

Fosfaat- en stikstofbalansen voor oppervlaktewater in polders en beekgebieden

Lezing gehouden tijdens de technische bijeenkomst van de CHO 'Samenhang tussen waterkwaliteit en -kwantiteit bij studies van oppervlaktewateren' op 18 oktober 1978.

1. Inleiding

De bestrijding van verontreinigingen van oppervlaktewateren richt zich sterk op de verwijdering van fosfaten en stikstofverbindingen. Als voorlopige grenswaarden voor fosfaat- en stikstofgehalten in oppervlaktewater vermeldt het Indicatief Meerjaren Programma (IMP; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1974) voor totaal-fosfaat $0,3 \text{ g P} \cdot \text{m}^{-3}$ en voor stikstof $3 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$ als Kjeldahl-stikstof en $4 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$ in de vorm van nitraat. Ter bestrijding van de eutrofiëring dienen de concentraties nog

TABEL I - Stikstof- ($\text{g N} \cdot \text{m}^{-3}$) en fosfaatgehalten ($\text{g P} \cdot \text{m}^{-3}$) in neerslag volgens verschillende onderzoeken.

Meetperiode	Aantal meetstations	Fosfaat		Stikstof		Literatuur
		ortho	totaal	mineraal *	totaal **	
'73-'75	1	0,03	0,08	2,4	3,2	Steenvoorden en Oosterom (1975)
'73-'74	14	—	0,15	2,0	—	Henkens (1976)
'78 (1e halfjaar)	12	0,01	—	3,0	—	KNMI/RIV (1978)

* NH_4^+ en NO_3^-

** Kjeldahl-N en NO_3^-

— niet bepaald

TABEL II - Gemiddelde stikstof- en fosfaatgehalten van de bovenste meter van het grondwater in natuurterreinen op verschillende bodemtypen (Steenvoorden en Oosterom, 1973; Bots e.a., 1978).

Bodemtype	Aantal natuurterreinen	Stikstof ($\text{g N} \cdot \text{m}^{-3}$)			Fosfaat ($\text{g P} \cdot \text{m}^{-3}$)	
		Kjeldahl-N	NO_3^-	totaal	ortho	totaal
Zand	3	0,9	0,3	1,2	0,02	0,05
Rivierklei	1	0,5	0,4	0,9	0,01	0,11
Afgegraven hoogveen	4	4,8	0,3	5,1	0,01	0,09
Hoogveen	2	5,8	0,6	6,4	< 0,01	0,15
Mesotroof laagveen	4	5,1	0,5	5,6	0,04	0,28
Zeelei	5	11,1	0,3	11,4	2,6	3,2



J. H. A. M. STEENVOORDEN
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen



H. P. OOSTEROM
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen

beduidend lager te zijn (Hosper, 1978; Schmidt-van Dorp, 1978). In vele Nederlandse wateren worden de IMP-normen periodiek of continu overschreden, zodat maatregelen nodig zijn.

De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in Nederland wordt voor ongeveer 80 % bepaald door aanvoer via grote rivieren (Kolenbrander, 1974). Zelfs in droge zomers wordt echter ruim 80 % van het aangevoerde water direct naar zee afgevoerd, zodat een landelijke benaderingswijze een vertekend beeld geeft voor kleinere afwateringseenheden. Bovendien mag worden verwacht dat als gevolg van de grote verschillen in waterhuishouding, bodemtype en bodemgebruik er grote verschillen zullen bestaan in belasting van oppervlaktewateren door stikstof en fosfaat. In dit artikel zal worden ingegaan op de toevoer van nutriënten door verschillende potentiële vervuilingbronnen. Vervolgens zal voor een aantal polders en beekgebieden worden nagegaan op welke wijze de stikstof- en fosfaatbelasting tot stand komt.

2. Toevoer van stikstof en fosfaat

2.1. Neerslag

De onderzoeken die zijn uitgevoerd naar de chemische samenstelling van neerslag geven meestal de totale belasting door droge en natte depositie. Het is daarom correcter om te spreken over de toevoer vanuit de atmosfeer. De gehalten kunnen

per meetstation en per maand sterk uiteenlopen als gevolg van de invloed van lokale vervuilingbronnen en verschillen in neerslagintensiteit.

Het lijkt acceptabel om, indien gegevens over de samenstelling van de neerslag in een betreffend gebied ontbreken, uit te gaan van een totaal-stikstofgehalte van $3,0 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$ en een totaal-fosfaatgehalte van $0,10 \text{ g P} \cdot \text{m}^{-3}$ (tabel I). De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid neerslag onder Nederlandse omstandigheden bedraagt ca. 750 mm. Komt alle neerslag in een gebied direct op open water dan betekent dit jaarlijks een belasting van $22,5 \text{ kg N}$ en $0,75 \text{ kg P}$ per ha wateroppervlakte.

