

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU

BILTHOVEN

Rapport nr. 716601001

Fosfaatverzadigde gronden: een overzicht

Deel 1: Technische achtergronden bij de aanpak van de
fosfaatverzadigde gronden

B. Fraters en L.J.M. Boumans

december 1997

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat Generaal Milieubeheer van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Drinkwater, Water en Landbouw.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,
telefoon: 030 - 274 91 11, fax: 030 - 274 29 71

VERZENDLIJST

- 1-5 Directeur van de Directie Drinkwater, Water en Landbouw van het
Directoraat-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM - G.J.A. Al
6 plv. Directeur-Generaal Milieubeheer - B.C.J. Zoeteman
7 Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, directie Landbouw
8 Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, directie Natuur
9 Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, directie Landbouwkundig
Onderzoek
10 Directeur van het Landbouw Economisch Instituut (LEI-DLO)
- 11 De directeur van het RIZA
12 Directeur van het Staring Centrum (SC-DLO)
13 Directeur van het Centrum voor Landbouw en Milieu
14 Directeur van het KIWA
- 15 N. Joanknecht, DGM/DWL
16 H.O. Hooghoudt, DGM/DWL
17 N.J. Molenaar, DGM/DWL
18 A. Roos, DGM/DWL
19 J. van Vliet, DGM/DWL
20 J. Verkerk, LNV/DL
21 F. van Leeuwen, LNV/DL
22 H.P. Smit, LNV/DL
23 M. van Dongen, LNV, Directie Oost
- 24 O.F. Schoumans, SC-DLO
25 C. Roest, SC-DLO
26 B.J. Groenenberg, SC-DLO
27 G.J. Reinds, SC-DLO
28 P. Boers, RIZA
29 F. Verstraten, IKC/L
30 H.J. Westhoek, IKC/L
31 P. Hotsma, IKC/L
32 O. Oenema, AB-DLO (Haren)
33 W.J. Chardon, AB-DLO (Haren)
34 H.F.M. Aarts, AB-DLO (Wageningen)

35	S.E.A.T.M. van der Zee, LU-Wageningen
36	M.M. van Eerdt, CBS
37-66	Klankbordgroep 'Aanpak fosfaatverzadigde gronden'
67-79	TCB-werkgroep 'Bodemvruchtbaarheid en kwaliteit van bodem en water'
80-92	Deelnemers overleg Bodemkwaliteitsmeetnetten
93	D. Boschma, NVV - afdeling Noord
94	G. Roos, NVV
95	Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
96	Directie RIVM
97	N.D. van Egmond
98	F. Langeweg
99	L.H.M. Kohnsiek
100	A.H.M. Bresser (LWD)
101	L. van Liere (LWD)
102	P.M. van Egmond (LAE)
103	N.J.P. Hoogervorst (LAE)
104	O.M. Knol (LAE)
105	R. van den Berg
106	J.J.B. Bronswijk
107	A.F. Bouman
108	W. van Duijvenbooden
109	J.J.M. van Grinsven
110	H.W. Köster
111	C.R. Meinardi
112	W.J. Willems
113	Hoofd Bureau Voorlichting en Public relations
114	Bureau Rapportenregistratie
115	CCRX secretariaat
116-117	Bibliotheek RIVM
118-124	Auteurs
125-150	Bureau Rapportenbeheer

VOORWOORD

Dit rapport is op verzoek van de interdepartementale projectgroep “Aanvullende aanpak sterk fosfaatverzadigde gronden” geschreven in opdracht van de Directie Drinkwater, Water en Landbouw van het Directoraat Generaal Milieubeheer. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het MAP-Milieu 1997-2000 als onderdeel van het deelproject Stofstromen Vermesting (nummer 716602). Dit is een deelproject van het project Stofstromen (projectnummer 716601).

Het onderzoek omvatte zowel een literatuurstudie als het uitvoeren van berekeningen aan de hand van oudere en recentere gegevens. Ten behoeve van dit onderzoek zijn ook recent beschikbaar gekomen gegevens uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (‘Mestmeetnet’) en het Landelijk Meetnet Bodem (LMB) geanalyseerd. Deze analyses en de uitgevoerde berekeningen worden separaat gerapporteerd als RIVM-rapport.

Op verzoek van de interdepartementale projectgroep is een wetenschappelijke begeleidingscommissie ingesteld. In deze begeleidingscommissie hadden zitting dr.ir. W.J. Chardon (AB-DLO), prof. dr.ir. O. Oenema, (AB-DLO), ir. O.F. Schoumans (SC-DLO), ir. H.J. Westhoek (IKC-DLO) en dr.ir. S.E.A.T.M. van der Zee (Landbouwuniversiteit Wageningen). De auteurs bedanken de leden van de begeleidingscommissie voor hun actieve inbreng.

Eerdere versies van dit rapport zijn ook toegezonden aan de interdepartementale projectgroep en de leden van de klankbordgroep van het project “Aanvullend aanpak sterk fosfaatverzadigde gronden”, bestaande uit vertegenwoordigers van de ministeries van VROM, LNV en V&W, het landbouwbedrijfsleven en de milieubeweging.

Tenslotte bedanken wij onze collega's dr.ir. J.J.B. Bronswijk en drs. W.J. Willems voor hun commentaar en discussies.

27 oktober 1997

Dico Fraters en Leo Boumans

INHOUDSOPGAVE

Verzendlijst	3
Voorwoord	5
Inhoudsopgave	6
Summary	9
Samenvatting	11
1. Inleiding	13
2. Fosfaat en fosfaatverzadigde gronden	17
2.1. Waarom is fosfaat een probleem?	17
2.2. Gedrag en voorkomen van fosfaat in de bodem	18
2.2.1. Algemeen	18
2.2.2. In welke vorm en hoeveelheid komt fosfaat voor in bodem en grondwater?	19
2.2.3. Hoe gedraagt fosfaat zich in de bodem?	21
2.3. Fosfaatverzadigde grond	24
2.3.1. Wanneer is een grond of perceel fosfaatverzadigd?	24
2.3.2. Wat is de invloed van grondwatertrap en bodemtype op het fosfaatverzadigd zijn?	25
2.4. De hoeveelheid en verdeling van fosfaat in een fosfaatverzadigde bodem	26
2.4.1. Waar zit al het fosfaat in een fosfaatverzadigde bodem?	26
2.4.2. Hoeveel fosfaat zit er in een fosfaatverzadigde bodem?	28
2.5. Hoe groot is het areaal en in welke mate zijn gronden fosfaatverzadigd?	28
2.6. Hoe zijn de gronden fosfaatverzadigd geworden en wat zijn de vooruitzichten?	29
2.7. Fosfaattoestand, bemestingsadvies en fosfaatverzadiging	33
2.7.1. Waarom en hoe wordt de fosfaattoestand bepaald?	33
2.7.2. Welk fosfaat wordt gemeten bij het bepalen van de fosfaattoestand?	34
2.7.3. Is er een relatie tussen de fosfaattoestand en de fosfaatverzadigingsgraad?	35
2.7.4. Hoe beïnvloedt de fosfaattoestand het bemestingsadvies?	37
2.7.5. Hoe is de fosfaattoestand van landbouwgronden?	38

2.7.6. Wat is het fosfaatoverschot in 1998 als landbouwpercelen bemest worden volgens het bemestingsadvies?	40
2.8. Uitspoeling van fosfaat	42
2.8.1. Waar hangt de uit- en afspoeling vanaf?	42
2.8.2. Hoe groot is de uitspoeling naar het grondwater?	42
2.8.3. Hoe groot is de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater?	43
3. Het opsporen van zeer sterk fosfaatverzadigde gronden	47
3.1. Inleiding	47
3.2. Moet heel Nederland bemonsterd worden?	47
3.2.1. Zijn er verschillen tussen regio's in Nederland?	47
3.2.2. Wat kunnen we met verschillen tussen regio's?	52
3.3. Hoe de zeer sterk fosfaatverzadigde gronden op te sporen?	52
3.3.1. Wat is het protocol fosfaatverzadigde gronden?	52
3.3.2. Is het protocol algemeen toepasbaar?	53
3.3.3. Zijn er alternatieven voor het protocol?	54
4. Herstel van zeer sterk fosfaatverzadigde gronden	59
4.1. Algemeen	59
4.2. Wat zijn de mogelijkheden van uitmijnen?	59
4.2.1. Hoeveel fosfaat moet er verwijderd worden?	59
4.2.2. Hoe lang duurt uitmijnen en wat zijn de resultaten?	60
4.3. Het bemestingsadvies en uitmijnen	62
4.4. Wanneer is een perceel voldoende uitgemijnd?	64
5. Opties voor de beleidskeuzen, discussie en conclusies	67
5.1. Algemeen	67
5.2. Voor welk gebied moet een regeling van kracht worden?	67
5.3. Welke methode voor identificatie dient gebruikt te worden?	68
5.4. Welk criterium en/of kritische waarde moet gebruikt worden bij het aanwijzen van gronden?	70
5.5. Welke verliesnorm moet gaan gelden voor de aangewezen gronden?	72
5.6. Weten we voldoende?	72

