

Nutriënten in de Rijn

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

1. Inleiding

Bij activiteiten t.b.v. de zorg voor de kwaliteit van het fysisch en biologisch milieu staan de begrippen verontreiniging, vervuiling, degradatie etc., overigens veelal terecht, centraal en vormen die begrippen vaak de primaire uitgangspunten voor vele en diverse filosofieën, studies, voornemens en maatregelen van verschillende aard. Voor evenwichtige(r) benaderingen aangaande het kwaliteitsbeheer van het milieu is het echter noodzakelijk minstens even veel aandacht te besteden aan de begrippen



DR. IR. D. W. SCHOLTE
UBINK

Instituut voor Milieuhygiëne en
Gezondheidstechniek TNO,
Delft

schoon, zuiver, niet-verontreinigd, 'natuurlijk', etc. en aan hun betekenis voor en in het milieu. Het is moeilijk te ontkomen aan de gedachte dat in de relatie 'verontreinigd milieu' - 'schoon milieu' het aandachts-evenwicht in verleden en heden te veel naar links verschoven is (geweest). Analoog aan een ecologische disharmonie, zou van een verstoring van een evenwicht kunnen worden gesproken.

Het vorenstaande heeft m.i. ook betrekking op het gebied van de kwaliteitszorg voor het oppervlaktewater. Immers, hoe moeilijk is het nog om op eenvoudige en legale vragen betreffende bijv. waterkwaliteitsverwachtingen na te nemen of genomen maatregelen, oorspronkelijke waterkwaliteiten, dosis-effect relaties etc. goede antwoorden te geven.

Met nutriënten (P en N) en de Rijn als onderwerpen van studie is, tegen de achtergrond van het vorenstaande, getracht de aandacht dan ook allereerst te vestigen op het natuurlijk voorkomen en de betekenis van elementen en nutriënten in het fysisch en biologisch milieu op aarde. Daarna is de stap gezet naar het (dientengevolge) natuurlijk voorkomen van elementen en nutriënten in het water van de Rijn, alsmede naar een kwantificering van de natuurlijke last aan elementen in een schone Rijn. Met literatuurgegevens wordt voorts gepoogd een verbinding te leggen tussen de te berekenen natuurlijke en antropogene P- en N-belasting van de Rijn en de waargenomen (gemeten) vrachten aan deze elementen. Tot slot wordt getracht enkele aspecten van een verwachtingspatroon voor de P-last in de Rijn op te stellen voor verschillende technische preventieve en curatieve maatregelen van afvalwaterbehandeling in het stroomgebied boven Lobith.

Het totale stroomgebied van de Rijn beslaat rond 185.300 km². Bovenstrooms van Lobith bedraagt het areaal 160.000 à 161.000 km², waarvan ca. 62 % in Duitsland gelegen is, ca. 25 % in Zwitserland, ca. 11 % in Frankrijk en ca. 2 % in Oostenrijk en Luxemburg (Internationale Kommission für die Hydrologie des Rhein-gebietes, 1978). De gemiddelde Rijnafvoer te Lobith ofwel de afvoer in een normaal (50 %) jaar wordt hier gesteld op 2200 m³/sec of 69 à 70 x 10⁹ m³/jaar (Martijn, 1967).

2. Nutriënten in de biosfeer

Nutriënten zijn voedingsstoffen voor levende materie (organismen). Het zijn de elementen of verbindingen die essentieel zijn voor de opbouw en de instandhouding van organismen, alsmede voor het voltooiën van hun levenscyclus. Het begrip nutriënt of voedingsstof is derhalve verbonden aan alle macro- en microorganismen die het biotisch-milieu vormen en hun levenscyclus in de biosfeer volbrengen.

De aard of hoedanigheid van aangeboden, benodigde en opgenomen nutriënten is uiteraard afhankelijk van het organisme zelf en van de plaats van de organismen in voedselketens, voedselwebben of voedselnetwerken. In dit verband moet o.a. gedacht worden aan de verschillen in dit opzicht tussen de producenten (groene planten, autotrofe organismen met primaire productie of fotosynthese), de consumenten (herbivoren, carnivoren, omnivoren) en de reduceren (lagere organismen, zoals bacteriën en schimmels, met voeding via afbraak en omzetting van dode organismen en met opnieuw vrijkomen (mineralisatie) van anorganische materie als voedingsstoffen voor de producenten). Naast de opname van nutriënten via vast voedsel speelt natuurlijk ook de opname van voedingsstoffen via (drink)water een belangrijke rol.

Met betrekking tot de voedingselementen of nutriënten wordt in de literatuur dikwijls gesproken van essentiële elementen (met bewezen noodzaak) en van waarschijnlijk noodzakelijke elementen. De essentiële elementen met bewezen noodzaak worden daarbij gegroepeerd in de zgn. hoofdvoedingselementen of macro-nutriënten en in de zgn. micro-nutriënten ('minor-elements, trace-elements, micro-metabolic-elements'). Het bestaan van de groep waarschijnlijk noodzakelijke elementen, waaraan nog steeds nieuwe worden toegevoegd en waaruit ook elementen worden overgeplaatst naar de groep met bewezen noodzaak, illustreert dat de opbouw van kennis over deze materie nog (lang) geen eindstadium heeft bereikt.

Uit vrij verspreid in de literatuur vermelde gegevens kan nu het volgende overzicht met betrekking tot voedingselementen voor hogere planten en dieren en met betrekking tot het voorkomen van deze elementen in de biosfeer en in celmaterie worden opgesteld.

De voedingselementen worden aangeboden en opgenomen in diverse anorganische en organische vormen. Aanbod en opname vinden plaats in en via die delen van de lithosfeer, de hydrosfeer, en de atmosfeer die deel uitmaken van de biosfeer op aarde. Voor de nutriënten-huishouding in elk van die sferen, dus ook voor die in oppervlaktewater, zijn de interacties tussen lithosfeer, hydrosfeer, atmosfeer en biosfeer van grote betekenis. Op de grote verschillen in chemische hoedanigheid van die sferen en op de interacties tussen die sferen, resulterend o.a. in de kringlopen van materie, kan in dit kader echter niet worden ingegaan.

Zuiver water (H₂O) komt in de natuur praktisch niet voor. Alleen tijdens en wellicht gedurende een zeer kort tijdsverloop na verdamping kan van een aanwezigheid van zuiver, 'niet verontreinigd', water worden gesproken. Zowel vanwege de eigenschappen van water als vanwege de vele materie-inbrengprocessen bevat de waterfase, dus ook het water van de Rijn, altijd vele stoffen en verbindingen in diverse vormen en hoedanigheden ('Inhalt-Stoffen'). Speciaal het oppervlakte- en grondwater, incl. het bodemvocht, vervullen als media

voor transport en aanbod van nutriënten en als media voor de overdracht van deze voedingselementen aan diverse organismen daardoor zeer belangrijke functies. Voor nagenoeg alle plantaardige organismen geldt zelfs dat praktisch elk voedingselement met en via de waterfase in ionenvorm wordt aangeboden en opgenomen. Een uitzondering hierop vormen het aanbod en de opname van C en in bepaalde gevallen ook van N vanuit de atmosferische gassen CO₂ en N₂.

