

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research centr-
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

ICW nota 1838

januari 1988



nota

VERLIEZEN VAN FOSFAAT VANUIT LANDBOUWGROND

ir. J.H.A.M. Steenvoorden

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

NOTA 1838

Deze nota is geschreven ten behoeve van de Post Hoger Landbouwonderwijs (PHLO) cursus 'Waterkwaliteit Landelijk Gebied; Aspecten van kwaliteitsbeheer' van maart en april 1988.

INHOUD

	blz.
1. INLEIDING	1
2. WATERHUISHOUDING EN FOSFAATTRANSPORTWEGEN VANUIT LANDBOUWPERCELEN	2
3. AFSPOELING VAN FOSFAAT	
3.1. Omvang oppervlakte-afvoer	5
3.2. Omvang fosfaatafspoeling	6
4. UITSPOELING VAN FOSFAAT	9
5. FOSFAATBELASTING OPPERVLAKTEWATER VANUIT LANDBOUWGRONDEN	
5.1. Algemeen	13
5.2. Fosfaatbalansen	14
6. VERMINDERING VAN DE FOSFAATBELASTING VANUIT LANDBOUWGRONDEN	18
7. SAMENVATTING	19
LITERATUUR	20

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

1. INLEIDING

In het kader van de verbetering van de kwaliteit van het oppervlakte-water is het streven in Nederland erop gericht om onder andere de fosfaatbelasting terug te dringen. Als maatregelen die daartoe een bijdrage zouden kunnen leveren worden ten aanzien van fosfaat in de fosfatennota (MINISTERIES, 1979) genoemd:

- verwijdering van fosfaat (P) via rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's);
- terugdringing van de P-belasting door wasmiddelen;
- terugdringing van de P-belasting door de landbouw;
- terugdringing van de P-belasting door de industrieën.

De toevoer van P vanuit de landbouw kan plaats vinden door afspoeling en uitspoeling van meststoffen, lozingen van afvalwater uit stallen en melkruimten en illegale lozingen van mest en gier. Afspoeling en uitspoeling van P kunnen worden beschouwd als diffuse bronnen, de overige lozingen zijn in feite puntbronnen die door controle en technische maatregelen te beheersen zijn.

Bij uitspoeling en afspoeling van P zijn vele factoren van belang zoals bemesting, bodemchemische en bodemfysische eigenschappen, waterhuishouding en weer. In deze bijdrage zal op genoemde factoren worden ingegaan en op de mogelijkheid om via P-balansen voor het oppervlakte-water inzicht te krijgen in de toevoer van P vanuit de landbouw op regionaal niveau. Mogelijkheden om de P-belasting van het oppervlakte-water vanuit de landbouw te verminderen zullen worden behandeld.

2. WATERHUISHOUDING EN P-TRANSPORTWEGEN VANUIT LANDBOUWPERCELEN

Neerslag en neerslagoverschotten bereiken het oppervlaktewater door (figuur 1):

- direkte depositie
- oppervlakte-afvoer
- uitspoeling (ondiep en diep)

Soms wordt een deel van de neerslag over de bodem direkt naar het open water afgevoerd. Dit verschijnsel, oppervlakte-afvoer genaamd, doet zich voor als in een zekere periode meer neerslag valt dan de totale som van verdamping, berging in oneffenheden in het terrein en infiltratie. Oppervlakte-afvoer doet zich onder Nederlandse omstandigheden hoofdzakelijk voor in de periode november tot maart als de verdamping gering is en de infiltratiemogelijkheden beperkt als gevolg van de grote vochtvoorraden in de bodem. Niet in elk gebied zal oppervlakte-afvoer voorkomen. Het zal zich met name voordoen bij gronden met een lage infiltratiesnelheid en hoge grondwaterstanden. Als de bovengrond bevroren is of bedekt is met een laag ijs spelen laatstgenoemde factoren in het geheel geen rol meer. Het transport van meststoffen over het bodemoppervlak naar het oppervlaktewater heet afspoeling. Het onderscheid tussen ondiepe en diepe uitspoeling is in objectieve zin niet te maken. Het zijn subjectieve begrippen die gehanteerd kunnen worden in specifieke situaties. Het onderscheid bij de P-problematiek is zinvol omdat de kwaliteit van bodemvocht en grondwater sterk kan worden beïnvloed door de transportweg (figuur 2). Bij een ondiepe ontwatering kan een deel van de neerslagoverschotten via de fosfaatverzadigde zone tot afstroming komen, deels direkt naar de sloot, deels via de greppel naar de sloot. Bij een diepe ontwatering komen alle neerslagoverschotten eerst in contact met een bodemlaag die niet verzadigd is met fosfaat, zodat het fosfaat kan worden vastgelegd voordat de neerslagoverschotten de sloot bereiken.