Referenties

75

SUMMARY

Since 1987 the Dutch government has taken several steps to diminish the problem of phosphate-saturated soils. In the context of making new legislation regulating the use of nutrients available from 1988 on, the Ministries of Agriculture, Nature Management and Fisheries (LNV) and of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) are planning a General Administrative Order (GAO) to regulate phosphate use on phosphate-saturated soils. Here, the technical background to support the policy decisions on allocating phosphate-saturated soils and tackling the problems caused by them will be presented. Before deciding, several choices will have to be made:

1. Should the GAO cover the total agricultural area or should it be limited, for example, to the areas with known high historical loads?
2. What method should be used to identify phosphate-saturated soils?
3. Should management of all phosphate-saturated soil be restricted by the GAO or only the most polluted soils?
4. At what net level should phosphorus be exported from the fields for which the GAO prescribes management restrictions?

Answers to these questions with alternatives have been formulated from the perspective of a GAO regulating farm management on a national scale, giving pro's and con's for each. The alternatives described can be used as well for regulation limited to selected areas, such as nature conservation areas. In this case, methods described here can be used to select fields within the selected areas.

In the suggestions for future research special attention has been given to answers on the long-term effects of the soil phosphorus depletion on both agriculture and environment. Although there are still questions to be answered, it has been made clear that both from the agricultural (plant production) and environmental viewpoints, the present phosphorus status of most soils in the Netherlands is unnecessarily high.

In 1998, when the revised Fertiliser Act comes into force, the amount of phosphorus produced by livestock and exported from the farms where it has been produced will be 92,000,000 kg phosphate (P_2O_5). In addition, if fertilisers in 1998 are to be applied according to agricultural recommendations (which could reduce the phosphorus status of the soils), the yearly phosphorus surplus will increase by about 95,000,000 kg phosphate (P_2O_5); this will present a problem.

SAMENVATTING

De voorliggende rapportage biedt de technische achtergronden voor beleidskeuzen ten aanzien van de aanpak van de fosfaatverzadigde gronden in Nederland. De beleidskeuzen hebben betrekking op de volgende vragen:

- Voor welk gebied moet een wettelijke regeling van kracht worden?
- Welke methode voor identificatie dient gebruikt te worden?
- Welke kritische waarde (criterium) moet gebruikt worden bij het aanwijzen van gronden?
- Welke verliesnorm moet gaan gelden voor de aangewezen gronden?

Bij de beantwoording van elk van deze vragen wordt een aantal alternatieven gegeven, elk met hun voor- en nadelen. De beantwoording geschiedt vanuit het perspectief van een landelijke regeling. De beschreven opties en alternatieven kunnen ook gebruikt worden bij de gebiedsgerichte benadering, namelijk bij de selectie van gebieden en gronden binnen de relevante gebieden.

Tenslotte worden enkele aanbevelingen voor onderzoek gedaan. Het betreft vooral vragen ten aanzien van de effecten op middellange en lange termijn voor de landbouw en het milieu bij de aanpak van de fosfaatverzadigde gronden. Op de korte termijn kan in ieder geval de vanuit de plantaardige produktie gezien onnodig hoge fosfaattoestand van de landbouwgronden worden teruggebracht.

Als in 1998 de gewijzigde Meststoffenwet in werking treedt, zal een hoeveelheid dierlijke mest van 92 miljoen kg fosfaat (P_2O_5) elders moeten worden afgezet of verwerkt. Wanneer de bemesting in dat jaar volgens de bemestingsadviezen zou worden uitgevoerd, om op deze manier de onnodig hoge fosfaattoestand van de landbouwgronden te verlagen, dan zal nog eens voor 95 miljoen kg fosfaat een oplossing moeten worden gevonden.

1. INLEIDING

Bij de behandeling van de Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid (IN; LNV, 1995a) in de Tweede Kamer heeft de minister van VROM de volgende toezegging gedaan in verband met een mogelijke aanpak van de fosfaatverzadigde gronden:

“Een onderzoek in te stellen naar de mogelijkheden om door middel van grondbemonstering de sterk fosfaatverzadigde gronden op te sporen en te bezien of voor die gronden een lagere verliesnorm kan worden opgelegd (mits juridisch haalbaar of houdbaar)”.

Naar aanleiding van deze toezegging is ondermeer het project “Aanpak van de sterk fosfaatverzadigde gronden” opgestart. Het doel van dit project is het in kaart brengen van de mogelijkheden van een aanvullende aanpak van de sterk fosfaatverzadigde gronden, waarbij een extra reductie van de fosfaatbelasting en daarmee van de fosfaataccumulatie en fosfaatuitspoeling wordt gerealiseerd ten opzichte van het voorgenomen IN-beleid. Het project moet resulteren in een beleidsnota waarin verschillende varianten voor de aanpak van de sterk fosfaatverzadigde gronden worden afgewogen op basis van sociaal-economische gevolgen, milieu-effecten en uitvoerbaarheid en handhaafbaarheid. Ten behoeve van de onderbouwing van deze beleidsnotitie zijn een tweetal deelstudies uitbesteed.

De eerste deelstudie betreft een onderzoek naar het milieurendement van de invoering van lagere verliesnormen op fosfaatverzadigde gronden in drie stroomgebieden. Deze gebiedsgerichte studie is verricht door het SC-DLO (Groenenberg e.a., 1997). De tweede deelstudie is gericht op het beantwoorden van “technische” vragen bij een generieke aanpak van de fosfaatverzadigde gronden. Deze studie is verricht door het RIVM. In het kader van deze “Technische achtergronden”-studie verschijnen twee rapportages.

De voorliggende rapportage biedt de technische achtergronden voor beleidskeuzen ten aanzien van de aanpak van de sterk fosfaatverzadigde gronden in Nederland. De beleidskeuzen hebben betrekking op de volgende vragen:

- Voor welk gebied moet een regeling van kracht worden?
- Welke methode voor identificatie dient gebruikt te worden?
- Welke kritische waarde (criterium) moet gebruikt worden bij het aanwijzen van gronden?
- Welke verliesnorm moet gaan gelden voor de aangewezen gronden?

Om de bovenstaande beleidsmatige vragen te kunnen beantwoorden is inzicht nodig in o.a. de volgende technische deelaspecten:

- waarom is fosfaat een probleem?
- wat zijn fosfaatverzadigde gronden?
- hoe worden gronden fosfaatverzadigd?
- wat is de uitspoeling bij fosfaatverzadigde gronden?
- hoe is het fosfaat verdeeld in de bodem?
- wat is de invloed van de Gt op de uitspoeling van fosfaat?
- hoe snel kun je een fosfaatverzadigde bodem saneren?
- wat is de fosfaattoestand van een bodem?
- wat heeft de fosfaattoestand met fosfaatverzadigingsgraad te maken?

Om deze en andere vragen te kunnen beantwoorden is gebruikt gemaakt van studies die in het verleden verricht en gerapporteerd zijn. Aanvullend zijn, speciaal ten behoeve van deze rapportage, recent beschikbaar gekomen gegevens van het Mestmeetnet van het RIVM en LEI-DLO geanalyseerd, alsook oudere gegevens van de Landbouwuniversiteit Wageningen en het SC-DLO. Deze analyses zullen apart gerapporteerd worden (deel 2).