Een aanbod of gebruik van (ruw) Rijnwater impliceert een aanbod van de stoffen incl. nutriënten in dat water. De organismen die Rijnwater gebruiken of die Rijnwater wordt aangeboden en derhalve met die nutriënten worden geconfronteerd zijn:

- de aquatische flora en fauna in de Rijn zelf (Rijnwater als leefmilieu voor deze organismen);
- de aquatische flora en fauna elders wanneer hun leefmilieu voortdurend of periodiek van Rijnwater wordt voorzien (bijv. oppervlaktewateren in Nederland met Rijnwatersuppletie voor doorspoeling, peilbeheersing etc.; de Noordzee; de Waddenzee);
- de terrestrische flora en fauna, incl. cultuurgewassen, wanneer de Rijn een bijdrage levert in hun watervoorziening (bijv. graslanden op uiterwaarden; andere gebieden in Nederland met gehele of gedeeltelijke aanvullende watervoorziening vanuit de Rijn; gebieden met infiltratie van Rijnwater t.b.v. de drinkwatervoorziening);

d. mensen en dieren die voor hun drinkwatervoorziening direkt of indirekt gebruik maken van het water in de Rijn.

Bij beschouwingen over nutriënten in het Rijnwater en hun betekenis voor of invloed op organismen ('impact'-studies) dienen feitelijk alle onder a. t/m d. genoemde gebruikers van Rijnwater te worden betrokken (zie bijv. World Health Organization, 1979). In verband met de grote kwantitatieve betekenis van de Rijn voor de Nederlandse (oppervlakte)waterhuishouding en de eutrofie/hypertrofie problematiek van dat oppervlaktewater (Scholte Ubink, 1978) wordt hier de aandacht voornamelijk gericht op de betekenis van de nutriënten in de Rijn voor de aquatische flora (algen, hogere waterplanten).

Ook daarbij zijn in feite alle essentiële elementen van belang (eutroof = goed gevoed met (anorganische) nutriënten). Om reeds eerder vermelde redenen (Scholte Ubink, 1978) wordt in deze voedingsproblematiek de aandacht veelal echter beperkt tot de N- en P-bevattende eutrofiebevorderende nutriënten. Slechts in uitgebreidere eutrofie-studies wordt daarnaast nog aandacht besteed aan bijv. C (CO₂, HCO₃⁻), Si (SiO₂) en K.

3. Transport van nutriënten naar en huishouding in het Rijnwater: kwalitatieve aspecten

Er zijn diverse processen welke in meerdere of mindere mate resulteren in een materie-emissie naar of materie-inbreng in het oppervlaktewater binnen het stroomgebied van de Rijn. Elk van deze processen zal een bijdrage (kunnen) leveren tot de totale nutriëntenlast van het rivierwater. De belangrijkste van deze materie-inbrengprocessen kunnen in de volgende 10 rubrieken worden ondergebracht:

1. natuurlijke erosie en 'run-off' van bodem en aardkorst;
2. natuurlijke ontvangst van (diep)grond-, bron-, kwelwater etc.;
3. natuurlijke droge en natte neerslag uit de atmosfeer;
4. oplossen van natuurlijke gassen vanuit de atmosfeer (o.a. O₂, CO₂, N₂);
5. bodemerosie en 'run-off' t.g.v. menselijke activiteiten in de aardkorst, in de bodem en met het aardoppervlak (bijv. ten gevolge van alle agrarische activiteiten en bodembewerkingen, grondwerken, delfstofwinning ontbossing, afvalverwerking etc. etc.). Ook bodemverontreinigingen kunnen via erosie en 'run-off' emissie-bronnen vormen voor het oppervlaktewater;
6. uitspoeling van de bodem t.g.v. mense-

Overzicht voedingselementen of nutriënten voor organismen

Essentiële elementen (met bewezen noodzaak):

O, C, H, N, Ca, K, Mg, S, P = hoofdvoedingselementen of macro-nutriënten

Si, Al, Cl, Fe*, Mn*, Na, Zn*, Cu*, Mo*, B, J, F, Co*, V*, Ni* (Se*, Cr*, Sn*?) = micro-nutriënten, 'minor-elements', 'trace-elements' of 'micro-metabolic-elements'

Waarschijnlijk noodzakelijke elementen:

Ti*, As*, Sn*, Se*, Li, Sr, Ba, Br, Ce*, Cr*

* = zwaar metaal

15 essentiële elementen	Biomassa in de biosfeer (Deevey, 1970)		Levende cel i.h.a. (Aiking, 1977)	Algel materiaal (C ₁₀₆ H ₁₈₀ O ₄₅ N ₁₆ P)
	kg/ha	gew. %		
O	104.600	52,3	30	29,7
C	78.500	39,3	45	52,0
H	13.150	6,8	7	7,4
N	1.000	0,5	10	9,2
Ca	754	0,4		
K	456	0,23	3	
Si	241	0,12		
Mg	196	0,10		
S	142	0,07	2	
Al	111	0,06		
P	104	0,05	2	1,3
Cl	99	0,05		
Fe	77	0,04	metalen 1	
Mn	42	0,02	Fe, Mg, Mn	
Na	38	0,02		

lijke activiteiten incl. bodemverontreiniging (zie 5);

7. stofneerslag en opname van gassen (droog en nat) vanuit de atmosfeer t.g.v. menselijke activiteiten (= invloed luchtverontreiniging);

8. afvoer van onbehandeld en behandeld afvalwater van huishoudelijke, stedelijke en industriële aard uit rioleringsgebieden en verspreide bronnen. Ook de afvoer van afvalwater en andere stoffen vanuit schepen (rivierscheepvaart) moet tot deze rubriek worden gerekend;

9. afvoer van afval en afvalwater uit de agrarische sektor;

10. calamiteuze emissies te water en te land.

Ten behoeve van verdere modellering en schematisering worden materie-emissies vaak onderscheiden in diffuse en niet-diffuse (= punt) bronnen, alsmede in debiet-afhankelijke en debiet-onafhankelijke bronnen. Met betrekking tot de 10 genoemde rubrieken voor de Rijn kan overwegend gelden:

diffuse bronnen binnen de rubriek 1 t/m 7; puntbronnen binnen de rubrieken 8 t/m 10; debiet-afhankelijke bronnen binnen de rubrieken 1, 2, (3), 5, 6 en (7); debiet-onafhankelijke bronnen binnen de rubrieken (3), 4, (7), 8, 9 en 10.

Na de immissie van (materie met) nutriënten volgt ogenblikkelijk de nutriëntenhuishouding in het rivierwater zelf. Genoemd moeten worden de chemische en fysische processen, zoals (verder) oplossen, de vorming van precipitaten (langs chemische weg) en sedimenten (langs mechanische weg: bezinking, opslag), opwoeling, hertransport en heroplossen, oxydaties en reducties, opname en vastlegging in aquatisch sediment en wederom afgifte vanuit sedimenten. Voorts de biologische, incl. micro-biologische, processen, zoals opname door aquatische organismen (incl. opname van N₂), wederom vrijkomen door respiratie, afsterving en lysis van organismen, mineralisaties (zelfreiniging, afbraak), nitrifikatie en denitrifikatie, vorming van neerslagen langs micro-biologische weg etc. In verband met het vorenstaande is vermeldenswaard dat bij plaatselijk onderzoek van de bodem van de Rijn (nabij Keulen en Bonn) slijmachtige substanties ter dikte van ca. 50 cm en ook zeer harde Fe- en Mn-sedimenten zijn waargenomen.

