

NOTA 929

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

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

EMISSIE VAN FOSFAAT EN STIKSTOF
UIT LANDBOUWGRONDEN

dr. P.E. Rijtema

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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

INHOUD

1. INLEIDING
2. MINERALENAANVOER VIA DE NEERSLAG
3. NATUURLIJKE UITSPOELING
4. UITSPOELING IN LANDBOUWGEBIEDEN
 - 4.1. Fosfaat- en stikstofemissie naar het grondwater
 - 4.2. Fosfaat- en stikstofemissie naar het oppervlaktewater
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES
6. LITERATUUR

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

1. INLEIDING

Ten behoeve van een hoog produktieniveau van de Nederlandse landbouw is de toevoeging van meststoffen noodzakelijk. Reeds zeer lang wordt mest op het land gebracht om de onttrekking van mineralen door het gewas en verliezen aan mineralen door uitspoeling te compenseren.

Bij de discussies binnen het Curatorium voor Landbouwemissie is landbouwemissie gedefinieerd als alle beweging van stoffen – toegevoerde hulpstoffen zowel als omzettingsprodukten – vanuit de wortelzone van het gewas van een zodanige omvang, dat elders in het milieu ongewenste nevenwerkingen ontstaan. Ophoping van de toegevoerde stoffen in de wortelzone bij normaal landbouwkundig gebruik wordt dus niet tot de emissie gerekend. Bij de uitspoeling van mineralen uit de wortelzone van landbouwgronden naar grond- en oppervlaktewater is de grootte van de natuurlijke mineralenbelasting bepalend voor de uiteindelijke emissie tengevolge van de landbouw.

Volgens de emissiedefinitie van het Curatorium zou naast de uitspoeling tevens de ongewenste nevenwerking elders in het milieu moeten worden aangegeven. Met name voor de uitspoeling van fosfaat en stikstof wordt hierbij aan de eutrofiëring van het oppervlaktewater gedacht. VOLLENWEIDER (1968) gaat ervan uit dat een oppervlaktewater in gevaar verkeert als de voorjaarsconcentratie van biologisch opneembaar fosfaat en anorganische stikstof respectievelijk meer dan 0,01 mg P/l en 0,2 - 0,3 mg N/l bedraagt. Deze waarden hebben betrekking op grote stilstaande wateren, zoals grote meren. Voor kleine stromende wateren zouden andere normen gelden. Volgens LEENTVAAR (1970) zou onder Nederlandse omstandigheden de norm kunnen worden gesteld op 0,03 mg biologisch opneembaar P/l en 0,2 - 0,3 mg anorganisch N/l.

Een van de stoffen die van belang zijn voor de verontreiniging van grondwater, dat bestemd is voor de bereiding van drinkwater, is stikstof in de nitraatvorm (NO_3^-). De aanwezigheid van nitraat in het drinkwater kan een verhoogde zuigelingensterfte veroorzaken ten gevolge van methemoglobinemia. Ter voorkoming van genoemde ziekte wordt in Nederland als eis gesteld, dat drinkwater ten hoogste 100 mg NO_3^- per liter mag bevatten, hetgeen overeenkomt met een gehalte van 22,6 mg N/l als nitraat-N.

Laat men de enorme invloed van de inlaat van Rijnwater in grote delen van het oppervlaktewater in Nederland buiten beschouwing, dan kunnen als bronnen van mineralenaanvoer worden genoemd de neerslag, de uitspoeling uit gronden en lozingen. Aangezien lozingen sinds de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater verboden zijn kunnen deze buiten beschouwing worden gelaten. De discussie zal zich daarom moeten richten op de aanvoer van mineralen via de neerslag, de natuurlijke uitspoeling van mineralen uit de bodem en het verhogend effect van de landbouw op deze uitspoeling.

2. MINERALENAANVOER VIA DE NEERSLAG

De toevoer van fosfaat vanuit de atmosfeer via de neerslag is belangrijke faktor bij grote wateroppervlakten en voedselarme natuurgebieden. Gegevens van de aanvoer van mineralen via de neerslag zijn door HENKENS (1976) in samenwerking met het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid verzameld op 14 plaatsen verspreid over het land in de periode van 1-10-'73 tot 1-10-'74. De resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in tabel 1 (blz. 3).

Ook de gegevens van STEENVOORDEN en OOSTEROM (1975) voor Wageningen geven overeenkomstige resultaten. Gebaseerd op de indeling van Vollenweider en de normen die Leentvaar geeft, moeten in Nederland de oppervlaktewateren die alleen direkt worden gevoed door regenwater reeds tot de eutrofe wateren worden gerekend.