Voor alle hoofdstukken is het volgende van belang. Fosfor - in de chemie afgekort met het atoomsymbool P - komt in grond- en oppervlaktewater meestal voor in de vorm van de anionen HPO_4^{2-} en H_2PO_4^- al dan niet gebonden aan organische stof of slibdeeltjes. De anionvorm wordt fosfaat genoemd. In de 'oppervlaktewaterwereld' worden concentraties vaak gegeven in mg $\text{PO}_4\text{-P}$ per liter. In de landbouw wordt fosfaat als meststof toegediend aan de bodem. De hoeveelheid die gegeven wordt, wordt uitgedrukt in kg P_2O_5 . In deze tekst wordt verder alleen nog de term fosfaat gebruikt, dus voor P, PO_4 en P_2O_5 . De concentraties in grond- en oppervlaktewater worden altijd gegeven in P. De mestgift en de voorraden aan fosfaat in de bodem worden echter weergegeven in P_2O_5 , omdat dit aansluit bij wat gebruikelijk is in de landbouw¹. Voor een beter vergelijk zijn daarom ook de uitspoeling (vrachten) naar grond- en oppervlaktewater weergegeven in P_2O_5 .

In de beleidsnotities ter voorbereiding van de regeling wordt veelal door elkaar gesproken over de aanpak van de fosfaatverzadigde of van sterk fosfaatverzadigde gronden. In de

¹ Omrekening naar P is eenvoudig door te vermenigvuldigen met 0,44. Van P naar P_2O_5 kan door te vermenigvuldigen met 2,29.

praktijk betreft het een regeling voor de zeer sterk fosfaatverzadigde gronden, vanwege de omvang van het areaal dat men in eerste instantie zal kunnen aanpakken.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd waarom fosfaat een probleem is, hoe het zich in de bodem gedraagt en wat fosfaatverzadigde gronden zijn. In hoofdstuk 3 wordt uitgelegd hoe de fosfaatverzadigde gronden kunnen worden opgespoord. Het herstel van deze gronden komt aan de orde in hoofdstuk 4. In het slothoofdstuk komen de beleidsvragen aan de orde en worden verschillende opties besproken.`

2. FOSFAAT EN FOSFAATVERZADIGDE GRONDEN

2.1. Waarom is fosfaat een probleem?

Fosfaat kan in de bodem en het grond- en oppervlaktewater voorkomen als anorganisch fosfaat en als onderdeel van de organische stof². Het anorganisch-fosfaat (*ortho-fosfaat* genoemd) lost relatief goed op in water en kan makkelijk door planten worden opgenomen. Hoewel slechts een klein deel van het in de bodem aanwezige organisch-fosfaat in oplossing is, is de hoeveelheid organisch-fosfaat in bodemvocht en bovenste grondwater vaak groter dan de hoeveelheid anorganisch-fosfaat (Chardon e.a. 1997; Fraters e.a., in 1997). Fosfaat is noodzakelijk voor plant en dier en als zodanig in het milieu gewenst. Zeker in de landbouw is voldoende opneembaar fosfaat nodig voor een kwalitatief en kwantitatief goede gewasopbrengst. Als er echter teveel fosfaat in het oppervlaktewater komt, leidt dat tot een probleem. Dat probleem noemen we vermesting of specifieker eutrofiëring. Van den Nieuwenhof (1995) geeft een uitgebreid overzicht van de last die gebruikers van grond- en oppervlaktewater hebben van vermesting.

Behalve fosfaat veroorzaakt ook stikstof problemen in oppervlaktewateren. Voor zoete oppervlaktewateren in Nederland is meestal fosfaat de limiterende voedingsstof, voor zoute wateren meestal stikstof (Boers e.a., 1993). De grenswaarde voor totaal-fosfaat in zoet oppervlaktewater is 0,15 mg.l⁻¹. Dit heette eerder de basiskwaliteit. Bij een dergelijke concentratie hebben meren en plassen (stagnante eutrofiëringsevoelige oppervlaktewateren) in de zomerperiode een doorzicht van 40 cm of meer en bevat het water niet meer dan 100 µg chlorofyl-a per liter (RWS, 1989). Chlorofyl-a is een maat is voor de hoeveelheid algen in het water. Voor helder water zijn nog lagere fosfaatconcentraties nodig, zie *Tabel 1*.

² Bij de analyse van watermonsters kan op twee manieren de hoeveelheid fosfaat worden bepaald die in het water aanwezig is. Met de ene methode wordt de totale hoeveelheid in het water aanwezige fosfaat bepaald. Met de andere methode wordt de hoeveelheid fosfaat bepaald die reageert met molybdaat en een verkleuring veroorzaakt die te meten is (Murphy en Riley, 1962). Dit fosfaat wordt reactief fosfaat of ortho-fosfaat genoemd. Er wordt in het algemeen vanuit gegaan dat dit anorganisch-fosfaat is (Haygarth, 1997). De hoeveelheid niet-reactief ofwel organisch-fosfaat wordt berekend door van het totaal-fosfaat (bepaald met eerste methode) de hoeveelheid reactief fosfaat (bepaald met tweede methode) af te trekken.

Tabel 1: *Invloed van totaal-fosfaatconcentratie op de kwaliteit van het stagnant eutrofiëringsgevoelige oppervlaktewater*
Bron: Westhoek, 1995.

concentratie (P in mg.l ⁻¹)	toestand	beschrijving
< 0,02	oligotroof	laag productief, helder; randvoorwaarde voor voedselarme vennen; zeldzaam in Nederland
<0,05	mesotroof	helder; nodig voor belangrijke doelsoorten, o.a. kranswieren
0,05 - 0,15	eutroof	toenemende algendichtheid en toenemende kans op blauwalgen; bij fosfaatconcentraties < 0,15 mg.l ⁻¹ geldt dat het doorzicht ≥40 cm, en de concentratie chlorofyl-a ≤100 µg.l ⁻¹ ; de concentratie van 0,15 mg.l ⁻¹ is reeds te hoog voor veel doelsoorten
0,15 - 0,30	zeer eutroof	algenbiomassa verder oplopend en doorzicht verder afnemend
> 0,30	hypertroof	algenbiomassa tot 200 à 300 µg chlorofyl-a per l, doorzicht 20 cm; fosfaat niet langer groeibeperkend

In sloten leidt een overmaat aan totaal-fosfaat tot een overmaat aan bijvoorbeeld eendenkroos. Deze overmaat heeft vaak maandenlange zuurstofarmoede tot gevolg, zodat slechts enkele soorten zich kunnen handhaven. In beken leidt eutrofiëring veelal tot verzuuring en belemmering van de waterafvoerfunctie. Hierdoor neemt de kans op overstroming toe, alsook de beheerskosten. Voor meer informatie wordt verwezen naar Westhoek (1995), Van den Nieuwenhof (1995) en Remmers (1995).

