleid voor de reactieconstanten, die processen als re-aeratie, BOD-afbraak, nitrificatie e.d. beschrijven. Aangezien vrij algemeen wordt onderkend dat de re-aeratie-constante afhankelijk is van de stroomsnelheid en diepte, wordt de grootte hiervan middels één van de in het model opgenomen relaties berekend. Ook de BOD-afbraakconstante wordt via een relatie m.b.t. de mate van zuivering van het geloosde afvalwater berekend. Deze relatie heeft tot gevolg dat de afbraakconstante afneemt naarmate meer afvalwater in gezuiverde vorm wordt geloosd, waardoor in verhouding het aandeel van moeilijk afbreekbare stoffen toeneemt (zie literatuur [6]). Verder worden op alle procesparameters zonnig temperatuurcorrecties toegepast.

Ondanks deze ingebouwde afhankelijkheden is de spreiding van de in de literatuur ver-

melde waarden voor procesparameters vrij groot. Dit heeft tot gevolg dat een zekere ijking (calibratie) van het model noodzakelijk blijft, waarbij de parameters tot op zekere hoogte zodanig worden aangepast dat de met het model berekende resultaten vrij goed overeenstemmen met de gemeten immissiegegevens. Teneinde te verifiëren of deze door ijking ingestelde parameters ook voldoen onder gewijzigde omstandigheden, is voor een andere periode een nieuw vergelijk noodzakelijk tussen de berekende en gemeten waarden (validatie). De relatie tussen de voor het model benodigde gegevens en de ontwikkeling van het model is samengevat in afb. 7.

Het waterkwaliteitsmodel Rijn

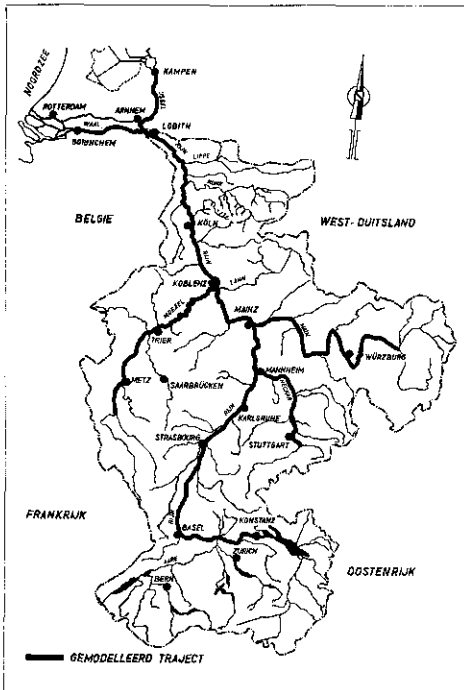
De toepassing van het basismodel MODQUAL op de Rijn kan worden onderverdeeld in een aantal faseringen w.o. modelopzet, calibratie, validatie, gevoeligheidsonderzoek en simulatie.

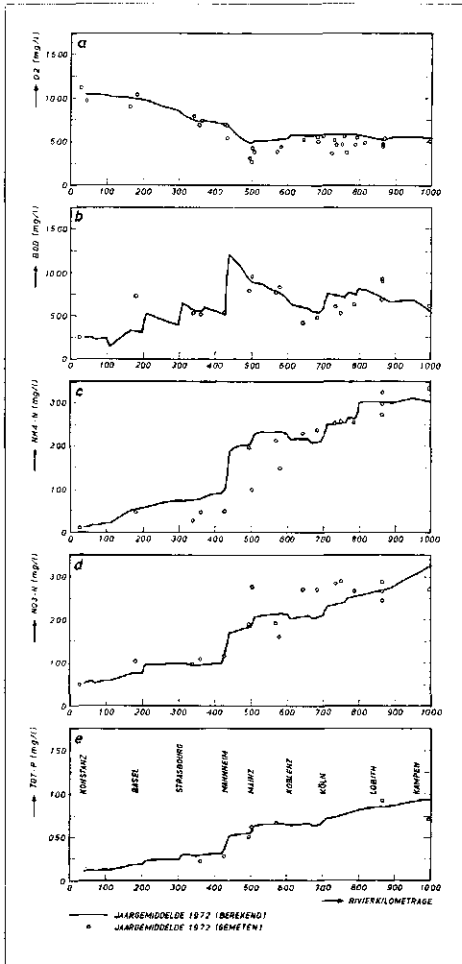
Modelopzet

Aan de hand van beschikbare hydrologische gegevens werden trajecten ingedeeld waarbinnen de hydraulische condities identiek mogen worden verondersteld. Aan de hand van daggemiddelde afvoergegevens wordt voor de modelleringsperiode het afvoerregiem ingevoerd.