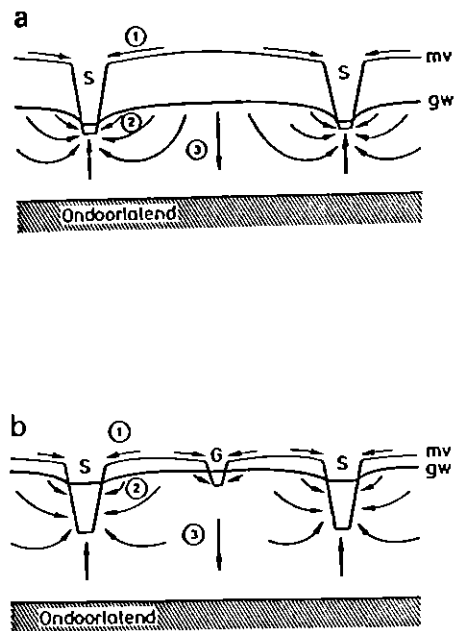


Fig. 1. Schematische weergave van de afvoer van neerslagoverschotten, bij a) diep en b) ondiep waterpeil, via: 1. oppervlakte-afvoer, 2. ondiepe en 3. diepe grondwaterstroming. Als de grondwaterstand (gw) tot in het maaiveld (mv) stijgt treedt pas oppervlakte-afvoer op naar greppel (G) en sloot (S).

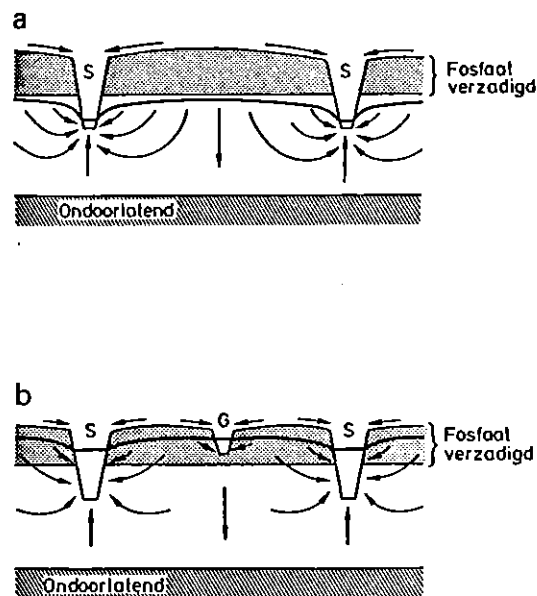


Fig. 2. Schets van de transportweg van de neerslagoverschotten en het contact met de fosfaatverzadigde zone bij a) diepe en b) ondiepe grondwaterstand. Afspoeling treedt op bij stijging van het grondwater tot in het maaiveld.

De verdeling van de neerslag over oppervlakte-afvoer en ondiepe en diepe grondwaterstroming wordt door vele factoren beïnvloed, waaronder grondsoort, ontwateringspeil, hoeveelheid, intensiteit en verdeling in de tijd van de neerslag en de geohydrologische situatie. Hierdoor kunnen grote verschillen in het afvoerpatroon voorkomen tussen jaren en gebieden onderling. Berekeningen met behulp van computermodellen kunnen een kwantitatief beeld geven van de verschillende waterstromen en de invloed van genoemde factoren.

3. AFSPOELING VAN FOSFAAT

3.1. Omvang oppervlakte-afvoer

De omvang de de oppervlakte-afvoer wordt sterk beïnvloed door bodemtype, ontwateringssituatie en neerslag. Berekeningen zijn uitgevoerd voor perioden van 30 à 35 jaren met behulp van computermodellen voor de waterhuishouding (STEENVOORDEN en BUITENDIJK, 1980; WIND, 1986; BUITENDIJK, 1986). Een globale indruk van de afvoer over het land voor zand, klei en veen bij twee ontwateringsdiepten geeft tabel 1.

Tabel 1. Gemiddelde hoeveelheid oppervlakte-afvoer voor zand, klei en veen bij twee ontwateringsdiepten.

Ontwateringsdiepte	Zand	Klei	Veen
30 cm - m.v.	60 mm	60 mm	150 mm
60 cm - m.v.	15 mm	15 mm	70 mm

Oppervlakte-afvoer doet zich niet overal en in elk jaar voor. Bij hoog gelegen gronden met een goede doorlatendheid zal oppervlakte-afvoer niet voorkomen. Deze gebieden worden veelal gekenmerkt door de afwezigheid van sloten of een lage slootdichtheid. Naarmate de ontwateringssituatie slechter is neemt de omvang van de oppervlakte-afvoer toe. Oppervlakte-afvoer doet zich vooral voor bij gronden met grondwatertrap I, II, III en V.

Voor twee zandgronden met respectievelijk Gt II en III is voor verschillende ontwateringssituaties de verdeling van de oppervlakte-afvoer over de maanden nagegaan (tabel 2). Van de totale hoeveelheid oppervlakte-afvoer komt bij deze gronden het overgrote deel tot afstroming in december (30-55%), gevolgd door november, oktober en januari met een aandeel van elk 10 à 20%.

Tabel 2. Procentuele verdeling van de oppervlakte-afvoer over de maanden oktober tot en met mei, gemiddeld over 35 jaar, van twee beeekeerdgronden. De percentages zijn gemiddelden van meerdere ontwateringssituaties (BUITENDIJK, 1986).