Vele van vorengenoemde processen zullen elkaar wederzijds beïnvloeden en zullen bovendien afhankelijk zijn van de heersende omstandigheden, zoals weer en klimaat (watertemperatuur, instraling), de O₂-huishouding, helderheid en doorzicht van het water, debiet en afvoerregiem etc.

Het is bijzonder moeilijk om de genoemde processen van materie-inbreng en materiehuishouding in het Rijnwater nauwkeurig te kwantificeren. Niet alleen door natuurlijke oorzaken (bv. weersgesteldheid, seizoeninvloeden) maar vooral ook door hydrologische en terrestische ingrepen van de mens zullen de omstandigheden in het stroomgebied op korte en lange termijn variëren, waardoor alleen al de emissies en immissies zich in kwantitatieve en kwalitatieve zin voortdurend zullen wijzigen. Speciaal door de 'impact' van de mens (zie de rubrieken 5 t/m 10) moet het relatief dichtbevolkte (ca 250 inw./km² boven Lobith) en sterk geïndustrialiseerde stroomgebied van de Rijn als bijzonder dynamisch worden gekarakteriseerd.

4. Transport van nutriënten naar en huishouding in de Rijn: kwantitatieve aspecten met betrekking tot P en N.

4.1. Van nature voorkomende emissies en concentraties.

Reeds vanwege gesteente-erosie in het stroomgebied zijn in het Rijnwater, zowel in opgeloste als in niet-opgeloste vorm (slibfase of zwevende- en colloïdale fase) van nature waarschijnlijk alle natuurlijke elementen van het periodiek systeem, in welke verbinding dan ook, aanwezig. Een (eerste) geochemische berekening over het natuurlijk transport van en de last aan elementen in het Rijnwater te Lobith t.g.v. 'gesteente erosie' in het stroomgebied werd door Schuiling (1974) uitgevoerd. Resultaten voor een groot aantal elementen (voor enkele aangevuld door Scholte Ubijng) zijn vermeld in tabel I. Voor P zijn twee cijfers

gegeven; de lage waarde wordt door Schuiling (mondelinge mededeling, 1979) nu als de meest waarschijnlijke gehouden. Deling van het berekende natuurlijke transport in ton/jaar door het gem. Rijn-debiet van 7×10^{13} l/jaar geeft een schatting van de gem. natuurlijke concentraties aan genoemde elementen, door gesteente-erosie vrijgekomen, in de opgeloste + niet-opgeloste fasen.

Hoe globaal de cijfers van tabel 1 ook mogen zijn, zij tonen duidelijk de hoge last van en concentraties aan diverse bouwsteen-elementen van de lithosfeer (Si, Ca, Al, Mg, Fe, Na, K, Ti, S), de zeer lage last en concentraties aan vele zware metalen en de relatief lage last en concentratie aan P (< 0,18, wellicht ca. 0,10 mg totaal P/l).

Golterman (1974) schat de totale erosie-P last, op grond van de 'natuurlijke' S₁ O₂—S₁/PO₄—P verhouding van ca. 110/1, op ca. 10.000 ton/jaar. De erosie-P last zal, als mineralogisch-P, vermoedelijk ingebouwd zitten in kleistructuren (klei-fosfaat). Golterman tekent daarbij aan dat deze P-last daardoor moeilijk, in elk geval zeer langzaam, beschikbaar zal komen voor opname door aquatische biomassa's.

N ontbreekt (uiteraard) in de tabel van Schuiling. Niet alleen is het gemiddeld N-gehalte van de lithosfeer zeer laag (< 0,0001 gew. %), ook is het moeilijk aan te geven in hoeverre deze stikstof nog enigszins bijdraagt in de natuurlijke N-last van het rivierwater.

Naast de zuivere gesteente-erosie vindt in het stroomgebied ook uitspoeling en 'run-off' van materie plaats uit de zgn. woeste gronden ('natuurlijke' gronden, bosgebieden) zonder overwegende invloeden c.q. aktivi-

TABEL I - Globale natuurlijke materie transporten naar en concentraties in het Rijnwater te Lobith t.g.v. gesteente erosie. Ontleend aan Schuiling (1974) voor een gem. Rijn-debiet van 7×10^{13} l/jaar, een erosie snelheid van 4 cm/1000 jaar en 50 % stollingsgesteente + 50 % carbonaatgesteente in eroderende gebieden van het Rijnbecken.

	natuurlijke vracht van de Rijn			natuurlijke vracht v.d. Rijn			
	gest. * gew. %	ton/jaar	mg/l totaal	gest. * ppm	ton/jaar	µ g/l totaal	
Si	15,94	3.190.000	45	V	80	1600	23
Ca	15,41	3.082.000	44	Ni	53	1060	15
Al	(4,43)	885.000	13	Cu	52	1040	15
Mg	3,15	629.000	9	Zn	48	960	14
Fe	2,55	510.000	7	Y	28	(560)	(8)
Na	1,42	284.200	4	Li	17,5	350	5
K	1,41	281.000	4	Pb	16	320	5
Ti	0,26	(52.000)	(0,74)	Co	11,5	230	3
S	0,25	49.600	0,71	U	2,6	(52)	7
Mn	0,09	17.800	0,25	Be	1,8	36	0,5
P	0,07	13.800	0,18	As	1,7	34	0,5
	0,04	7.000	0,10	Sn	1,4	(28)	(0,4)
Sr	0,05	(10.000)	0,14	Mo	1,0	(20)	(0,3)
F	0,04	8.100	0,12	Sb	0,35	(7)	(0,1)
Ba	0,03	(6.000)	(0,09)	Hg	0,17	3,7	0,05
Cr	0,01	2.080	0,03	Ag	0,17	3,4	0,05
Zr	0,01	(2.000)	0,03	Cd	0,13	2,8	0,04

* Gem. samenstelling eroderend gesteente in stroomgebied van de Rijn.

teiten van de mens. Deze uitspoeling en 'run-off' zouden dan ook van overwegend natuurlijke aard mogen worden beschouwd. Het areaal woeste gronden boven Lobith bedraagt rond 48.000 km² (ca. 0,12 ha/inw. x ca. 40.10⁶ inw.).

Literatuurgegevens voor deze gronden in geaccidenteerde gebieden duiden op uitspoelingsemissies van ca. 0,05 kg P/ha. jaar en 0,5 à 0,6 kg N/ha. jaar.

De 'run-off' emissies zouden in de orde van grootte van 0,5 kg P/ha. jaar en 1,3 à 5 kg N/ha. jaar liggen (CEEP, 1977; EPA, 1976). De totale emissie t.g.v. uitspoeling en 'run-off' uit de woeste gronden komt dan op ca. 2640 ton P/jaar en ca. 17.500 ton N/jaar. Over de natuurlijke ontvangst van nutriënten via (diep)grond-, bron- en kwelwater, alsmede via natuurlijke stofneerslag uit de atmosfeer zijn te weinig gegevens beschikbaar om schattingen over die emissies te maken.

