

NOTA 1080 (gewijzigd)

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

FOSFAAT- EN STIKSTOFHUISHOUDING VOOR HET
OPPERVLAKTEWATER VAN DE BARNEVELDSE BEEK

ir. J.H.A.M. Steenvoorden

Deze nota is eveneens verschenen als Basisrapport ten behoeve van de
Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. GEBIEDSBESCHRIJVING	2
2.1. Topografie, bodem en waterhuishouding	2
2.2. Bewoning, bodemgebruik en vervuilingsbronnen	3
3. WATERHUISHOUDING 1977	6
4. STIKSTOFBALANS	11
4.1. Inleiding	11
4.2. Bijdrage vervuilingsbronnen	11
4.3. Stikstofhuishouding Barneveldse Beek 1977	14
5. FOSFAATBALANS	17
5.1. Inleiding	17
5.2. Bijdrage vervuilingsbronnen	17
5.3. Fosfaathuishouding Barneveldse Beek 1977	21
5.4. Fosfaatberging in het bodemsediment van de beek	24
6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	28
7. AANBEVELINGEN	33
8. LITERATUUR	35

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

De Commissie Waterhuishouding Gelderland heeft tot taak om ten behoeve van de beleidsvoerende instanties op het terrein van waterkwantiteit en waterkwaliteit kennis te verzamelen ter ondersteuning van een verantwoorde afweging van belangen. Daartoe is onder andere de Werkgroep 'Waterkwaliteit en Waterzuivering' opgericht. Eén van de activiteiten waarmee deze werkgroep zich vanaf oktober 1976 heeft bezig gehouden is de problematiek van de voedselverrijking van het oppervlaktewater. Als gevolg van de toevoer van grote hoeveelheden nutriënten door verschillende vervuilingsbronnen treedt een kwaliteitsvermindering op waardoor belangen worden geschaad van natuurbeheer, recreatie, drinkwatervoorziening, enz. De belangrijkste voedingsstoffen die hierbij een rol spelen zijn stikstof en fosfaat.

Het probleem van de hoge stikstof- en fosfaatgehalten in oppervlaktewater doet zich op de Veluwe in verscheidene gebieden voor. In het gebied van de Lunterse en de Barneveldse Beek zijn de concentraties voor totaal-P regelmatig hoger dan 1 g P.m^{-3} en voor stikstof hoger dan 5 g N.m^{-3} . Het Indicatief Meerjaren Programma (MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 1975) geeft als streefwaarden aan voor totaal-P $0,3 \text{ g P.m}^{-3}$ en voor stikstof 7 g N.m^{-3} , waarbij voor Kjeldahl-N en NO_3^- de waarden van respectievelijk 3 en 4 g N.m^{-3} niet mogen worden overschreden. Het is dus gewenst om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van de hoge belasting van het open water, vooral uit het oogpunt van de fosfaathuishouding.

Om de beschikbare theoretische kennis op het gebied van de voedingsstoffenhuishouding te kunnen toetsen en de eventueel ontbrekende informatie aan te vullen is in het gebied van de Barneveldse Beek een onderzoek uitgevoerd (fig. 1). Door BEUNDERS (1978) zijn in

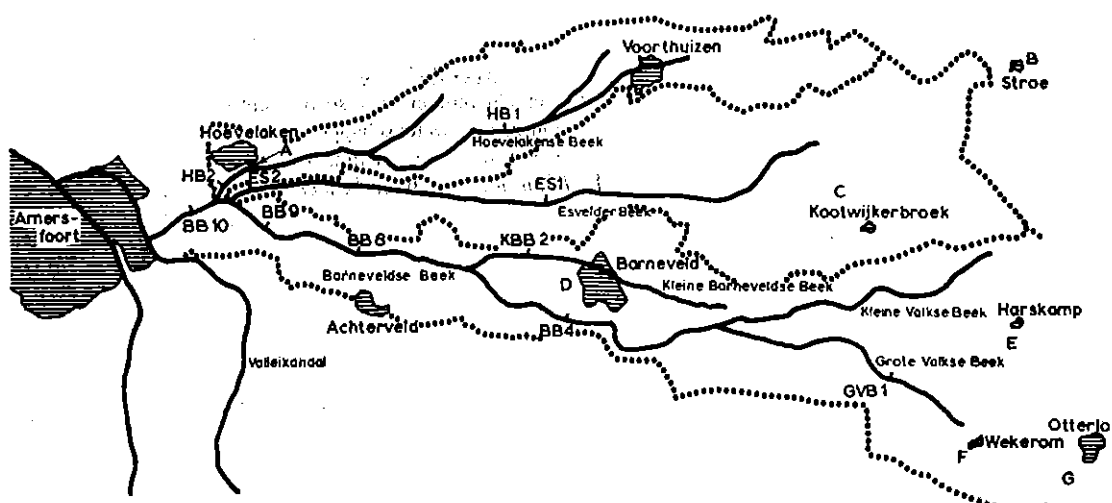


Fig. 1. Overzicht van het gebied van de Barneveldse Beek, de monsterpunten van het oppervlaktewateronderzoek en de grenzen van de afwateringseenheden

1977, omvangrijke metingen verricht van de afvoeren van stikstof en fosfaat via het open water en van de toevoer via effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Door VASAK (1978) is de kwaliteit van het grondwater bestudeerd in relatie met de geologische en hydrologische omstandigheden, terwijl in natte periode tevens analyses zijn uitgevoerd van het oppervlakkig afgevoerde water uit landbouwpercelen.

Het doel van dit rapport is om de algemeen beschikbare kennis en het beschikbare feitenmateriaal over de Barneveldse Beek te integreren zodat de bijdrage van de verschillende bronnen aan de stikstof- en fosfaatbelasting kan worden gekwantificeerd. Ook wordt nagegaan welke maatregelen de kwaliteit van het water in het gebied van de Barneveldse Beek het beste kunnen beschermen.

2. GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1. Topografie, bodem en waterhuishouding

Het gebied dat zichtbaar op de Barneveldse Beek afwatert beslaat ca. 15 400 ha en strekt zich uit over een afstand van 25 km van oost

naar west en over 10 km van noord naar zuid. Tot het onzichtbare afwateringsgebied behoort een gedeelte van de westelijke Veluwe; het Waterschap van de Barneveldse Beek gaat uit van een oppervlakte van ca. 3500 ha (fig. 1).

De bodem bestaat overwegend uit fijnzandige dekzanden, die oostelijk van Barneveld overwegend leemarm (0-10% leem) en zwaklemig (10-17,5% leem) zijn en westelijk van Barneveld hoofdzakelijk lemig (10-32,5% leem) (STIBOKA, 1965). De mate van fijnheid van het zand en het leemgehalte zijn van groot belang voor de doorlatendheid. De hoogteligging van het gebied varieert van ca. 22 m + NAP in het oosten tot ca. 3 m + NAP in het westelijk deel van het gebied, zodat de helling ca. 0,8^o/oo bedraagt. Oostelijk van Barneveld worden dan ook de diepste grondwaterstanden aangetroffen. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) is in de omgeving van Otterlo en Stroe lager dan 40 cm onder maaiveld (GT VI en GT VII). In het westelijk deel komen overwegend de ondiepere grondwaterstanden voor (GT II en GT III). De grondwaterstand kan hier in de winterperiode tot in de bouwvoor of tot aan het maaiveld reiken. Als gevolg van de verschillen in hoogteligging en doorlatendheid kunnen zich belangrijke verschillen in waterafvoer in de open leidingen voordoen. Bepaalde waterlopen in het oostelijk deel staan in de zomerperiode langdurig droog, een enkele zelfs vrijwel het gehele jaar door. Volgens schattingen door het Waterschap van de Barneveldse Beek bedraagt het wateroppervlak in de zomerperiode 0,45% van het zichtbaar afwaterend oppervlak en in de winterperiode 1,5%.

2.2. B e w o n i n g , b o d e m g e b r u i k e n v e r v u i - l i n g s b r o n n e n

In het gebied zijn ongeveer 44 000 personen woonachtig, waarvan 33 500 in kernen en 10 500 verspreid in het landelijk gebied (BEUNDERS, 1978). De bewoningsdichtheid bedraagt gemiddeld 2,5 inwoners per hectare.

Van het gebiedsoppervlak is ongeveer 60% in gebruik als cultuurgrond, waarvan 90% uit grasland bestaat en het restant in gebruik is als bouwland. Het gedeelte cultuurland varieert van 60 tot 90% bij de verschillende detailgebieden (tabel 1).

Tabel 1. Oppervlakte per detailgebied en het aandeel hierin van cultuurgrond

Gebied	Totaal (ha)	Cultuurgrond	
		(ha)	(%)
GVB 1	2 105	1 935	92
BB 4*	2 185	1 470	67
KBB 2	1 050	815	78
BB 8	6 400	4 905	77
ES 1	3 230	1 910	60
ES 2*	1 770	1 250	71
HB 1	1 260	840	67
HB 2*	1 955	1 315	67
BB 10	17 600	10 220	58

*betreft het afwateringsgebied tussen dit monsterpunt en het eerstvolgende monsterpunt bovenstrooms

De landbouw wordt vooral gekenmerkt door grote aantallen mestkalveren, mestvarkens en kippen. De gemiddelde veebezetting voor het gehele gebied per ha cultuurgrond bedraagt 6,4 mestkalveren, 13,5 mestvarkens en 2,7 runderen (CBS, 1976). Tussen de detailgebieden komen belangrijke verschillen voor (tabel 2).

Relevante vervuilingsbronnen binnen het gebied zijn (BEUNDERS, 1978) rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI), huishoudelijk afvalwater afkomstig van de verspreide bebouwing in het landelijk gebied en van gerioleerde kernen die ongezuiverd water lozen, industrie en min of meer natuurlijke bronnen zoals neerslag en de basisbelasting via het toegevoerde grondwater

De aansluitingsgraad op RWZI's bedraagt voor het gehele gebied ca. 75%. De mate waarin per detailgebied lozingen plaatsvinden van huishoudelijk afvalwater en op welke wijze dat gebeurt is vermeld in tabel 3.