Maanden	Lemige beeekeerdgronden	Leemarme beeekeerdgronden
Oktober	15	10
November	20	12
December	28	55
Januari	15	8
Februari	9	4
Maart	7	10
April	3	0
Mei	3	1
	100	100

3.2. Omvang fosfaatafspoeling

Voor de waterkwaliteit kan oppervlakte-afvoer voor bepaalde verbindingen van groot belang zijn. De gehalten die voorkomen in het oppervlakkig afstromende water bij landbouwgrond worden sterk bepaald door de mestgift en de tijd die is verstreken sinds het uitrijden van de mest. De faktor tijd werkt enerzijds in op de biochemische omzettingen, anderzijds op de hoeveelheid geïnfiltreerde neerslag als gevolg waarvan mestbestanddelen vanaf het bodemoppervlak dieper de bodem in worden verplaatst en in mindere mate zijn blootgesteld aan het risico van oppervlakte-afvoer.

Het effect van de grootte van de drijfmestgift op de gehalten in de oppervlakte-afvoer is voor grasland nagegaan op een perceel lemige zandgrond (OOSTEROM en STEENVOORDEN, 1980). Oppervlakte-afvoer is gecreëerd door beregening met schoon grondwater op verschillende dagen na het uitbrengen van dierlijke mest in hoeveelheden die varieerden van 0 tot 27 m³ per ha.

In de praktijk bedraagt op grasland de gift per keer veelal niet meer dan 10 à 20 m³ per ha. De gemiddelde gehalten in de oppervlakte-afvoer voor totaal -P, Kjeldahl N (= ammonium + organisch N) en CZV (chemisch zuurstof verbruik) zijn vermeld in tabel 3. Zonder bemesting is het P-gehalte 0,2 g.m⁻³. Vooral kort na een bemesting zijn de gehalten hoog. Bij een bepaald bemestingsniveau dalen de P-gehalten in de loop van de tijd onder invloed van de hiervoor genoemde processen. Kunnen de mestbestanddelen vrijwel niet de bodem indringen, zoals bij bevroren grond het geval is, dan resulteert dit in beduidend hogere gehalten in de oppervlakte-afvoer (tabel 3).

Bij de gift van 17 ton/ha bedragen de gehalten in de oppervlakte-afvoer op de eerste dag na bemesting ongeveer 1% van de gehalten in de mest. Behalve gevolgen voor de eutrofiëring van oppervlaktewateren heeft de toevoer door afspoeling met name lokaal ernstige gevolgen voor de zuurstofhouding als gevolg van mineralisatie en oxydatie van organische stof, ammonium en organische N.

De processen na bemesting van bouwland met dierlijke mest zullen in principe weinig afwijken van die bij grasland. Bouwland is echter veelal beter ontwaterd waardoor de omvang van de oppervlakte-afvoer geringer zal zijn. Bouwland kan daarentegen zwaarder worden bemest, met name als het gewas snijmais wordt verbouwd. Voor bouwland kan worden uitgegaan van globaal dezelfde relatie tussen bemesting met dierlijke mest en gehalten aan stoffen in de oppervlakte-afvoer zoals is gevonden bij het graslandonderzoek.

De P-belasting van oppervlaktewater door afspoeling van dierlijke mest van cultuurgrond kan in principe worden berekend uit het aantal mm's oppervlakte-afvoer en de P concentratie in de oppervlakte-afvoer. Een directe berekening van deze post op regionaal niveau is moeilijk uitvoerbaar omdat op perceelsniveau onder andere informatie beschikbaar dient te zijn over het tijdstip van mest uitrijden en de hoeveelheid uitgereden mest. Een indruk van de omvang van deze post kan worden verkregen uit P-balansen van stroomgebieden als andere posten kwantitatief niet belangrijk zijn.

Tabel 3. Gehalten aan totaal-fosfaat, Kjeldahl-stikstof en organische stof (CZV) in de oppervlakte-afvoer op grasland bij bemesting met verschillende hoeveelheden runderdrijfmest op respectievelijk 1, 3, 8 en 15 dagen na het uitrijden. Tevens is vermeld de cumulatieve neerslag tot de betreffende dag. De gevolgen van oppervlakte-afvoer door dool over bevroren sneeuw waarop bemest is zijn aangegeven (OOSTEROM en STEENVOORDEN, 1980).

	Cumulatieve neerslag	Hoeveelheid drijfmest per ha				
		0 m ³	7 m ³	17 m ³	27 m ³	7 m ³ op bevroren sneeuw
<u>Totaal-fosfaat (g P/m³)</u>						
dag 1	0 mm	0,3	3,6	6,6	9,0	18,5
dag 3	25 mm	0,2	0,9	3,2	5,2	
dag 8	50 mm	0,2	0,3	1,1	1,9	
dag 15	75 mm	0,2	0,2	0,5	1,2	
<u>Kjeldahl-N (g N/m³)</u>						
dag 1	0 mm	2,3	20	50	86	445
dag 3	25 mm	0,7	4,2	14	25	
dag 8	50 mm	1,0	1,4	3,9	6,4	
dag 15	75 mm	1,0	0,9	1,7	3,7	
<u>CZV (g O₂/m³)</u>						
dag 1	0 mm	15	310	925	1580	4800
dag 3	25 mm	16	50	205	340	
dag 8	50 mm	17	21	50	65	
dag 15	75 mm	22	22	35	60	

4. UITSPOELING VAN FOSFAAT

De bodem heeft van nature veelal het vermogen om fosfaat dat via meststoffen wordt aangevoerd te behoeden voor uitspoeling naar het grondwater. Enerzijds berust dit op een mechanische filterwerking ten opzichte van niet-opgeloste deeltjes en anderzijds op de verwijdering van opgelost fosfaat uit het bodemvocht door binding aan vaste bodemdeeltjes. Drijfmest bestaat voor 80% uit anorganisch fosfaat en voor 20% uit organisch fosfaat. Deze laatste vorm wordt in de bodem zeer snel gemineraliseerd (GERRITSE, 1977). De binding van het opgeloste fosfaat vindt plaats door ijzer- en aluminiumverbindingen. De maximale hoeveelheid fosfaat die door een bodem kan worden gebonden kan dus worden geschat door middel van bodemchemisch onderzoek. Door BREEUWSMA (1984) wordt voor verschillende bodemtypen het fosfaatbindend vermogen gegeven.