Voorzover N₂ als nutriënt moet worden beschouwd, wordt hier, als 'emissie' naar de Rijn, nog gewezen op het oplossen van atmosferisch N₂ in het oppervlaktewater van het stroomgebied. Met een verzadigingsconcentratie (bij 10 à 20 °C en een atm. N₂-gehalte van 78,5 vol. %) van 18 à 15 mg N₂/l en een gemiddeld Rijn-debiet van 7 x 10¹³ l/jaar volgt een transport met het rivierwater van gemiddeld 1.155.000 ton N₂/jaar!

4.2. De P- en N-emissies t.g.v. activiteiten van de mens

De duidelijkste en waarschijnlijk belangrijkste nutriënten emissies naar oppervlaktewater t.g.v. activiteiten c.q. invloeden van de mens zijn:

- lozing van huishoudelijk, stedelijk, industrieel en agrarisch afvalwater;
- uitspoeling van materie uit en 'run-off' van bodems welke onderhevig zijn aan antropogene belasting of verontreiniging met nutriënten, o.a. bemeste cultuurgronden in de agrarische sektor;
- directe ontvangst van materie via 'droge en natte' neerslag uit de atmosfeer t.g.v. luchtverontreiniging.

Lozingen van afvalwater

Uit gegevens over de afvalwaterbehandeling van 28 grote steden in het stroomgebied van de Rijn met 9,733 x 10⁶ inwoners (International Städtessymposium, 1979) blijkt dat voor die steden de gemiddelde afvalwaterproductie door de bevolking en door de op de stedelijke riolering aangesloten industrie 371,3 l/inw. etm. bedraagt. Toepassing van dit cijfer op de ca. 40 x 10⁶ inw. van het gehele stroomgebied boven Lobith zou een totale huishoudelijke en stedelijke industriële

afvalwaterproductie opleveren van 5,42 x 10⁹ m³/jaar. De werkelijke totale afvalwaterproductie zal groter zijn. De Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke E.V. (1976) geeft voor 1976 reeds een totale winning van oppervlakte- en grondwater in het gehele stroomgebied voor de drink- en industriewatervoorziening van 17 x 10⁹ m³/jaar. Aangenomen mag worden dat deze hoeveelheid nagenoeg geheel als afvalwater wordt afgestoten. Hantering van de gegeven uit het BGW-Zahlenspiegel (1979) leidt tot een totale huishoudelijke en stedelijke afvalwaterproductie van 2 à 3 x 10⁹ m³/jaar en een totale productie van industrieel afvalwater (t.g.v. eigen waterwinning) van minstens 12,1 x 10⁹ m³/jaar. Dit zou dan een gezamenlijke afvalwater emissie opleveren van minstens 14,5 x 10⁹ m³/jaar.

Ter bepaling van de gedachte over de 'grootte' van deze afvalwaterstromen kan een vergelijking worden getroffen met de Rijnafvoer te Lobith (Van Bendegom, 1961; Martijn, 1967): 17 x 10⁹ m³/jaar komt overeen met ca. 8 % van de maximum Rijnafvoer van 200 x 10⁹ m³/jaar, met ca. 24 % van de gemiddelde afvoer van 70 x 10⁹ m³/jaar, met ca. 45 % van de afvoer van 37 x 10⁹ m³/jaar in een 2 %-zeer droog jaar en met ca. 61 % van de minimum afvoer van 28 x 10⁹ m³/jaar. De totale P- en N-productie via huishoudelijk c.q. stedelijk afvalwater binnen het stroomgebied boven Lobith kunnen berekend worden op ca 40 x 10⁶ inw. x (3,6 à 4,3) g P/inw. etm. resp. (12 à 14) g N/inw. etm. = ca. 58.400 ton P/resp. ca. 189.800 ton N/jaar. Deze hoeveelheden zullen de Rijn echter niet bereiken.

Met 10 à 30 % verspreide bronnen zonder centrale riolering en zonder totale afvoer naar oppervlaktewater, derhalve met 70 à 90 % centrale verzameling van afvalwater, met ca. 65 % oxydatief-biologische behandeling en ca. 35 % niet-volledige zuivering (Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke E.V., 1976; Korrespondenz Abwasser, 1979) kan een emissie naar oppervlaktewater en een mogelijke belasting van de Rijn berekend worden op 30.200 à 38.900 ton P/jaar en 132.900 à 170.800 ton N/jaar. Over de P- en N-producties via industrieel afvalwater staan mij geen gegevens beschikbaar.

Uitspoeling en 'run-off' van bodems

Het is bijzonder moeilijk om voor een gecompliceerd stroomgebied als dat van de Rijn betrouwbare cijfers te verkrijgen over de totale uitspoeling en 'run-off' van P en N uit bemeste agrarische gronden en andere cultuurgebieden. Uitspoeling en 'run-off' van materie zijn immers sterk afhankelijk

van o.a. de neerslagintensiteit en -verdeling alsmede van de aard van de neerslag, de terreinhellingen of geaccidenteerdheid van het gebied, de grondsoort en de condities van de bodem o.a. in verband met de infiltratie-capaciteit, de aard van de agrarische activiteiten, de veebezetting (vooral in sterk hellende gebieden), de bodembedekking en bodembewerking, de kunstmest- en natuurlijke mestgiften, het tijdstip van bemesten, de bodemvruchtbaarheid etc.

Uit de agrarische en bodemkundige literatuur en gegevens over deze aspecten op zich zou voor de totale gemiddelde uitspoeling en 'run-off' uit de agrarische gebieden in het geaccidenteerde stroomgebied boven Lobith een ruwe schatting kunnen worden gemaakt van 0,2 à 0,4 kg P/ha. jaar en wellicht 30 à 60 kg N/ha. jaar (Bucksteeg, 1966; Kolenbrander, 1971, 1979; Steenvoorden en Rijtema, 1979; CEEP, 1977). Onder de aanname dat deze emissies de Rijn beïnvloeden zou de belasting van de rivier t.g.v. deze processen geschat kunnen worden op maximaal (160.000 — 48.000) km² x 100 x (0,2 à 0,4) kg P/ha. jaar resp. (30 à 60) kg N/ha.jaar = gem. 3350 ton P/jaar resp. gem. 504.000 ton N/jaar.

Over de uitspoeling en 'run-off' van P en N als gevolg van andere processen of activiteiten dan bemestingen in de agrarische sektor, bv. t.g.v. verwerking van vaste afvalstoffen in de bodem, dumping van materie, droge en natte neerslag uit de atmosfeer op bodems, zijn momenteel geen schattingen te maken.

Directe droge en natte neerslag uit de atmosfeer

Op grond van Amerikaanse en Nederlandse gegevens zouden precipitatiecijfers moeten worden gehanteerd van 0,4 à 0,5 kg P/ha. jaar en van 6 à 22 kg N/ha. jaar. Met een areaal oppervlaktewater in het stroomgebied boven Lobith van 1 à 2 % volgen emissies naar de Rijn vanuit de atmosfeer van 160.000 km² x 100 x (1 à 2 %) x 0,45 kg P/ha. jaar resp. (6 à 22) kg N/ha. jaar = ca. 115 ton P/jaar resp. ca. 3360 ton N/jaar.