Tabel 2. De veebezetting per detailgebied voor mestkalveren en -varkens en runderen in stuks per ha cultuurgrond en de totale veebezetting in GVE per ha cultuurgrond, waarbij voor mestkalveren en mestvarkens is uitgegaan van 3,3 stuks/GVE. Tevens zijn de N- en P-productie door het vee vermeld (kg N en kg P.ha⁻¹ cultuurgrond) (1 GVE = 1 grootvee-eenheid en komt overeen met 1 melkkoe)

Gebied	Mestkalveren	Mestvarkens	Rundvee	Totaal	N-productie	P-productie
GVB 1	5,7	32,9	2,7	14,4	248	62
BB 4*	9,5	13,9	2,7	9,8	252	60
KBB 2	5,5	11,0	2,7	7,7	209	50
BB 8	6,7	13,7	2,7	8,9	180	57
ES 1	11,4	21,6	2,7	12,7	304	80
ES 2*	3,0	9,3	2,7	8,6	192	40
HB 1	3,7	6,5	2,7	5,6	179	40
HB 2*	2,9	9,2	2,7	6,4	190	45
BB 10	6,4	13,5	2,7	8,7	232	56

*betreft het afwateringsgebied tussen dit monsterpunt en het eerstvolgende monsterpunt bovenstrooms

Tabel 3. Lozingen van huishoudelijk afvalwater (inw.ha⁻¹) binnen de onderscheiden afwateringseenheden via rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) en op andere wijze (- = geen invloed RWZI)

Gebied	RWZI	Niet via RWZI
GVB 1	1,65	0,85
BB 4*	0,0	0,20
KBB 2	19,3	0,80
BB 8	2,80	0,46
ES 1	0,45	0,97
ES 2*	0,0	0,86
HB 1	0,0	0,86
HB 2*	3,78	1,17
BB 10	1,86	0,65

*betreft het afwateringsgebied tussen dit monsterpunt en het eerstvolgende punt bovenstrooms

De lozingen van industrieel afvalwater zijn van zeer beperkte omvang en vinden alleen plaats op de Hoevelakense Beek. De rest van de industrie is aangesloten op RWZI's.

3. WATERHUISHOUDING 1977

In het jaar 1977 bedroeg de hoeveelheid neerslag volgens het KNMI-station Barneveld 820 mm. Hiervan viel 357 mm in de zomerperiode van april tot en met september en 463 mm in de rest van het jaar. Het deel van de neerslag (N) dat via open water wordt afgevoerd (A) kan globaal worden berekend door de neerslag te verminderen met de actuele verdamping door gewas en bodem (E) en het resultaat te corrigeren voor de verandering in de vochtvoorraad in het profiel (ΔV):

$$A = N - E + \Delta V$$

De verdamping kan worden afgeleid uit de open waterverdamping (E_o) door vermenigvuldiging met een reductiefactor (a) die afhankelijk is van de bodembedekking. In formule:

$$E = a \cdot E_o$$

waarbij a de volgende waarden kan aannemen:

0,3 voor kale grond (lysimeter Castricum)

0,8 voor potentieel verdampend landbouwgewas met volledige bodembedkking

0,6 voor naalddhout jonger dan 5 jaar op duinzand bij grondwaterstand op ca. 2 m-m.v. (Castricum)

0,9 voor naalddhout van 10 à 15 jaar oud op duinzand; grondwaterstand op ca. 2 m-m.v. (Castricum)

1,0 voor oud naalddhout zonder onderbegroeiing op zand; 0-50 cm: humeus; grondwaterstand 1 m-m.v. (OOSTEROM en VAN SCHIJNDEL, 1979).

Wordt bij de berekening uitgegaan van een reductiefactor voor grasland van 0,8, voor bouwland oplopend van 0,3 in het voorjaar tot 0,8 voor een bodembedekkend gewas en voor de natuurterreinen van 1,0

dan bedraagt de grondwatervoeding in 1977 voor grasland, bouwland en natuurterrein respectievelijk 305, 443 en 176 mm (tabel 4). De werkelijke verdamping kan geringer zijn geweest dan de hier berekende waarden. Gezien de verdeling van de neerslag over het jaar zal het verschil tussen potentiële en actuele verdamping niet groot zijn.

De grootte van het onzichtbaar afwaterend oppervlak kan bij benadering worden afgeleid met behulp van de berekende grondwatervoeding van natuurterreinen en gebruik makende uit de afvoer van de Barneveldse Beek in een droge periode. De laagste afvoeren deden zich voor op 13 juni en 13 juli en het gemiddelde bedraagt $0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$. Indien wordt aangenomen dat de afvoer alleen bestaat uit effluent van de RWZI te Barneveld ($0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$) en uit kwelwater van het onzichtbaar afwateringsgebied dan volgt hieruit dat het oppervlak ongeveer 2500 ha bedraagt. De schatting van het waterschap was 3500 ha (zie pag. 2).

De gemiddelde jaarafvoer voor het gehele stroomgebied in 1977 kan nu worden berekend uit het procentuele bodemgebruik en de corresponderende grondwatervoeding (tabel 4).

Tabel 4. Neerslag (N), verdamping (E) en netto grondwatervoeding (G) per type bodemgebruik en gemiddeld over het gehele afwateringsgebied van de Barneveldse Beek in 1977

Bodemgebruik	N (mm)	E (mm)	G (mm)	Oppervlakte (ha)	Relatief oppervlak (%)
<u>Zichtbaar afwateringsgebied</u>					
grasland	820	515	305	9 198	52,3
bouwland	820	377	443	1 022	5,8
natuur	820	644	176	4 880	27,7
<u>Niet zichtbaar afwateringsgebied</u>					
natuur	820	644	176	2 500	14,2
Gemiddeld	820	561	259	17 600	100,0

De ondergrondse afstroming naar het Valleikanaal kan worden verwaarloosd, aangezien de kD -waarde van het bovenste watervoerend pakket $125 \text{ m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$ bedraagt en het grondwaterverhang ca. $3 \cdot 10^{-4}$ (MEINARDI, 1977). Bij een lengte van 10 km van het deel van het Val-

leikanaal, dat water ontvangt uit het stroomgebied, volgt een afstroming van slechts $375 \text{ m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$.

Op basis van de tweewekelijkse afvoermetingen, die op de verschillende afvoerpunten in de beken en bij de RWZI's zijn uitgevoerd, kan bij benadering de afvoer van neerslagoverschotten eveneens worden berekend (tabel 5). De toevoer van kwelwater uit het onzichtbaar afwateringsgebied is hierbij geheel toebedeeld aan het laatste meetpunt BB 10. De afvoer die op deze wijze is bepaald, verschilt slechts 7% van de afvoer die is berekend uit neerslag en verdamping (tabel 4). Geconcludeerd kan worden dat de metingen dus een redelijk betrouwbaar beeld geven van de afvoer. De invloed van effluentlozingen door RWZI's is in sommige deelgebieden bijzonder groot. Met name geldt dit voor de Kleine Barneveldse Beek waar in de droge periode het effluent aandeel zelfs 69% belooft. De bijdrage van afvalwaterlozingen van de verspreide bebouwing bedraagt maximaal enkele mm's en is bij de berekening van de neerslagoverschotten, volgens tabel 4, verwaarloosd.

Tabel 5. Waterafvoer (mm) uit de verschillende afwateringseenheden in de droge periode van 1977 (10/5-1/11) en de natte periode (restant 1977) en de bijdrage hieraan van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) en neerslagoverschotten bij een afwaterend oppervlak van 17 600 ha

Gebied	Natte periode			Droge periode			Totaal
	totaal	RWZI	neerslag-overschot	totaal	RWZI	neerslag-overschot	neerslag-overschot
GVB 1	195	6	189	56	4	52	241
BB 4*	311	-	311	52	-	52	363
KBB 2	597	249	348	214	147	67	415
BB 8	333	43	290	69	25	44	334
ES 1	142	4	138	27	1	26	164
ES 2*	220	-	220	41	-	41	261
HB 1	84	-	84	3	-	3	87
HB 2*	291	17	274	56	9	47	321
BB 10	252	20	232	57	12	45	277
BB 10**	221	18	203	50	11	39	242

*betreft het afwateringsgebied tussen dit monsterpunt en het eerstvolgende punt bovenstrooms

**inclusief onzichtbaar afwateringsgebied van 2500 ha

De grote verschillen in bijdrage door neerslagoverschotten hangen ongetwijfeld samen met de bodemkundige en geohydrologische situatie. Bij de meest bovenstrooms gelegen gebiedjes is de afvoer het geringst, waarschijnlijk tengevolge van de geringere lemigheid van de bodem en de hogere ligging zodat wegzijging naar diepere lagen mogelijk is. Voor de Esvelder Beek, de Hoevelakense Beek, de Grote Valkse Beek en de Barneveldse Beek kan de volgende vergelijking worden opgesteld voor de bijdrage door de neerslag in 1977 (zie fig. 1):

Bovenstrooms	Benedenstrooms
GVB 1: 241 mm	BB 4*: 363 mm
ES 1: 164 mm	ES 2*: 261 mm
HB 1: 87 mm	HB 2*: 321 mm

Waarschijnlijk is de berekende afvoer voor HB 2 te hoog. Het monsterpunt ligt op geringe afstand van de RWZI te Hoevelaken. Aangezien altijd overdag is gemeten leidt dit tot te hoge waarden.

De hoge afvoer van neerslagoverschotten die voor gebied KBB 2 is berekend, is mogelijk het gevolg van onnauwkeurigheden in de bijdrage door de RWZI. Het verloop van de afvoer op dit monsterpunt is uiterst grillig (fig. 2) door de invloed van de effluentlozingen. De debietmeting van het effluent is waarschijnlijk te weinig frequent uitgevoerd om de bijdrage nauwkeurig genoeg te kunnen vaststellen.

In bepaalde deelgebieden kan het verschijnsel oppervlakkige afvoer zich voordoen (fig. 3). Als namelijk de hoeveelheid neerslag in een periode groter is dan de bergingsmogelijkheid in en op de bodem plus de afvoer naar het grondwater zal een deel van de neerslag door of over de toplaag tot afstroming komen. Met name in de winterperiode wanneer de grondwaterstanden hoog zijn kunnen zich bergingsproblemen voordoen op de lager gelegen gronden ten westen van Barneveld. Op deze natte gronden is het bodemgebruik vrijwel uitsluitend grasland. Omdat grasland, gebruikt voor beweiding, uit overwegingen van diergezondheid niet zwaar mag worden bemest mag worden verwacht dat toename van het mestoverschot in het gebied niet automatisch zal leiden tot een verhoogde afvoer van mineralen via oppervlakkige afvoer.