2.2. Gedrag en voorkomen van fosfaat in de bodem

2.2.1. Algemeen

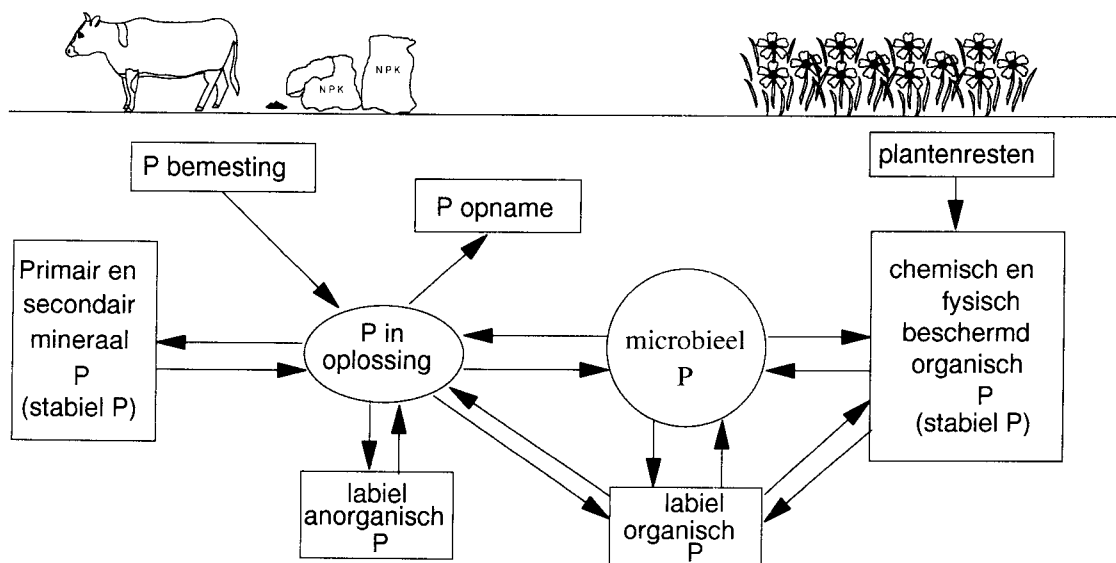
Fosfaat komt op de bodem in de vorm van kunstmest of dierlijke mest. De hoeveelheid die via andere routes, zoals atmosferische depositie op de bodem komt is verwaarloosbaar. In dierlijke mest komt fosfaat vooral voor in de vorm van goed oplosbare zouten. Zolang deze zouten aanwezig zijn, zal de concentratie in het bodemvocht van de bouwvoor op een constant niveau blijven (Van Riemsdijk en Breeuwsma, 1990). In de ondergrond wordt de concentratie van het ortho-fosfaat gereguleerd door de bodemdeeltjes. Naast ortho-fosfaat komt organisch-fosfaat voor, zowel als onderdeel van de vaste bodembestandelen als opgelost in het bodemvocht en grondwater.

Het ortho-fosfaat wordt gezien als de indicator voor de door menselijk handelen veroorzaakte belasting van het grondwater en het oppervlaktewater. Willems en Fraters (1995) laten aan de hand van STORA-gegevens (STORA, 1989) zien, dat in een beek alleen gevoed met water uit natuurgebieden geen ortho-fosfaat voorkomt, terwijl in een beek die o.a. gevoed wordt met

water uit landbouwgebied, wel ortho-fosfaat wordt gemeten. Het aandeel van het organisch-fosfaat in grondwater wordt vaak als min of meer constant verondersteld, bijvoorbeeld bij de uitwerking van het protocol fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee e.a., 1990a). Bij de beschouwing van de fosfaatverzadigde gronden wordt tot op heden vooral aandacht besteed aan ortho-fosfaat.

2.2.2. In welke vorm en hoeveelheid komt fosfaat voor in bodem en grondwater?

Fosfaat komt in bodem en grondwater voor in organische en anorganische vorm. Gemiddeld komt 50% van het fosfaat in de bodem voor als organisch-fosfaat, uiteenlopend van 15-80% (Tisdale e.a., 1993). Net als het organische-stofgehalte van de bodem neemt het organisch-fosfaatgehalte af met de diepte. Het fosfaatgehalte (P) van organische stof varieert van 1-3% (Tisdale e.a., 1993). Bij een bouwvoor van 25 cm met 4% organische stof en een volumieke massa van $1,4 \text{ kg.dm}^{-3}$ betekent dit tussen de $3200 - 9600 \text{ kg.ha}^{-1}$ (P_2O_5). Bij klei- en veengronden zijn de organisch-stofgehalten vaak hoger, en daarmee ook de hoeveelheden organisch-fosfaat in de vaste organische stof. Dit organisch-fosfaat komt in de bodem voor in plantenresten, bodemmicrofauna en flora (o.a. schimmels en bacteriën) en als stabiele en labiele organische verbindingen (zie *Figuur 2.1*)



Figuur 2.1: Schematische weergave van de fosfaatkringloop in de bodem (naar Tisdale e.a., 1993)

De hoeveelheid anorganisch-fosfaat in de bodem kan variëren. In een Amerikaanse studie werd in de bovengrond van intensieve graslanden op zandgronden zo'n 16000 kg.ha⁻¹ anorganisch fosfaat gemeten³ (Nair e.a., 1995). In extensieve beweiden en natuurlijke graslanden was de hoeveelheid zo'n 140 - 880 kg.ha⁻¹. Onderzoek wijst uit dat bij bemesting van gronden zowel de hoeveelheid anorganisch- als organisch-fosfaat toeneemt in de bovengrond, maar dat de fractie anorganisch-fosfaat de overhand krijgt (Sharpley en Smits, 1995; Nair e.a., 1995), zie *Tabel 2*. Het maakt daarbij niet uit of bemest wordt met kunstmest of met dierlijke mest. In §2.4 zal in meer detail worden ingegaan op de hoeveelheid en de verdeling van het fosfaat in fosfaatverzadigde gronden.

Tabel 2 *Effect van bemesting op de totale hoeveelheid fosfaat in de bovenste 5 cm van de bodem en de verdeling tussen de verschillende vormen.*
Bron: Sharpley en Smith, 1995.

	totaal fosfaat ^(a) (P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹)	organisch	% anorganisch	residu ^(b)
onbemest	510	34	36	30
bemest	1340	22	59	19

^(a) Berekend met volumieke masse van 1,4 kg.dm⁻³.

^(b) Mengsel van ingesloten anorganisch-fosfaat en niet-extraheerbaar stabiel organisch-fosfaat.

De hoeveelheid fosfaat in de bovenste meter van het grondwater bij zandgronden bedraagt tussen de 0,1 en 2 kg en is dus minder dan 0,1% van de hoeveelheid fosfaat in de bouwvoor.

De Technische Commissie Bodembescherming (TCB, 1990) is bij haar advies over het 'protocol fosfaatverzadigde gronden' uitgegaan van een verhouding tussen totaal- en ortho-fosfaat in het grondwater van 1,5. Dit betekent dat 67% van het totaal-fosfaat in het grondwater voorkomt als ortho-fosfaat en dus 33% als organisch-fosfaat. Bij deze verhouding zou een concentratie van 0,10 mg.l⁻¹ ortho-fosfaat in het naar oppervlaktewater uitspoelende grondwater niet leiden tot een overschrijding van de grenswaarde voor oppervlaktewater van 0,15 mg.l⁻¹ totaal-fosfaat.

Dit aandeel van 33% organisch-fosfaat geldt ruwweg voor grondwater op grotere diepte. Uit de gegevens van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (RIVM, niet gepubliceerde gegevens 1989) blijkt dat in het grondwater in het zandgebied op 10 en 25 m -mv (meter beneden maaiveld) gemiddeld respectievelijk 23% en 17% van het fosfaat in organische vorm voorkomt.

³ Gemiddeld werd 2500 mg.kg⁻¹ anorganisch-fosfaat (P) gemeten in de A-horizon. Uitgaande van een diepte van deze horizon van 20 cm en een volumieke massa van 1,4 kg.dm⁻³ betekent dat 16000 kg.ha⁻¹ (P₂O₅) in deze horizon.

Voor het bovenste grondwater bij landbouwbedrijven in het zandgebied is vastgesteld dat de hoeveelheid organisch-fosfaat groter is (Fraters e.a., 1997, Van Swinderen e.a., 1994). In jaren met relatief diepe grondwaterstanden (1,30 - 1,60 m -mv) varieerde het percentage organisch-fosfaat tussen de 60 en 85%. In het jaar dat de gemiddelde grondwaterstand was gestegen naar circa 0,80 m -mv nam het percentage organisch-fosfaat in de bovenste meter van het grondwater toe tot 89 - 94% van het totaal-fosfaat.

Veldonderzoek heeft aangetoond dat de fractie organisch-fosfaat in het bodemvocht (onverzadigde zone) toeneemt met de diepte (Chardon e.a., 1997). In het bodemvocht van de bouwvoor (0-0,30 m -mv) is het percentage organisch-fosfaat laag; 7-8% van het totaal-fosfaat. In de lagen 0,50 tot 0,80 m -mv neemt dit percentage toe tot 53-58%. Toepassing van dierlijke mest in plaats van kunstmest leidde in de experimenten niet tot een hoger percentage organisch-fosfaat (Chardon e.a., 1997).