De vorengegeven resultaten van berekeningen en schattingen zijn in tabel 2 verwerkt. Sommatie van de P-emissies zou moeten corresponderen met de gemiddelde P-vracht van de Rijn te Lobith. Over de periode 1972/1977 varieerde de gemeten totale P-vracht van ca. 40.000 tot ca. 65.000 ton P/jaar (RIZA, 1979). Een goede waarde voor de huidige gemiddelde vracht lijkt 50.000 ton P/jaar. De sommatie van de P-emissies is in redelijke overeenstemming met de gemeten waarden.

Anders ligt de situatie met betrekking tot de N-emissies. Sommatie van deze emissies

TABEL II - Globale berekende P- en N-emissies naar het oppervlaktewater, incl. de Rijn, in het stroomgebied boven Lobith en de gemeten vrachten bij Lobith (situatie 1972/1977).

	P ton/jaar	N ton/jaar
<i>natuurlijke emissie of belastingen:</i>		
Erosie aardkost-gesteenten	7.000—13.800	zeer gering
Uitspoeling, bodemerrosie en 'run-off' van 'woeste'-gebieden	2640	17.500
<i>anthropogene emissies of belastingen:</i>		
Huishoudelijk c.q. stedelijk afvalwater *	30.200—38.900	132.900—170.800
Industrieel afvalwater	?	?
Uitspoeling, bodemerrosie en 'run-off' van (agr.) cultuurgebieden	3.350	504.000
Droge en natte neerslag vanuit de atmosfeer	115	3.360
Totaal emissie naar oppervlaktewater incl. de Rijn (= immissie van de Rijn)	≥ 43.305—58.805	≥ 657.760—695.660
Totaal emissie uit oppervlaktewater incl. de Rijn	—	denitrificatie, wellicht vele tienduizenden tot enkele honderdduizenden tonnen N(N ₂)/jaar
Gemeten vrachten in de Rijn te Lobith (RIZA, 1979)	40.000—65.000	280.000—480.000

* 70 à 90 % gerioleerd met ca. 65 % ox. biol. zuivering en ca. 35 % geen of niet volledige behandeling van afvalwater.

leidt theoretisch tot een te grote schatting voor de gemiddelde N-vracht, omdat nog rekening gehouden moet worden met het optreden van waarschijnlijk aanmerkelijke N-verliezen uit het oppervlaktewater, incl. de Rijn, t.g.v. denitrificatie. Immers met denitrificatie snelheden van wellicht 0,2 tot 1 g N/m² dag (Edwards en Rolley, 1965; Tiren e.a., 1976; Van Kessel, 1976) zouden de N-verliezen uit de Rijn (oppervlakte 300 à 600 km²) kunnen variëren van rond 20.000 tot rond 185.000 ton N/jaar. Uit meren en overig oppervlaktewater in het stroomgebied (1 à 2 % van 160.000 km² minus 300 à 500 km²) zou dan nog 4 à 6 x zoveel N t.g.v. denitrificatie kunnen ontsnappen.

De grote discrepantie tussen de over de periode 1972/1977 gemeten N-vrachten in de Rijn te Lobith van 280.000 tot 480.000 ton N/jaar (RIZA, 1979) en de hier uit sommatie van emissies verkregen waarde van 658.000 à 696.000 ton N/jaar moet dan ook zeker mede met denitrificatie verliezen worden verklaard.

Ondanks de (hier niet verder besproken) onzekerheden in het gekwantificeerd onderscheid tussen de P-emissie via gesteente-erosie en de P-emissie via uitspoeling, bodem-erosie en 'run-off' en het ontbreken van schattingen over de industriële P- en N-uitstoot, toont tabel II duidelijk aan welke processen en emissies van primair en welke van secundair belang zijn voor de P- en N-belasting van de Rijn.

In de verdere beschouwingen over de P-huishouding in het stroomgebied boven Lobith zal de natuurlijke P-last van de Rijn

op 7000 + 2640 = 9640 ton/jaar gesteld worden.

Ten gevolge van de toenemende activiteiten en invloeden van de mens over de afgelopen 20 jaar is de maximum P(PO₄³⁻) concentratie 5,5 x hoger, de gemiddelde concentratie ongeveer 7 x hoger en de minimum concentratie ongeveer 8 x hoger geworden. Daarbij is de absolute variatie tussen maximum en minimum met een faktor 5 vergroot.

5. Nadere aspecten van verleden, heden en toekomst van de P-huishouding

De computermatige verwerking van het verloop van het gehalte aan opgelost orthofosfaat-P (mg P(PO₄³⁻)/l) in het Rijnwater te Lobith over de periode 1956 t/m 1978 (RIZA, 1979) kan geschematiseerd worden tot enkele perioden waarin de P(PO₄³⁻) concentratie min of meer konstant blijft met daar tussen in kortere tijdsintervallen met duidelijk sprongsgewijze toenamen.

Tabel III geeft dat geschematiseerd verloop.

TABEL III - Geschematiseerd verloop van het opgelost orthofosfaat-P gehalte in het Rijnwater te Lobith, ontleend aan gegevens van het RIZA (1979). De tussenliggende perioden vertoonden duidelijke stijgingen in de P(PO₄³⁻)-concentratie.

	mg P (PO ₄ ³⁻)/l			
	max.	gemiddeld	min.	variatie
1956-1959	0,100	0,050	0,025	0,075
1960-1962	0,160	0,100	0,025	0,135
1963-1969	0,270	0,172	0,080	0,190
1972-1977	0,550	0,350	0,200	0,350
1972-1977	5,5	7	8	5
1956-1959				

Uit de huidige totaal-P last van 40.000 à 65.000 ton/jaar en de natuurlijke last van ca. 9640 ton P/jaar volgt dat het totale P-transport uiteindelijk met een faktor 4 à 7 werd vergroot.

Voor de periode 1972/1978 bedraagt de gemiddelde verhouding totaal-P/opgelost ortho-P te Lobith ca. 2,2 (Verslagen van het kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, 1972 - 1978).

De gemiddelde P(PO₄³⁻) concentratie voor die periode van 0,35 mg/l komt dan ook overeen met gem. 0,77 mg totaal P/l en met uiteraard de gemiddelde totaal-P vracht in de Rijn van rond 50.000 ton/jaar. Over de periode 1972/1978 vertoont de totaal-P/opgelost ortho-P verhouding echter toch een duidelijk dalende tendens (van gem. 2,64 in 1972/1973 tot gem. 1,85 in 1977/1978). Oorzaken daarvan zouden gezocht kunnen worden in de zich wijzigende omstandigheden van afvalwaterlozing en -behandeling.

In het verleden, met een andere samenstelling van het afvalwater, zal die verhouding wellicht nog groter zijn geweest dan 2,64 (Beukema, 1975).

De natuurlijke P-vracht in de Rijn van ca. 9640 ton/jaar, overeenkomend met gemiddeld ca. 0,14 mg totaal-P/l, zou derhalve kunnen corresponderen met een natuurlijk P(PO₄³⁻) gehalte van 0,14 / > 2,64 = < 0,05 mg/l.