- Ervaar wijgende dat er geen afvoer is van mineralen door bv. wateropname.
- Sinds wanneer heeft de neerslag deze samenstelling?
- Op hoeveel zijn we afhankelijk van de neerslag?

Tabel 1. Aanvoer aan stikstof, fosfor en kalium door de neerslag in verschillende delen van Nederland in de periode 1-10-'73 tot 1-10-'74

Nr.	Plaats	Neerslag mm	Gemiddeld gehalte mg/l		
			N	P	K
1	Kortgene	806	1,06	0,19	1,13
2	Bergen op Zoom	733	2,00	0,16	0,51
3	Vredepeel	569	2,59	0,12	0,43
4	Wijnandsrade	710	2,58	0,19	0,64
5	Hazerswoude	815	3,40	0,18	0,07
6	Nieuw Vennep	822	1,56	0,17	0,81
7	Houten	792	1,82	0,09	0,44
8	Oosterbeek	761	1,83	0,10	0,54
9	Eibergen	746	2,76	0,16	0,71
10	Wieringerwerf	655	1,59	0,25	0,80
11	Creil	568	2,30	0,19	0,08
12	Emmercompasuum	610	1,85	0,15	0,53
13	Oosterend	728	1,92	0,10	0,46
14	Nieuw Beerta	730	1,49	0,11	0,47
Gemiddeld		717	2,04	0,15	0,69

3. NATUURLIJKE UITSPOELING

Onder natuurlijke uitspoeling kan de belasting worden verstaan aan mineralen, die na transport van het water door het bodemsysteem van natuurterreinen naar het oppervlaktewater of eventueel naar het diepe grondwater bij grondwaterwinning worden afgevoerd. De chemische samenstelling van het water na het passeren van het bodemsysteem is afhankelijk van het profieltype en de chemische rijkdom van de bodem. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de fosfaat- en stikstofgehalten van het ondiepe grondwater, tot één meter onder de grondwaterpiegel in natuurterreinen (STEENVOORDEN, 1976; BOTS, 1976).

Tabel 2. Stikstof- en fosfaatgehalten in de bovenste meter van het grondwater in een aantal natuurgebieden

Bodemtype		zand	zand	hoogveen op zand	mesotroof laagveen	rivier- klei	zee- klei
Begroeiing		naald- hout	loof- hout	heide	blauw- gras	gras	gras
NO ₃ ⁻	mg N/l	<0,2	<0,2	0,2	0,4	0,3	0,2
NO ₂ ⁻	"	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02
NH ₄ ⁺	"	0,5	0,4	0,8	1,9	0,14	8,1
Org. N	"	0,5	0,5	0,5	2,1	0,39	1,7
Tot. N	"	1,0	0,9	1,5	4,4	0,85	10,0
Ortho P							
	mg P/l	0,02	0,04	0,04	0,07	0,01	1,4
Totaal P							
	mg P/l	0,06	0,08	0,11	0,49	0,11	1,5

De fosfaatgehalten van het grondwater zijn in belangrijke mate afhankelijk van de bodemsamenstelling. Over het algemeen blijkt, dat hoe rijker een bodem is aan organische stof, hoe hoger het totaal fosfaatgehalte. Duidelijk afwijkend is het fosfaatgehalte van profielen die ontstaan zijn in brakke milieus. Dit geldt voor de meeste gronden langs de kust, waardoor deze gronden rijk zijn aan fosfaat, stikstof en andere mineralen. De totaal fosfaatgehalten in het grondwater variëren sterk in afhankelijkheid van de invloed van de zoute kwel. Voor een drietal natuurterreinen in het noordelijk zeeleigebied is de relatie tussen het fosfaatgehalte en het chloridegehalte weergegeven in tabel 3 (BOTS, 1976) (blz. 5).

In vrijwel al het diepe grondwater van Midden-West-Nederland wordt stikstof en fosfaat aangetroffen. De gehalten lopen sterk uiteen. Aan de hand van de profielbeschrijvingen kon worden vastgesteld, dat op vrij veel plaatsen veen en/of veenresten op verschillende diepten voorkomen. Het is met vrij grote zekerheid aan te nemen, dat de hogere concentraties van N en P in dit brakke milieu mede worden beïnvloed door de aanwezigheid van organische stof (WERK GROEP MIDDEN-WEST-NEDERLAND, 1976).