In afb. 8 is aangegeven welk deel van de Rijn in model is gebracht, waarbij dient te worden opgemerkt dat behoudens de Aare, Neckar, Main en Moezel de belasting op

Afb. 8 - Het gemodelleerde deel van de Rijn, Neckar, Main, Moezel, Waal en IJssel.





Afb. 9 - Calibratie van het model voor 1972.

de zijrivieren verondersteld is plaats te vinden nabij de uitmonding op de Rijn. De grotere lozingen zijn via een beperkt aantal puntlozingen ingebracht, terwijl de kleine lozingen gelijkmatig over de betreffende trajecten zijn verdeeld. Diffuse bronnen (runoff e.d.) zijn vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Calibratie en validatie

Hoewel het model nog in ontwikkeling is, heeft reeds een eerste calibratie en validatie plaatsgevonden, waarbij het model in een vereenvoudigde vorm is toegepast. Zo is er aanvankelijk vanuit gegaan dat de invloed van algen op zowel de zuurstof- als nutriëntenhuishouding gering is. Tevens is de uitwisseling met het sediment voor wat betreft de nutriënten buiten beschouwing gelaten. Verder is de modellering van de fosfaathuishouding beperkt tot de modellering van totaal-fosfaat.

Het model is gecalibreerd op de jaargemiddelden voor 1972 en 1973. De validatie heeft plaatsgevonden op het jaargemiddelde voor 1977. Met betrekking tot de perioden waarvoor het model is gecalibreerd kan worden opgemerkt dat de

afvoerdebieten te Lobith voor 1972 en 1973 (resp. 1510 en 1750 m³/s) beduidend lager zijn dan het langjarig gemiddelde afvoerdebiet (2250 m³/s).

Dit impliceert dat mag worden verwacht dat de bijdrage vanuit de diffuse bronnen in vergelijking met gemiddelde omstandigheden gering zal zijn. De calibratie van het model heeft plaatsgevonden via een beperkte bijstelling van de volgende parameters:

- BOD afbraakconstante die door het model als functie van de zuiveringsgraad van het geloosde afvalwater wordt berekend. Dit leidt tot afbraakconstante in de range 0,20 - 0,40 dag⁻¹ (20 °C) voor 1972 en 1973.
- De bezinking van BOD is bepaald op 0,1 dag⁻¹.
- Het zuurstofverbruik door de bodem is bepaald op 2 - 4 gO₂/m² · dag (20 °C).
- De nitrificatiesnelheden voor oxydatie van NH₄ en NO₂ zijn bepaald op resp. 0,1 en 1,0 dag⁻¹ (20 °C).
- De ammonificatie snelheid voor omzetting van organisch N in NH₄ is gelijk gesteld aan de afbraakconstante van BOD.

Mede in het licht van de spreiding in de gemeten immissiewaarden (o.a. tengevolge van onvoldedige menging in de rivier) en de onzekerheden in de omvang van de belasting via puntlozingen alsmede de verwaarlozing van diffuse bronnen e.d. kan worden gesteld dat de eerste calibratiepoging voor O₂, BOD, NH₄, NO₃ en tot-P zowel voor 1972 als 1973 niet onbevredigend is verlopen. De aldus berekende en gemeten waarden voor 1972 zijn uiteengezet in de afb. 9a, b, c, d, e.

Opmerkelijk is de grote toename in het BOD-gehalte tengevolge van vnl. de BASF-fabrieken te Ludwigshafen (km 430). De bijdrage van deze lozing is tevens terug te vinden in een toename van het NH₄-gehalte. Deze belasting ter grootte van 8,5 · 10⁶ i.e.'s is inmiddels gesaneerd. Ook de validatie van het model voor 1977 (afb. 10a, b, c, d) kan bevredigend worden genoemd vooral omdat de afwijkingen voor een belangrijk deel toegeschreven kunnen worden aan processen die nog niet in de modelrekeningen zijn verdisconteerd. De afvoer te Lobith (2210 m³/s) was in dit jaar beduidend hoger dan in 1972. Dit heeft tot gevolg dat de invloed van diffuse bronnen groter is, hetgeen vooral in het nitraat-gehalte naar voren komt. Ook de bijdrage van fosfaat via de diffuse bronnen kan niet geheel worden verwaarloosd. De BOD-gehalten worden enigszins lager berekend dan is gemeten, hetgeen kan worden toegeschreven aan diffuse bronnen. Het is echter ook mogelijk dat het leefklimaat voor algen in de Rijn t.g.v. de toename van