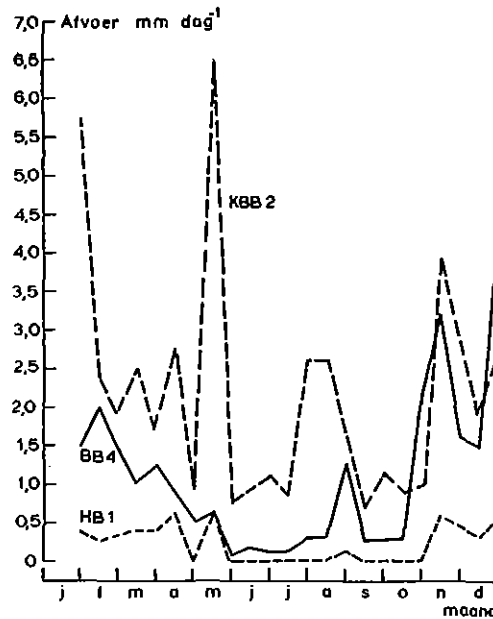


Fig. 2. Afvoerverloop (mm.dag^{-1}) voor 3 monsterpunten in 1977 op basis van de tweewekelijkse debietmetingen

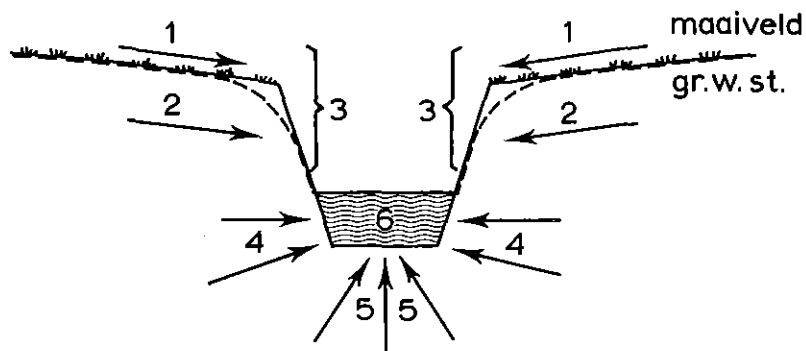


Fig. 3. Schematische weergave van de verschillende stromingswijzen van water naar een sloot (6). In beeld gebracht zijn: Surface runoff (1), interflow (2), oppervlakkige afvoer (3), ondiepe kwel (4), diepe kwel (5) en slootafvoer (6)

Oppervlakkige afvoer kan zich hebben voorgedaan in de perioden: 25 tot en met 27 juli, 18 tot en met 23 augustus, 12 tot en met 18 november en 21 tot en met 25 november toen dagelijks gemiddeld ca. 10 mm neerslag is geregistreerd. In de zomerperiode van 1977 is de

bijdrage aan de waterbalans waarschijnlijk verwaarloosbaar geweest aangezien het debiet op 27 juli slechts $0,1 \text{ mm.dag}^{-1}$ hoger was dan de vorige meting in de droge periode.

Van de in november gevallen neerslag zal zeker niet meer dan 25 mm oppervlakkig zijn afgevoerd.

4. STIKSTOFBALANS

4.1. I n l e i d i n g

De hoeveelheid stikstof die in 1977 uit het gebied van de Barneveldse Beek via het water is afgevoerd bedraagt $22,4 \text{ kg N.ha}^{-1}$, terwijl de gemiddelde concentratie (gewogen gem.) $8,3 \text{ g N.m}^{-3}$ was. In situaties zonder de invloed van vervuiliingsbronnen worden in vergelijkbare zandgebieden waarden gevonden van 3 kg N.ha^{-1} en 1 g N.m^{-3} (BOTS e.a., 1978). De vervuiliingsbronnen en de processen die een rol spelen bij de stikstofhuishouding van het open water zijn:

<u>Toevoer van N</u>	<u>Afvoer van N</u>
1. Landbouw	1. Via water
2. Natuur	2. Naar atmosfeer
3. Afvalwater bewoning en industrie	3. Naar bodemslib
4. Neerslag	

Hierna zal de kwantificering van de stikstofbelasting door de verschillende vervuiliingsbronnen worden behandeld, waarbij behalve van de metingen, ook gebruik zal worden gemaakt van literatuurgegevens.

4.2. B i j d r a g e v e r v u i l i n g s b r o n n e n

De hoeveelheid stikstof die gemiddeld jaarlijks per inwoner via het huishoudelijk afvalwater wordt geloosd, bedraagt ca. $4,7 \text{ kg N}$ waarvan ca. 10% via het keukenafvalwater en het overige deel via faeces en urine (KOLENBRANDER, 1971; SCHOLTE UBING, 1978). In de

zuiveringsinstallaties wordt slechts een deel van de stikstof verwijderd. Uit debietmetingen en analyses van effluenten van de RWZI's en op grond van het aantal aangesloten inwoners (tabel 3) is een stikstofafvoer berekend van 2,0 kg N per aangesloten inwoner per jaar. Het aandeel van de industrie hierin is niet exact bekend, maar is tamelijk gering.

De toevoer van afvalwater afkomstig van de verspreide bebouwing is berekend op grond van de resultaten van een enquête die in 1979 door het Zuiveringsschap Veluwe is gehouden in het afwateringsgebied van de Nattegatsloot in 1979. De zuiveringsrendementen voor stikstof en fosfaat zijn in septic-tanks over het algemeen laag. Aangenomen is dat er evenals voor droge stof een reductie optreedt van ca. 35% (SOMERS, 1978) (tabel 6).

Tabel 6. Fosfaat- en stikstofbelasting van het oppervlaktewater door de verspreide bewoning per categorie lozers, in kg N en kg P per inwoner per jaar (ZUIVERINGSSCHAP VELUWE, 1979)

Categorie	Wijze van lozen	% van bewoners	Belasting.inw ⁻¹ .jaar ⁻¹	
			N	P
I	alles direkt op open water	5	4,7	1,5
II	toiletwater infiltreert in bodem			
	keukenwater direkt op open water	48	0,5	0,9
III	toiletwater via zinkput op open water	24	3,2	1,3
	keukenwater direkt op open water			
IV	toiletwater naar gierkelder	5	0,2	0,4
	keukenwater via zinkput op open water			
V	geen lozing op open water	18	-	-
	Gemiddelde bijdrage	100%	1,3	0,8

Bij de berekening is ervan uitgegaan dat het afvalwater van de verspreide bebouwing in de droge periode wordt geborgen in de lokale watergangen en pas tot afvoer komt in de natte periode. Het afvalwater van gerioleerde kernen zonder aansluiting op een RWZI wordt ge-

acht zowel in de droge als in de natte periode tot afvoer te komen.

Toevoer van stikstof naar het open water in relatie met het landbouwkundig bodemgebruik kan op 3 wijzen plaatsvinden, namelijk via het grondwater, via oppervlakkige afvoer en direkt doordat bij het versproeien van mest een gedeelte in de sloot terecht komt. Aangenomen mag worden dat door de controle van het Zuiveringsschap lozingen op open water door de bio-industrie niet meer voorkomen en dus niet meer van belang zijn voor de waterverontreiniging.

De uitspoeling naar het grondwater van stikstof bedraagt bij grasland, de belangrijkste vorm van bodemgebruik in dit gebied, op zandgrond bij een bemestingsniveau van $450 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ ongeveer $25 \text{ à } 30 \text{ g N.m}^{-3}$. Naarmate de bodem een hoger gehalte heeft aan fijne deeltjes neemt de stikstofconcentratie in het grondwater af; bij kleiïg zand en een bemestingsniveau van $435 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ bedraagt het gehalte slechts ca. 5 g N.m^{-3} (STEENVOORDEN en OOSTROM, 1977).

De gemiddelde concentratie in het bovenste grondwater onder grasland in het gebied van de Barneveldse Beek zal in verband met de lemige bodem waarschijnlijk tussen beide waarden in liggen. De totale stikstofvracht die via het grondwater vanuit de landbouw wordt toegevoerd wordt mede bepaald door de omvang van het neerslagoverschot. Naarmate dit toeneemt, stijgt de stikstofvracht maar de gemiddelde concentratie zal dalen (RIJTEMA, 1977). De uitspoeling bij bouwland ligt ten opzichte van grasland bij eenzelfde N-bemesting op een 2 à 3 maal hoger niveau, met name als deze stikstof wordt gegeven in de vorm van dierlijke mest (KOLENBRANDER, 1971; STEENVOORDEN, 1978). Een exacte raming van de stikstofafvoer via het grondwater is niet mogelijk omdat informatie over het bemestingsniveau bij grasland en bouwland ontbreekt, de zwaarte van de grond aanzienlijk varieert en er bovendien belangrijke verschillen in grondwaterstand voorkomen.

In geval van oppervlakkige afvoer uit landbouwgrond wordt de concentratie bepaald door zowel de voorraad minerale stikstof in de doorstroomde profiellaag als de omvang van de afvoer. De concentratie zal dus variëren in afhankelijkheid van de bemestingssituatie en de periode van het jaar. Als gevolg van de grote mobiliteit van NO_3^- mag worden verwacht dat de N-gehalten in oppervlakkig afgevoerd wa-

ter qua orde van grootte vergelijkbaar zullen zijn met die in het afgevoerde grondwater. Door VASAK (1978) is in het Barneveldse Beekgebied onderzoek gedaan naar de afvoer van N via landbouwgreppels die alleen in regenperioden afvoeren, waarbij dus aangenomen kan worden dat het bemonsterde water deels afkomstig was van oppervlakkige afvoer. De NO_3^- -gehalten varieerden tussen 1 en 10 g N.m^{-3} . Incidenteel zijn ook hoge NH_4^+ -gehalten gemeten in combinatie met hoge Cl^- -gehalten die mogelijk veroorzaakt zijn door strooiverliezen bij het uitrijden van mest.

De neerslag in Nederland bevat aanzienlijke hoeveelheden stikstof. De concentraties die gemeten zijn lopen uiteen van 1,1 tot $3,6 \text{ g N.m}^{-3}$ (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1975; HENKENS, 1976; KNMI/RIV, 1978). Omdat het percentage wateroppervlak 0,5% bedraagt in de zomerperiode en 1,5% in de winterperiode is de direkte bijdrage door depositie op het wateroppervlak gering. Bij de berekeningen is deze post verwaarloosd. Tijdens de perkolatie door de bodem kan een deel van de stikstof worden opgenomen door vegetatie en organismen. Een deel spoelt echter ook uit naar het grondwater. In het Loobos zijn concentraties gemeten van gemiddeld $0,10 \text{ g N.m}^{-3}$ in de vorm van NH_4^+ en $0,9 \text{ g N.m}^{-3}$ in de vorm van NO_3^- (VASAK, 1979). Bij de berekening van de natuurlijke belasting via het grondwater is uitgegaan van een stikstofgehalte van $1,0 \text{ g N.m}^{-3}$.

4.3. Stikstofhuishouding Barneveldse Beek 1977

Als gevolg van de grote verschillen in waterafvoer tussen de droge en natte periode van 1977 (tabel 5) doen zich eveneens grote verschillen voor in de stikstofhuishouding (tabel 7).

Behalve de afvoer van stikstof via het water zou eventueel ook de afvoer via de gasfase door denitrificatie, de afzetting op de bodem door adsorptie en opbouw van organische stof in het bodemslib een rol kunnen spelen. Over adsorptie en incorporatie in het slib in beekgebieden is weinig bekend. Aangenomen mag worden dat deze bijdrage gering is ten opzichte van de afgevoerde hoeveelheden. Denitrificatie kan wel in belangrijke mate ingrijpen in de stikstofbalans.