Tabel 3. Stikstof- en fosfaatgehalten in drie natuurterreinen in het noordelijk zeeleigebied in relatie met het chloridegehalte in de bovenste meter van het grondwater

Cl ⁻	mg/l	150	863	5570
NO ₃ ⁻	mg N/l	0,2	0,2	0,7
NO ₂ ⁻	"	0,02	0,01	0,01
NH ₄ ⁺	"	8,1	13,1	6,2
N-tot.	"	10,0	15,6	11,2
Ortho P	mg P/l	1,4	3,0	4,7
Totaal P	"	1,5	3,5	6,0

4. UITSPOELING IN LANDBOUWGEBIEDEN

Voor een goede groei van gewassen zijn naast water en koolzuur ook andere voedingselementen vereist, welke van nature reeds in meerdere of mindere mate in het bodemsysteem aanwezig zijn. Gezien de doelstelling van de landbouw om een maximale produktie te bereiken, zal in principe worden gestreefd naar een dusdanige suppletie van voedingsstoffen in de wortelzone van het gewas, dat de voedingsstoffen niet beperkend zijn voor de produktie. Dit betekent de toediening van een zodanige hoeveelheid, dat alle verliezen uit de wortelzone, door gewasopname, uitspoeling enz. worden gecompenseerd.

Van oudsher worden dierlijke meststoffen gebruikt ter verhoging van de vruchtbaarheid van de bodem. Tengevolge van de intensivering van de veeteelt zijn de beschikbare hoeveelheden dierlijke meststoffen sterk toegenomen. De sterke uitbreiding vond vooral plaats in de veredelingssector. Op deze intensieve veehouderijbedrijven is de produktie aan organische mest groter, dan de mestbehoefte voor het eigen land. Voor de verwerking van de mest zal in die gebieden mogelijk een zwaardere bemesting worden toegepast, dan vanuit een zuiver gewasproduktiestandpunt noodzakelijk is.

4.1. Fosfaat- en stikstofemissie naar het grondwater

Om de invloed te kunnen nagaan van de bemesting op de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater zijn bemestingsgegevens vereist van het betreffende perceel over een aantal jaren. In het algemeen zullen deze gegevens niet erg betrouwbaar zijn. Om een inzicht te verkrijgen in de gevolgen van verschil in bemestingsniveau voor het grondwater is voor de zandgebieden het chloridegehalte van het grondwater als hulpmiddel gekozen. Via de organische mest wordt ook een belangrijke hoeveelheid chloride toegevoerd. Omdat het ion niet is betrokken bij chemische en biochemische processen in het grondwater kan het, in gebieden waar neerslag en bemesting de enige chloridebronnen zijn, worden gebruikt als indicatie voor het bemestingsniveau. Bij de indeling van de onderzochte agrarische percelen op zand op basis van de gemiddelde chloridegehalten blijkt, dat de hogere stikstofgehalten over het algemeen samengaan met hogere chloridegehalten. Een samenvatting van de gegevens van OOSTEROM en STEENVOORDEN (1974) is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. Chemische analyse van het grondwater van natuurterreinen en van 'normaal' en 'relatief zwaar' bemeste agrarische percelen op zand. De agrarische percelen zijn ingedeeld op basis van het gemiddelde chloridegehalte ($<$ en \geq 45 mg Cl⁻ per liter) (okt. 1971 - okt. 1972)

Bepaling	Natuur (zand)		Cl ⁻ < 45 mg/l ⁻¹		Cl ⁻ \geq 45 mg/l ⁻¹	
	0,5 m	2,5 m	0,5 m	2,5 m	0,5 m	2,5 m
Cl ⁻ (mg/l ⁻¹)	12	13	34	31	58	66
NO ₃ -N (mgN/l ⁻¹)	0,3	0,3	2,3	0,5	8,4	1,7
NO ₂ -N "	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02
NH ₄ -N "	0,6	0,6	0,8	0,9	1,6	3,4
Org. N "	0,4	0,4	0,7	0,6	0,7	0,3
Tot. N "	1,3	1,3	3,8	2,0	10,7	5,4
Ortho P (mgP/l ⁻¹)	0,05	0,07	0,08	0,17	0,04	0,08
P-tot. "	0,08	0,10	0,29	0,19	0,16	0,15

De invloed van bemesting komt vooral naar voren uit de hogere nitraatgehalten op 0,5 m in het grondwater vergeleken met de natuurterreinen. Het nitraatgehalte is op 2,5 m diepte in het grondwater beduidend lager dan op 0,5 m, waarschijnlijk als gevolg van biochemische processen. Het totaal N-gehalte op 2,5 m in het grondwater van natuurterrein en 'normaal' bemest agrarisch terrein toont weinig verschil.