2.2. Zoet grondwater

In deze paragraaf zal aandacht worden besteed aan de natuurlijke belasting met stikstof en fosfaat van oppervlaktewater. In paragraaf 2.4. wordt de invloed van het landbouwkundig bodemgebruik besproken. Grondwater bevat van nature reeds stikstof- en fosfaatverbindingen. De afvoer van neerslagoverschotten via het grondwater naar het oppervlaktewater veroorzaakt dus een min of meer natuurlijke belasting. De grondwaterafvoer wordt niet alleen bepaald door het lokale neerslagoverschot maar hangt eveneens af van de geohydrologische situatie. De afvoer kan groter zijn door kwel en kleiner als gevolg van wegzijging.

Informatie over de natuurlijke samenstelling van het grondwater is verkregen uit onderzoek van het ondiepe grondwater van natuurterreinen. De gehalten worden in sterke mate bepaald door de bodemsamenstelling. Met name de hoeveelheid organische

stof blijkt een grote invloed te hebben op de stikstof- en fosfaatgehalten (tabel II).

De spreiding in analysesresultaten per bodemtype was vrij groot, zodat niet voor elk bodemtype een vaste concentratie kan worden aangehouden. Voor zandgrond zijn zowel totaal-P gehalten gevonden van $0,15 \text{ g P} \cdot \text{m}^{-3}$ als van $0,01 \text{ g P} \cdot \text{m}^{-3}$. Voor het vaststellen van de natuurlijke belasting door mineralen in zoet grondwater in een bepaald gebied dient dus bij voorkeur een oriënterend grondwateronderzoek te worden uitgevoerd. De zeer hoge gehalten bij de natuurterreinen op zeelei zijn het gevolg van de invloed van zoute kwel (zie paragraaf 2.3).

2.3. Zout grondwater

Het grondwater van mariene afzettingen wordt over het algemeen gekarakteriseerd, naast hoge Cl^- -gehalten, door hoge stikstof- en fosfaatgehalten. De gehalten kunnen oplopen tot meer dan $5 \text{ g P} \cdot \text{m}^{-3}$ en $50 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-3}$. Dit voedselrijke grondwater komt voor in een smalle strook langs de Groningse en Friese kust en in het overgrote deel van de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Zeeland (tabel III). De gegevens van de provincies Groningen en Friesland hebben betrekking op watermonsters met een Cl^- -gehalte van meer dan $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, terwijl de analyses in Noord-Holland zijn uitgevoerd met water dat afkomstig is van gas- en koelwaterbronnen. De hoge gehalten zijn niet alleen aangetroffen op diepten groter dan 10 m—NAP, maar ook in de bovenste meter van het grondwater (tabel II). Door het langdurig verblijf in de ondergrond en de anaërobie in de mariene sedimenten wordt in het

TABEL III - Stikstof- en fosfaatgehalten in het diepe grondwater (10 m —NAP) van een aantal gebieden. Tussen haakjes is het aantal analyses vermeld.

	Stikstof (g N . m ⁻³)	Fosfaat (g P . m ⁻³)	Literatuur
Groningen, Friesland *	6,6 (240)	0,9 (156)	Bots e.a., 1978
Noord-Holland **	18 (88)	2,9 (88)	Toussaint en Boogaard, 1978
Midden West-Nederland *	8,0 (600)	1,0 (430)	Steenvoorden, 1976
Zeeland *	11,8 (52)	2,3 (49)	ICW

* NH₄⁺ en ortho-P

** totaal-N en totaal-P

grondwater geen NO₃⁻ gevonden en komt de stikstof overwegend voor in de vorm van NH₄⁺.

Het voedselrijke grondwater kan door meerdere oorzaken aan de oppervlakte komen en daardoor bijdragen aan de belasting door N en P in het oppervlakte-water. Een min of meer natuurlijke wijze waarop dit kan plaatsvinden is via kwelstroming. Zoute kwel treedt op indien het zoute grondwater aan de bovenzijde niet wordt begrensd door een afsluitend pakket en de druk van het diepe grondwater hoger is dan die van het ondiepe grondwater.