Tabel 7. Globale stikstofbalans van de Barneveldse Beek, inclusief het onzichtbaar afwaterend oppervlak, voor de droge periode van 1977 (21/5-1/11), de natte periode (restant 1977) en voor het gehele jaar

	Droog (kg N.ha ⁻¹ . jaar ⁻¹)	Nat (kg N.ha ⁻¹ . jaar ⁻¹)	Totaal (kg N.ha ⁻¹ . jaar ⁻¹)	(%)
<u>Toevoer:</u>				
1. Landbouw	2,4	14,3	16,7	61
2. Natuurlijke bodemuitspoeling	0,4	2,0	2,4	9
3. Rioolwaterzuiveringsinstallaties	2,4	4,3	6,7	25
4. Afvalwater verspreide bebouwing + industrie	0,2	1,0	1,2	4
5. Neerslag via bodem	0,1	0,2	0,3	1
Totaal	5,5	21,8	27,3	100%
<u>Afvoer:</u>				
1. Via water op BB 10	3,3	19,1	22,4	82
2. Denitrificatie	2,2	2,7	4,9	18
Totaal	5,5	21,8	27,3	100%

De denitrificatie door bodemslib bij een lage NO₃⁻-concentratie van ca. 3 g N.m⁻³ en een pH van 7,5 à 8,5 kan jaarlijks per ha wateroppervlak ca. 350 kg N bedragen bij 4°C (TIREN e.a., 1976) en ca. 3300 kg N bij 21°C (VAN KESSEL, 1976). Deze onderzoeken zijn uitgevoerd in wateren waar lozing plaats vond van effluenten van RWZI's en waar dus ook voldoende organische stof beschikbaar was voor denitrificatie. Omdat in het Barneveldse Beekgebied niet overal invloed is van effluentlozingen en bovendien in bepaalde beektrajekten zomers niet overal NO₃⁻ voorkomt is voor de droge periode een gemiddelde denitrificatiesnelheid aangehouden van 1000 kg N per ha wateroppervlak per jaar. Voor de winterperiode is gerekend met 250 kg N.ha⁻¹.jaar⁻¹. Een globale stikstofbalans voor de Barneveldse Beek is weergegeven in tabel 7.

De belangrijkste bijdrage aan de N-belasting wordt geleverd door

de diffuse landbouwbronnen. In de droge periode bedraagt het aandeel ca. 45% en in de natte periode ca. 65%. De totale toevoer vanuit de landbouw naar het open water bedraagt per ha cultuurgrond 28,8 kg N. jaar^{-1} en de verhoging van de concentratie in het afgevoerde water uit cultuurgrond gemiddeld 12 g N.m⁻³. Lozingen van huishoudelijk en industrieel afvalwater en effluënten van RWZI's zijn verantwoordelijk voor 30% van de N-belasting. De resterende 10% is afkomstig van de natuurlijke bodemuitspoeling en de neerslag.

Tussen droge en natte perioden blijkt de invloed van denitrificatie slechts weinig te verschillen omdat de lagere biologische activiteit in de winter wordt gecompenseerd door het driemaal grotere wateroppervlak.

Vanwege de grote invloed van denitrificatie op de stikstofhuishouding in de zomerperiode is een gedetailleerde berekening voor de subgebieden alleen goed mogelijk voor de natte periode (tabel 8). De N-belasting uit cultuurgrond varieert van ca. 55 tot 90% van de totale belasting.

Tabel 8. Stikstofbelasting en -afvoer (kg N.ha⁻¹) per detailgebied in de natte periode van 1977 (1/1-20/5 en 1/11-31/12) en het aandeel (%) van cultuurgrond in de N-belasting

Gebied	Afvoer	Bijdrage vervuilingsbronnen			
		RWZI + ind.	verspreide bebouwing + rioolwater	natuurlijke belasting	cultuurgrond
GVB 1	14,7	1,6	1,0	1,9	10,2(69%)
BB 4*	37,0	0,0	0,2	3,1	33,7(91%)
KBB 2	-	122	1,0	3,5	- -
BB 8	30,8	10,6	0,6	2,9	16,7(54%)
ES 1	12,0	0,3	1,2	1,4	9,1(76%)
ES 2*	14,1	0,0	1,0	2,2	10,9(77%)
HB 1	12,7	0,0	1,0	0,8	10,9(86%)
HB 2*	22,5	3,9	2,1	2,7	13,8(61%)
BB 10	19,1	4,3	0,9	2,0	11,9(62%)

*betreft het afwateringsgebied tussen dit monsterpunt en het eerstvolgende punt bovenstrooms
- = niet gemeten of berekend

Er is geen verband tussen de N-produktie van de veestapel (tabel 2) en de N-afvoer per ha cultuurgrond. Dit komt doordat vele factoren daarbij een rol spelen, zoals: kunstmestgebruik, bodemgebruik (grasland/bouwland), bodemsamenstelling en gewasproduktie.

5. FOSFAATBALANS

5.1. I n l e i d i n g

De hoeveelheid fosfaat die in 1977 uit het gebied van de Barneveldse Beek via het water is afgevoerd, bedraagt voor het zichtbaar en onzichtbaar afwateringsgebied samen ca. $3,2 \text{ kg P.ha}^{-1}$. Bij een jaarafvoer van 271 mm komt dit overeen met een gemiddelde concentratie van ca. $1,2 \text{ g P.m}^{-3}$. Zonder de invloed van kunstmatige vervuilingen moet op zandgrond een totaal-P concentratie bereikt kunnen worden van ca. $0,1 \text{ g P.m}^{-3}$, zodat de jaarlijkse belasting dan ongeveer $0,3 \text{ kg P.ha}^{-1}$ zou bedragen.

De vervuilingen en de processen die een rol spelen bij de fosfaathuishouding in het water van de Barneveldse Beek zijn:

Toevoer van P:

1. Landbouw
2. Natuur
3. Afvalwater bewoning en industrie (RWZI's)
4. Neerslag

Afvoer van P:

1. Via water
2. Naar bodemslib

Aan de hand van onderzoeken die in het gebied zijn uitgevoerd (BEUNDERS, 1978; VASAK, 1979; HOEKSTRA, 1979; STEENVOORDEN, 1979) en op grond van literatuurgegevens zal de bijdrage worden nagegaan van de verschillende vervuilingen aan de P-belasting van het oppervlaktewater.

5.2. B i j d r a g e v e r v u i l i n g s b r o n n e n

Via het huishoudelijk afvalwater wordt jaarlijks gemiddeld per persoon ca. $1,5 \text{ kg P}$ afgevoerd, waarvan ongeveer 60% afkomstig is

van wasmachinewater en keukenafvalwater en ongeveer 40% van faeces en urine (KOLENBRANDER, 1971; SCHOLTE UBING, 1978). Via de RWZI's, waarop 75% van de bevolking is aangesloten, werd per aangesloten inwoner in 1977 1,0 kg P op het open water geloosd. Hierin kan nog een kleine bijdrage zitten van de industrie, die niet exact bekend is. Voor het niet aangesloten deel van de bevolking is aangenomen, dat de wijze van lozen van toiletwater en keukenafvalwater overeenkomt met die in het gebied van de Nattegatsloot (tabel 6), vastgelegd door middel van een enquête van het Zuiveringsschap Veluwe. Uitgaande van een fosfaatverwijdering in zinkputten van 35% (SOMERS, 1978) betekent dit een P-toevoer van 0,7 kg P per niet aangesloten inwoner per jaar. Niet inbegrepen hierbij is de directe lozing van afvalwater door gerioleerde kernen en door de industrie. Bij de berekeningen is er vanuit gegaan dat het fosfaat in het afvalwater van de verspreide bebouwing in de droge periode wordt geborgen in de lokale watergangen en in de natte periode tot afvoer komt.

De neerslag in Nederland bevat zoveel fosfaat dat het een kwantitatieve rol kan spelen in de fosfaathuishouding van oppervlaktewater. Het jaargemiddeld gehalte aan totaal-P van 15 plaatsen varieert van 0,08 tot 0,25 g P.m⁻³ (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1975; HENKENS, 1976). Aangezien de oppervlakte aan water slechts 0,5 à 1,5% bedraagt van het landoppervlak is de bijdrage door directe depositie op open water gering, namelijk ca. 0,01 kg P.ha⁻¹.jaar⁻¹. Deze bijdrage is verwaarloosbaar ten opzichte van andere bronnen. Tijdens het omlaag percoleren van grondwater stelt zich een evenwichtsfosfaatconcentratie in, zodat fosfaatgehalten worden gevonden die afhankelijk zijn van de bodemsamenstelling. Het in het grondwater aanwezige fosfaat bestaat gedeeltelijk uit het opgeloste, anorganische ortho-fosfaat naast organische en hydrolyseerbare fosfaten, die eveneens meebepaald worden bij de totaal-fosfaatanalyse. In het grondwater tot ca. 17 m diepte onder maaiveld is in het gebied van de Barneveldse Beek het gemiddelde ortho-fosfaatgehalte van 174 monsters ongeveer 0,10 g P.m⁻³. Er is echter een zeer grote variatie in de concentratie. In elk van de door VASAK (1979) onderzochte deelgebieden varieerde het gehalte van 0,00 tot 0,22 g P.m⁻³. Het gehalte aan hydrolyseerbaar en organisch fosfaat kan eveneens zeer sterk

uiteenlopen. Waarden van 0,06 tot 0,20 g P.m⁻³ zijn in dit gebied gevonden (STEENVOORDEN, 1979; HOEKS, 1976; W.M.G., 1979). Het totaal-P gehalte van deze monsters bedroeg ca. 0,16 g P.m⁻³. Voor de berekening van de natuurlijke P-belasting via het grondwater is daarom een totaal-P gehalte aangehouden van 0,15 g P.m⁻³.

Verontreiniging van het oppervlaktewater als gevolg van agrarisch grondgebruik kan op drie verschillende wijzen plaatsvinden, namelijk via het grondwater, via oppervlakkige afvoer over of door de toplaag (fig. 3) en op direkte wijze doordat bij het uitrijden van mest ook een deel op het open water komt. Aangenomen is dat illegale mestlozingen van enige omvang in 1977 niet voorgekomen zijn. Een belangrijke invloed op de totale P-belasting kan hier ook niet van uitgaan. Voor een verhoging met 0,1 kg P.ha⁻¹ zouden 175 mesttanks van 5 m³ direkt op open water moeten worden geloosd. Gezien de controle door het Zuiveringsschap lijkt het niet realistisch om rekening te houden met een belangrijke toevoer via deze bron.

