

## De belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met fosfaten

### Samenvatting

In een onderzoek van het C.B.S. [1] is een raming gemaakt van de totale hoeveelheid fosfaten, uitgedrukt in kg P, waarmee het Nederlandse oppervlaktewater in 1969 en 1970 is belast. Uitgaande van onder meer metingen van de fosforconcentratie in water en ander statistisch materiaal werd geraamd hoeveel fosfor in het zoete oppervlaktewater komt en hoeveel fosfor het oppervlaktewater weer verlaat. Het verschil levert de hoeveelheid fosfor op die jaarlijks in het oppervlaktewater en het bodemslib achterblijft. De raming voor de hoeveelheid die achterblijft bedroeg gemiddeld over de jaren 1969 en 1970 12,0 - 20,8 mln kg P. Voorts is een raming gemaakt van de hoeveelheid fosfor die vanuit Nederland naar zee wordt afgevoerd; deze hoeveelheid bedroeg voor de genoemde jaren gemiddeld 48 - 73 mln kg P.

### Inleiding

De eutrofiëring van het oppervlaktewater is een probleem waar waterbeheerders in toenemende mate mee geconfronteerd worden. Door een toename van de hoeveelheid minerale voedingszouten in het water ontstaat een excessieve ontwikkeling van waterplanten en algen. Dit kan weer leiden tot massale sterfte, zuurstoftekorten en rotting. Uit een oogpunt van een goed beheer van het oppervlaktewater is het van belang gegevens te hebben omtrent de belasting van het water met eutrofiërende stoffen. De stoffen die, afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden, een rol spelen bij het proces van eutrofiëring zijn vooral fosfor- en stikstofverbindingen. Plaatselijk, wanneer veel diatomeën aanwezig zijn, kan ook silicium een rol spelen. De laatste tijd is er, vooral in Amerikaanse literatuur, een discussie ontstaan over de rol die koolstof (als CO<sub>2</sub>) zou kunnen spelen [2]. Het is echter de vraag in hoeverre CO<sub>2</sub> in Nederland een rol speelt, daar hier van nature reeds grote hoeveelheden bicarbonaat in het water aanwezig zijn. Argumenten tegen CO<sub>2</sub> als factor bij de eutrofiëring in Nederland worden o.a. aangevoerd door Lyklema [3].

Voor het waterbeheer is niet alleen de vraag van belang welke stof eutrofiërend werkt, maar ook welke stof zo ver teruggedrongen kan worden dat deze beperkend wordt voor de ontwikkeling van waterplanten en algen. Hoewel het meeste onderzoek niet zonder meer op de Nederlandse situatie is over te brengen, achten wij het waarschijnlijk dat in ons land de fosfaten de belangrijkste factor vormen in het proces van de eutrofiëring. We hebben ons voorlopig dan ook beperkt tot fosforverbindingen.

Er zijn ramingen gemaakt van de hoeveelheid fosfor die jaarlijks binnen Nederland in het zoete oppervlaktewater komt, van de hoeveelheid die jaarlijks via de grensoverschrijdende rivieren (vooral de Rijn) binnenkomt en van de hoeveelheid fosfor die het Nederlandse oppervlaktewater weer verlaat (uitstroming naar zee en baggeren). Het verschil tussen toevoer en onttrekking is dan de hoeveelheid fosfor, die jaarlijks in het zoete oppervlaktewater en het bodemslib achterblijft. Hieronder worden de resultaten van de ramingen gegeven, met een op sommige punten summier beschrijving hoe deze cijfers verkregen zijn. Een uitgebreidere beschrijving, en een meer complete literatuuropgave, zijn te vinden in het C.B.S.-rapport [1].

Om de uitstroming van fosfor naar zee te bepalen moet men de hoeveelheid kennen die de grens tussen zoet en zout water overschrijdt. Bij sluisen met uitstroming naar zee is deze hoeveelheid direct uit de bestaande metingen te be-

rekenen. Bij rivieren is dit niet mogelijk vanwege de vermenging van zoet en zout water en de omkering van de stroomrichting met het getij. Daarom is hier gebruik gemaakt van metingen te Vreeswijk, Gorinchem en Keizersveer. Bij de uit deze metingen berekende fosforvrucht is een schatting van de hoeveelheid benedenstrooms van deze punten geloosd en onttrokken fosfor opgeteld. Dit levert dan een schatting op van de hoeveelheid fosfor die via Rijn en Maas naar zee uitstroomt. De Schelde is uit dit overzicht weggelaten omdat deze rivier geen bijdrage levert aan de belasting van het Nederlandse zoete oppervlaktewater.