Deze schatting is in zoverre in overeenstemming met tabel II dat die situatie moet hebben geheerst vóór de periode 1956/1959. Uitgaande van de KNCV-studie over de P-balans voor het Nederlandse oppervlaktewater als mede van een soortgelijk onderzoek naar de P-balans voor geheel West-Duitsland (Golterman, 1976; Kandler, Berth en Lescher, 1979) is getracht een nadere verdeling van de P-vracht in de Rijn te verkrijgen. Toepassing van zowel de voor Nederland geldende procentuele verdeling van de P-emissies als de voor geheel West-Duitsland gegeven percentages op de totale antropogene P-last uit het stroomgebied boven Lobith geeft resultaten die in tabel IV zijn weergegeven.

De procentuele emissies via was- en reinigingsmiddelen (met polyfosfaten) zijn in beide studies in zeer goede overeenstemming met elkaar (40 à 41 %). Dit geldt ook voor de P-emissies uit de industriële sektor (13 à 14 %). Enig verschil zit in de P-uitscheiding via faecaliën en urine van de mens (27 à 32 %). Duidelijke verschillen echter vertonen de P-emissies uit de agrarische sektor. De procentuele bijdrage zoals die voor Nederland gevonden werd, gesplitst in uitspoeling en 'run-off' (3,4 %) en in overige agrarische bronnen (7,2 %), is met 10 à 11 % duidelijk lager dan de 17 % voor Duitsland. Dit verschil zal zeker (mede)

TABEL IV - De verdeling van de gemiddelde jaarlijkse P-belasting van de Rijn te Lobith over diverse bronnen, berekend volgens gegevens van P-balans studies voor Nederland en West-Duitsland.

	ton P/jaar		%	ton P/jaar		%
Natuurlijke erosie, uitspoeling en 'run-off'	7000 + 2640		19	7000 + 2640		19
Bronnen t.g.v. activiteiten v. d. mens = 40.360 ton P/jaar = 81 %	P-verdeling KNVC-rapport *			P-verdeling Duitse gegevens **		
Was- en reinigingsmiddelen	41,2	16.628	33	40	16.144	32
Uitscheiding mens	32,3	13.036	26	27	10.897	22
Industrie	14,4	5.812	12	13	5.247	11
Agr. sektor incl. bio-industrie	7,2	2.906	6	} 17	6.861	14
Uitspoeling en 'run-off' agr. gebieden	3,4	1.372	3			
Droge en natte neerslag uit atmosfeer	1,5	606	1	} 3	1.211	2
Overige bronnen	—	—	—			
Totaal	100	50.000	100	100	50.000	100

* Rapport van de 'Stuurgroep Fosfaten' van de KNCV, Sigma Chemie, 1976.

** Umschau in Wissenschaft und Technik 79, Heft 3, S.89, 1979; Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1978.

verklaard moeten worden met de hogere bodemerrosie en 'run-off' in geaccidenteerde gebieden. In de Duitse P-studie zijn de overige bronnen (3 %), incl. de P-neerslag, wellicht als sluit- of restpost gebruikt. Het KNCV-onderzoek hanteerde naast de P-emissie via neerslag (1,5 %) geen post overige bronnen. Omdat het oppervlaktepercentage openwater in het stroomgebied boven Lobith (1 à 2 %) veel lager is dan dat voor Nederland (ca. 8 % zoet oppervlaktewater) zal toepassing van de 1,5 % voor de P-emissie via neerslag tot overschatting van deze inbreng aanleiding geven (zie ook tabel II).

Met een te verdelen antropogene P-last van 50.000 — 9.640 = 40.360 ton/jaar geven vorngenoemde percentages een P-emissie via huishoudelijk c.q. stedelijk afvalwater van 27.000 à 30.000 ton P/jaar. Dit is 54 à 60 % van de totale P-vracht van 50.000 ton/jaar. De hoge waarde is in goede overeenstemming met de 30.200 ton

P/jaar in tabel II; de lage waarde komt overeen met een indertijd door het RIZA berekende debiet-onafhankelijke P-vracht van 26.250 ton/jaar (Beukema, 1975). Uitgaande van een huidig P-aandeel via huishoudelijk en stedelijk afvalwater van rond 30.000 ton/jaar, geeft tabel V berekeningsresultaten omtrent de theoretisch te verwachten verlaging van deze P-emissie bij diverse afvalwater-technische maatregelen (A t/m I) en de invloed daarvan op de totale P-vracht van de Rijn.

Opvoering van de 65 % oxydatief-biologische zuivering van stedelijk afvalwater naar 100 % bij de huidige centrale riolering van ca. 70 % (geval A) doet de gemiddelde P-last van de Rijn met 11 % dalen tot rond 44.500 ton/jaar. Indien deze opvoering van de zuiveringscapaciteit plaatsvindt met een opvoering van de centrale riolering naar (theoretisch) 100 % en met afvoer van alle effluent naar oppervlaktewater (geval E) dan stijgt de totale P-vracht met ca. 10 %

TABEL V - Wijzigingen in P-aandeel van huishoudelijk, stedelijk en industrieel afvalwater en in totale P-vracht van de Rijn te Lobith bij diverse milieu-technische maatregelen (A t/m I) in het stroomgebied boven Lobith.

	ton P/jaar		%	verandering in % van 50.000 t/j
	huish. + sted. afvalwater	Rijn (Lobith)		
Huidige situatie huish. en sted. afvalwater: 70 % centr. riolering 65 % ox.biol. zuivering 35 % geen of onvoldoende behandeling	30.000	50.000	60	
A = 100 % ox. biol. zuivering	24.500	44.500	55	— 11
B = A + volledige P-vervanging in wasmiddelen	9.200	29.200	32	— 42
C = A + overall defosfatering op rwzi	4.100	24.100	17	— 52
D = A + P-vervanging + defosfatering	1.500	21.500	7	— 57
E = 100 % riolering + 100 % ox. biol. zuivering	35.000	55.000	64	+ 10
F = E + volledige P-vervanging in wasmiddelen	13.100	33.100	40	— 34
G = E + overall defosfatering op rwzi	5.800	25.800	23	— 49
H = E + P-vervanging + defosfatering	2.200	22.200	10	— 56
I = D of H + volledige sanering 5500 ton P/jaar v. d. industrie	1.500 à 2.200	16.000 à 16.700	9 à 13	— 68 à — 67

tot bijna 55.000 ton P/jaar. Uiteraard resulteert een volledige verzameling c.q. 'concentratie' van afvalwater, met sanering van verspreide emissies en 'sturing' naar oppervlaktewater, in een verhoging van de materiebelasting van dat oppervlaktewater, incl. de Rijn.