Het stikstof- en fosfaatrijke water kan ook op kunstmatige wijze naar de oppervlakte komen als de afsluitende laag wordt doorboord ten behoeve van de gas- of koelwaterwinning. In de provincie Noord-Holland komt dit op vrij grote schaal voor. Hierdoor bedraagt de gemiddelde jaarlijkse belasting per vierkante meter wateroppervlakte van de Schermerboezem ca. 16 g N en 2,7 g P (Toussaint en Boogaard, 1978). Voor het grondwater (> 200 Cl⁻ g . m⁻³) in het Noorden des lands is geen duidelijk verband gevonden tussen het chloridegehalte en het ammonium- en fosfaatgehalte. Hoge chloridegehalten van meer dan 5000 g . m⁻³ komen in vrijwel gelijke mate voor bij P-gehalten van minder dan 0,3 g P . m⁻³ als bij zeer hoge gehalten van meer dan 3,3 g P . m⁻³ (Bots e.a., 1978).

2.4. Uitspoeling van meststoffen

De toediening van fosfaatmeststoffen heeft tot nu toe geen aantoonbare consequenties gehad voor de uitspoeling naar het grondwater. De P-concentraties die gemeten worden in het grondwater onder landbouwpercelen en in het drainwater (tabel IV)

TABEL IV - Totaal-fosfaatgehalten in het drainwater van bouwland (Henkens, 1971) en in het grondwater van graslandpercelen (Steenvoorden en Oosterom, 1977) voor verschillende bodemtypen.

Grasland	g P . m ⁻³	Bouwland	g P . m ⁻³
Zand	0,04	Zand	0,02
Rivierklei	0,05	Rivierklei	0,04
Laagveen	0,11	Oude dalgrond	0,02
		Jonge dalgrond	0,73

wijken niet af van die in natuurterreinen (vergelijk tabel II), uitgezonderd bij jonge

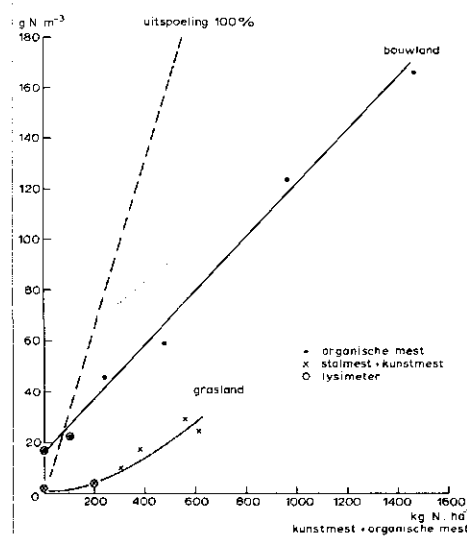
dalgrond waar een geringe uitspoeling optreedt als gevolg van de relatief grote mobiliteit van organische stof. Ook bij toediening van grote hoeveelheden runderdrijfmest tot 300 m³ . ha⁻¹ . jaar⁻¹ gedurende vier jaren op zandgrond is nog geen effect gemeten. Verwacht mag worden dat bij langdurige voortzetting van dit bemestingsniveau er op den duur fosfaatuitspoeling zal optreden als gevolg van de mobiliteit in de bodem van organische fosfaten (Gerritse, 1977).

De stikstofbelasting via het grondwater als gevolg van de aanwending van meststoffen in de landbouw is mede afhankelijk van:

- bodemgebruik (grasland, bouwland);
- bodemsamenstelling;
- bemestingsniveau en -vorm (kunstmest, dierlijke mest);
- waterhuishouding.

De uitspoeling treedt vrijwel uitsluitend op in de vorm van NO₃⁻. De uitspoeling van nitraat bij eenzelfde bemestingsgift is voor bouwland veel hoger dan voor grasland (afb. 1). Dit wordt veroorzaakt door

Afb. 1 - Verloop van de nitraatconcentratie (g N . m⁻³) in het bovenste grondwater onder invloed van de toegepaste stikstofbemesting bij bouw- en grasland op zandgrond. De lijn 'uitspoeling 100%' is berekend bij een grondwatervoeding van 300 mm . jaar⁻¹ (naar Steenvoorden, 1978b, en Kolenbrander, 1978).



mineralisatie van achtergebleven gewas- en wortelresten, terwijl bovendien in het vroege voorjaar geen gewas aanwezig is dat het gemineraliseerde nitraat in voldoende mate kan opnemen. Bij de resultaten uit afb. 1 dient in aanmerking te worden genomen dat het bouwland uitsluitend bemest is met dierlijke mest, dat een veel hoger stikstofverlies geeft dan kunstmest. De gegevens hebben betrekking op jaren met verschillende neerslagoverschotten. De bodemsamenstelling speelt een belangrijke rol bij de uitspoeling. Een vergelijkbaar bemestingsniveau bij graslandbedrijven, veroorzaakt op zandgrond veel hogere NO₃⁻ concentraties dan op humeuze zandgrond of op een grond met een zwaardere structuur zoals kleigrond (tabel V). Eenzelfde

TABEL V - De invloed van het bodemtype op de nitraatgehalten van de bovenste halve meter van het grondwater onder grasland bij de aangegeven bemesting (Steenvoorden en Oosterom, 1977).