De toediening van P-meststoffen heeft tot nu toe geen aantoonbare consequenties gehad voor de uitspoeling naar het grondwater. De concentraties die gemeten zijn in het grondwater onder landbouwpercelen wijken niet af van die onder natuurlijke terreinen. Ook bij toediening van runderdrijfmest tot 300 m³.ha⁻¹.jaar⁻¹ gedurende vijf jaren op zandgrond is nog geen effect gemeten (STEENVOORDEN, 1978). Verwacht mag worden dat er extra fosfaat zal uitspoelen bij een langdurige voortzetting van een overbestedingssituatie en indien groter hoeveelheden in één keer worden toegediend. Ook uit het onderzoek van VASAK (1979) is niet gebleken dat het bodemgebruik invloed heeft op het P-gehalte van het grondwater.

Voor de kwantificering van de bijdrage via oppervlakkige afvoer uit landbouwgrond moet de hoeveelheid oppervlakkig afgevoerd water bekend zijn en de P-concentratie hierin. Beide grootheden zijn in het onderzoek niet gemeten. De grootte van deze post zal dan ook op een andere wijze gekwantificeerd moeten worden. Nu zijn er wel analyses uitgevoerd in het water van lokale landbouwslootjes, waarvan de waterkwaliteit onder zeer natte omstandigheden beïnvloed wordt door interflow en surface runoff (fig. 3). De fosfaatgehalten lopen onder invloed van de afvoersituatie (tabel 9) sterk uiteen. Bij hoge

Tabel 9. Fosfaatgehalten (g P.m^{-3}) in oppervlaktewater uit landbouwslootjes in het gebied van de Barneveldse Beek bij verschillende afvoersituaties

Afvoersituatie	Ortho-P	Totaal-P	Literatuur
Hoge afvoeren	0,3	-	VASAK, 1979
Hoge afvoeren	0,6	0,9	STEENVOORDEN, 1979
Lagere afvoeren	0,08	-	VASAK, 1979
Lagere afvoeren	0,02	0,08	STEENVOORDEN, 1979

afvoeren bevindt de grondwaterspiegel zich tijdelijk in of dicht onder het maaiveld. Een deel van de neerslag verplaatst zich dan via de top laag, die rijk is aan fosfaat, naar de sloten. Door Vasak is de hoogste ortho-fosfaat-concentratie van $1,6 \text{ g P.m}^{-3}$ gemeten op een punt dat eveneens beïnvloed kan zijn door bewoning. De gemiddelde waarde van de overige monsters in situaties van hoge afvoeren was ca. $0,15 \text{ g P.m}^{-3}$ aan ortho-fosfaat. In het onderzoek van STEENVOORDEN (1979) is de hoogste concentratie van $1,3 \text{ g.m}^{-3}$ totaal-P gemeten bij de eerste hoge afvoer na het schonen van de sloot. Het talud was hierdoor bedekt met slibdeeltjes die door de neerslag werden afgespoeld. De extra verhoging van het fosfaatgehalte van open water in landbouwslootjes onder invloed van oppervlakkige afvoer is bij de berekeningen gesteld op $0,75 \text{ g P.m}^{-3}$, namelijk de gemiddelde waarde bij hoge afvoeren uit het onderzoek van Steenvoorden verminderd met het natuurlijke P-gehalte van grondwater. Het verschijnsel oppervlakkige afvoer zal zich met name voordoen in dat deel van het afwateringsgebied waar 's winters relatief hoge grondwaterstanden voorkomen, namelijk grondwatertrap II, III en V. De gemiddelde grondwaterstand is hier 's winters hoger dan 40 cm-m.v. Aangenomen is dat oppervlakkige afvoer plaats vindt bij 75% van de landbouwgrond benedenstrooms van de monsterpunten HB 1, ES 1 en GVB 1, met een totaal oppervlak van 4150 ha. Op grond van de neerslagverdeling in 1977 kan worden uitgegaan van een totale slootafvoer van maximaal 50 mm voor de perioden met hoge afvoeren. Een deel van deze 50 mm zal via opper-

vlaakige afvoer zijn toegevoerd. De P-afvoer uit een ha landbouwgrond, waar het verschijsel oppervlaakige afvoer zich heeft voorge-
 daan bedraagt dan 0,375 kg P.

Het verspreiden van mest op landbouwgrond kan gepaard gaan met verliezen naar het open water indien onvoldoende afstand wordt gehouden tot de sloot. Een enkele keer doet dit zich wel voor, maar het is beslist geen algemene situatie. De op deze wijze veroorzaakte verliezen zijn geschat op maximaal 0,5% van de P, die in de vorm van dierlijke mest binnen het gebieden wordt geproduceerd (tabel 2). Aangezien het totale wateroppervlak 1,5% bedraagt zou éénderde van het water even zwaar worden meebemest als landbouwgrond. Dit is zeker een overschatting van de bijdrage. Bij een gemiddelde P-produktie van 56 kg P per ha cultuurgrond bedragen de verliezen dan maximaal 0,28 kg P.ha⁻¹; deze komen in de natte periode tot afvoer.

5.3. Fosfaat huishouding Barneveldse Beek 1977

De totale fosfaatafvoer via het water van de Barneveldse Beek bedroeg in 1977 ca. 56 000 kg P. In de natte periode, wanneer ca. 85% van de waterafvoer plaats vindt, wordt ca. 75% van het fosfaat afgevoerd. De concentratie in de natte periode is dan ook lager dan in de droge periode en bedraagt voor totaal-P respectievelijk 1,1 tegen 1,7 g P.m⁻³ in de droge periode (BEUNDERS, 1978). Dit verdunningseffekt moet worden toegeschreven aan de toevoer van grote hoeveelheden neerslagoverschotten uit het landelijk gebied met relatief lage fosfaatgehalten, waardoor de invloed van zuiveringsinstallaties wordt teruggedrongen. De mate waarin deze verschillen in debied en concentratie doorwerken op de fosfaatbalans voor het gehele afwateringsgebied blijkt uit tabel 10.

In de droge periode zijn de effluents van RWZI's voor meer dan 90% verantwoordelijk voor de P-belasting, terwijl dit in de natte periode voor ongeveer 60% het geval is. Verspreide bebouwing en industrie dragen via de afvalwaterlozingen in de natte periode ca. 19% bij, terwijl natuurlijke bodemuitspoeling en landbouw respectievelijk 12 en 10% leveren. Op jaarbasis zijn de rioolwaterzuiveringsinstalla-

Tabel 10. Fosfaatbelasting en -afvoer van de Barneveldse Beek voor het gehele zichtbare en onzichtbare afwateringsoppervlak in de droge periode van 1977 (21/5-1/11), de natte periode (restant '77) en voor het gehele jaar

	Droog (kg P.ha ⁻¹)	Nat (kg P.ha ⁻¹)	Totaal (kg P.ha ⁻¹)	(%)
<u>Toevoer:</u>				
1. Rioolwaterzuiveringsinstallaties	1,1	1,5	2,6	68
2. Afvalwater verspreide bebouwing + industrie	0,04	0,5	0,5	13
3. Natuurlijke bodemuitspoeling	0,06	0,3	0,4	11
4. Neerslag op open water	0,00	0,01	0,0	0
5. Landbouw	0,00	0,3	0,3	8
Totaal	1,2	2,6	3,8	100
<u>Afvoer:</u>				
1. Via water op meetpunt BB 10	0,9	2,4	3,3	87
2. Berging in bodemslib	0,3	0,2	0,5	13
Totaal	1,2	2,6	3,8	100

ties de belangrijkste P-leverancier (69%), op de tweede plaats gevolgd door de afvalwaterlozingen van de verspreide bebouwing (14%). Niet al het fosfaat dat op het open water terecht komt, wordt ook werkelijk bij het eindmeetpunt afgevoerd. Als gevolg van chemische en fysische processen wordt een deel van het fosfaat geborgen in het bodemslib. Volgens de berekeningen bedraagt dit in de droge periode ca. 25% en in de natte periode ca. 6%. Dit verschil hangt ongetwijfeld samen met verschillen in stroomsnelheid. Bij een situatie van lage afvoer, zoals zich in de droge periode voordoet zal eerder bezinking van slibdeeltjes optreden. Op het onderwerp van de fosfaatberging in slib zal in het volgende hoofdstuk nader worden ingegaan.

Tussen de detailgebieden doen zich belangrijke verschillen voor

Tabel 11. Fosfaatbelasting en -afvoer ($\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$) van de Barneveldse Beek per detailgebied in 1977

Gebied	Toevoer					Afvoer	
	RWZI + ind.	verspr. beb. + niet geriol. kernen	Nat. bodem- uitspoeling	landbouw	totaal	eind- meetpunt	berging
GVB 1	1,3	0,6	0,4	0,3	2,6	2,3	0,3
BB 4*	0,0	0,1	0,5	0,4	1,0	0,8	0,2
KBB 2	34,3	0,6	0,6	0,4	35,9	-	-
BB 8	6,1	0,3	0,5	0,4	7,3	5,8	1,5
ES 1	0,2	0,7	0,3	0,2	1,4	0,6	0,8
ES 2*	0,0	0,6	0,4	0,3	1,3	1,2	0,1
HB 1	0,0	0,6	0,1	0,1	0,8	0,7	0,1
HB 2*	2,6	1,2	0,5	0,3	4,6	6,0	-1,4
BB 10	2,5	0,5	0,4	0,3	3,7	3,2	0,5

*betreft het afwateringsgebied tussen dit monsterpunt en het eerstvolgende punt bovenstrooms

- = niet gemeten of berekend

in de bijdrage door RWZI's en verspreide bebouwing en dientengevolge ook in de totale belasting en de afvoer (tabel 11). De hoge negatieve waarde van de berging van HB 2* moet worden toegeschreven aan de relatief geringe afstand tussen de lozing van de RWZI te Hoevelaken en het monsterpunt. Aangezien overdag is gemeten en bemonsterd is de berekende vracht systematisch te hoog (BEUNDERS, 1978). Bij het overzicht in tabel 11 is de geringe bijdrage van de neerslag buiten beschouwing gelaten. Vanwege de grote fluctuaties in debiet en concentratie op KBB 2 is geen P-afvoer berekend. De bijdrage aan de totale P-belasting van de verschillende bronnen varieert als volgt bij de gebieden: RWZI's van 0-95%, verspreide bebouwing van 2-70%, natuurlijke bodemuitspoeling van 2-66%, landbouw van 1-36%. De berging bedraagt over het algemeen 10 à 20% van de P-belasting, uitgezonderd ES 1 waar deze 60% bedraagt.