zuivering enigszins verbeterd, waardoor ook deze bijdragen in de gemeten BOD-gehalten. Het jaargemiddelde chlorofylgehalte te Lobith bedroeg in 1977 ca. 30 µg/l hetgeen kan leiden tot een verhoging van ca. 1,5 mg/l in de BOD₅-bepaling. De door het model bepaalde afbraakconstante van BOD ligt voor deze periode in de range van 0,15 - 0,25 dag⁻¹ (20 °C) en is als gevolg van de toegenomen mate van zuivering beduidend lager dan voor 1972/1973.

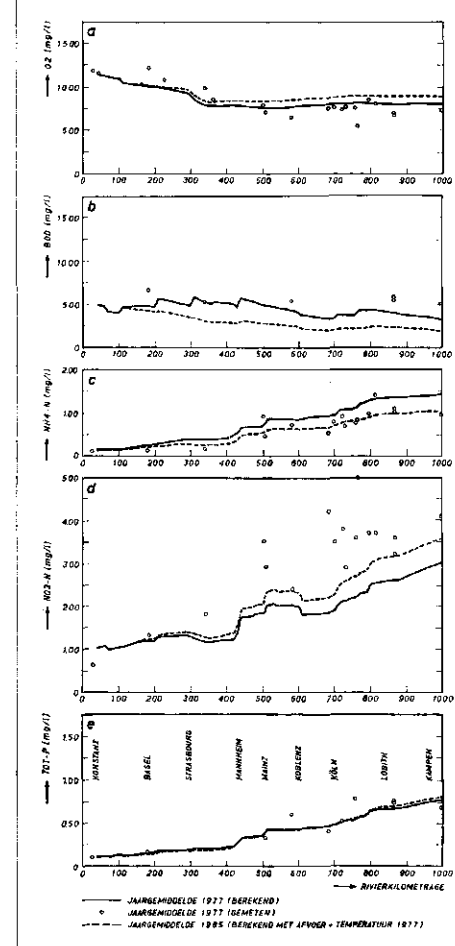
Gevoeligheidsonderzoek

Uit een eerste gevoeligheidsonderzoek is gebleken dat de resultaten vrij gevoelig zijn voor de totale belasting op het stroomgebied van de Rijn. De onzekerheden in de resultaten dienen dan ook voornamelijk te worden toegeschreven aan de onzekerheden bij de afschatting van de belasting per i.e., de reductie van deze belasting bij zuivering alsmede de bijdrage van diffuse bronnen.

Simulaties

Hoewel de ontwikkeling van het model nog niet is voltooid en uit de validatie

Afb. 10 - Validatie van het model voor 1977 en simulatie voor 1985.



erekeningen blijkt dat mede aandacht moet worden besteed aan de belasting via diffuse bronnen en de invloed van algen, zijn op basis van de pronose van de IRC, n.b.t. de emissie voor 1985, een aantal simulaties uitgevoerd onder dezelfde temperatuur en afvoercondities als in 1977. De resultaten van deze berekeningen zijn veneens opgenomen in de afb. 10a, b, c, d, e. *Jit deze afbeeldingen blijkt dat indien de belasting vanuit diffuse bronnen en de invloed van algen vergelijkbaar blijft met die in 1977, tendensen mogen worden verwacht, die analoog zijn aan die in de periode 1972-1977, namelijk:*

- toename van het zuurstofgehalte;
- afname van het BOD-gehalte;
- afname van het NH₄-gehalte;
- toename van het NO₃-gehalte;
- lichte toename van het fosfaatgehalte.

Het is evenwel mogelijk dat door een verdere toename van de invloed van algen de afname van het BOD-gehalte zich minder sterk zal manifesteren.

tenslotte zij vermeld dat ook m.b.t. COD en N-Kjeldahl bevredigende resultaten zijn verkregen. In het kader van dit artikel zal hierop evenwel niet verder worden ingegaan.

Conclusies

Met betrekking tot het waterkwaliteitsmodel Rijn kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

Op basis van de huidige resultaten van de eerste calibratie en validatie mag verwacht worden dat het waterkwaliteitsmodel Rijn als een verantwoord beleidsonderbouwend instrument zal kunnen fungeren bij het plannen van sanerings- en andere beheersmaatregelen.