Verschillen ten aanzien van fosfaatgehalten als gevolg van bemesting zijn niet duidelijk aanwezig. Tussen de opeenvolgende bemonsteringen, zowel op de agrarische percelen als op de natuurterreinen, kwamen soms grote verschillen voor in totaal fosfaatgehalten.

Waarlijk terrein zijn daar

OOSTEROM (1974) geeft een vergelijking van de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater van een zeer zwaar bemest perceel waar reeds 6 jaar met meer dan $300 \text{ ton ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$ varkensdrijfmest wordt bemest en een normaal bemest perceel en de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater van een nabijgelegen natuurterrein. De resultaten van deze analyses zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Gemiddelde stikstof- (mg N/l^{-1}), fosfaatgehalten (mg P/l^{-1}) van varkensdrijfmest en van het bovenste grondwater van een zwaar bemest perceel, een normaal bemest perceel en van een natuurgebied op zandgrond (3 bemonsteringen)

Bepaling	Drijfmest	Zwaar bemest	Normaal bemest	Natuurterrein
NO ₃ -N	2,2	31,0	1,1	0,22
NO ₂ -N	0,01	0,04	0,01	0,01
NH ₄ -N	1670	0,3	2,2	0,2
Org. N	185	0,5	1,0	0,2
Tot. N	1857	31,9	4,3	0,58
Ortho P	396	0,06	0,01	0,02
Tot. P	462	0,14	0,14	0,09

De verhoogde stikstofuitspoeling op het zwaar bemeste perceel wordt

volledig veroorzaakt door het nitraat-ion. Ten aanzien van de fosfaat-uitspoeling is geen invloed van de zware bemesting aantoonbaar.

In het grondwater van landbouwgronden zijn de condities voor het optreden van denitrificatie over het algemeen gunstig. Op ongeveer 2 m diepte onder de grondwaterspiegel is het zuurstofgehalte over het algemeen laag. Bovendien is doorgaans voldoende organisch materiaal, gemeten als KMnO_4 -verbruik, aanwezig. Een lange verblijftijd is zodoende van belang voor de mate van denitrificatie.

Denitrificatie betekent echter niet dat er geen emissie van stikstof naar het diepe grondwater kan optreden. Volgens gegevens van STEENVOORDEN (1976) betreffende 268 grondwateranalyses in Oost-Gelderland, bevatten 28 watermonsters een gemiddeld nitraatgehalte van 8 mg N/l^{-1} . Een deel van deze nitraatbevattende monsters werd in landbouwgebieden genomen.

In de door STEENVOORDEN en OOSTEROM (1973, 1975) onderzochte klei-veengebieden komen in het ondiepe grondwater stikstofgehalten voor tussen 4,3 en $39,5 \text{ mg N/l}^{-1}$ en in het diepere grondwater tussen 18,2 en $50,3 \text{ mg N/l}^{-1}$. Het is opvallend dat de N-gehalten met de diepte in het grondwater toenemen. De fosfaatgehalten in deze gebieden zijn het 10- tot 100-voudige van de gehalten in de zandgebieden, waarbij ook het fosfaatgehalte met de diepte toeneemt. Door de drooglegging van de gebieden heeft in de loop der jaren door de afvoer van het neerslagoverschot een zekere uitloging van het bovenste grondwater plaatsgevonden.

Gezien de hoge gehalten aan stikstof en fosfaat in het diepe grondwater van West-Nederland (WERK GROEP MIDDEN-WEST-NEDERLAND, 1976) is een emissie vanuit de landbouw naar het diepe grondwater niet waarschijnlijk, omdat deze hoge gehalten ook optreden in kwelgebieden.

De in tabel 3 gegeven stikstof- en fosfaatgehalten in het ondiepe grondwater van de natuurterreinen in het noordelijk zeekleigebied en de resultaten van het onderzoek van STEENVOORDEN en PANKOW (1976) betreffende de fosfaat- en stikstofbelasting tengevolge van de kwel in een polder in Zeeland maken het aannemelijk, dat de hiervoor getrokken conclusie geldt voor heel West- en Noord-Nederland.

4.2. Fosfaat- en stikstofemissie naar het oppervlaktewater

De toevoer van stikstof en fosfaat naar het oppervlaktewater in agrarische gebieden vindt voornamelijk plaats als gevolg van uitspoeling van de bodem door het neerslagoverschot. Afhankelijk van de ontwateringstoestand van de grond, zal het neerslagoverschot of via het diepere grondwater en door drains bij een goede en via de bouwvoor en oppervlakkige afstroming naar greppels bij een slechte ontwateringstoestand worden afgevoerd.