Bovendien hebben enkele grote posten, vooral de ramingen voor de Rijn, een zeer ruime foutenmarge. Dit heeft tot gevolg dat een aantal kleine posten binnen deze foutenmarge valt. Hieruit zou de conclusie getrokken kunnen worden dat het geen of weinig zin heeft al deze kleine posten op te voeren. Om de volgende redenen hebben we gemeend dit wel te moeten doen.

- Alle kleine posten samen zijn wel van betekenis.
- Plaatselijk kunnen kleine lozingen ernstige gevolgen hebben.
- Het is waarschijnlijk dat de foutenmarge van de grote posten over enige tijd aanzienlijk verkleind kan worden.

### Invoer en uitvoer van fosfaten met Rijn en Maas

Van de hoeveelheden fosfor die met de grote rivieren ons land binnenstromen, komt verreweg het grootste deel voor rekening van de Rijn. Deze post kan bepaald worden aan de hand van de metingen die bij Lobith worden gedaan. De uit deze metingen berekende fosforvrucht is echter niet zonder meer bruikbaar. Dit blijkt wanneer men de volgende fosforvruchten, berekend uit metingen met elkaar vergelijkt.

Lobith	53,6 mln kg P per jaar
Gorinchem	24,5
Vreeswijk	7,6
Kampen	5,1
Gorinchem + Vreeswijk + Kampen	37,2 mln kg P per jaar

Op de riviertrajecten tussen Lobith en de overige genoemde plaatsen moet dus volgens de metingen 16,4 mln kg P per jaar „verdwenen” zijn. Als verdwynmechanismen komen in aanmerking afzetting op de rivierbodem, afzetting bij gebruik van rivierwater voor doorspoeling, peilbeheersing, irrigatie e.d. en afzetting op uiterwaarden. Aan te nemen is, dat het slib op de rivierbodem in de onderzochte jaren (voor de afsluiting van het Haringvliet) rond een evenwichtswaarde schommelde. Voorts wordt wateronttrekking niet op grote schaal toegepast op deze riviertrajecten. Tenslotte is het aantal dagen dat de uiterwaarden overstromd zijn, klein. Op grond van het vorenstaande schatten wij de jaarlijkse hoeveelheid onttrokken fosfor op 0 - 4 mln kg P per jaar. Op de riviertrajecten in kwestie worden tevens fosfaten geloosd; uitgaande van aantallen inwoners en hoeveelheden industriële lozingen is deze hoeveelheid geraamd op 1 - 3 mln kg P per jaar. Op grond van het bovenstaande komen wij tot een schatting voor het verschil tussen de som van de fosforvruchten te Kampen, Vreeswijk en Gorinchem en de fosforvrucht bij Lobith van — 3 tot + 3 mln kg P.

In overleg met het R.I.Z.A. is nagegaan of het mogelijk is dat er fouten schillen in de metingen. Bij een vergelijking

van de metingen van opgeloste stoffen bleken de hoeveelheden bij Lobith met een marge van enkele procenten gelijk te zijn aan de som van de hoeveelheden bij Kampen, Vreeswijk en Gorinchem. Dit gold voor chloride, sulfaat en ook voor opgelost fosfaat. Bij de metingen van zand en slib bleek echter een aanzienlijk verschil te bestaan.

In 1969 was de totale hoeveelheid zand en slib die bij Kampen, Vreeswijk en Gorinchem werd gemeten 62 % van de hoeveelheid bij Lobith en in 1970 54 %. Het is daarom waarschijnlijk dat de grote verschillen in de P-totaal metingen veroorzaakt worden door het aan niet oplosbaar materiaal gebonden fosfor.

Er zijn twee mogelijke redenen voor deze verschillen.

- Het vervoer van niet oplosbare stoffen is zeer variabel in de tijd [4]; vermoedelijk is een meting van eens in de veertien dagen niet frekvent genoeg om een betrouwbaar jaargemiddelde te bepalen.
- De concentratie van niet oplosbare delen varieert over de dwarsdoorsnede van de rivier sterk [4]; het zou volkomen toevallig zijn, wanneer het genomen monster een slibbelasting zou hebben die gelijk is aan het gewogen gemiddelde van de gehele dwarsdoorsnede.