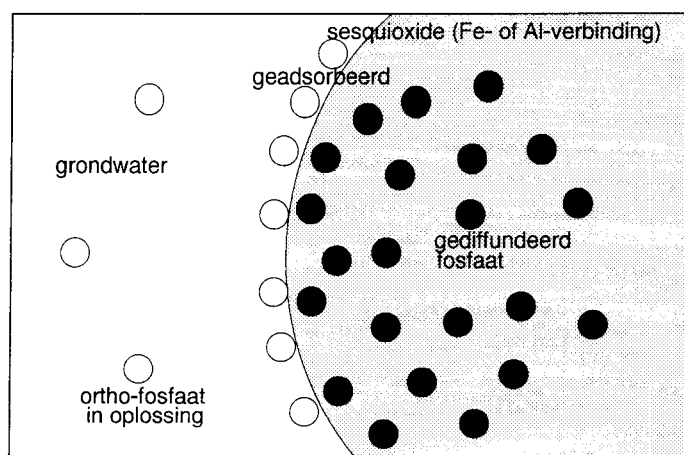
Hiermee is de laatste jaren duidelijk geworden dat een aantal vraagtekens geplaatst kunnen worden bij de door de TCB aangenomen bijdrage van het organisch-fosfaat aan de totale fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.

2.2.3. Hoe gedraagt fosfaat zich in de bodem?

Het gedrag van organisch-fosfaat in de bodem vertoont grote gelijkens met het gedrag van organisch-stikstof in de bodem en meer algemeen met dat van de organische stof. Mineralisatie (vrijkomen) en immobilisatie (vastlegging) van organisch-fosfaat vinden gelijktijdig plaats in een bodem. Plantenresten en dierlijke mest zijn bronnen voor organisch-fosfaat. Via afbraak door bodemorganismen worden deze omgezet in organisch-fosfaatverbindingen en anorganisch-fosfaat (zie *Figuur 2.1*).

De hoeveelheid organisch-fosfaat die uitspoelt, is afhankelijk van de concentratie aan opgeloste organische stof (DOC) in het uitspoelende water. Zoals uit de voorafgaande paragraaf bleek is het aandeel organisch-fosfaat in het bovenste grondwater groter dan tot nu toe werd aangenomen. Een relatie tussen het aandeel organisch-fosfaat in het uitspoelende water en het gebruik van dierlijke mest is niet aangetoond (Chardon e.a., 1997). Gezien de complexiteit van de dynamiek van de organische stof in de bodem, is het nog niet goed mogelijk het gedrag van het organisch-fosfaat te voorspellen.

Over het gedrag van anorganisch-fosfaat is in kwantitatieve zin meer bekend. Het anorganische-fosfaat kan in de bodem worden gebonden aan verschillende soorten bodemdeeltjes, zoals kleimineralen, organische en anorganische ijzer- en aluminiumverbindingen (sesquioxiden) en kalk. In kalkloze zandgronden zijn het vooral de sesquioxiden die het fosfaat vastleggen.



Figuur 2.2: Vereenvoudigde weergave van het voorkomen van anorganisch fosfaat in de bodem. Het fosfaat komt voor in oplossing, geadsorbeerd aan ijzer- en aluminiumverbindingen (sesquioxiden) en als 'gediffundeerd'-fosfaat in de sesquioxiden.

Het fosfaat wordt op twee manieren door de sesquioxiden vastgelegd, namelijk via adsorptie en na diffusie. Adsorptie is een snel verlopende oppervlaktereactie (< 1 dag). Diffusie is een langdurig proces, waarbij het fosfaat het oxyde binnengaat en wordt omgezet in een fosfaat-sesquioxydeverbinding of gebonden wordt aan de wanden binnen in het oxyde (Van der Zee, 1986; Schoumans, 1995). In *Figuur 2.2* is dit op een vereenvoudigde wijze weergegeven. Van der Zee e.a. (1990b) gaan er vanuit dat circa 33% van het vastgelegde fosfaat in reversibele geadsorbeerde vorm aanwezig is.

Deze verschillen in bindingsmechanisme zijn ook van belang voor de omgekeerde situatie, waarbij fosfaat teruggaat naar de waterfase. De waterfase is de verzamelterm voor het bodemvocht (het water in de wateronverzadigde bodem) en het grondwater (het water in de waterverzadigde bodem). Dit omgekeerde proces vindt plaats als de concentratie in de waterfase laag is geworden, bijvoorbeeld door de opname van fosfaat door plantenwortels. Het fosfaat dat in geadsorbeerde vorm aanwezig is, zal snel gedesorbeerd worden. De desorptie stopt als een nieuw evenwicht bereikt is tussen de hoeveelheid in de waterfase en de hoeveelheid geadsorbeerd aan de bodemdeeltjes. Het in oplossing gaan van gediffundeerd fosfaat vindt pas plaats als er geen geadsorbeerd fosfaat meer is.

Er wordt in het protocol fosfaatverzadigde zandgronden vanuit gegaan dat de hoeveelheid gediffundeerd fosfaat geen rol speelt bij de uitspoeling naar diepere lagen (Van der Zee, 1990a). Impliciet wordt dus verondersteld dat de fosfaatconcentratie die ontstaat door het vrijkomen van het gediffundeerde fosfaat lager zal zijn dan de TCB-advieswaarde van 0,10 mg.l⁻¹. Er is nooit experimenteel vastgesteld welke concentraties ontstaan als al het

geadsorbeerde fosfaat verwijderd is en er alleen nog gediffundeerd fosfaat beschikbaar is (Schoumans, mondelinge mededeling). Een mogelijk aanwijzing levert het onderzoek van Freeze e.a. (1995). Zij vinden bij de extractie van fosfaat van sterk tot oververzadigde grondmonsters m.b.v. een met ijzerhydroxyde gevuld kousje in water dat (1) fosfaatdesorptie blijft doorgaan, ook na 500 uur extractie en (2) de fosfaatconcentratie daalt in de eerste 100 uur van een niveau van 1,5 - 4,5 mg.l⁻¹ tot circa 0,15 mg.l⁻¹ en na 500 uur een niveau heeft bereikt van minder dan 0,10 mg.l⁻¹.

De capaciteit van de bodem om fosfaat vast te leggen kan worden bepaald door de hoeveelheid sesquioxiden (M_{ox}) te bepalen. De hoeveelheid sesquioxiden in een bodem wordt bepaald door een grondmonster met een ammoniumoxalaatoplossing (zuur) te mengen, daarna de oplossing te filtreren en vervolgens het filtraat chemisch te analyseren. Niet alle sesquioxiden die bij de extractie vrijgekomen zijn, zijn beschikbaar voor het vastleggen van het fosfaat⁴. Uit onderzoek is gebleken dat ongeveer de helft van de hoeveelheid sesquioxiden die kan worden opgelost in de ammoniumoxalaatoplossing in staat is fosfaat vast te leggen. Dit is echter niet voor elke grond precies 50%, het kan variëren van 40-60% (Van der Zee e.a., 1990a). Als standaard wordt het *fosfaatbindendvermogen* (FBV) berekend met

$$(1) \quad FBV = 0,5 * M_{ox} \quad (FBV \text{ en } M_{ox} \text{ in mmol per kg grond})$$

De oxalaat-extractie wordt niet alleen gebruikt om na te gaan wat de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem is. In het extract wordt ook de hoeveelheid fosfaat bepaald (P_{ox}), in principe zowel organisch- als anorganisch-fosfaat dat vastgelegd is door sesquioxiden. Hierop wordt teruggekomen in §2.7.2.

⁴ Het is theoretisch mogelijk dat wel alle geëxtraheerde sesquioxiden meedoen, er zijn dan twee moleculen Fe of Al nodig om één molecuul fosfaat te binden. Afwijking van de 2 : 1 verhouding zou dan kunnen worden veroorzaakt door de interactie tussen de sesquioxiden en organische stof, waardoor een 1 : 1 binding kan ontstaan. Ook de vorming van calciumfosfaat in de bouwvoor zou de afwijking van de 2 : 1 verhouding kunnen verklaren (Chardon, mondelinge mededeling).

2.3. Fosfaatverzadigde grond

2.3.1. Wanneer is een grond of perceel fosfaatverzadigd?

Het onderzoeken of grond wel of niet fosfaatverzadigd is, gebeurt per perceel. In het protocol fosfaatverzadigde gronden wordt voor fosfaatverzadiging de volgende definitie gegeven (Van der Zee e.a., 1990a):

Een perceel wordt verondersteld fosfaatverzadigd te zijn, indien door uitspoeling de gemiddelde fosfaatconcentratie, die een gekozen referentievlak passeert, vanuit milieuhygiënisch oogpunt in oppervlaktewater niet aanvaardbaar geacht wordt.