Uit onderzoeken naar de uitspoeling bij lysimeters (KOLENBRANDER, 1971) blijkt dat de invloed van bemesting voor de uitspoeling van stikstof en fosfaat sterk verschilt. De fosfaatuitspoeling bij verschillend bodemgebruik vertoont weinig verschillen. De gemiddelde fosfaatconcentratie in de afvoer van graslandlysimeters bedraagt $0,08 \text{ mg P/l}^{-1}$, voor bouwland was het fosfaatgehalte $0,02 \text{ mg P/l}^{-1}$. HENKENS (1976) heeft voor het drainwater van bouwlandpercelen voor verschillende bodemtypen soms iets hogere waarden gevonden. De fosfaatuitspoeling van duinzandlysimeters met een natuurlijke begroeiing (MINDERMAN en LEEFLANG, 1968) is van dezelfde orde.

Een overzicht van de beschikbare gegevens betreffende de fosfaat- en stikstofgehalten in de afvoer van grasland en bouwland is weergegeven in tabel 6 (blz. 10).

Het is opvallend, dat het fosfaatgehalte in het drainwater van jonge dalgrond zo hoog is. Het is niet duidelijk in hoeverre dit hoge gehalte door oxidatie van de organische stof in deze jonge ontginningsgrond wordt veroorzaakt. Bij de overige gronden blijkt het fosfaatgehalte van het drainwater onafhankelijk te zijn van het bodemgebruik en overeen te stemmen met de fosfaatgehalten die in het ondiepe grondwater van natuurterreinen op overeenkomstige bodemtypen worden gevonden.

Een typische uitzondering wat betreft de fosfaatuitspoeling geeft de glastuinbouw. Uit de gegevens van VAN SCHIE blijkt, dat het fosfaatgehalte van het drainwater afhankelijk is van de ouderdom van de kas. Hierbij moet in aanmerking worden genomen, dat vooral de oude kassen rijk zijn aan organische stof. De behoefte aan uitspoeling in de glastuinbouw is sterk afhankelijk van de kwaliteit van het

Tabel 6. Concentratie van stikstof en fosfaat in de afvoer van grasland en bouwland op basis van lysimeter- en drainwateronderzoek

Bodemgebruik	Grondsoort	Methode onderzoek	Concentratie		Auteur
			mg N/l ⁻¹	mg P/l ⁻¹	
Natuurgebied	duinzand	lysimeter	2,0	0,05	Minderman en Leeftang (1968)
Grasland	zand	"	4,3	0,08	Kolenbrander (1971)
Grasland	klei	"	4,3	0,08	"
Bouwland	zand	"	25,0	0,02	"
Bouwland	klei	"	12,0	0,02	"
Bouwland	zeeklei	drain	19,4	0,07	Henkens (1976)
Bouwland	rivierklei	"	15,9	0,03	"
Bouwland	zand	"	28,3	0,02	"
Bouwland	oude dalgrond	"	10,1	0,02	"
Bouwland	jonge dalgrond	"	8,8	0,71	"
Grasland	klei op veen	"	-	0,08	"
Grasland	zand	"	-	0,03	"
Glastuinbouw	-	"	34,2	1,8	Van Schie (1972)

het oppervlaktewater, dat als gietwater wordt gebruikt. Een gedeelte van het afgevoerde fosfaat wordt via het gietwater weer in de tuinbouw ingevoerd. In feite geldt hetzelfde ten aanzien van de stikstofafvoer.

Uit een onderzoek van STEENVOORDEN en PANKOW (1976) naar de invloed van stikstof- en fosfaatrijk kwelwater op de kwaliteit van het oppervlaktewater blijkt, dat de gehalten van stikstof en fosfaat in het drainwater slechts ongeveer 30% bedragen van wat op basis van het chloridegehalte van het drainwater theoretisch zou mogen worden verwacht. Een belangrijk deel van de stikstof en het fosfaat, dat via het kwelwater werd aangevoerd, wordt dus niet afgevoerd tengevolge van fysisch-chemische en biologische processen.

De uitspoeling van stikstof is, in tegenstelling met die van fosfaat, duidelijk afhankelijk van bodemgebruik, bemesting en grondsoort. Bij een natuurlijke begroeiing op duinzand bedraagt de N-uitspoeling 2 mg/l⁻¹. Bij grasland is de uitspoeling iets groter en speelt de grondsoort een wat minder duidelijke rol, terwijl op bouwland de uitspoeling varieert van 8,8 tot 28,3 mg N/l⁻¹ afhankelijk van bodemtype en bemestingsniveau.