Uit het voorgaande blijkt dat het genoemde bedrag voor de fosforvracht van de Rijn een afwijking kan hebben; er is echter geen goede methode om de grootte van deze afwijking te bepalen. Een redelijke schatting lijkt, dat het werkelijke gemiddelde van de invoer over 1969 en 1970 ligt tussen 40 mln kg P en 60 mln kg P; de som van de vrachten te Gorinchem, Vreeswijk en Kampen moet dan binnen een extra marge van 3 mln kg P dezelfde waarde hebben. Het probleem van de niet optimale bemonstering heeft ook invloed op een schatting van de som van de fosforvrachten te Gorinchem en Vreeswijk. Deze zijn op de volgende wijze benaderd. Er is uitgegaan van de som van de fosforvrachten te Gorinchem, Vreeswijk en Kampen, die zoals reeds vermeld maximaal 3 mln kg P afwijkt van de vracht te Lobith. Van deze vracht (40 - 60 mln kg P per jaar) wordt de vracht te Kampen (4 - 7 mln kg P per jaar) afgetrokken. Rekening houdend met de reeds vermelde maximale afwijking van 3 mln kg P levert dit voor de som van de vrachten te Gorinchem en Vreeswijk 34 - 55 mln kg P per jaar op<sup>1)</sup>. Volgens meetgegevens van het R.I.Z.A. bedroeg de fosforvracht van de Maas te Keizersveer in 1969 en 1970 gemiddeld 4,4 mln kg P per jaar. Het is waarschijnlijk, dat ook bij de Maas de monsternamen niet voldoende uitgebreid is. Er werd daarom een vrij brede marge aangenomen: 3,6 - 5,2 mln kg P per jaar.

Bijna al het bij Gorinchem, Vreeswijk en Keizersveer langskomende fosfor stroomt naar zee of slaat neer. In het laatste geval wordt het fosfor door baggeren weer verwijderd (althans bij de hier onderzochte toestand, d.w.z. vóór de afsluiting van het Haringvliet). Dit houdt in, dat bijna al het bij Gorinchem, Vreeswijk en Keizersveer langstromende fosfor het zoete oppervlaktewater weer verlaat. Dit is een hoeveelheid van 38 - 60 mln kg P<sup>1)</sup>.

Om de totale hoeveelheid fosfor te ramen die via de rivieren het oppervlaktewater verlaat, dienen de lozingen benedenstrooms van Gorinchem, Vreeswijk en Keizersveer bijgeteld te worden. Dit zijn de lozingen van uitwateringssluizen e.d. (0,1 - 0,3 mln kg P per jaar), huishoudens (1,2 - 1,4 mln kg P per jaar) en industrie (0,5 - 0,9 mln kg P per jaar). De totale onttrekking van fosfor aan het oppervlaktewater via het Rijn- en Maassysteem kan nu berekend worden:

<sup>1)</sup> Het gemiddelde van het totaal is bepaald door de gemiddelden van de afzonderlijke posten op te tellen. De onnauwkeurigheid in het totaal is vervolgens berekend door de onnauwkeurigheden van de afzonderlijke posten te kwadrateren en op te tellen, en daarna de wortel uit het geheel te trekken. Als gevolg van deze methode is de som van de afzonderlijke minima niet gelijk aan het minimum van het totaal. Hetzelfde geldt voor de maxima.

	mln kg P per jaar
Fosforvracht bij Vreeswijk, Gorinchem en Keizersveer	38 — 60
Lozingen:	
uitwateringssluizen e.d.	0,1— 0,3
huishoudens	1,2— 1,4
industrie	0,5— 0,9
Subtotaal <sup>1)</sup>	39,3—63,3
af: inlaten	0,2— 0,4
Totale onttrekking aan het oppervlaktewater via Rijn- en Maassysteem	39 — 63

#### De bruto emissie van fosfaten

De belangrijkste bronnen van fosfaten zijn in mln kg P per jaar:

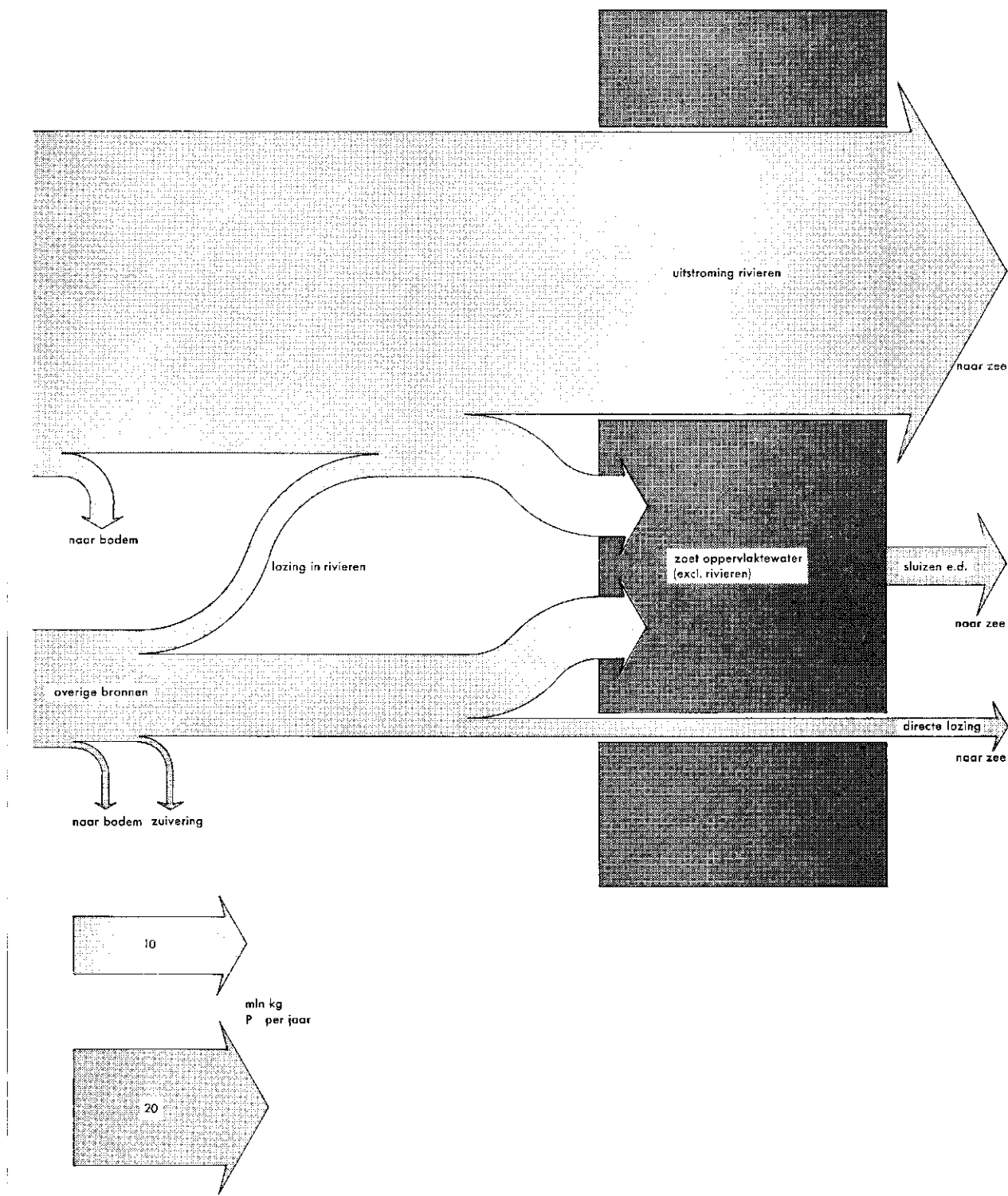
a. Wasmiddelen	9,2— 9,8
berekend op basis van de aankopen van alkali-fosfaten door de wasmiddelenfabrikanten	
b. Uitscheiding mens	6,1— 6,7
op basis van het fosforgehalte van het voedingsmiddelenpakket	
c. Industrie	2,6— 3,5
— aardappelmeel	0,6—1,4
— zuivel	ca. 0,4
— overige voedingsmiddelen	ca. 0,3
— metaal	0,1—0,4
— overige zware en procesindustrie	ca. 1,0
d. Directe lozingen door landbouw en uitspoeling bodem	1,7— 2,7
— mest en gier	0,8—1,4
— uitspoeling landbouwgronden	0,7—0,9
— uitspoeling niet-cultuurgronden	0,2—0,4
e. Import via de Rijn	40 — 60
f. Import via de Maas	2 — 4
g. Import via overige rivieren (excl. Schelde)	2 — 3
h. Neerslag	0,5— 1,5
Totaal <sup>1)</sup>	66 — 89
Totaal minus Rijn <sup>1)</sup>	26,0—29,1