Meer effectief is 100 % zuivering met een verantwoorde volledige P-vervanging in wasmiddelen of met defosfateren op de zuiveringsinrichtingen, resulterend in reducties in de P-vracht van 42 resp. 52 % (met volledige riolering 34 resp. 49 %). Het sterkste effect voor huishoudelijk en stedelijk afvalwater wordt uiteraard bereikt met 100 % zuivering incl. verantwoorde P vervanging in was- en reinigingsmiddelen en defosfatering: 57 resp. 56 % reductie in totale P-vracht tot 21.000 à 22.000 ton/jaar. Deze vracht zou dan overeen kunnen komen met een totaal-P concentratie in het Rijnwater te Lobith van gemiddeld 0,31 mg/l of wellicht $\leq 0,12$ mg $P(PO_4^{3-})/l$. Dit zou de situatie in de Rijn benaderen van omstreeks de eerste helft van de zestiger jaren. Indien ook de industriële P-emissies van ca. 5500 ton P/jaar volledig of nagenoeg volledig gesaneerd gedacht worden (geval I), dan daalt de P-vracht van de Rijn tot rond 16.000 ton/jaar, overeenkomend met een gemiddeld totaal P-gehalte van rond 0,23 mg/l en wellicht $\leq 0,09$ mg $P(PO_4^{3-})/l$. Dit zou de situatie in het rivierwater benaderen van omstreeks het einde van de vijftiger jaren.

Ten gevolge van de in gang zijnde en voortgaande normale oxydatief-biologische behandeling van afvalwater in het stroomgebied, primair gericht op de (ook inderdaad verkregen) verbetering van de O_2 -huishouding in het rivierwater, vertoont de totale P-vracht over de periode 1972/1977 een licht dalende tendens (geval A).

In dit verband is het interessant op te merken dat in de jaren 1965/1966 het gehalte aan opgeloste hydrolyseerbare fosfaten in het algemeen duidelijk hoger was dan het gehalte aan ortho-P (RIZA-Jaarboeken Rijnwater kwaliteit). In het jaar 1967 was het gehalte aan hydrolyseerbare fosfaten reeds duidelijk lager en in de jaren 1969/1971 zeer veel lager dan het gehalte aan ortho-P. Deze interne verschuiving in de P-huishouding, leidende tot hogere concentraties aan ortho-P, zou (mede) verklaard kunnen worden met een versnelde hydrolyse van polyfosfaten t.g.v. de toegenomen oxydatief-biologische behandeling van afvalwater in het stroomgebied. De voortgaande afvalwaterzuivering komt in de periode 1972/1977 uiteraard duidelijk tot uiting in een sterke afname van de NH_4^+ -last van de Rijn (RIZA, 1979). Ten opzichte van 1972 is in 1977 op jaarbasis een ca.

70 % afname in het gem. N(NH₄⁺)-gehalte verkregen. De streefwaarde in het IMP van 0,5 mg N(NH₄⁺)/l wordt reeds dicht benaderd. De keerzijde van de medaille echter is een sterke toename van de NO₃⁻-last. Ten opzichte van 1972 is in 1977 op jaarbasis het N(NO₃⁻)-gehalte met ca. 50 % toegenomen. De voorlopige grenswaarde in het IMP van 4 mg N(NO₃⁻)/l is bereikt of reeds overschreden.

Ter illustratie van het 'gewicht' van een direct volksgezondheidsaspect bij het nemen van milieutechnische maatregelen zij hier gewezen op de verheugende spectaculaire teruggang in de Hg-vracht van de Rijn (Minamata-effekt?). Ten opzichte van 1972 is op jaarbasis de gem. Hg-concentratie momenteel reeds gereduceerd met > 90 %. Deze vermindering sluit dan aan op de in de literatuur vermelde saneringen binnen diverse Hg-gebruikende industrieën (NCI, 1979).

Het blijft noodzakelijk ook alle aspecten van de nutriënten-last van de Rijn, i.v.m. de reeds genoemde gebieden van het rivierwater, zo sterk mogelijk wetenschappelijk te onderbouwen. Dit geldt uiteraard speciaal voor de P- en N-belasting i.v.m. het eutrofie/hypertrofie vraagstuk.

6. Samenvatting en conclusies

In verband met de grote kwantitatieve betekenis van de Rijn voor de Nederlandse waterhuishouding is het van belang voortdurend aandacht te besteden aan de materie-inhoud van het Rijnwater. Onder andere tegen de achtergrond van het eutrofie-hypertrofie vraagstuk van het oppervlaktewater zijn de nutriënten van belang, speciaal de P- en N-belasting van het Rijnwater. Zuiver water (H₂O) komt in de natuur praktisch niet voor. Van nature bevat óók het Rijnwater wellicht alle nutriënten die voor de opbouw en instandhouding van organismen, alsmede voor het voltooiën van hun levenscycli, van essentiële betekenis zijn. Een indruk van de natuurlijke kwaliteit van het water in de Rijn kan verkregen worden uit een kwantificering van alle natuurlijke materie-emissies onder de huidige omstandigheden. De belangrijkste van deze emissies zijn de erosie van gesteenten in het Rijnbekken, de uitspoeling, bodemerrosie en 'run-off' uit natuurlijke gronden, de inbreng van materie via grond-, bron- en kwelwater en de directe inbreng van natuurlijke materie vanuit de atmosfeer. Deze emissies treden zgn. diffuus op en zijn met uitzondering van de atmosferische invloed debiet-afhankelijk. Een schatting van de invloed van gesteente-erosie kan uit de geochemie van het Rijn-

bekken worden verkregen (tabel 1). Uit deze gesteente-erosie en de uitspoeling, bodemerrosie en 'run-off' van natuurlijke gronden volgt een gemiddeld natuurlijk totaal-P transport te Lobith van ca. 9640 ton/jaar. Deze natuurlijke last zou overeen kunnen komen met natuurlijke gehalten van gem. ca. 0,14 mg totaal-P/l en ≤ 0,05 mg P(PO₄)/l. Voor de natuurlijke N-emissie naar de Rijn moet gedacht worden aan ca. 17.500 ton N/jaar, voornamelijk t.g.v. uitspoeling, bodemerrosie en 'run-off' van de huidige natuurlijke gebieden. De N₂-vracht van de Rijn is zeer veel groter en bedraagt wellicht rond 1 miljoen ton per jaar. Omdat (nog) niet alle emissies gekwalificeerd kunnen worden zullen de huidige natuurlijke P- en N-vrachten in de Rijn te Lobith in werkelijkheid (wat) groter zijn dan de hier vermelde waarden.

De belangrijkste P- en N-emissies naar de Rijn t.g.v. aanwezigheid en activiteiten van de mens in het stroomgebied zijn uiteraard de lozingen van afvalwater (puntbronnen, debiet onafhankelijk), de verhoogde of extra inbreng via uitspoeling, bodemerrosie en 'run-off' uit cultuurgebieden met bemesting, bodemverontreiniging etc. (diffuse bronnen, debiet afhankelijk) en de directe extra inbreng vanuit de atmosfeer t.g.v. luchtverontreiniging (diffuus, debiet onafhankelijk) (tabellen II en IV).

Uit berekeningen en schattingen volgt een huidige gezamenlijke antropogene P-emissie van 33.700 à 42.400 ton P/jaar en 640.300 à 678.200 ton N/jaar. Met betrekking tot de P-emissie is het aandeel van het huishoudelijk c.q. stedelijk afvalwater van overwegende betekenis. Voor de N-emissie is dat niet het geval. De bijdrage van N uit de (agrarische) cultuurgebieden lijkt 3 à 4 x groter dan de bijdrage via het afvalwater. In verband met grote onbekendheid omtrent de N-verliezen t.g.v. denitrifikatie zijn verdere beschouwingen over de N-huishouding in het Rijnbekken zeer speculatief (tabel II).