Aanrijking van de bodem met fosfaat vindt plaats als de toevoer via meststoffen groter is dan de afvoer via gewassen, melk of groei van het weidend vee. In de mestoverschotgebieden is bij snijmaispercelen reeds een aanzienlijk deel van het fosfaatbindend vermogen verbruikt (BREEUWSMA en SCHOUMANS, 1986). Zolang een deel van het fosfaatbindend vermogen resteert, wordt het grondwater beschermd tegen uitspoeling, waardoor het fosfaatgehalte van het grondwater onder landbouwpercelen niet afwijkt van dat onder natuurlijke terreinen. De grondsoort heeft wel enige invloed op het fosfaatgehalte (tabel 4).

Tabel 4. Gemiddelde P-gehalten (g.m^{-3}) voor het grondwater op 1 m-m.v. onder natuurterreinen op verschillende grondsoorten (BOTS et al., 1978).

Grondsoort	Zand	Afgegraven hoogveen	Hoog- veen	Laag- veen	Zeeklei
Aantal terreinen	5	3	2	3	5
Ortho-P	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	2,6
Totaal-P	<0,01	0,08	0,14	0,21	3,2

Het P-gehalte onder natuurlijke terreinen loopt uiteen van $0,01 \text{ g.m}^{-3}$ bij sommige zandgronden tot enkele g.m^{-3} in het grondwater van onder brakke en zoute condities afgezette sedimenten. Bij veengronden worden hogere gehalten gevonden dan bij zandgronden als gevolg van de mobiliteit van organische fosfaten. Bij cultuurgronden zijn reeds situaties aangetroffen waarbij de bodem over het gehele profiel tot 100 cm beneden maaiveld verzadigd is. De P-concentraties in het bovenste grondwater varieerden van 38 tot 81 g.m^{-3} (LEXMOND et al., 1982), een factor vijfhonderd tot duizend hoger dan het natuurlijke gehalte in zandgebieden.

Op grond van figuur 2b kan worden verondersteld dat P-uitspoeling naar het oppervlaktewater op percelen met relatief hoge grondwaterstanden ook reeds op kan treden in situaties dat het bodemprofiel slechts over enkele decimeters verzadigd is met P. Uitspoeling van P zal daarbij met name optreden vanuit de strook land die grenst aan sloten en greppels. Een gezamenlijk ICW/Stiboka-onderzoek vindt plaats om de omvang van de P-uitspoeling in dit soort probleemgebieden vast te stellen.

De P-uitspoeling bij veenweidegronden behoeft extra aandacht vanwege de grote hoeveelheden P die zijn opgeslagen in organische vorm in het veen. Op dit terrein is wel enig onderzoek verricht, maar er is beslist nog geen volledig inzicht in de processen bij veengronden. De invloed van het type P-kunstmeststof is nagegaan voor 2 veengronden via perkolatieproeven met lysimeters (SCHEPPER en BLANKENBURG, 1983). Bij zwak zure laagveengronden treedt ten aanzien van onbemest geen verhoogde P-uitspoeling op. Het gemiddeld totaal-P gehalte bedraagt circa $0,1 \text{ g.m}^{-3}$. Bij zeer zure laagveengronden treedt een verhoogde P-uitspoeling op bij enkele typen kunstmest. Het totaal-P gehalte ligt bovendien op een beduidend hoger niveau. Bij niet bemesten is de gemiddelde totaal-P concentratie circa $2,6 \text{ g.m}^{-3}$ en bij de bemeste objecten varieert de P-concentratie van circa 2,4 tot circa $5,4 \text{ g.m}^{-3}$ in afhankelijkheid van het type P-kunstmeststof. De resultaten kunnen niet worden geëxtrapoleerd naar veldsituaties aangezien een gewas ontbrak en bij de proeven in 3 maanden tijd 500 tot 1000 mm door de veengronden werd gepercoleerd. De resultaten geven wel aan dat vooral bij zure veengronden (pH-water < 4) er een risico aanwezig is van een verhoogde P-uitspoeling. De toediening van 20 ton ijzerhoudend slib per

ha kan de P-uitspoeling op dergelijke gronden met 50 à 70% reduceren zoals uit een vijfjarig drainwateronderzoek blijkt (SCHEFFER e.a., 1986). De toepassing van dierlijke mest op hoogveengronden geeft eveneens een verhoogde P-uitspoeling (SCHEFFER e.a., 1981). Veengrasland werd jaarlijks bemest met kunstmest (35 kg P per ha) of varkensdrijfmest (61 resp. 81 kg P per ha). Het gemiddelde totaal-P gehalte over 6 onderzoeksjaren bedroeg circa $2,7 \text{ g.m}^{-3}$ bij bemesting met kunstmest en circa 5,1 en circa 11,3 g.m^{-3} bij respectievelijk de laagste en de hoogste drijfmestgift. Uit de resultaten komt naar voren dat de organische stof in de drijfmest de P-uitspoeling bevordert. De oorzaak is waarschijnlijk dat P-sorptie niet optreedt door de vorming van chelaten met de organische stof.