Bodemtype	Bemesting (kg N . ha ⁻¹ . jaar ⁻¹)			NO ₃ ⁻ (g N . m ⁻³)
	kunst- mest	orga- nisch	totaal	
Zand	350	205	555	29
Lemig veenh. zand	335	165	500	1
Kleilig zand	435	170	605	5
Zware klei	360	130	490	0

effect is geconstateerd voor bouwland (Kolenbrander, 1971). De ontwaterings-situatie heeft een belangrijke invloed op de stikstofuitspoeling. Onder gemiddelde weersomstandigheden treedt in Nederland op zandgrond bij een goede ontwatering 50 % verlies op van de in het najaar in de bouwvoor aanwezige minerale stikstof en bij een matige ontwatering ongeveer 80 % (Rijtema, 1977). Als gevolg van denitrificatie in het grondwater en door menging met minder verontreinigd grondwater kan het NO₃⁻ gehalte nog afnemen voordat het oppervlaktewater wordt bereikt. De aard van de ondergrond, de verblijftijd en de hydrologische situatie spelen hierbij een rol.

Naast een benedenwaartse afvoer van de neerslag, kan dit ook door of over de bouwvoor gebeuren, indien de hoeveelheid neerslag in een bepaalde periode groter is dan de som van gewasverdamping, grondwatervoeding en/of de bergingsmogelijkheden in het profiel. De fosfaatconcentratie in het oppervlakkig afgevoerde water hangt af van de bemestings situatie en de grondsoort (Kolenbrander, 1977; Sharpley e.a., 1977). Naarmate de fosfaatgift de gewasonttrekking meer overschrijdt, des te hoger de fosfaatconcentratie in het bodemvocht is (afb. 2). Bij gelijke bodemvruchtbaarheid is de potentiële bijdrage op zandgrond groter dan op kleigrond. Oppervlakkige afvoer zal

onder Nederlandse weersomstandigheden slechts weinig frequent voorkomen en zich bovendien hoofdzakelijk voordoen op grasland als gevolg van de minder diepe ontwatering. Het procentuele aandeel in de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door oppervlakkige afvoer zal toenemen indien defosfatering van effluënten zal worden toegepast.

De stikstofgehalten in de oppervlakkige afvoer worden bepaald door de voorraad minerale stikstof in de doorstroomde profiellaag en de omvang van de oppervlakkige afvoer. Het concentratieniveau zal, in tegenstelling met fosfaat, vergelijkbaar zijn met die in het grondwater bij hetzelfde bodemgebruik. Bij hogere neerslagoverschotten zal de concentratie dalen omdat de voorraad minerale stikstof beperkt is (Kolenbrander en Van Dijk, 1972).

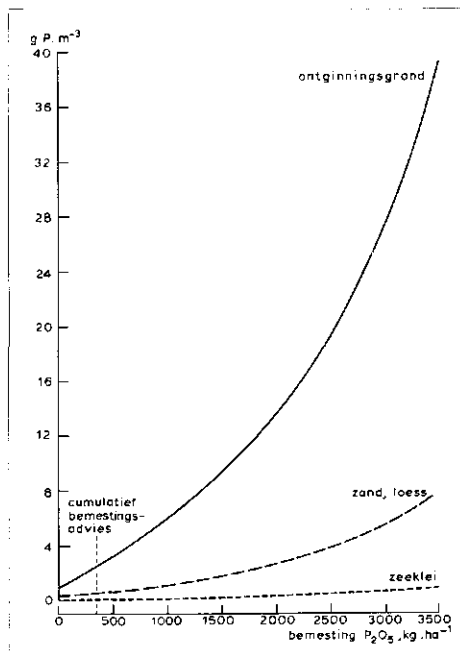
2.5. Huishoudens

Voor de hoeveelheid nutriënten die gemiddeld per inwoner per jaar wordt geproduceerd en afgevoerd via het huishoudelijk afvalwater kan worden uitgegaan van 5 kg N (Kolenbrander, 1971) en 1,5 kg P (Koot, 1970). Het deel dat hiervan het oppervlaktewater bereikt hangt sterk af van de wijze van behandeling van het afvalwater. Verreweg het meeste afvalwater wordt biologisch gezuiverd in installaties. Daarnaast wordt bij verspreide bebouwing ook wel gebruik gemaakt van een septic-tank of wordt direct op open water geloosd. Een indruk van de hoeveelheid stikstof en fosfaat, die via de effluënten van biologische zuiveringsinstallaties op open water komt geven de onderzoeken in het gebied van de Schermerboezem (Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland, 1976) en van de Barneveldse Beek (Beunders, 1978). De resultaten zijn enigszins beïnvloed door industriële lozingen, maar voor de Barneveldse Beek geldt dit slechts voor één geval. De gemiddelde N-bijdrage per aangesloten inwoner-equivalent komt voor beide gebieden redelijk overeen (tabel VI).