Ten gevolge van alle activiteiten en invloeden van de mens over de afgelopen 20 jaar is de totaal-P vracht in de Rijn te Lobith met een factor 4 á 7 vergroot. Mede door opgetreden wijzigingen in samenstelling, lozingen en behandeling van afvalwater zal de opbouw van de totale P-vracht niet konstant zijn gebleven en zullen de toenames in de verschillende P-verbindingen (welke gezamenlijk de totale P-vracht bepalen) geen gelijke tred met elkaar hebben gehouden.

Uitgaande van een huidig huishoudelijk en stedelijk aandeel in de P-vracht van rond 30.000 ton/jaar kunnen berekeningen worden uitgevoerd voor de theoretisch te verwachten wijzigingen in de P-vracht van de Rijn bij diverse milieutechnische maatregelen

in het stroomgebied boven Lobith (tabel V). De (theoretisch?) meest vergaande sanering van huishoudelijk en stedelijk afvalwater, zijnde volledige riolering, volledige P-vervanging in wasmiddelen en volledige zuivering met defosfatering, levert met een algehele afvoer naar de Rijn een P-emissie van ca. 2200 ton/jaar. De Rijnvracht daalt daardoor met 56 % tot 22.200 ton P/jaar. Indien ook de industriële emissies volledig gesaneerd gedacht worden vermindert de P-vracht in de Rijn te Lobith met 67 % tot 16.700 ton P/jaar.

Zonder volledige riolering in het Rijnbekken zijn de P-vrachten (uiteraard) iets geringer.

Kennis van en inzicht in de materie-huishouding binnen het stroomgebied van de Rijn zullen uitgebreid en voortdurend bijgesteld moeten worden. Reeds beschikbaar en nog te verkrijgen cijfermateriaal (uit inventarisaties en emissie-registraties) zal kritisch geïnterpreteerd moeten worden. Vanwege analyse- en bemonsteringsfouten (plaats- en tijd fouten) is het nodig daarbij te streven naar lange tijdreeksen.

Literatuur

- Aiking, H., 1977: *Involvement of potassium in the physiology of Candida utilis; a continuous culture study*. Dissertatie Uni. v. Amsterdam, 1977.
- Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke E.V. 1976: *Rheinwasser, gestern, heute und morgen*. Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke E.V. Düsseldorf, 1976.
- Bendegom, L. van, 1961: *Hydrografie van het Rijnbekken*. 13de Vakantiecursus Drinkwatervoorziening op 19 en 20 januari 1961, TH-Delft, p. 15-45.
- Beukema, A. A., 1975: *Fosfaathuishouding in de Rijntakken*. RIZA, interne nota, febr. 1975.
- BGW-Zahlenspiegel, 1979: *Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft E.V.*, 1979.
- Bucksteeg, W., 1966: *Welche praktische Bedeutung haben die Verfahren zur Abwendung der Gewässer-eutrophierung?* Haus der Technik, Vortragsveröftl. 83 (1966) p. 10.
- CEEP, 1977: *A comparative assessment of the effectiveness and cost of different measures aimed at reducing the environmental impact of phosphorus in the surface waters of western Europe*. Batelle Research Centre, Geneva, Switzerland, July 1977.
- Deevey, Jr. E. S., 1970: *Mineral cycles*. In: 'the Biosphere', A Scientific American Book, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1970.
- Edwards, R. W. and Rolley, H. L. J., 1965: *Oxygen consumption of river muds*. J. Ecol. 53 (1965), p. 1-19.
- EPA, 1976: beschikbaar gestelde gegevens door de Environmental Protection Agency, USA, 1976.
- Gleisberg, D. und Hartz, P., 1979: *Einfluss der Waschmittelphosphate auf Zusammensetzung und Eigenschaften von Abwässern*. Korrespondenz Abwasser, 26 (1979) no. 5, p. 230-239.
- Golterman, H. L., 1974: *Natuurlijke en versnelde mobiliteit van fosfaat, H₂O*, 7 (1974) no. 6, p. 110-111.
- Golterman, H. L., 1976: *Fosfaten in het Nederlandse oppervlaktewater*. Rapport van de Stuurgroep Fosfaten van de KNCV, Sigma Chemie, 1976.

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, 1978: 'Das Rheingebiet', Hydrologische Monografie, 1978.

Kandler, J., Berth, P. und Lescher, R., 1979: *Phosphate in Waschmitteln — ja oder nein?* Umschau in Wissenschaft und Technik 79 (1979) Heft 3, p. 87-90, Phosphorbilans, p. 89.

Kessel, J. F. van, 1976: *Influence of denitrification in aquatic sediments on the nitrogen content of natural waters.* Pudoc Wageningen, 1976.

Kolenbrander, G. J., 1971: *De eutrofiëring van oppervlaktewater door de landbouw en de stedelijke bevolking.* Stikstof 69, (1971), p. 384-395.

Kolenbrander, G. J., 1979: *De stikstofbalans van de Nederlandse landbouw.* Tijdschr. Nationale Raad voor Landbouwk. Onderz. TNO 1, (1979), p. 3-8.

Korrespondenz Abwasser, 1979: *Bessere Wasserqualität des Rheins,* Korrespondenz Abwasser 1 (1979), p. 33.

Martijn, Th. G., 1967: *Afvoer- en chloride-karakteristieken van de Rijn in verband met voorraadvorming.* Water 51 (1967) 4, p. 76-85.

Memorandum over de Rijn en het eutrofiëringsvraagstuk in Nederland, 1973: H₂O, 6 (1973) no. 19, p. 478-482.

NCI, 1978: *In tien jaar 94 procent minder kwik in het milieu.* Tijdschr. NCI (1978), p. 12-13.

Phosphor, Wege und Verbleib in der Bundesrepublik Deutschland, 1978: *Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker,* Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1978.

RIZA, 1979: *Beschikbaargestelde gegevens door het Rijksinstituut voor zuivering van Afvalwater,* Lelystad, 1979.

Rijn-steden-Symposium, 1979: *Enquête-uitkomsten gepubliceerd tijdens het Internationale Städtesymposium 'Sauberer Rhein' op 7/8 febr. 1979 te Düsseldorf.* H₂O, 12 (1979) no. 5, p. 90-91.

Scholte Ubink, D. W., 1978: *Hoofdlijnen van de eutrofiërings- en fosfaatproblematiek van het zoete oppervlaktewater in Nederland.* H₂O, 11 (1978), no. 25, p. 575-581.

Schuilings, R. D., 1974: *De natuurlijke erosie als basisniveau voor het transport van elementen,* Chemisch Weekblad 70 (1974) no. 8, p. M₂-M₃.

Steenvoorden, J. H. A. M. en Rijtema, P. E., 1979: *N- en P-belasting via kwel en uitspoeling.* H₂O, 12 (1979) no. 10, p. 225-226.

Tiren, T., Thorin, J. and Nommik, H., 1976: *Denitrification measurements in lakes.* Acta Agric. Scand. 26 (1976), p. 175-184.

Verslagen van het Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, 1972/1978.

WHO, 1979: *Health effects of the removal of substances occurring naturally in drinking-water.*

Euro Reports and Studies 16, Regional Office for Europe, World Health Organization, Copenhagen, 1979.