De invloed van bemesting en ontwatering van veenweidegrond op onder andere de P-uitspoeling is onderzocht op het Regionaal Onderzoek Centrum te Zegveld (U) (PANKOW e.a., 1985). Op dit bedrijf komt op een deel een open waterpeil voor van circa 0,30 m-mv en op het resterende deel een peil van circa 0,80 m-mv. Bij het onderzoek is als uitgangspunt genomen een intensieve bedrijfsvoering. De bedrijfsvoering wordt uiteraard enigszins beïnvloed door de waterhuishouding. Bij de proefpercelen komt dit tot uiting in de hoogte van de kunstmest-N gift en het tijdstip van de kunstmestbemesting. Bij het hoge peil is meer kunstmest-N gegeven, namelijk gemiddeld over 2 groeiseizoenen $320 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ N ten opzichte van $240 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ N bij het lage peil waar extra mineralisatie optreedt door de ontwatering.

De hoeveelheid drijfmest ligt bij het lage peil wat hoger namelijk 38 m^3 in plaats van 28 m^3 rundveedrijfmest per ha per jaar. Wanneer en op welk objekt drijfmest wordt uitgereden hangt vooral af van de toestand van de percelen. De mate waarin de landbouwbedrijfsvoering op dit veenweidebedrijf de P-uitspoeling beïnvloedt kan worden afgeleid door vergelijking van de resultaten met die van het natuurterrein Zegveldderbroek dat een vergelijkbaar bodemprofiel heeft (tabel 5).

Onder het intensieve veenweidebedrijf liggen de P-gehalten in het bovenste grondwater circa tweemaal zo hoog als onder het natuurterrein. Een diepere ontwatering lijkt niet te leiden tot een verhoogde P-uitspoeling, waarschijnlijk omdat er een grotere profieldiepte beschikbaar is voor de afbraak van organische fosfaten en P-sorptie. Het veen kan worden gekarakteriseerd als zwak zuur laagveen (toplaag: pH-water = circa 6,0; op 1 meter diepte: pH-water = circa 4,0 à 4,5).

Tabel 5. Invloed van het bodemgebruik op de P- en N-gehalten van het bovenste grondwater voor veengronden in de omgeving van Zegveld (U).

	Natuur (Zegv.Broek)	<u>Intensief</u> Hoog peil (0,3 m-mv)	<u>Veenweidebedrijf</u> Laag peil (0,8 m-mv)
Totaal-P (g.m^{-3} als P)	0,2	0,55	0,40
Kjeldahl N (g.m^{-3} als N)	5,5	12	13
NO_3^- (g.m^{-3} als N)	0	3	7

5. FOSFAATBELASTING OPPERVLAKTEWATER VANUIT LANDBOUWGRONDEN

5.1. Algemeen

De toevoer van P vanuit landbouwgrond vindt plaats via afspoeling en uitspoeling ervan uitgaande dat er geen directe lozingen op oppervlaktewater plaats vinden, die van kwantitatief belang zijn. Kwantificering van deze bijdrage op regionale schaal is soms gewenst in het kader van plannen ter vermindering van de eutrofiëring van oppervlaktewateren. De enige manier waarop een beeld van de landbouwbijdrage kan worden verkregen voor grote gebieden is door het opstellen van een P-balans voor het oppervlaktewater dat afkomstig is van een bepaald afwateringsgebied. De P-toevoer vanuit landbouw kan worden berekend door vermindering van de P-afvoer via het oppervlaktewater met de bijdrage van de overige bronnen in het afwateringsgebied.

Bij het opstellen van fosfaatbalansen kunnen de processen in het oppervlaktewater niet altijd buiten beschouwing worden gelaten. De rol van bodemslib als reservoir voor fosfaat speelt zowel in langzaam stromende meren en polderwateren als in sneller stromende beken een rol (o.a. VAN LIERE e.a., 1983; HIELTJES en LIJKLEMA, 1980). Een deel van het toegevoerde fosfaat kan achterblijven in het slib, zodat de berekende fosfaatafvoer voor een afwateringseenheid lager uitvalt dan de werkelijke belasting van het oppervlaktewater. Hierdoor is de berekende bijdrage voor de landbouw eveneens te laag. Of in het slib geborgen fosfaat terugkeert in het systeem en in welke vorm zal afhangen van diverse factoren. Eén van deze factoren is de stroomsnelheid. Bij afvoerpieken heeft opwoeling en afvoer plaats van bodemslib en zijn de condities voor sedimentatie over het algemeen ongunstig. Hierdoor treden grote fluctuaties op in de hoeveelheid fosfaat in de bovenste 10 cm van het bodemslib (KOUWE, 1982; KOUWE, 1983).

Op grond van onderzoeken in de Barneveldse Beek en de Nattegatsloot nabij Scherpenzeel (HOEKSTRA, 1980) is het volgende gekonkludeerd:

- De accumulatie van fosfor in het bodemslib van kleine, relatief snelstromende wateren is gering als men een langere termijn beschouwt (b.v. één jaar).
- Periodiek voorkomende afvoergolven zorgen voor afvoer van recent oppervlakkig gevormd P-houdend bodemslib.