5.4. Fosfaatberging in het bodemsediment van de beek

Fosfaat komt in water deels voor in de vorm van het anorganisch ortho-fosfaat en deels in de vorm van organische verbindingen. De oplosbaarheid van ortho-P is beperkt doordat bijvoorbeeld met Fe en Al in zuur en neutraal milieu slecht oplosbare zouten worden gevormd die kunnen neerslaan op de bodem. P-verbindingen kunnen eveneens op de bodem terecht komen doordat bij geringe snelheden bezinking optreedt van afgestorven organismen en slibdeeltjes afkomstig van effluenten van zuiveringsinstallaties of van landafspoeling. Dit fosfaat kan zowel in anorganische vorm als in organische vorm aanwezig zijn. De stroomsnelheid van het water speelt hierbij een zeer grote rol zoals het diagram van Hjulström (fig. 4) laat zien. Beneden een stroomsnelheid van ca. $20 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ zal geen uitschuring optreden, deeltjes zoals klei, zavel en zand zullen juist worden afgezet.

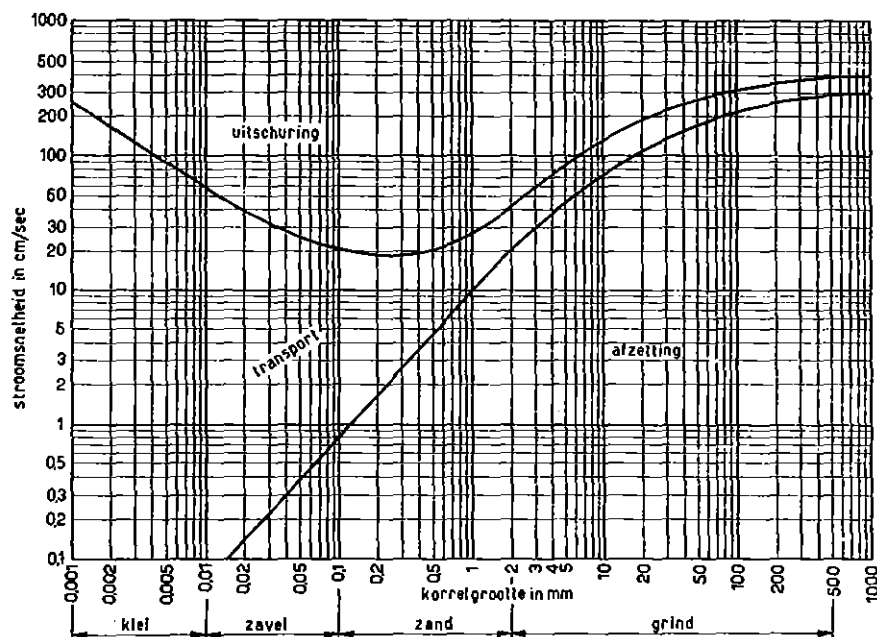


Fig. 4. Invloed van stroomsnelheid op uitschuring, transport en afzetting van bodemdeeltjes met verschillende korrelgrootte volgens Hjulström

Alle condities waaraan moet zijn voldaan voor respectievelijk transport, afzetting en uitschuring van fosfaat of fosfaathoudend sediment doen zich afwisselend in het gebied van de Barneveldse Beek voor:

- via effluenten van RWZI's worden grote hoeveelheden anorganisch fosfaat op het water geloosd (zie 5.3),
- via effluenten van RWZI's worden slibdeeltjes, die nog niet zijn bezonken afgevoerd naar het open water. Het zwevende stofgehalte van de installatie te Barneveld ligt tussen 3 en 15 mg/l,
- andere bronnen, zoals de verspreide bebouwing, bodemuitspoeling en landbouw zijn verantwoordelijk voor een extra P-belasting (zie 5.3),
- in de bodem en in het grond- en oppervlaktewater is voldoende ijzer aanwezig om een deel van het fosfaat neer te slaan (VASAK, 1979),
- de stroomsnelheid in het gebied van de Barneveldse Beek heeft in 1977 gelegen in het traject van 0 tot ca. $50 \text{ à } 55 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ (BEUNDERS, 1978)

De reductie van de P-belasting door adsorptie, precipitatie en bezinking is in de Barneveldse Beek waargenomen in een meetperiode met lage afvoersnelheden van $10 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$. Van de totale P-belasting die bovenstrooms in het gebied werd toegevoerd, werd slechts 45% op het eindmonsterpunt afgevoerd. Bij hoge afvoeren treedt het omgekeerde effect op. In november 1977 werd bij stroomsnelheden van 30 tot 50 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ een P-afvoer gevonden op het eindmonsterpunt die ongeveer 600% hoger lag dan de berekende toevoer (BEUNDERS, 1978). *uitschuring*

In hoeverre P-berging optreedt in het afwateringsgebied dient te worden vastgesteld omdat deze post van invloed is op de totale P-balans (zie 5.3). De berging kan worden nagegaan door slibmonsters te steken en hierin het P-gehalte te bepalen. Dit onderzoek is uitgevoerd door HOEKSTRA (1979) in het traject van de Kleine Barneveldse Beek op 11 punten benedenstrooms van de lozing door de RWZI-Barneveld, op 2 punten tussen Barneveld en het lozingspunt van de RWZI en op 3 punten bovenstrooms van Barneveld in het gebied waar de invloed wordt ondervonden van landbouw, verspreide bebouwing en natuurlijke bodemuitspoeling. De monsters zijn gestoken tot een diepte variërend van 7 tot 30 cm onder de slootbodem. In de meeste gevallen was het onmogelijk om met de boor de diepte van 30 cm te bereiken. Bij de interpretatie van de resultaten (tabel 12) moet zeer sterk rekening wor-

Tabel 12. De berging aan totaal-fosfaat (g P.m^{-2}) in de bodem van de Kleine Barneveldse Beek voor 3 verschillende trajekten en opeenvolgende bodemlagen. Tussen haakjes het aantal analyses. Bemonstering december 1978

Diepte in beekbodem	Bovenstrooms van Barneveld	Tussen Barneveld en RWZI	Benedenstrooms RWZI
0- 2 cm	18,7(1)	7,7(2)	15,7(11)
2- 7 cm	16,8(3)	17,7(2)	23,6(11)
7-12 cm	5,7(3)	12,7(2)	19,1(10)
12-17 cm	16,5(2)	2,3(2)	20,8(7)
17-22 cm	59,3(1)	3,0(2)	17,6(3)
22-30 cm	91,9(1)	-	41,0(2)
Totaal	208,9	43,4	137,8

den gehouden met de onderhouds- of vernieuwingswerkzaamheden, de periode waarover de beekbodem blootgesteld is geweest aan vervuiling en de grootte van de P-belasting. De Kleine Barneveldse Beek is in 1973 verbeterd waarbij grote stukken opnieuw zijn gegraven. Benedenstrooms van de RWZI zijn waarschijnlijk alle monsters gestoken in nieuw gegraven leidinggedeelten. Tussen Barneveld en de RWZI zijn de monsters eveneens genomen op een vernieuwd traject, terwijl bovenstrooms van Barneveld de leiding niet is vernieuwd. Gesteld kan dus worden dat de monsterpunten bovenstrooms van Barneveld zeer langdurig onder invloed hebben gestaan van vervuilingsbronnen, terwijl de overige punten die invloed slechts gedurende ca. 5 jaar hebben ondergaan.

Niet alle fosfaat in het slib is van vervuilingsbronnen afkomstig. De bodem bevat van nature reeds enig fosfaat. Het gehalte in het gebied van de Barneveldse Beek bedraagt $0,09 \text{ mg P. (g grond)}^{-1}$ voor zand en $0,35 \text{ mg P. (g grond)}^{-1}$ voor leem en klei (VASAK, 1979). In het bodemmateriaal van de beek zijn echter nog lagere P-gehalten gemeten. Worden deze als uitgangspunt genomen dan kan als natuurlijk P-gehalte van het moedermateriaal worden aangehouden $0,065 \text{ mg P per}$

g grond, hetgeen voor 30 cm laagdikte overeenkomt met $29,4 \text{ g P.m}^{-2}$ beekbodempoppervlak. De bijdrage van vervuiliingsbronnen bedraagt per m^2 oppervlak bij $\pm 30 \text{ cm}$ bemonsteringsdiepte:

		Bovenstrooms van Barneveld	Tussen Barneveld en RWZI	Benedenstrooms RWZI
Totale berging	(gP)	208,9	43,4	137,8
Moedermateriaal	(gP)	29,4	21,0	29,4
Vervuiliingsbronnen	(gP)	179,5	22,4	108,4

Welk deel van de P-belasting wordt nu jaarlijks ongeveer geborgen? De belasting benedenstrooms van de RWZI bedraagt ca. 36 000 kg P per jaar. Het beekbodempoppervlak kan geschat worden op $10\,000 \text{ m}^2$: een breedte van 4 m en een lengte (tot de Barneveldse Beek) van 2500 m. Een jaarlijkse belasting van 3600 g P.m^{-2} heeft dus geresulteerd in een berging van $21,6 \text{ g P.m}^{-2}.\text{jaar}^{-1}$, hetgeen overeenkomt met 0,6% van de belasting. Dit percentage zal natuurlijk hoger liggen als blijkt dat onder de slecht doorboorbare laag op ca. 30 cm diepte nog meer fosfaat is geborgen. Voor het traject benedenstrooms van de RWZI-installatie lijkt de berging op jaarbasis echter verwaarloosbaar. Het traject tussen Barneveld en de RWZI lijkt in de 5 jaar duidelijk minder fosfaat te hebben geborgen, ondanks de invloed van riooloverstorten. Wordt deze P-berging van ca. $4,5 \text{ g P.m}^{-2}.\text{jaar}^{-1}$ beschouwd als de maximale berging die overal optreedt in de beken en watergangen van het Barneveldse Beekgebied welke niet onder invloed staan van de RWZI-Barneveld, dan bedraagt de berging totaal ca. $8000 \text{ kg P.jaar}^{-1}$, indien 1% van het gebiedoppervlak wordt ingenomen door open water. Dit komt overeen met ca. 12% van de jaarlijkse P-belasting van de Barneveldse Beek en is vergelijkbaar met de 10 à 20% berging die is berekend volgens tabel 10 en 11. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de cijfers in tabel 10 een betrouwbaar beeld geven van de huidige P-belasting.

Het bindingsmechanisme van fosfaat in de bodem is nog niet geheel duidelijk. Wel lijkt de binding door ijzer een overheersende rol te spelen, zoals blijkt uit de correlatieberekeningen tussen de fosfaatgehalten in bodemonsters van de beek en respectievelijk

totaal-ijzergehalte, organische stofgehalte en bodemfractie met een korrelgrootte kleiner dan 100 μ (tabel 13).