Het effect van behandeling van huishoudelijk afvalwater in een septic-tank op de verwijdering van stikstof en fosfaat is niet bekend en vormt bij het opstellen van een stoffenbalans dan ook een onzekere post.

TABEL VI - De gemiddelde lozing van stikstof en fosfaat via effluënten van zuiveringsinstallaties op de Schermerboezem en de Barneveldse Beek.

		Schermerboezem	Barneveldse Beek
totaal-N	g N . m ⁻³	35	27
totaal-P	g P . m ⁻³	—	13,5
waterafvoer	l . (i.e.) ⁻¹ . dag ⁻¹	203	200
N-afvoer	kg N . (i.e.) ⁻¹ . jr ⁻¹	2,6	2,0
P-afvoer	kg P . (i.e.) ⁻¹ . jr ⁻¹	—	1,0
aantal installaties		9	6



Afb. 2 - Relatie tussen het totaal-P gehalte van het bodemvocht in de onverzadigde zone en de cumulatieve hoeveelheid P₂O₅ die gedurende 5 tot 7 jaar is toegediend via kunstmest en/of organische mest (Kolenbrander, 1977).

2.6. Inlaatwater

Het inlaten van water kan om uiteenlopende redenen plaatsvinden. Een vrij algemeen motief is de watervoorziening van land- en

Een afvoerende drain bij grasland (foto Landinrichtingsdienst).



tuinbouw en de peilbeheersing ten behoeve van onder andere de scheepvaart. Ter bestrijding van de zoute kwel en de penetratie van zout water bij sluizen worden soms belangrijke hoeveelheden water gebruikt voor doorspoeling (tabel VII). Tussen

TABEL VII - De hoeveelheid water (mm) die is ingelaten voor doorspoeling en overige doeleinden in de droge zomer van 1976 voor verschillende grondsoorten en gemiddeld over een aantal watervoorzieningsgebieden (Van Boheemen, 1977).

Bodemtype	Aantal voorzieningsgebieden	Doorspoelen	Overig gebruik
Veen	2	0	123
Zeeklei	3	35	36
Veen/zeeklei	4	106	120
Rivierklei	3	0	63
Zand	6	0	64

watervoorzieningsgebieden binnen eenzelfde grondsoort kunnen echter grote verschillen in waterinlaat voorkomen als gevolg van verschillen in kwel, inlaatmogelijkheden, enz. Het ingelaten water is overwegend afkomstig van de Rijn, dat wordt gekenmerkt door zeer hoge stikstof- en fosfaatgehalten. Het gemiddelde totaal-stikstof- en totaal-fosfaatgehalte bedraagt ± 7 g N . m⁻³ en 1 g P . m⁻³ (RWS/RIV/RID, 1976 en 1977). Tijdens het transport naar het inlaatgebied kunnen nog belangrijke veranderingen optreden in de samenstelling, bijv. als gevolg van lozingen. Analyse van het ingelaten water is dus noodzakelijk voor het berekenen van de hoeveelheid aangevoerde nutriënten voor bijv. het opstellen van een stoffenbalans.

2.7. Lozing van agrarisch afvalwater

Sinds de in werking treding van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater in 1970 is door vele waterbeheerders een actief beleid gevoerd om verontreiniging door lozingen van gier en spoel- en stalwater tegen te gaan (Zuiveringsschap Veluwe, 1977; Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland, 1976). Aangenomen mag worden dat eventuele lozingen een incidenteel karakter zullen hebben. Als gevolg van de hoge concentraties kunnen dergelijke lozingen een belangrijke invloed hebben op de lokale waterkwaliteit. De concentraties in gier kunnen enkele duizenden grammen N . m⁻³ en enkele honderden grammen P . m⁻³ bedragen (Kolenbrander en De la Lande Cremer, 1967). De bijdrage via deze bron kan een onzekere post vormen bij het opstellen van een stoffenbalans.