Voor het zover is zullen echter modificaties in het model moeten worden aangebracht en aanzien van de invloed van diffuse belastingen en wellicht algendynamica en denitrificatie.

Voorts zal aandacht moeten worden gegeven aan verdere calibratie en validatiepogingen bij verschillende afvoeren en temperatuurcondities.

tenslotte zullen nadere studies moeten worden uitgevoerd naar het kwantificeren van de betrouwbaarheid van immissiegegevens en naar de omvang van emissieën in termen van BOD, COD, N-Kjd, NH₄ en NO₃-belasting in het bijzonder afkomstig van industrieën en diffuse bronnen.

Dankbetuiging

De dank van de auteurs gaat uit naar de

medewerkers van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, die een belangrijk aandeel hebben gehad bij het toeleveren van gegevens en het aandragen van inzichten m.b.t. de waterkwaliteitsmodellering. In het bijzonder kan daarbij ir. B. G. M. van de Wetering (RIZA) genoemd worden.

Literatuur

1. Waterloopkundig Laboratorium, *Modelling Rijnwaterkwaliteit, probleemanalyse*, rapport R1056-1/S321-1, Delft, november 1977.
2. Norton, W. R., Roesner, L. A., Evenson, D. E. and Monsler, J. R., *Computer Program Documentation for Stream Quality Model QUAL II*, prepared for the EPA, Systems Development ranch, Water Resources Engineers, Inc. revised August 1974.
3. Hughto, R. J. Loucks, D. P., *A multioi parameter water quality management model for river basins*, Office of Water Research and Technology US Department of the Interior, Washington, 1977.
4. Internationale Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung, Langfristiges Arbeitsprogram, Koblenz.
5. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, *Das Rheingebiet*, Hydrologische Monographie, Den Haag, 1978.
6. Wolf, P. *Simulation des Sauerstoffhaushaltes in Fliessgewässern*. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 53, Kommissionsverlag R. Oldenbourg - München, 1974.



neerkomen op herprogrammering van lopend onderzoek.

Het bedrag van 8,25 miljoen is dan ook niet meer dan wat nodig is om knelpunten weg te nemen bij de herprogrammering en om lacunes op te vullen.

De veelomvattende onderzoekplannen van de LASOM zijn gebaseerd op een onderzoek naar mogelijkheden en behoeften van de Vrije Universiteit in Amsterdam.

In eerste instantie is onderzocht welke prioriteiten milieu-deskundigen konden aanduiden. Later is een grote enquête gehouden onder wetenschapsmensen, hoge ambtenaren, politici, milieugroepen en het bedrijfsleven.

Op basis van deze opsomming van maatschappelijke ontwikkelingen, die bedreigend voor het milieu worden geacht en van de daaraan gekoppelde lijst van urgent milieu-onderzoek heeft de LASOM vorig jaar de regering voorstellen gedaan voor een nationaal onderzoekprogramma op tal van terreinen die het milieu raken.

Bij alle groeperingen bleek dat onderzoek het meest dringend gewent is op het gebied van grondstoffen- en energievoorziening en de uitvloeisels van bepaalde technologische (de chip) en economische ontwikkelingen. Ook de schaalvergroting en intensivering in landbouw en visserij (bio-industrie) scoorde hoog. (ANP)



Groen licht voor nationaal milieu-onderzoekprogramma

Het kabinet heeft op 11 juli zijn toestemming gegeven voor een nationaal milieu-onderzoekprogramma dat een aantal jaren zal lopen. De Landelijke Stuurgroep Onderzoek Milieuhygiëne (LASOM) mag zijn voorstellen gaan uitvoeren, die in juni vorig jaar in een rapport werden aangeboden aan de ministers Van Trier en Ginjaar.

De kosten ervan bedragen in de jaren 1980-1982 ongeveer 8,25 miljoen gulden. Dit bedrag wordt gevonden in de begrotingen van een aantal betrokken departementen. Wetenschapsbeleid neemt daarvan 3,5 miljoen gulden voor zijn rekening, waarvan 1,5 miljoen gulden uit het stimuleringsfonds.

De nationale onderzoekprogramma's zullen zijn toegespitst op een aantal probleemgebieden, waar het milieu in de knel komt door bijvoorbeeld economische ontwikkelingen, nieuwe vormen van energie opwekken, toenemende recreatie, enz. In de praktijk zullen de programma's