5.2. Fosfaatbalansen

Gegevens van 38 fosfaatbalansstudies van afwateringseenheden zijn door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding verzameld en geanalyseerd op de berekeningswijze van de verschillende balansposten en op de mogelijkheid om inzicht te krijgen in de bijdrage door landbouwbronnen (STEENVOORDEN en DE HEUS, 1984).

In totaal zijn 38 balansstudies bij het onderzoek betrokken; 11 studies zijn uitgevoerd in zandgebieden en 27 in klei- en veengebieden. Er is onderscheid gemaakt tussen zand-, klei- en veengebieden vanwege verschillen in bodemgebruiksintensiteit, natuurlijke uitspoeling en waterhuishouding. Het aantal balansjaren dat door de onderzoeken wordt bestreken, bedraagt voor de zandgebieden 17 en voor de klei- en veengebieden 39.

Vragen waarop in genoemd rapport onder andere is ingegaan zijn:

- op welke wijze en hoe frequent is de waterhoeveelheid gemeten, berekend of geschat;
- op welke wijze en hoe frequent is het fosfaatgehalte gemeten, berekend of geschat.

De totale fosfaatafvoer vertoont grote verschillen tussen jaren onderling en gebieden onderling. In de zandgebieden loopt de P-afvoer uiteen van enkele tienden kg.jr^{-1} P per ha afwaterend oppervlak in een relatief droge winterperiode tot circa $5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ P in een jaar met verhoudingsgewijs veel invloed van oppervlakte-afvoer en ondiepe uitspoeling van landbouwgrond. Het niveau van de P-afvoer in klei- en veengebieden bedraagt circa $1 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ P. Belangrijke bronnen in afwateringseenheden kunnen zijn: effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties, landafspoeling en voedselrijke zoute kwel.

In de onderzoeken waar RWZI's voorkomen, is veelal minder frequent bemonsterd dan het STORA-advies voor een statistisch betrouwbare bemonstering. Naar de bijdrage van lozingen van ongezuiverd afvalwater is over het algemeen weinig onderzoek gedaan. Zeer verschillende uitgangspunten zijn gevolgd om tot een kwantificering van deze post te komen. Voor de fosfaatgehalten in de neerslag zijn uiteenlopende waarden gebruikt, gebaseerd op literatuurgegevens. De bijdrage van gas- en koelwaterbronnen is vaak berekend op basis van incidentele debietmetingen en bemonsteringen. Bij het vaststellen van de bijdrage door

kwel en wegzijging is het onzeker welk fosfaatgehalte aan het getransporteerde water moet worden toegekend. De fosfaatvracht in de toevoer en afvoer van oppervlaktewater is bij diverse studies onvoldoende nauwkeurig vastgesteld. De meest voorkomende oorzaak is dat de bemonsteringsfrequentie te laag is. Een minder voorkomende oorzaak is het niet frequent genoeg meten van het debiet. Aan de fosfaatvastlegging door slootvegetaties is bij de onderzochte fosfaatbalansstudies vrijwel geen aandacht besteed, maar veelal is dit een onbelangrijke post. De natuurlijke bodemuitspoeling is gekwantificeerd op basis van grondwateronderzoek in het onderzoeksgebied of met literatuurgegevens. De bijdrage door landbouwkundige bronnen is op uiteenlopende wijzen benaderd. De meest toegepaste methode is het gebruiken van waarden uit de literatuur voor afspoeling en afvalwaterlozingen vanuit agrarische bedrijfsgebouwen. In de meeste studies worden de beschikbare fosfaatbalansen gebruikt om op indirecte wijze de bijdrage vanuit de landbouw te kwantificeren, namelijk als restpost van de balans. De fosfaatvrachten van afvoer en RWZI's vormen dan de grootste onzekerheid door de geringe meetfrequentie en de grootte van de bijdrage. Ook bij de andere bronnen zijn vaak onzekerheden, maar de bijdrage van deze bronnen is veelal gering of zelfs verwaarloosbaar.

Van de fosfaatbalansstudies in zandgebieden is maar een deel redelijk tot goed bruikbaar voor de kwantificering van de landbouwbijdrage. In gebieden die gekenmerkt worden door hoge veebezettingen en mestproducties loopt de fosfaatbelasting op het oppervlaktewater uiteen van vrijwel nihil in jaren met een verwaarloosbare oppervlakte-afvoer tot circa $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ P in jaren met een belangrijke oppervlakte-afvoer.