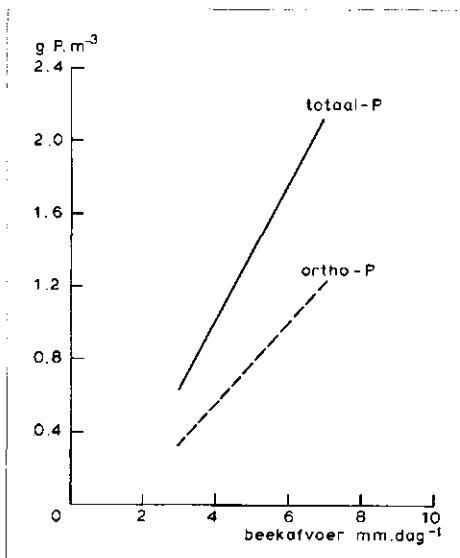
3. Afvoer van stikstof en fosfaat

De aan het oppervlaktewater toegevoerde stikstof- en fosfaatverbindingen zullen deels

in opgeloste of onopgelost in zwevende toestand met het water worden afgevoerd uit het afwateringsgebied. Een ander deel zal als gevolg van biologische, chemische en fysische processen óf ontwijken naar de atmosfeer óf zal in de watergangen achterblijven in de vorm van slib, vastlegging door riet en vis, enz.

Het verlies van verbindingen naar de atmosfeer doet zich bij stikstof voor als gevolg van denitrificatie en ammoniakvervluchtiging. De mate waarin denitrificatie optreedt is vooral afhankelijk van de aanwezigheid van oxydeerbare verbindingen en de temperatuur van het water. Met name in watergangen die belast worden met het effluent van zuiveringsinstallaties lijken hiervoor gunstige condities aanwezig te zijn. Onder deze omstandigheden zijn denitrificatiesnelheden gemeten van ca. $35 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jaar}^{-1}$ bij 4°C en van ca. $330 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jaar}^{-1}$ bij 21°C (Tiren e.a., 1976; Van Kessel, 1976).

Over de kwantitatieve betekenis van NH_3 -vervluchtiging is weinig bekend. In waterige oplossingen is ammonium gedissocieerd volgens: $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$. Naarmate de pH of de temperatuur stijgt, verschuift het evenwicht meer naar rechts. Bij een pH van 8 en een temperatuur van 0°C is nog alle NH_4^+ ongesplitst. Bij een pH-waarde van 9 en een temperatuur van 20°C is reeds 30 % van het NH_4^+ gesplitst. In oppervlaktewateren met hoge ammoniumgehalten, bijv. polderwater, kan via dit proces een belangrijke hoeveelheid stikstof in de vorm van NH_3 -gas naar de atmosfeer ontwijken. Dit kan worden versterkt door een pH-stijging als gevolg van algenbloei. Accumulatie van stikstofverbindingen en fosfaten in het bodemslib kan optreden door precipitatie van fosfaat, adsorptie van fosfaat en ammonium en door bezinking van zwevende deeltjes en afgestorven waterorganismen en planten. Het verdwijnen van fosfaat uit het water is zowel waargenomen in een polder met zoute kwel (Steenvoorden en Pankow, 1976) als in de Barneveldse Beek na de lozing van effluent door een zuiveringsinstallatie (Beunders, 1978). Alle genoemde processen waardoor accumulatie kan optreden zijn reversibel. Onder gewijzigde omstandigheden kunnen stikstof en gedeeltelijk ook fosfaat uit het slib terugkeren naar het omringende water. Voor fosfaat wordt dit bevestigd door het concentratieverloop in de randmeren (Hosper, 1978) en door experimenten van Kouwe en Golterman (1976). Voor de afgifte van stikstof en fosfaat door sedimenten vermeldt Vollenweider (1968) $0,01 \text{ g P} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$ en $1,2 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$ voor enkele meren. De mate van uitwisseling zal onder andere afhankelijk zijn van de concentratie in het



Afb. 3 - Relatie tussen de waterafvoer in de Barneveldse Beek en de concentratie van ortho- en totaal-fosfaat, in de periode van 22-26 nov. 1977.

omringende water, de fosfaatrijkdom van het slib en de stroming van het water. In de Barneveldse Beek is tijdens een afvoergolf een grote invloed geconstateerd van het debiet op de concentraties van ortho- en totaal-fosfaat (afb. 3). Omdat de concentratie aan opgelost P in de oppervlakkige afvoer uit landbouwgrond bepaald wordt door de bodemvruchtbaarheid, zou de concentratie in het oppervlaktewater vrij constant moeten zijn gedurende de afvoergolf als dit de P-bron zou zijn. Aangezien de P-concentratie evenredig toeneemt met het debiet lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de overheersende P-bron een andere is dan oppervlakkige afvoer uit landbouwgrond. Waarschijnlijk komt het fosfaat dat in een droge periode in het slib is geborgen in een natte periode weer tot afvoer.