Als referentievlak is gekozen voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). In de volgende paragraaf wordt hier verder op in gegaan. De maximaal toelaatbare concentratie aan ortho-fosfaat (anorganisch) is gesteld op 0,10 mg.l⁻¹. Beide zijn tot stand gekomen op basis van een advies van de TCB (1990). Het TCB-advies stelt dat 0,10 mg.l⁻¹ ortho-fosfaat bij zandgronden als representatieve waarde voor onbelaste situaties wordt beschouwd; zie ook §2.2.2.

Van der Zee e.a. (1990b) berekenen dat een perceel fosfaatverzadigd is, volgens de bovenvermelde definitie en de gegeven maximaal toelaatbare ortho-fosfaatconcentratie, als in de bodemlaag tot aan het referentievlak meer dan 25% van het fosfaatbindendvermogen (FBV) bezet is. Het FBV van het perceel wordt bepaald door het perceel te bemonsteren tot aan het referentieniveau, en het FBV van het grondmonster te bepalen (zie §2.2.3). Tevens wordt de hoeveelheid gebonden fosfaat bepaald (P_{ox}). De *fosfaatverzadigingsgraad* (FVG) van de grond kan berekend worden met:

$$(2) \quad FVG = 100 * P_{ox} / FBV (\%) \quad (FBV \text{ en } P_{ox} \text{ in mmol per kg grond})$$

In het protocol (Van der Zee e.a., 1990b) wordt bovendien aangegeven dat het criterium van fosfaatverzadiging ($FVG > 25\%$) zodanig gekozen is dat ook na beëindiging van overmatige mestdosering geen onaanvaardbare verhoogde uitspoeling van fosfaat plaatsvindt. D.w.z. dat de ortho-fosfaatconcentratie in het grondwater op GLG-niveau lager blijft dan 0,10 mg.l⁻¹.

In het protocol is voorgesteld een perceel pas als fosfaatverzadigd aan te wijzen als de FVG groter is dan 30%, dit in verband met onzekerheden in de bemonsterings- en meetmethoden. De kans is dan klein dat de FVG van het perceel later alsnog kleiner blijkt te zijn dan 25%,.

2.3.2. Wat is de invloed van grondwatertrap en bodemtype op het fosfaatverzadigd zijn?

De bemonsteringsdiepte voor het bepalen of een grond fosfaatverzadigd is, is afhankelijk van de referentiediepte. Als referentiediepte is gekozen voor de GHG, met als maximum diepte 100 cm -mv. De motivatie voor deze maximumdiepte is onduidelijk. In *Tabel 3* zijn de referentiediepten opgenomen zoals deze in het protocol vermeld zijn. Op de bodemkaart van Nederland is het gemiddeld verloop van de grondwaterstand binnen een jaar met 10 Gt-klassen weergegeven. Een Gt-klasse wordt gekenmerkt door zowel de GHG als de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand). Sommige Gt-klassen hebben eenzelfde GHG, maar een verschillende GLG. Door de verbeterde ontwatering van de landbouwgronden heeft er in de loop van de jaren een daling plaatsgevonden van de GHG. In dezelfde tabel zijn ook recentere waarden opgenomen van de GHG's bij de verschillende Gt-klassen. Het gaat hierbij om geactualiseerde GHG's voor de op de bodemkaart voorkomende Gt-eenheden (Reijerink e.a., 1993). Vanaf 1993 worden deze laatste cijfers gebruikt voor de berekeningen van het areaal fosfaatverzadigde gronden en de uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater.

Tabel 3: *GHG-waarden en bemonsteringsdiepte voor het bepalen van het fosfaatbindendvermogen (FBV) en de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) voor de verschillende grondwatertrapklassen (Gt's). De diepten in cm -mv. Referentiediepte volgens het protocol (L) en GHG's voor en na actualisatie.
Bronnen: Van der Zee e.a. (1990b, L); Reijerink e.a. (1993, GHG's).*

Gt	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII/VII*
GHG-oud	-5	7	32	17	32	56	17	32	61	101/185
L	-(^a)	10	30	20	30	55	20	30	60	100
GHG-nieuw	21	39	39	34	34	34(^c)	50	50	62	134/170(^b)

(a) Geen waarde gegeven.

(b) Voor Gt VI en hoger worden door het SC-DLO geen berekeningen uitgevoerd voor uitspoeling naar het oppervlaktewater.

(c) Groenberg e.a. (1996) houden 60 cm aan.

Hoe groter de bemonsteringsdiepte hoe groter het fosfaatbindendvermogen van de grond. Als de hoeveelheid fosfaat die gebonden kan worden voor elke bodemlaag gelijk zou zijn, dan heeft een grond met Gt VII (L = 100) een FBV dat tweemaal zo groot is als dat van een grond met Gt V (L = 50 cm). In werkelijkheid zijn bodemlagen zelden exact gelijk in samenstelling en eigenschappen. Soms neemt het sesquioxydegehalte af met de diepte, maar soms komen juist op grotere diepte lagen met hogere sesquioxydegehalten voor. Ook is het niet altijd zo dat een grond met een Gt III een lager FBV heeft dan een grond met Gt V. Bodemvorming, zoals metaalaanrijking van de grond door ijzerrijke kwel, heeft hierbij een belangrijke rol gespeeld. In *Tabel 4* is een schatting opgenomen van het FBV voor verschillende bodemtypen bij verschillende Gt's (Reijerink e.a., 1993). In de tabel is te zien dat gemiddeld zowel een veldpodzol- als een beekerdgrond bij Gt III (GHG = 34 cm) meer fosfaat kunnen vastleggen dan een vlakvaaggrond bij Gt V (GHG = 50 cm) en zelf Gt VI (GHG = 62 cm).

Volgens Van der Zee (pers. meded.) is gekozen voor een maximale referentiediepte van 100 cm om praktische redenen, namelijk het voorkomen van veel tijd vergende diepe boringen. In België wordt het protocol toegepast zonder gebruik van een GHG. Als referentie diepte gebruikt men daar 90 cm. Als motivatie werd gegeven dat er een gebrek was aan cijfers over grondwaterstandsschommelingen tijdens de winter en dit gekoppeld aan het gegeven dat in de onderzochte regio's heel wat percelen kunstmatig gedraineerd zijn en daarmee het grondwater op een betrekkelijk laag peil wordt gehouden, zodat de 90 cm als standaard kon worden gebruikt (De Smet e.a., 1995).

Tabel 4: *Totale fosfaatbindendvermogen tot aan GHG^(a) van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen.*
Bron: Reijerink e.a., 1993.

bodemeenheid		Fosfaatbindendvermogen (in kg P ₂ O ₅ per ha)				
naam	code	III/III*	V/V*	VI	VII	VII*
zwarte enkeerd	zEZ	-	16.400	22.300	41.000	50.350
laarpodzol	cHn	-	15.000	20.100	34.450	41.000
veldpodzol	Hn	9.500	12.650	16.400	28.300	34.000
beekeerd	pZg	10.450	12.550	14.700	-	-
vlakvaag	Zn	5.050	6.350	8.150	14.350	16.900

(a) Bij berekening zijn de waarden GHG-nieuw uit Tabel 3 gebruikt.