Voor de slecht ontwaterde percelen, waar de winterafvoer grotendeels door de bouwvoor plaatsvindt, kan voor een benadering van de fosfaatemissie worden uitgegaan van de door KOLENBRANDER (1976) gepubliceerde gegevens van De la Lande Cremer en Sissingh. Hierbij wordt de P. tot-concentratie in het bodemvocht van de bovenste 20 cm gegeven in afhankelijkheid van de cumulatieve fosfaatgift gedurende 5 tot 7 jaren. In tabel 7 is de fosfaatconcentratie in de top-laag weergegeven, zoals deze zijn afgeleid uit de door KOLENBRANDER (1976) vermelde gegevens voor een gemiddelde langjarig toegepaste fosfaatgift.

Tabel 7. Uit gegevens van KOLENBRANDER (1976) afgeleide totaal fosfaatconcentraties in de bovenste 20 cm van bouwlandpercelen in afhankelijkheid van de langjarig toegepaste gemiddelde fosfaatgift in kg P₂O₅/ha. jaar

Fosfaatgift kg P ₂ O ₅ /ha. jr	Totale fosfaatconcentratie in mg P/l ⁻¹		
	kleigrond	veenontgin- ningsgrond	zand en löss
60	0,18	2,8	0,6
80	0,19	3,0	0,7
100	0,21	4,0	0,8
200	0,25	8,0	1,4

Volgens Kolenbrander zouden voor de wintermaanden de gehalten met ongeveer 50% moeten worden gereduceerd tengevolge van de verminderde oplosbaarheid van het fosfaat.

Hoewel gegevens als in tabel 7 ontbreken voor grasland, mag als eerste benadering wel van overeenkomstige waarden worden uitgegaan. Vergelijking van de gegevens in tabel 6 met die van tabel 7, eventueel met een factor 2 gereduceerd voor de winteromstandigheden, maakt duidelijk, dat ontwateringsdiepte van de percelen een grote invloed kan uitoefenen op de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Vooral in slecht ontwaterde gebieden met een hoge veebezetting kan de fosfaatbelasting op het oppervlaktewater sterk worden ge-

reduceerd door verbetering van de ontwatering. Ook bij een fosfaatbemesting van 60 kg P₂O /ha/jaar, een niveau dat gelijk is aan de gemiddelde onttrekking door het gewas, moet bij een slechte ontwateringstoestand met een verhoogde P-belasting via de afvoer rekening worden gehouden. Dit is mogelijk een verklaring voor het feit, dat bij sommige beken hogere fosfaatgehalten in het oppervlaktewater samenvallen met hoge afvoeren (KOLENBRANDER, 1971; OOSTEROM en STEENVOORDEN, 1974).

Om een indruk te krijgen van de werkelijke fosfaatbelasting op het oppervlaktewater is op basis van gegevens zoals weergegeven door KOLENBRANDER (1971) en door STEENVOORDEN en OOSTEROM (1973) voor een aantal stroomgebieden van beken de gemiddelde fosfaatconcentratie en de stikstofconcentratie in de beekafvoer berekend, na correctie voor bevolking. Tevens is een indicatie van de veebezetting weergegeven, uitgedrukt in kg N geproduceerd in de organische mest. De gegevens zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8. Afvoer van fosfaat en stikstof in enkele beekgebieden tengevolge van landbouwkundige activiteiten en de productie van organische mest uitgedrukt in kg N

Stroomgebied	N-productie kg/ha	Beekafvoer mm/jaar	Gem. concentratie tengevolge van landb.	
			N mg/l	P mg/l
Oosterwolde	80	300	-	0,07
Kamperveen	80	300	-	0,10
Bijseelsebeek	80	300	-	0,08
Puttenerbeek	-	300	-	0,15
Hupselsebeek	150	300	18,7	0,15
Langbroeker wetering	144	300	-	0,44
Hierdense beek	180	300	7,0	0,74
Flevopolder	0	300	8,0	0,05
Diepenloop	278	98	4,2	0,55
Raalter wetering	231	141	1,3	0,25
Oude Leerinkbeek	260	204	3,7	0,15
Deldensche Broeklaak	258	204	1,5	0,15
Hoge Laarsleiding	196	96	1,3	0,17

De gegevens van de Hierdense beek berusten op metingen van voor 1970, die sterk zijn beïnvloed door directe lozingen. De Langbroeker wetering en Kamperveen zijn veengebieden, waarbij de eerste mogelijk kwelwater ontvangt, terwijl Kamperveen vermoedelijk in een wegzijgingsgebied naar de IJsselmeerpolders ligt. Het hoge fosfaatgehalte in de Langbroeker wetering stemt overeen met de fosfaatgehalten gevonden in het ondiepe grondwater van een natuurtrein op mesotroof veen. Met uitzondering van de Diepenloop, blijkt voor de zandgebieden vrijwel geen effect van de produktie aan organische mest op het fosfaatgehalte van het oppervlaktewater aanwezig te zijn.