4. Stikstof- en fosfaatbalansen

4.1. Algemeen

Een probleem bij het opstellen van stikstof- en fosfaatbalansen voor polders en beekgebieden is het ontbreken van meetgegevens over de bijdrage door diffuse bronnen, zoals de uitspoeling van meststoffen en de

lozing van afvalwater door verspreide bebouwing en agrarische sector. In sommige gevallen vindt echter geheel geen bijdrage plaats. Voor fosfaatuitspoeling via het grondwater in landbouwgebieden (zie tabel IV) geldt dit in het algemeen, maar eveneens voor de uitspoeling van stikstofmeststoffen op veen- en kleigronden (zie tabel V). In weer andere situaties is een schatting van de relatieve bijdrage van de bron gering is. Voor polders is het hierdoor meestal wel mogelijk om de toevoer van alle bronnen te kwantificeren.

In zandgebieden, met name gebieden met een hoge veebezetting, bestaat nog zoveel onzekerheid over de bijdrage van lozingen en de rol van oppervlakkige afvoer dat een schatting niet verantwoord is. Voor zandgebieden wordt de bijdrage van diffuse bronnen daarom benaderd als sluitpost van de stoffenbalansen.

Stikstof- en fosfaatbalansen kunnen een beter inzicht geven in de wijze waarop de belasting van het oppervlaktewater tot stand komt en in het mogelijke effect van bepaalde maatregelen. De bijdrage van een aantal vervuiliingsbronnen kan in het onderzoeksgebied worden gemeten, van andere bronnen zal deze moeten worden geschat. De fout die hierbij kan worden gemaakt bedraagt voor de meeste balansposten ongeveer 10 à 20 %, misschien in een enkel geval nog wel hoger.

De gevolgde methode maakt het mogelijk om onderscheid te maken tussen belangrijke en minder belangrijke bronnen. Op de stikstof- en fosfaatbalansen van 3 polders en 3 beekgebieden wordt hierna afzonderlijk ingegaan.

4.2. N- en P-balans in polders

De drie polders waarvan de stikstof- en fosfaatbalansen wordt gegeven zijn de Frederikspolder (ZH), de Veenderpolder (ZH) en de polder bij Oranjeplaat (Z) (Steenvoorden, 1977; Steenvoorden en Pankow, 1976). Het betreft twee graslandpolders en een bouwlandpolder met een geringe bewoningsdichtheid en zonder industrie (tabel VIII). De bodem in de Frederikspolder bestaat uit eutroof veen,

TABEL VIII - Enkele gebiedskarakteristieken voor de Frederikspolder (ZH), de Veenderpolder (ZH) en de polder bij Oranjeplaat (Z). (1 gve = 1 groot-vee-eenheid = 1 melk-koe-equivalent.)

Karakteristiek		Frederiks-polder	Veender-polder	Polder bij Oranjeplaat
Gebiedsoppervlak	ha	68	156	40
oppervlak grasland	%	85	96	—
oppervlak bouwland	%	—	—	99
oppervlak water	%	15	4	1
Bewoningsdichtheid	inw. ha ⁻¹	0,20	0,25	0,10
Veebezetting landbouwgrond				
rundvee	gve. ha ⁻¹	2,1	2,4	—
mestvarkens	gve. ha ⁻¹	0,2	0,3	—
Kwel	mm. dag ⁻¹	— 0,1	0,1	1,0

TABEL IX - Belasting voor het oppervlaktewater en de afvoer van stikstof en fosfaat in drie polders.

	Stikstof (kg N · ha ⁻¹ · jaar ⁻¹)		Fosfaat (kg P · ha ⁻¹ · jaar ⁻¹)	
	belasting	afvoer	belasting	afvoer
Frederikspolder	22	18	6,0	4,3
Veenderpolder	46	21	12,3	3,8
Polder Oranjeplaat	110	52	19,3	9,1

TABEL X - Procentuele bijdrage van diverse vervuiliingsbronnen aan de stikstof- en fosfaatbelasting van oppervlaktewater in drie polders per ha van het gebiedsoppervlak.