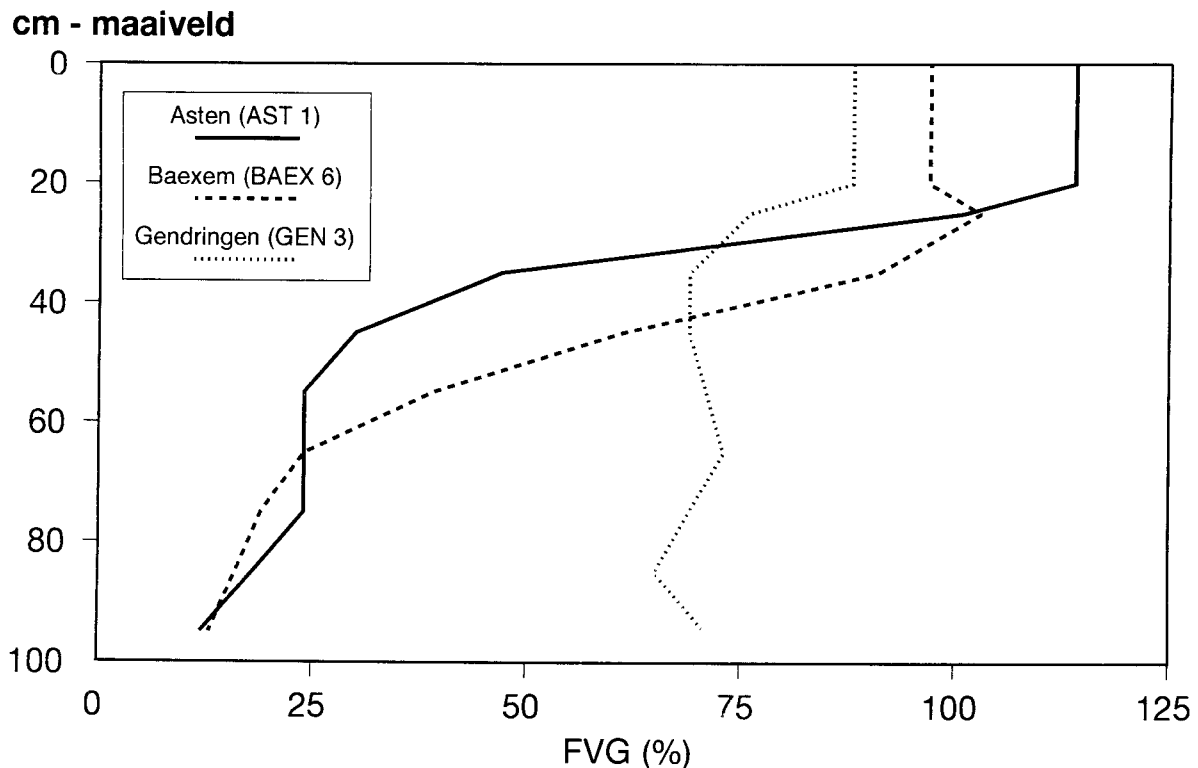
2.4. De hoeveelheid en verdeling van fosfaat in een fosfaatverzadigde bodem

2.4.1. Waar zit al het fosfaat in een fosfaatverzadigde bodem?

Fosfaat zit in elke bodem. Boven in het profiel is meestal meer fosfaat aanwezig dan onder in het profiel. Bij bos- en heidegronden wordt dit veroorzaakt doordat met name bomen fosfaat van grotere diepte hebben 'opgepompt' en via bladval hebben toegevoegd aan de toplaag. Bij landbouwgronden vindt de aanvoer van het fosfaat plaats aan het maaiveld. Door grondbewerking wordt het fosfaat op grotere diepte gebracht. Grondbewerking, zoals ploegen, komt niet alleen bij bouwland voor. Grasland wordt geregeld vernieuwd, waarbij de grond voor inzaai geploegd wordt. De frequentie van graslandvernieuwing varieert van ééns in de 5 tot ééns in de 10 jaar bij zand- en kleipercelen. Veengraslanden worden minder frequent vernieuwd. Bij ploegen wordt de bovenste 20-30 cm gemengd. Sommige gronden zijn gediëpploegd, hierbij worden bodemlagen over grotere diepte gemengd, tot wel 1 meter -mv. De verdeling in de bodem hangt naast bodemeigenschappen niet alleen af van de

grondbewerkingen die zijn uitgevoerd, maar ook van de bemestingshistorie. Eenzelfde hoeveelheid fosfaat kan aan de bodem zijn toegevoegd verspreid over een lange periode, bijvoorbeeld 40-45 jaar, maar ook pas de laatste 10 jaar. In dat laatste geval zal het fosfaat minder diep in de bodem zijn doorgedrongen dan in het eerste geval. Hoe groot deze verschillen zijn is niet bekend.

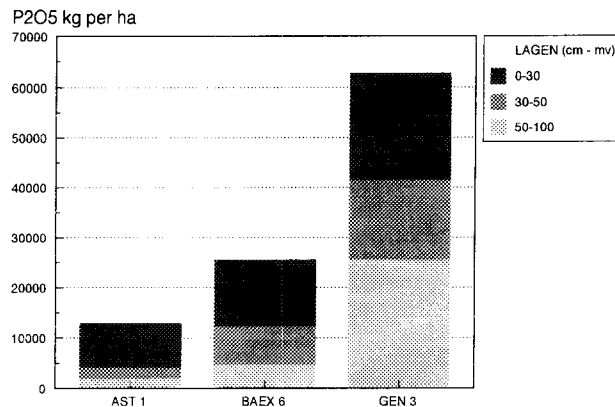
In *Figuur 2.3* zijn drie voorbeelden gegeven van het verloop van de verzadigingsgraad van de verschillende bodemlagen met de diepte. De GHG van deze percelen is onbekend. De betreffende percelen bevatten echter zoveel fosfaat, dat ze zelfs met een Gt VII fosfaatverzadigd zouden zijn. De FVG van de percelen bij een referentiediepte van 100 cm is respectievelijk 51% voor AST1 56% voor BAEX 6 en 74% voor GEN 3. Uit de figuur blijkt dat grote verschillen in het verloop van de verzadigingsgraad met de diepte kunnen voorkomen. Het verloop van de verzadigingsgraad met de diepte bij AST 1 en BAEX 6 komt overeen met het gemiddeld verloop. Dit betekent dat bij de meeste gronden het fosfaat in de bovenste 30 à 40 cm zit. Dit beeld wordt bevestigd door recente gegevens uit de RIVM-meetnetten (Fraters en Boumans, in voorbereiding).



Figuur 2.3 Verloop van de fosfaatverzadigingsgraad met de diepte voor drie percelen met een Pw-getal > 100. Gegevens uit Lexmond e.a., 1982.

2.4.2. Hoeveel fosfaat zit er in een fosfaatverzadigde bodem?

De hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar fosfaat in de bovenste meter van de percelen uit *Figuur 2.3* bedraagt 13.000 - 63.000 kg.ha⁻¹. Er vanuit gaande dat circa 10% niet extraheerbaar is, betekent dit een totale hoeveelheid fosfaat van 14.000 - 70.000 kg.ha⁻¹. De verdeling van het oxalaat-extraheerbaar fosfaat over de verschillende lagen is weergegeven in *Figuur 2.4*. Het betreft waarschijnlijk voornamelijk anorganisch-fosfaat (zie §2.7.2).



Figuur 2.4: Hoeveelheid (oxalaat-extraheerbaar) fosfaat in de percelen uit *Figuur 2.3*, en de verdeling over de lagen.

Met behulp van *Tabel 4* is te berekenen hoeveel (oxalaat-extraheerbaar) fosfaat er gemiddeld in de verschillende gronden kan voorkomen tussen maaiveld en GHG-niveau. Bij een FVG van 25% zit in een vlakvaaggrond bij GT III zo'n 1.400 kg fosfaat per ha, terwijl in een zwarte enkeerdgrond bij Gt VII* zo'n 14.000 kg zit, tienmaal zoveel. Bij een FVG van 75% zijn de hoeveelheden voor de genoemde combinaties van bodemtype en Gt respectievelijk 4.200 en 42.000 kg per ha.

2.5. Hoe groot is het areaal en in welke mate zijn gronden fosfaatverzadigd?

Een perceel is fosfaatverzadigd als de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) 25% is. Begin jaren '90 werd door het SC-DLO een schatting gemaakt van de omvang van het areaal fosfaatverzadigde percelen in het oostelijk, centrale en zuidelijk zandgebied (Breeuwsma e.a., 1990; Reijerink en Breeuwsma 1992). Zij schatten dit areaal op circa 400.000 ha, ruim 70% van het areaal landbouwgrond in deze gebieden. Mede hierom is besloten onderscheid te maken tussen verzadigde, sterk verzadigde en zeer sterk verzadigde percelen. In *Tabel 5* zijn de criteria gegeven. In de tabel is ook aangegeven tot welke ortho-fosfaatconcentratie een dergelijke verzadiging (op termijn) leidt.