Recent is in 6 afwateringsgebieden met een landelijk karakter in het zuidelijk deel van het Peelgebied gedurende twee jaar onderzoek gedaan naar onder andere de P-afvoer uit cultuurgrond met behulp van P-balansen (STEENVOORDEN e.a., 1987). Doel van het onderzoek was het nagaan van de invloed van bodem- en bodemgebruiksfactoren op de P-belasting van het oppervlaktewater. De bijdrage van andere dan landbouwkundige bronnen, zoals neerslag, "natuurlijke" bodemuitspoeling en afvalwaterlozingen door de verspreide bewoning, is gering. De jaarlijkse P-afvoer per ha cultuurgrond afkomstig van de diffuse landbouwbronnen varieerde gemiddeld van 0,5 tot 4,2 kg P en resulteerde

in een P-concentratieverhoging die varieerde van circa 0,35 tot circa 1,0 g.m⁻³. De belangrijkste faktor voor de verklaring van verschillen in P-belasting is de waterhuishouding en wel met name de grondwaterstand. Naarmate het percentage gronden met een hoge grondwaterstand (Gt's II en III) toeneemt stijgt de P-belasting vanuit cultuurgrond. De verklaring hiervoor zal zijn de verhoogde toevoer door afspoeling of ondiepe uitspoeling bij hogere grondwaterstanden. De resultaten van fosfaatbalansstudies in klei- en veengebieden worden onder ander beïnvloed door de verblijftijd van het oppervlaktewater (STEENVOORDEN en DE HEUS, 1984). Bij relatief lange verblijftijden lijkt de fosfaatberging in het bodemslib een belangrijke rol te spelen, zodat de restpost voor landbouw en natuurlijke uitspoeling een negatieve waarde krijgt, namelijk gemiddeld circa 4,0 kg.ha⁻¹.jr⁻¹P. Voor de oppervlaktewateren met een relatief korte verblijftijd is een restpost voor de bijdrage van de bodem en de landbouw berekend van gemiddeld circa 2,0 kg.ha⁻¹.jr⁻¹P.

De hoogte van de P-belasting en de bijdrage van de verschillende P-bronnen kan sterk verschillen van polder tot polder. Een globaal beeld als gemiddelde van een onderzoek in 16 polders (Werkgroep Noord-Holland, 1982) geeft tabel 6.

Tabel 6. Relatieve bijdrage (%) van bronnen aan de N- en P-belasting van het oppervlaktewater gemiddeld over 16 polders in Noord-Holland.

	N	P
Inlaat boezemwater	10	15
Huishoudelijk afvalwater + industrie	20	30
Gasbronnen	10	10
Diepe kwel	15	15
Bodem en landbouwactiviteiten	35	30
Overige bronnen	10	0
	100	100

Meerdere bronnen leveren een bijdrage van betekenis. De belangrijkste toevoer vindt plaats vanuit de bodem en door landbouwactiviteiten. Een verdere uitsplitsing van deze bijdrage over "natuurlijke" bodemuitspoeling en landbouwactiviteiten is niet mogelijk vanwege de onzekerheid over de "natuurlijke" uitspoeling van veengronden.

6. VERMINDERING VAN DE FOSFAATBELASTING VANUIT LANDBOUWGRONDEN

De P-belasting vanuit cultuurgrond kan worden verminderd door:

- wijzigingen in de P-bemesting en techniek van toediening van dierlijke mest;
- wijzigingen in de waterhuishouding;
- verhoging van het P-sorptievermogen.

De wijzigingen in de P-bemesting kunnen betrekking hebben op bemestingsniveau, het tijdstip van bemesten en de aard van de meststof. Om het risico van P-uitspoeling te voorkomen dient allereerst de P-bemesting afgestemd te zijn op de gewasonttrekking aangezien dan accumulatie in de bodem wordt voorkomen. Ter voorkoming van afspoeling van P zou dierlijke mest niet bovengronds uitgereden moeten worden tenzij de dierlijke mest direkt wordt ingewerkt. Voor braakliggend bouwland geldt reeds een onderwerkverplichting (uiterlijk dag na bemesting). Bij grasland is onderwerken door bijvoorbeeld ploegen natuurlijk niet mogelijk. Om P-afspoeling op grasland te voorkomen zou dierlijke mest niet uitgereden moeten worden vanaf oktober tot circa half februari en bovendien niet op bevroren grond. In de overgangsfase naar een dergelijk uitrijverbod op grasland zou eventueel een bepaalde afstand van watergangen aangewezen kunnen worden waar in najaar en winter geen dierlijke mest mag worden uitgereden. Een andere mogelijkheid om op grasland afspoeling te voorkomen is via injectie van dierlijke mest. Deze techniek wordt reeds toegepast op zandgrond. Voor andere grondsoorten moet de techniek nog worden ontwikkeld. De aard van de meststof is uitsluitend van belang bij veengronden, met name de zure veengronden. Op dit type veengronden zou zo weinig mogelijk dierlijke mest gebruikt moeten worden.

In situaties dat reeds ondiepe P-uitspoeling optreedt kan deze bijdrage worden gereduceerd of geëlimineerd door verbetering van de afwatering en ontwatering. Dit kan leiden tot belangentegenstellingen tussen natuurbescherming en het waterkwaliteitsbeheer. Een alternatieve oplossing zou dan kunnen zijn het verhogen van het P-sorptievermogen van de grond door de toevoer van bijvoorbeeld ijzerverbindingen. Ten aanzien van de uitvoerbaarheid is echter nog vrijwel geen onderzoek uitgevoerd.