Tabel 13. Regressievergelijkingen en correlatiecoëfficiënten (r^2) van het totaal-P gehalte van beekbodemmonsters (y in mg P/g grond) en het totaal-Fe gehalte (x in mg Fe/g grond), organische stofgehalte (x in gew. %) en fractie kleiner dan 100 μ (x in gew. %), alles berekend voor droge grond

Bepaling	Regressie-vergelijking	Correlatie-coëfficiënt	Aantal gegevens
Totaal-Fe	$y = 0,08 x + 0,16$	0,52	28
Organische stof	$y = 0,10 x + 0,24$	0,22	52
Fractie < 100 μ	$y = 0,02 x + 0,17$	0,18	47

De bovenste laag van 0-2 cm is relatief rijk aan organische stof. Bedraagt in deze laag het gemiddeld gehalte ca. 5%, op grotere diepten bevat het bodemmateriaal niet meer dan 2 à 2,5% organische stof. Wordt voor de bovenste laag alleen een correlatieberekening uitgevoerd met het totaal-P gehalte dan is de correlatiecoëfficiënt echter nog lager, namelijk 0,02 in plaats van 0,22. Waarschijnlijk zijn het dus vooral precipitatie van Fe PO_4 en in mindere mate adsorptie aan kleideeltjes die de berging van fosfaat bewerkstelligen.

6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het kader van de werkzaamheden van de Werkgroep 'Waterkwaliteit en Waterzuivering' van de Commissie Waterhuishouding Gelderland is een studie uitgevoerd naar de stikstof- en fosfaathuishouding van de Barneveldse Beek (fig. 1) in 1977. Hierbij is bijzondere aandacht besteed aan de kwaliteit van het oppervlaktewater in de diverse deelgebieden, aan de toevoer van nutriënten via rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) (BEUNDERS, 1978) en aan de geochemie van het gebied in relatie met de hydrologische situatie (VASAK, 1979). Een be-

langrijke reden om het onderzoek juist in dit gebied uit te voeren is geweest de onzekerheid over de vraag wat de mogelijke bijdrage is van diffuse landbouwbronnen aan de N- en P-belasting van het open water. Het antwoord op deze vraag is namelijk bepalend voor het al dan niet zinvol zijn van defosfatering bij RWZI's.

Enkele kenmerken van het gebied zijn:

- het afwaterend oppervlak omvat ca. 17 600 ha, waarvan 60% in gebruik is als landbouwgrond (tabel 1),
- van de cultuurgrond is 90% grasland en 10% bouwland. De veebezetting per ha cultuurgrond bedraagt 2,7 runderen, 6,4 mestkalveren en 13,5 mestvarkens (tabel 2),
- de gemiddelde inwonersdichtheid is $2,5 \text{ inwoner} \cdot \text{ha}^{-1}$, waarvan 75% is aangesloten op RWZI's, die het effluent binnen het stroomgebied lozen (tabel 3), van de overige inwoners brengt ca. 80% het afvalwater geheel of gedeeltelijk op het open water (tabel 6),
- met name in het gebied ten westen van Barneveld komen in natte perioden hoge grondwaterstanden voor. Een deel van de neerslag zal hierdoor in het natte seizoen via oppervlakkige afvoer tot afstroming komen (fig. 3). Naar schatting is hierbij ca. 4000 ha landbouwgrond betrokken.

Aangezien geen continue afvoermetingen in de beek konden worden uitgevoerd moest de afvoer van neerslagoverschotten in 1977 op een andere wijze worden bepaald. Hierbij zijn twee verschillende methoden gevolgd. Allereerst is de afvoer berekend op grond van de tweewekelijks uitgevoerde debietmetingen. Bij de tweede afvoerberekening is uitgegaan van gegevens over neerslag en verdamping door bodem en gewas, rekening houdend met verschillen in bodemgebruik. Het verschil tussen afvoeren berekend volgens beide methoden bedraagt slechts 7%. De afvoer van neerslagoverschotten in 1977 voor het gehele stroomgebied bedraagt ca. 250 mm. Belangrijke verschillen tussen deelgebieden onderling kunnen zich voordoen als gevolg van kwel en wegzijging (tabel 4 en 5). Via de effluenten van de RWZI's wordt nog ca. 30 mm water extra toegevoerd.

De stikstofbelasting van de Barneveldse Beek bedraagt voor 1977 ongeveer 27,3 kg N per ha afwaterend oppervlak.

Het overgrote deel, namelijk 60%, is afkomstig van landbouwbronnen (tabel 7) en moet hoofdzakelijk worden toegeschreven aan de uitspoeling van meststoffen. De gemiddelde concentratie in het uit landbouwgrond afgevoerde neerslagoverschot is ongeveer 12 g N.m^{-3} . De overige stikstof wordt geleverd door effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties en afvalwater van de verspreide bewoning (30%), natuurlijke bodemuitspoeling (9%) en neerslag (1%). Een deel van de stikstof kan uit het water naar de atmosfeer verdwijnen als stikstofgas (20%) als gevolg van denitrificatie door bodemslib. Met name in de zomerperiode heeft dit proces een belangrijke invloed op de stikstofhuishouding binnen het stroomgebied. De uitspoeling van meststoffen zal vooral plaatsvinden bij bouwland. De kans op verontreiniging van het diepe grondwater ($> 15 \text{ m-m.v.}$) is gering door de vrij ondiepe grondwaterstroming. Een belangrijke vermindering van de stikstofbelasting is alleen mogelijk indien stringente beperkingen worden opgelegd aan het agrarisch bodemgebruik.

Indien ervan uitgegaan wordt dat op grasland alle rundveemest wordt geplaatst en bovendien 7 ton kalverdrijfmest of 4,5 ton varkensdrijfmest per ha, terwijl op bouwland 90 ton kalverdrijfmest of 40 ton varkensdrijfmest maximaal kan worden gebracht, dan bedraagt het overschot in het gebied voor 1977 ca. 83 000 ton varkensmest. Dit komt overeen met ca. 580 000 kg N. Wordt ervan uitgegaan dat deze overschotten momenteel geheel op bouwland worden gebracht dan zou afvoer buiten het gebied op korte termijn een vermindering van de N-uitspoeling betekenen van gemiddeld ca. 100 kg N.ha^{-1} bouwland. De totale N-belasting van het water zou hierdoor met ca. 20% dalen.

Afvoer van het gehele mestoverschot zal een sterke uitbreiding van de activiteiten van de Mestbank Gelderland vergen. Uit het gehele Gelders-Utrechtse gebied is in 1977 217 000 ton mest afgevoerd. Het mestoverschot uit het Barneveldse Beekgebied alleen bedraagt dus reeds ca. 40% van de totale activiteit.

De f o s f a a t b e l a s t i n g van de Barneveldse Beek in 1977 bedraagt $3,8 \text{ kg P}$ per ha afwaterend oppervlak. De P-huishouding wordt in hoge mate bepaald door de effluentlozingen van RWZI's (68%) en afvalwater van de verspreide bebouwing (13%). Het gemiddeld P-gehalte in de effluenten van de RWZI's is $8,5 \text{ g P.m}^{-3}$, erg hoog dus

vergeleken met de natuurlijke concentratie in het grondwater van $0,15 \text{ g P.m}^{-3}$. De grondwatervoeding veroorzaakt een toevoer van 10% van de P-belasting. De bijdrage van de landbouw (18%) wordt veroorzaakt door verliezen naar het open water bij het uitrijden van mest en door oppervlakkige afvoer op gronden met een hoge grondwaterstand in natte perioden (tabel 10). Een deel van het fosfaat dat op het open water terecht komt, wordt geborgen in de beekbodem (tabel 11 en 12). Uit het onderzoek naar dit proces, dat eind 1978 op gang is gekomen, kan als voorlopige conclusie worden getrokken dat slechts een gering deel van de jaarlijkse P-belasting (ca. 10% of minder) bij deze berging betrokken is. De totale voorraad in de bodem van beken en sloten tot 30 cm diepte kan worden geschat op 200 000 à 300 000 kg P, hetgeen ongeveer viermaal de jaarafvoer van de Barneveldse Beek in 1977 is. Uit de goede correlatie tussen het P- en Fe-gehalte in beekbodemmonsters ($r^2 = 0,52$) mag worden afgeleid dat een belangrijk deel van het fosfaat aanwezig is in de vorm van slecht oplosbaar Fe-fosfaat (tabel 13). Een deel van het geborgen fosfaat kan bij situaties met hoge afvoeren, met stroomsnelheden boven 20 cm.sec^{-1} (fig. 3), door uitschuring van de bodem weer in water worden opgewerveld en eventueel afgevoerd. Aangenomen kan dus worden dat ook na getroffen zuiveringsmaatregelen de P-huishouding van de beek nog gedurende een aantal jaren zal worden beïnvloed door het fosfaat in de beekbodem.

Het onderzoek naar de berging en afgifte van fosfaat van de beekbodem dient te worden voortgezet.

Invoering van defosfatering op RWZI's zal leiden tot een belangrijke vermindering van de P-belasting, namelijk met ruim 60%. Het voorkomen van lozingen van huishoudelijk afvalwater door de verspreide bebouwing op open water zal leiden tot een extra reductie van ca. 10%. Verbetering van de ontwateringssituaties van landbouwgrond zou de totale P-toevoer met 2 à 3% doen afnemen als gevolg van verminderde oppervlakkige afvoer. Het treffen van maatregelen ter vermindering van de verliezen naar het open water tijdens het uitrijden van mest kan eveneens een geringe bijdrage leveren aan een verbeterde P-huishouding. Indien de hiervoor genoemde maatregelen zouden worden uitgevoerd, zou dat leiden tot de volgende P-belasting ($\text{kg P.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$):

Bronnen	Huidige situatie		Defosfateren		Defosfateren + eliminatie verspr. beb. + landbouwk. maatregelen	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
1. RWZI's	1,1	1,5	0,1	0,2	0,1	0,2
2. Verspreide bebouwing	0,04	0,5	0,04	0,5	0,0	0,0
3. Natuurlijke bodem- uitspoeling	0,06	0,3	0,06	0,3	0,06	0,3
4. Neerslag	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
5. Landbouw	0,01	0,3	0,01	0,3	0,00	0,1
Totaal	1,2	2,6	0,2	1,3	0,2	0,6

Bij neerslagoverschotten en effluenten van RWZI's zoals deze in 1977 zijn voorgekomen (tabel 5) zouden bij de verschillende situaties de volgende concentraties zijn bereikt (g P.m^{-3}):

	Huidige situatie	Defosfateren	Defosfateren + overige maatregelen
Zomer	2,4	0,4	0,4
Winter	1,2	0,6	0,3

Hieruit blijkt dat alleen wanneer zowel wordt gedefosfateerd als maatregelen worden genomen om de bijdrage van de verspreide bebouwing en de landbouw terug te dringen voldaan kan worden aan de IMP-grenswaarde van $0,3 \text{ g P.m}^{-3}$. Binnen de zomer- en winterperiode kunnen echter variaties optreden in concentratie zodat niet continu aan deze norm zal worden voldaan. In perioden met hoge afvoeren kunnen namelijk oppervlakkige afvoer uit landbouwgrond en opwerveling van beekbodemslib een rol spelen. Door bezinking van fosfaat kan de zomerconcentratie mogelijk toch lager liggen dan $0,4 \text{ g P.m}^{-3}$.