Bij de gegevens betreffende de N-uitspoeling valt op, dat de aan STEENVOORDEN en OOSTEROM (1973) ontleende gegevens laag zijn. Voor een belangrijk deel moet dit worden toegeschreven aan de lage waarden van de afvoer. Voortgezet onderzoek (STEENVOORDEN, 1976) toont aan, dat bij hogere afvoeren de stikstofgehalten in het oppervlaktewater toenemen. Hierbij is een belangrijke invloed van de hydrologische omstandigheden aanwezig. Bij de Deldensche Broeklaak is weinig verband tussen de grootte van de afvoer en het N-gehalte, terwijl bij de Leerinkbeek en de Oude Leerinkbeek een duidelijk verband bestaat tussen de afvoersnelheid en het N-gehalte. In het eerstgenoemde beekgebied is sprake van een diepe grondwaterstroming door een goed doorlatend pakket, terwijl bij de beide andere stroomgebieden een leemlaag op geringe diepte een snelle ondiepe grondwaterstroming veroorzaakt, waardoor de verwijdering van stikstof door denitrificatie van veel minder belang is. Deze hydrologische situatie treedt ook op bij het Hupselse beekgebied, waardoor het hoge N-gehalte in de gegevens van KOLENBRANDER (1971) mede te verklaren is. De N-gehalten van de Raalter wetering, de Deldensche Broeklaak en de Hoge Laarsleiding stemmen overeen met het N-gehalte dat bij 'normale' bemesting (tabel 4) wordt gevonden op 2,5 m diepte in het grondwater. Het N-gehalte van de Oude Leerinkbeek met die van 'normaal' bemest op 0,5 m in het grondwater. Hoewel geen kwantitatieve conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van het effect van de ontwatering op de N-belasting van het oppervlaktewater, zijn er duidelijke aanwijzingen aanwezig, dat bij een diepe ontwatering de N-belasting afneemt.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Voor een beoordeling van de fosfaat- en stikstofemissie van de landbouw zowel naar het grondwater als naar het oppervlaktewater, is het noodzakelijk om de natuurlijke belasting te bepalen.

Voor het vaststellen van de natuurlijke belasting is gebruik gemaakt van de analyses van het ondiepe grondwater in een aantal natuurgebieden. Tevens moet bij de natuurlijke belasting op het oppervlaktewater rekening worden gehouden met de rechtstreekse aanvoer van fosfaat en stikstof via de neerslag. Mogelijk kan deze neerslagbelasting ook worden toegekend aan de afvoer naar het oppervlaktewater uit natte en ondiep ontwaterde natuurterreinen.

Het blijkt dat de fosfaatgehalten van het grondwater in natuurgebieden in belangrijke mate afhankelijk zijn van de bodemsamenstelling, met name het organische stofgehalte. Voor gronden afgezet in het mariene brakke milieu blijkt het fosfaatgehalte in sterke mate afhankelijk te zijn van de invloed van de zoute kwel.

De fosfaatgehalten in het ondiepe grondwater van agrarische gebieden en de fosfaatgehalten gemeten via drainafvoeren wijken niet af van de gehalten die zijn gevonden op overeenkomstige bodemtypen in natuurterreinen.

Invloed van het bemestingsniveau op het fosfaatgehalte van het ondiepe grondwater is bij de bestaande gegevens niet aantoonbaar. Een mogelijke uitzondering vormen de oude glastuinbouwbedrijven, die rijk zijn aan organische stof.

Indien men directe lozing uitschakelt, is er geen relatie tussen het fosfaatgehalte van een aantal beken en de organische mestproductie, uitgedrukt in kg N/ha, in het betreffende stroomgebied. De fosfaatgehalten in het bodemvocht in de bovenste 20 cm van het profiel zijn ook bij een matige fosfaatbemesting belangrijk hoger, dan in de ondergrond. Op slecht ontwaterde percelen met hoge grondwaterstanden kan een deel van de afvoer naar het oppervlaktewater via de bouwvoor geschieden, waardoor een extra fosfaatbelasting moet worden verwacht bij hoge afvoeren.