#### Netto emissie van fosfaten

De hiervoor opgesomde bruto emissies komen niet volledig in het oppervlaktewater terecht. In biologische zuiveringsinstallaties wordt fosfor tegengehouden. Voorts wordt een deel van het afvalwater in de grond geloosd. Wanneer we de grote rivieren buiten beschouwing laten, vinden we de volgende netto emissies.

	bruto emissie	tegengehouden of niet op het water geloosd	netto emissie
Wasmiddelen	9,2—9,8	0,6—0,8	8,5—9,1
Uitscheiding mens	6,1—6,7	0,4—0,6	5,7—6,1
Industrie	2,6—3,5	0,0—0,2	2,5—3,4
Landbouw e.d.	1,7—2,7		1,7—2,7
Neerslag	0,5—1,5		0,5—1,5

Aannemende dat de sterkteverhouding van de verschillende fosforbronnen in Duitsland, Frankrijk, België en Zwitserland dezelfde is als die in Nederland, kan men tevens het via de grensoverschrijdende rivieren binnenstromende fosfor bij benadering aan de verschillende bronnen toedelen. Dit geeft dan het volgende beeld:



Afb. 1 - Stroomdiagram van fosfor in het oppervlaktewater.

### Netto belasting van het Nederlandse zoete oppervlaktewater

	mln kg P per jaar		
	in Nederland	via grensoverschrijdende rivieren	totaal
Wasmiddelen	8,5—9,1	19—29	28—38
Uitscheiding mens	5,7—6,1	11—21	17—27
Industrie	2,5—3,4	5—9	8—12
Landbouw	1,7—2,7	4—8	6—10
Neerslag	0,5—1,5	2—4	3—5

### Onttrekking van fosfaten aan het oppervlaktewater

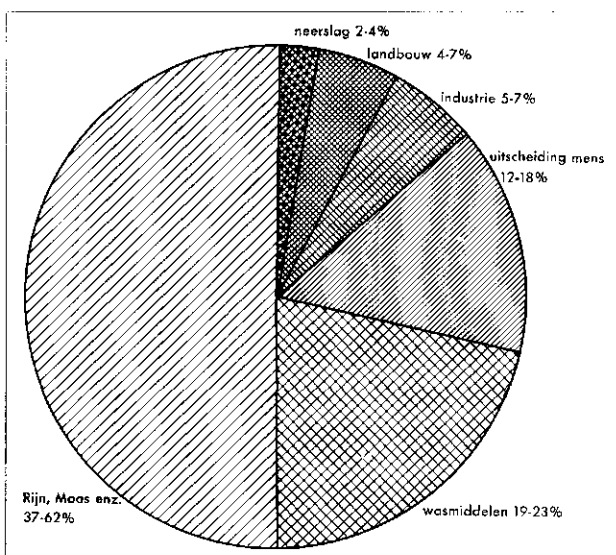
Voor de onttrekking van fosfor aan het oppervlaktewater zijn de volgende posten, in mln kg P per jaar, het belangrijkste.

	mln kg P
a. Uitstroming naar zee en uitbaggeren van rivieren	39 —63
b. Sluizen met uitwatering naar zee	5,5— 7,5
c. Directe lozing in zee van huishoudelijk afvalwater	1,4— 1,8
d. Directe lozing in zee van industrieel afvalwater	0,1— 0,3
e. Uitbaggeren en schonen van watergangen	0,0
f. Onttrekking via biomassa van dieren	0,1
g. Zuivering bij drinkwaterbereiding	0,1
h. Beregening tuinbouwgronden	0,3— 0,7
<b>Totaal</b>	<b>48 —72</b>

### De belasting van het zoute water met fosfaten

Over de vraag welke stoffen een rol spelen bij het eutrofiëeringsproces in zee is nog weinig bekend. Het is echter niet onmogelijk dat ook hier fosfaten een rol spelen. De belasting van de kustwateren met fosfor vanuit Nederland is in het onderstaande overzicht te vinden.

	mln kg P per jaar
Uitstroming naar zee van rivieren <sup>2)</sup>	36 —60
Uitwatering naar zee	5,5— 7,5
Directe lozing huishoudelijk afvalwater	1,4— 1,8
Directe lozing industrieel afvalwater	0,1— 0,3
Schelde	2,5— 6
<b>Totaal</b>	<b>48 —73</b>



Afb. 2 - Jaarlijks in het zoete oppervlaktewater en bodemslib achterblijvend fosfor. Globale verdeling naar bronnen, gemiddelde over 1969 en 1970.