Aan de IMP-grenswaarde voor Kjeldahl-stikstof van 3 g N.m^{-3} zal bij goed werkende zuiveringsinstallaties in het algemeen kunnen worden voldaan. De IMP-grenswaarde voor NO_3^- in oppervlaktewater van 4 g N.m^{-3} zal alleen haalbaar zijn als uiterst ingrijpende maatregelen zouden worden genomen met betrekking tot het bodemgebruik, gericht op vermindering van de oppervlakte bouwland en het bemestingsniveau. Vanuit het oogpunt van de drinkwaterwinning loopt de grondwaterkwaliteit door de landbouwactiviteiten geen gevaar. Dit hangt samen met de relatief ondiepe grondwaterstroming en het feit dat de grondwateronttrekking plaats vindt onder de Eemklei op 15 à 20 m diepte onder maaiveld. Uitbreiding van de grondwaterwinning naar meer bovenstrooms gelegen plaatsen in het gebied, zou, afhankelijk van de situering aanleiding kunnen geven tot een geringe verontreiniging door de landbouw in de direkte omgeving van de boring als gevolg van infiltratie door de Eemkleilaag.

7. AANBEVELINGEN

Op grond van de studie naar de stikstof- en fosfaatbelasting van de Barneveldse Beek in 1977, uitgevoerd in het kader van de Werkgroep 'Waterkwaliteit en Waterzuivering' van de Commissie Waterhuishouding Gelderland, kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

M e t b e t r e k k i n g t o t d e f o s f a a t b e l a s t i n g :

Het treffen van maatregelen ter vermindering van de fosfaatbelasting van de Barneveldse Beek kan geschieden vanuit verschillende overwegingen. De eerste drijfveer kan zijn dat men wenst te voldoen aan de IMP-normen voor oppervlaktewater van het Ministerie voor Verkeer en Waterstaat. Op korte termijn zou dan een totaal P-concentratie gerealiseerd moeten worden van $0,3 \text{ g P.m}^{-3}$ en op langere termijn een concentratie van $0,05 \text{ g P.m}^{-3}$, dit ter vermindering van de kans op algenbloei in de beek zelf. Een andere overweging kan zijn dat men wenst bij te dragen aan de sanering van de Veluwe randmeren waar de beek via het Valleikanaal op afwatert. In dat geval is elke reductie van de P-belasting reeds zinvol, ongeacht of het water in

de Barneveldse Beek voldoet aan de IMP-norm of niet. Ter vermindering van de P-belasting kunnen verschillende maatregelen worden genomen. De belangrijkste maatregel is het invoeren van de fosfaatverwijdering op RWZI's. Bij een zuiveringsrendement van 90% kan hierdoor een verlaging bereikt worden in de totale P-belasting van 85% in de zomer en 50% in de winter. Het voorkómen van afvalwaterlozingen door de verspreide bebouwing draagt in de zomerperiode weinig bij, maar betekent in de winterperiode een verdere reductie met 25% van de totale P-belasting. Nagegaan dient te worden in welke mate een verbeterde ontwateringssituatie van relatief laaggelegen landbouwgrond mede de P-toevoer kan verminderen door de terugdringing van de oppervlakkige afvoer. Om het gevaar van P-toevoer nog verder te beperken dient akkerbouwland, dat meestal zwaarder wordt bemest dan grasland, op laag gelegen grond te worden tegengegaan. Met name geldt dit voor gronden waar de grondwaterstand 's winters tot in het maaiveld kan stijgen. Alleen als alle hiervoor vermelde maatregelen worden uitgevoerd bestaat de mogelijkheid dat in zomer en winter aan de IMP-norm van $0,3 \text{ g P.m}^{-3}$ zal kunnen worden voldaan.

M e t b e t r e k k i n g t o t d e s t i k s t o f b e l a s t i n g:

Het Indikatief Meerjaren Programma van het Ministerie voor Verkeer en Waterstaat vermeldt als streven voor het oppervlaktewater op korte termijn, dat de Kjeldahl-stikstof concentratie (ammonium en organisch N) niet hoger mag zijn dan 3 g N.m^{-3} en de NO_3^- -concentratie maximaal 4 g N.m^{-3} . De gemiddelde concentraties op jaarbasis blijken respectievelijk 3,3 en $5,0 \text{ g N.m}^{-3}$ te zijn, zodat de streefwaarden regelmatig worden overschreden.

Een belangrijke vermindering van de NO_3^- -belasting kan alleen worden verkregen door de verliezen door uitspoeling van N-meststoffen op landbouwgrond terug te dringen. Dit kan in principe op verschillende wijzen worden bereikt. De eerste mogelijkheid bestaat uit de afvoer van de overtollige mest buiten het gebied via de mestbank. Deze maatregel zou na enkele jaren kunnen leiden tot een verlaging van de NO_3^- -belasting met ca. 40% en van de totale stikstofbelasting met ca. 20%. De activiteiten van de mestbank dienen dan drastisch te

worden uitgebreid. De NO_3^- -uitspoeling vindt in belangrijke mate plaats bij bouwlandgrond. Op grasland is deze belangrijk minder, zelfs bij een beduidend hoger bemestingsniveau. Op lokaal niveau kan het omzetten van bouwland in grasland een gunstig effect hebben. Regionaal zal deze maatregel het probleem van de NO_3^- -uitspoeling niet oplossen, omdat de bemestingsdruk op het overige bouwland zal toenemen. Meer effect kan worden verwacht van de verbouw van een wintergewas op bouwland. Het effect hiervan is moeilijk te kwantificeren, maar zal in ieder geval veel geringer zijn dan de afvoer van de mestoverschotten. De N-uitspoeling kan eveneens worden verminderd door bouwland te weren van lichte gronden die bovendien relatief hoog boven het grondwater zijn gelegen.

Door de ondiepe grondwaterstroming in het stroomgebied van de Barneveldse Beek is de kans op verontreiniging van het diepe grondwater beneden 20 meter onder maaiveld als gevolg van bemesting gering. Uitbreiding van de grondwaterwinning ten behoeve van de drinkwatervoorziening naar bovenstrooms gelegen plaatsen zou aanleiding kunnen geven tot enige verontreiniging door de landbouw in de directe omgeving van de boring als gevolg van infiltratie door de Eemformatie.

Het invoeren van stikstofverwijdering op RWZI's kan de huidige stikstofbelasting met ca. 25% reduceren. Om te kunnen voldoen aan de IMP-norm voor Kjeldahl-N dient overbelasting van RWZI's te worden voorkomen.

8. LITERATUUR

- BEUNDERS, B.A.J., 1978. Fosfaathuishouding en algengroei in het Barneveldse Beekgebied. Afstudeerrapport T.H. Twente, 82 pp.
- BOTS, W.C.P.M., P.C. JANSSEN en G.J. NOORDEWIER, 1978. Fysisch-chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater in het Noorden des Lands. Landsdelig milieuonderzoek, I.S.P. 163 pp.
- HENKENS, Ch.H., 1976. Voedingsstoffen of mineralenbalansen. Stikstof, band 7, nr 83-84: 355-362.
- HOEKSTRA, J.Th., 1979. Onderzoek naar de fosfaatberging op de bodem van de Kleine Barneveldse Beek. Enkele voorlopige onderzoeksresultaten. ICW, Wageningen.

- KESSEL, J.F. VAN, 1976. Influence of denitrification in aquatic sediments on the nitrogen content of natural waters. PUDOC, Wageningen, 104 pp.
- KNMI/RIV, 1978. Meetnet voor de bepaling van de chemische samenstelling van de neerslag in Nederland. Overzicht eerste kwartaal 1978.
- KOLENBRANDER, G.J., 1971. De eutrofiëring van oppervlaktewater door de landbouw en de stedelijke bevolking. Stikstof, band 6, nr 69, 384-396.
- MEINARDI, C.R., 1977. Geohydrologische gegevens van Zuidelijke Flevoland en de Gelderse Vallei. Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening, 24 pp.
- MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 1975. De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater. Indicatief Meerjarenprogramma 1975-1979. 's-Gravenhage, 92 pp.
- OOSTEROM, H.P. en J.H.W.M. VAN SCHIJNDEL, 1979. Onderzoek naar de chemische samenstelling van het bovenste grondwater bij natuurlijke begroeiingen op kalkarme zandgrond. Nota 1075. ICW, Wageningen.
- RIJTEMA, P.E., 1977. Een benadering voor de stikstofemissie uit het graslandbedrijf. Nota 982. ICW, Wageningen, 33 pp.
- SCHOLTE UBING, D.W., 1978. Hoofdlijnen van de eutrofiërings- en fosfaatproblematiek van het zoete oppervlaktewater in Nederland. H₂O (11), 25, 575-582.
- SOMERS, J.A., 1978. Milieu-effecten van verspreide kleine puntlozingen. H₂O (11), 25, 571-575.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1979. Enkele voorlopige resultaten van een onderzoek naar oppervlakkige afvoer.
- 1978. Invloed bemesting op de chemische samenstelling van het grondwater. Nota 1043. ICW, Wageningen, 26 pp.
- en H.P. OOSTEROM, 1975. De chemische samenstelling van de neerslag te Wageningen. Nota 882. ICW, Wageningen, 11 pp.
- en H.P. OOSTEROM, 1977. De chemische samenstelling van het ondiepe grondwater bij rundveehouderijbedrijven. Nota 964. ICW, Wageningen, 22 pp.

- STIBOKA, 1965. Bodemkaart van Nederland. Blad 32 Oost, 93 pp.
Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- TIREN, T., J. THORIN and H. NOMMIK, 1976. Denitrification measurements in lakes. Acta Agric. Scand. 26 (3): 175-184.
- TOUSSAINT, C.G. en J. HOEKS, 1976. Kwaliteit van het grondwater bij de vuilstortplaats van gemeente Ede. Nota 945. ICW, Wageningen.
- VASAK, L., 1978. De chemische samenstelling van het grondwater in het Barnevelse Beekgebied. Rapport Instituut voor Aardwetenschappen, Amsterdam, 27 pp.
- WMG, 1979. Waterleiding Mij Midden-Gelderland. Grondwateranalyses van enkele boringen bij de Glindhorst.
- ZUIVERINGSSCHAP VELUWE, 1979. Enquête-resultaten betreffende de lozingswijze van de verspreide bebouwing.