7. SAMENVATTING

Voor de bestrijding van de eutrofiëring is terugdringing van de P-belasting vanuit landbouwgronden eveneens van groot belang. P-belasting van het oppervlaktewater kan plaats vinden door de afspoeling en uitspoeling van meststoffen. Voor beide processen is de waterhuishouding van groot belang. Met name bij gronden met hogere grondwaterstanden is het risico van afspoeling en snelle uitspoeling via ondiepe stroombanen het grootst. Bij zand- en kleigronden treedt bij P-overdosering pas na vele jaren P-uitspoeling op als gevolg van retentie door P-sorptieprocessen. Bij zure veengronden kan al binnen enkele jaren een verhoogde P-uitspoeling optreden met name bij toediening van dierlijke mest, omdat organische stof met P chelaten vormt die zeer mobiel zijn.

Het kwantificeren van de P-belasting van het oppervlaktewater vanuit de landbouw voor grotere gebieden kan via het opstellen van P-balansen voor oppervlaktewater. Hierbij moet zorg worden besteed aan de frequentie van bemonstering en de kwantificering van andere bronnen in het afwateringsgebied.

Vermindering van de P-belasting vanuit landbouwgrond kan worden bereikt door wijzigingen in de P-bemesting (niveau, tijdstip, type meststof), de techniek van toediening, de waterhuishouding en door verhoging van het P-sorptievermogen van de bodem.

LITERATUUR

- BOTS, W.C.P.M., P.C. JANSEN en G.J. NOORDEWIER, 1978. Fysisch-chemische samenstelling oppervlakte- en grondwater Noorden des Lands. Regionale studies 13. ICW.
- BREEUWSMA, A., 1984. De fosfaathuishouding van zandgronden en de relatie tot de waterkwaliteit. PHLO-cursus Waterkwaliteit Landelijk gebied, Aspecten van kwaliteitsbeheer. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- BREEUWSMA, A. en O.F. SCHOUMANS, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden. Stichting voor Bodemkartering, Rapp. 1866.
- BUITENDIJK, J., 1986. Oppervlakkige afvoeren gedurende 1951 t/m 1985 van twee bodemprofielen in het stroomgebied van de Lunterse Beek. ICW nota 1749, 20 pp.
- GERRITSE, R.G., 1977. Phosphate compounds in pig slurry and their retention in the soil. Proc. EEC-Seminar: Utilization of manure by landspreading, Modena, 257-266.
- HIELTJES, A.H.M. en L. LIJKLEMA, 1980. Nalevering van fosfaat door sedimenten. IV: Transport over het grensvlak sediment-water. *H₂O* (13), 25, 612-614, 639-640.
- HOEKSTRA, J., 1980. De rol van bodemslib bij berging en nalevering van fosfor in enkele beken. ICW nota 1191, 28 pp.
- KOUWE, F.A., 1982. Fosfaat en eutrofiëring in een laagland beek, en chemisch en hydrobiologisch onderzoek naar het effect van defosfatering op fosfaatgehalte en waterplanten in de Beerze. GTD Oost-Brabant, Boxtel, 86 pp.
- KOUWE, F.A., 1983. Fosfaattransport in een laagland beek. *H₂O* (16), 4, 70-73 en 76.
- LEXMOND, Th.M., W.H. VAN RIEMSDIJK en F.A.M. DE HAAN, 1982. Onderzoek naar fosfaat en koper in de bodem, in het bijzonder in gebieden met intensieve veehouderij. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- LIERE, L. VAN, J. PETERS en L.R. MUR, 1983. Fosfaat naleveringscapaciteit van sedimenten en naleveringstijd. *H₂O* (16), 13, 298-303.

- MINISTERIES, 1979. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne en Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Fosfatennota. Maatregelen voor het terugdringen van de fosfaatbelasting van het Nederlandse oppervlaktewater, 30 pp.
- OOSTEROM, H.P. en J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1980. Chemische samenstelling van oppervlakkig afstromend water (Proefveldonderzoek te Achterveld). ICW Nota 1237, 60 pp.
- PANKOW, J., A. VAN DE TOORN, C.G. TOUSSAINT en J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1985. De gevolgen van verschillen in open waterpeil op de stoffenbelasting van het water op het Regionaal Onderzoek Centrum te Zegveld. ICW nota 1652, 76 pp.
- SCHEFFER, B. und J. BLANKENBURG, 1983. Phosphoraustrag aus Niedermoorböden. Ergebnisse eines Lysimeterversuches ohne Pflanzenbewuchs. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 146, 3, 275-284.
- SCHEFFER, B., H. KUNTZE und R. BARTELS, 1986. Anwendung von Rotschlamm und Grünsalz auf sauren Hochmoorböden zur Reduzierung des Phosphataustrages. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 27, 76-82.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M. en J. BUITENDIJK, 1980. Oppervlakte-afvoer. In: Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Den Haag. Rapporten en nota's 5: 87-92.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M. en M.J. DE HEUS, 1984. Fosfaatbalansstudies en de bijdrage van diffuse bronnen. Rapporten nr 8, ICW, 23 pp.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., W. VAN DOORNE en A.M.H. VAN HEESSEN, 1987. Bijdrage vanuit de landbouw aan de stikstof-, fosfaat- en chloridebelasting van het oppervlaktewater in zes afwateringseenheden in de Zuidelijke Peel. ICW nota 1785, 49 pp.
- WERKGROEP NOORD-HOLLAND, 1982. Kwantiteit en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in Noord-Holland benoorden het IJ. Regionale studies 16, ICW, 185 pp.
- WIND, G.P., 1986. Slootpeilverlaging en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden. Cultuurtechnisch Tijdschrift 25, 321-330.