Het stikstofgehalte in het grondwater van natuurgebieden wordt sterk beïnvloed door de aanwezigheid van organische stof in het pro-

fiel. Ook in de mariene afzettingen is het stikstofgehalte in het grondwater hoog. Het stikstofgehalte in het ondiepe grondwater van agrarische percelen wordt beheerst door het bemestingsniveau.

Tengevolge van denitrificatie en biochemische omzettingen zijn de stikstofgehalten op 2,5 m onder de grondwaterspiegel belangrijk lager dan op 0,5 m.

Bij een 'normaal' bemestingsniveau ($[Cl^-] < 45 \text{ mg.l}^{-1}$) is de stikstofuitspoeling naar het diepe grondwater vrijwel gelijk aan die van natuurterreinen op overeenkomstige profielen. Bij een hoog bemestingsniveau moet met een toename van het N-gehalte in het diepe grondwater rekening worden gehouden. Dit N-gehalte is hoger naar mate er minder organisch afbreekbaar materiaal in het grondwater aanwezig is.

Uit het lysimeter- en drainwateronderzoek blijkt dat de stikstofuitspoeling van het oppervlaktewater op bouwlandpercelen belangrijk hoger is dan op graslandpercelen. De uitspoeling van stikstof op bouwlandpercelen is afhankelijk van het bodemprofiel.

Er zijn duidelijke aanwijzingen, dat de stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater in beekgebieden afhankelijk is van de ontwatering van het gebied. Bij een slechte ontwateringstoestand, waardoor een snelle afvoer via ondiepe grondwaterstroming optreedt, neemt het stikstofgehalte van het oppervlaktewater toe met de grootte van de afvoer.

Er mag worden verwacht, dat door de verbetering van de drooglegging van slecht ontwaterde landbouwgronden, met name in gebieden met een hoge veebezetting, de emissie van fosfaat en stikstof naar het oppervlaktewater belangrijk kan worden gereduceerd.

6. LITERATUUR

- BOTS, W. C. P. M., 1976. Persoonlijke mededeling
- HENKENS, Ch. H., 1976. Voedingsstoffen of mineralenbalansen.
Stikstof, band 7 nr. 83-84: 355-362
- KOLENBRANDER, G. J., 1971. Contribution of agriculture to eutro-
fication of surface waters with nitrogen and phosphorus in the
Netherlands. Inst. Bodemvruchtbaarheid rapport nr. 10: 50 p.
- _____ 1976. Runoff as a factor in eutrofication of surface
waters in relation to phosphorus manuring. E. E. C. Seminar
on landspreading of manures, Modena. Part 1: 73-88
- LEENTVAAR, P., 1970. Het probleem van de eutrofiëring.
 H_2O (3) 5: 100-103
- MINDERMAN, G. en K. W. F. LEEFLANG, 1968. The amounts of
drainage water and solutes from lysimeters. Pl. Soil 28:
61-80
- OOSTEROM, H. P., 1974. Waterkwaliteit en kwaliteitsparameters.
ICW nota 791: 41 p.
- _____ en J. H. A. M. STEENVOORDEN, 1974. Chemische en
fysische samenstelling van grond- en oppervlaktewater in
enkele gebieden. ICW nota 810: 101 p.
- SCHIE, J. VAN, 1972. Aan- en afvoer van zouten via het water in
het Zuidhollands Glasdistrict (niet gepubliceerd)
- STEENVOORDEN, J. H. A. M., 1976. Nitrogen, phosphate and bio-
cides in groundwater as influenced by soil factors and agri-
culture. Versl. en Meded. Hydrol. Comm. TNO nr. 21:
52-69
- _____ en H. P. OOSTEROM, 1973. Stikstof, fosfaat en orga-
nisch materiaal in het grond- en oppervlaktewater van enkele
gebieden. Cultuurtechn. Tijdschr. 12 nr. 6: 1-19
- _____ en H. P. OOSTEROM, 1975. De chemische samenstel-
ling van de neerslag te Wageningen. ICW nota 882: 11 p.
- _____ en J. PANKOW, 1976. De eutrofiëring van een kreek aan
het Veerse Meer en de invloed hierop van uitgemalen polder-
water. ICW nota 910: 23 p.

VOLLENWEIDER, R. A., 1968. Scientific fundamentals of the eutro-
fication of lakes and flowering waters, with particular reference
to nitrogen and phosphorus as factors in eutrofication.

O. E. C. D., DAS/CS/68.27/Bibliography, Paris

WERKGROEP MIDDEN-WEST-NEDERLAND, 1976. Hydrologie en
Waterkwaliteit van Midden-West-Nederland. ICW Regionale
Studies 9: 101 p.