### Fosforbalans

De hoeveelheid fosfor die jaarlijks in het zoete oppervlaktewater en het bodemslib achterblijft kan men vinden door de toevoer te verminderen met de onttrekkingen. Reeds eerder is gebleken dat de som voor de doorgestroomde hoeveelheden fosfor te Gorinchem en te Vreeswijk op een onnauwkeurigheidsmarge na gelijk is aan de doorstroming te Lobith minus die te Kampen. De fosforvracht te Lobith minus de vrachten te Gorinchem en Vreeswijk wordt op dezelfde onnauwkeurigheidsmarge na gelijk aan de uitstroming van fosfor te Kampen (dit komt neer op 1,9-9,1 mln kg P per jaar). Dit gegeven is naast de andere gegevens opgenomen in onderstaande fosforbalans. De posten zijn gedeeltelijk anders gegroepeerd dan hierboven; in de C.B.S.-publicatie is dit nader toegelicht.

Toevoer	mln kg P per jaar
Toevoer minus onttrekking via Rijnsysteem	1,9— 9,1
Maas te Eysden	2,0— 4,0
Overige rivieren (excl. Schelde)	2,0— 3,0
Wasmiddelen	8,5— 9,1
Uitscheiding mens	5,7— 6,1
Industrie	2,5— 3,4
Landbouw e.d.	1,7— 2,7
Neerslag	0,5— 1,5
<b>Subtotaal</b>	<b>27,7—35,8</b>
Restant bij Gorinchem en Vreeswijk van de toevoer bij Lobith	32,5—56,5
<b>Totaal</b>	<b>63 —88</b>

Onttrekking	mln kg P per jaar
Uitstroming Maas te Keizersveer	3,6— 5,2
Lozingen minus inlaten stroomafwaarts van Keizersveer, Gorinchem en Vreeswijk	1,6— 2,2
Uitwateringssluizen e.d.	5,5— 7,5
Overige onttrekkingen	2,1— 2,9
<b>Subtotaal I</b>	<b>13,9—16,7</b>
<b>Accumulatie</b>	<b>12,0—20,8</b>
<b>Subtotaal II</b>	<b>27,7—35,8</b>
Afvoer Gorinchem en Vreeswijk	32,5—56,5
<b>Totaal</b>	<b>63 —88</b>

Deze balans is samengevat in een stroomdiagram (afb. 1). De accumulatie (de hoeveelheid fosfor die jaarlijks in oppervlaktewater en bodemslib achterblijft) is van verschillende bronnen afkomstig. De percentuele verdeling van deze bronnen is aangegeven in afb. 2. Hierbij zijn de binnenstromende rivieren als één bron opgevat.

### Verantwoording

In het voorgaande zijn slechts de belangrijkste resultaten vermeld van het onderzoek. Voor een nadere detaillering en voor achtergrondinformatie zij verwezen naar de genoemde C.B.S.-publicatie.

Tot slot willen wij graag allen danken die op enigerlei wijze hun medewerking aan dit onderzoek hebben verleend.

### Literatuur

- C.B.S. 803-011-69. *Waterverontreiniging met afbreekbaar organisch en eutrofiërend materiaal*. 117 pp. Den Haag 1972.
- Woldendorp, J. W. *Limiterende voedingselementen bij groei van algen*. Stikstof 6 (1971) nr. 69 pp. 348 - 359.
- Lyklema, L. *Wasmiddelen en eutrofiëring*. H<sub>2</sub>O 5 (1972) pp. 128 - 130.
- Mededeling Rijkswaterstaat, Directie Bovenrivieren en mededeling RIZA.

<sup>2)</sup> De hoeveelheid fosfor die met baggeren uit de rivier verdwijnt is gesteld op 1 - 4 mln kg P.