Vervuiliingsbronnen	Frederiks- polder		Veender- polder		Polder Oranjeplaat	
	N	P	N	P	N	P
Natuurlijk						
neerslag op open water	17	2	2	1	<1	<1
uitspoeling van natuurlijke bodembestanddelen	8	60	8	13	6	3
kwel	—	—	24	23	93	96
subtotaal	25	62	34	37	99	99
Kunstmatig						
huishoudelijk afvalwater	4	4	2	4	<1	1
gasbronnen	—	—	32	29	—	—
uitspoeling meststoffen	0	0	0	0	1	—
lozingen stalwater	14	2	7	1	—	—
inlaatwater	57	32	25	29	—	—
subtotaal	75	38	66	63	1	1
Totaal	100	100	100	100	100	100

in de Veenderpolder uit humeuze en venige zavel- en kleigronden en in de polder bij Oranjeplaat uit zeele. Andere verschillen tussen de polders zijn de kwelintensiteit, het percentage open water en de invloed van gasbronnen. Dit laatste is alleen van belang in de Veenderpolder.

Voor de bijdrage van huishoudelijk afvalwater is aangenomen dat alle N en P op het open water wordt geloosd. In veenweidegebieden kan in de winterperiode een belangrijk deel van het mestwater naar sloten worden afgevoerd als gevolg van het ontbreken van voldoende opslagcapaciteit voor mest en gier. Uit een bedrijfsinventarisatie, uitgevoerd in een groot deel van Noord-Holland, is gebleken dat ca. 8 % van de bedrijven helemaal geen opslagmogelijkheden heeft (Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland, 1976). Voor de twee veenweide polders is aangenomen dat 8 % van de bedrijven gedurende de winterperiode alle gier loost op open water.

De stikstof- en fosfaatbelasting van de polders loopt sterk uiteen (tabel IX), hetgeen in belangrijke mate wordt veroorzaakt door verschillen in kwelintensiteit en de bijdrage door gasbronnen (tabel X). De afvoer van stikstof en fosfaat via de gemalen is geringer dan de aanvoer, zodat berging in het bodemslib en verlies van stikstof naar de atmosfeer een belangrijke rol gespeeld zullen hebben. In de Frederikspolder en in de Veenderpolder zijn de omstandigheden voor NH₃-vervluchtiging

gunstig geweest, aangezien frequent pH-waarden zijn gemeten tussen 8 en 9. De N/P-verhouding van de totale belasting ligt tussen 3,5 en 5,5, zodat stikstof in deze polders waarschijnlijk het beperkende voedingselement zal zijn uit het oogpunt van eutrofiëring.

Tot de natuurlijke bronnen kunnen worden gerekend die bronnen, welke bij een gegeven inrichtingssituatie van een gebied een onvermijdelijke toevoer van stikstof en fosfaat veroorzaken. Zo is bijvoorbeeld de zoute kwel alleen terug te dringen als het peil van het open water in polders wordt verhoogd. Voor de natuurlijke belas-

ting zijn de neerslag op open water, uitspoeling van natuurlijke bodembestanddelen en zoute kwel verantwoordelijk. De bijdrage door deze bronnen is bij de onderzochte polders minimaal 25 % van de totale belasting en kan zelfs oplopen tot 99 % (tabel X). De kunstmatige belasting wordt overwegend veroorzaakt door gasbronnen en ingelaten boezemwater. De bijdrage door lozingen van stalwater in de veenweide polders is relatief van geringe betekenis. In polders met een bodemprofiel dat uit mesotroof veen bestaat zal de betekenis van lozingen toenemen door de geringere natuurlijke uitspoeling van fosfaat (tabel II). Indien alle kunstmatige vervuiliingsbronnen zouden worden geëlimineerd, zal desondanks bij een deel van de Nederlandse polders niet kunnen worden voldaan aan de IMP-streefwaarden, met name niet voor fosfaat.

4.3. N- en P-balans in beekgebieden

De stikstof- en fosfaatbalansen van de Barneveldse Beek (Beunders, 1978; Steenvoorden, 1978a) en de Hupselse Beek (Kolenbrander en Van Dijk, 1972; Study Group Hupselse Beek, 1973), beide gelegen in de provincie Gelderland, en van de Raalter Wetering (Steenvoorden en Oosterom, 1973) in de provincie Overijssel, zullen worden behandeld.

In een belangrijk deel van het gebied van de Barneveldse Beek bestaat de bodem uit fijne, lemige zandgronden waardoor het verschijnsel van oppervlakkige afvoer zich kan voordoen in zeer natte perioden. Op een diepte van 15 à 20 m bevindt zich een slecht doorlatende kleilaag van enkele meters dikte. Van de bewoners is ca. 61 % aangesloten op rioolwaterzuiveringsinstallaties, waarvan het effluent binnen het afwateringsgebied wordt geloosd. In het gebied van de Hupselse Beek bestaat

De Kleine Poel (één van de Westeinder Plassen), in de omgeving van Aalsmeer.