Tabel 5: Klasse-indeling van de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaat-evenwichtconcentratie op GHG-niveau.
Bron: Reijerink en Breeuwsma, 1992.

mate van verzadiging	fosfaat-verzadigingsgraad (FVG in %)	areaal ^(a) (%)	ortho-fosfaatconcentratie op GHG-niveau (P mg/l)
niet verzadigd	< 25	30	< 0,1
verzadigd, waarvan	> 25	70	> 0,1
sterk verzadigd, waarvan	> 50	21	> 0,3
zeer sterk verzadigd, waarvan	> 75	6	> 0,9
oververzadigd	> 100	onbekend	> 10

(a) percentages voor het oostelijk, centrale en zuidelijke zandgebied, gebaseerd op een totaal areaal landbouwgrond in 1990 van 575.150 ha.

Oververzadiging kan voorkomen (FVG > 100%), omdat het FBV berekend wordt met een standaard factor van 0,5; zie §2.2.3.

In bovenstaande tabel is ook een indicatie gegeven van de omvang van het areaal fosfaatverzadigde gronden. Voor de drie zandgebieden (Oost, Centraal, Zuid) komt dit neer op ruim 400.000 ha. Hiervan heeft 281.000 ha een FVG tussen de 25 en 50%, 87.000 ha een FVG 50-75% en 35.000 ha een FVG >75% (Reijerink en Breeuwsma, 1992).

2.6. Hoe zijn de gronden fosfaatverzadigd geworden en wat zijn de vooruitzichten?

Voor zandgronden die in het verleden niet bemest zijn, varieert de FVG van 3-10% (Lexmond e.a., 1982, bij L = 100 cm). In het onderzoek van Lexmond e.a. komen twee referentielokaties voor met een hogere FVG, namelijk 18 en 27%. Van een hiervan is bekend dat de lokatie landbouwkundig is gebruikt. Voor vele gronden geldt dat deze ooit al eens als landbouwgrond zijn gebruikt. Het bekendste voorbeeld zijn de oude cultuurgronden (enkeerdgronden en laarpodzolgronden), die door eeuwenlange bemesting met mest uit de potstal een soms meer dan een meter dikke zwarte bovengrond hebben. Reijerink e.a. (1993) hebben berekend dat deze gronden als gevolg van deze historische bemesting al voor 1950 een fosfaatverzadigingsgraad hadden van meer dan 25%. De toestand waarin de gronden verkeerden vóór 1950 wordt als referentie beschouwd. In *Tabel 6* zijn de referentiewaarden gegeven voor de fosfaatverzadigingsgraad van de combinaties bodemtype en grondwatertrappen uit *Tabel 4*.

Tabel 6: *Referentiewaarden voor de fosfaatverzadigingsgraad van de meest voorkomende combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. Gebaseerd op gemeten gehalten in bossen en natuurterreinen in de periode 1950-1990.*
Uit: Reijerink e.a., 1993.

bodemeenheid		referentie fosfaatverzadigingsgraad ^(a) (%)				
naam	code	III/III*	V/V*	VI	VII	VII*
zwarte enkeerd	zEZ	-	40	37	26	23
laarpodzol	cHn	-	34	27	20	18
veldpodzol	Hn	9	9	9	10	10
beekeerd	pZg	13	12	13	-	-
vlakvaag	Zn	15	15	16	17	18

(a) Bij berekening zijn de waarden GHG-nieuw uit *Tabel 3* gebruikt.

Voor 1950 lag de jaarlijkse fosfaatproductie per ha landbouwgrond in de zandgebieden (de hoeveelheid fosfaat in dierlijke mest) ongeveer op een constant niveau van 60-75 kg per ha per jaar. In die tijd kwam nog nauwelijks intensieve veehouderij voor. De meeste bedrijven waren zogenaamde gemengde bedrijven waar akkerbouw ten dienste van de veehouderij stond (Reijerink e.a., 1993).

Vanaf 1950 neemt de fosfaatproductie toe. In 1960 bedraagt deze 97 kg per ha en in 1970 al 145 kg per ha per jaar. De stijging na 1970 is nog sterker. Rond 1985 bereikt de fosfaatproductie een niveau van circa 250 kg per ha per jaar. Reijerink e.a. (1993) hebben het gemiddelde fosfaatoverschot in de periode 1950 tot 1990 in het Oostelijk, Centrale en Zuidelijke zandgebied berekend voor de verschillende gewassen op basis van gegevens van het LEI-DLO. In *Tabel 7* zijn deze gegeven.

Tabel 7: *Gemiddeld fosfaatoverschot in het Oostelijk, Centrale en Zuidelijke zandgebied in de periode 1950 - 1990. Voor gras- en maïsland zijn ook de overschotten gegeven die bij respectievelijk 20% en 10% van de percelen wordt overschreden.*
Bron: Reijerink e.a., 1993 (waarden afgerond).

gewas	cumulatief fosfaatoverschot 1950 - 1990 (kg per ha)		
	gemiddeld	20% hoogste	10% hoogste
grasland	2.900	> 3.400	> 4.100
maïsland	7.000	> 11.600	> 14.100
hakvruchten	2.800	-	-
granen	2.800	-	-
overige landbouwgewassen	3.100	-	-

Het fosfaatoverschot op jaarbasis voor gras- en maïsland in de periode 1950 - 1990 was respectievelijk circa 70 en 175 kg.ha⁻¹ per jaar. Op 10% van de percelen was het jaarlijks overschot zelfs meer dan 100 kg.ha⁻¹ per jaar voor grasland en 350 kg.ha⁻¹ per jaar voor maïsland.

Sinds 1990 gelden wettelijke normen voor het gebruik van dierlijke mest. Deze normen zijn uitgedrukt in toegestane hoeveelheden fosfaat die met dierlijke mest worden opgebracht. In *Tabel 8* zijn deze fosfaatsnormen gegeven voor de periode 1991 - 1998. Het gebruik van kunstmestfosfaat is vrij. In *Tabel 9* is de ontwikkeling van de mestproductie aan fosfaat en het fosfaatkunstmestgebruik gegeven voor de periode 1986-1995. Beide vertonen een afname in deze periode.

Tabel 8: *Wettelijke normen voor het gebruik van meststoffen als fosfaat (P₂O₅) kg per ha per jaar.*
Bron: CBS, 1997.

Periode	grasland	snijmaïs	overig bouwland
1/5/'87 - 1/1/'91	250	350	125
1/1/'91 - 1/1/'93	200	250	125
1/1/'93 - 1/1/'94	200	200	125
1/1/'94 - 1/1/'95	200	150	125
1/1/'95 - 1/1/'96	150	110	110
1/1/'96 - 1/1/'98	135	110	110

Tabel 9: *Fosfaat: mestproductie en kunstmestgebruik in Nederland, totaal per hectare voor 1986 - 1995.*
Bron: CBS, 1997.

Jaar	produktie totaal (miljoen kg)		produktie per ha (kg)	
	mestproductie	kunstmestgebruik	mestproductie	kunstmestgebruik ^(a)
1986	259	120	129	41
1990			110	38
1991	225	94	113	37
1992	219	93	112	40
1993	235	82	119	35
1994	219	84	112	35
1995	210	69	107	.

(a) cultuurgrond, exclusief braakland

Het totaal fosfaatbindendvermogen van de meeste natte zandige bodemtypen varieert tussen de 10.000 en 15.000 kg fosfaat per ha (*Tabel 4*). Als we de fosfaatoverschotten uit *Tabel 7* hiermee vergelijken, dan zien we dat deze hoeveelheden vaak al genoeg zijn om de gronden

fosfaatverzadigd te laten geraken (FVG > 25%). Dit geldt met name voor maïspercelen. Daarbij is dan nog geen rekening gehouden met de hoeveelheid fosfaat die al in de bodem zat (*Tabel 6*).

Vanaf 1998 wordt het MINAS van kracht (Mineralenaangiftesysteem; LNV, 1997). Hierbij gaan voor de intensieve bedrijven (bedrijven met meer dan 2,5 GVE per ha) verliesnormen gelden. De minder intensieve bedrijven krijgen te maken met aanvoernormen voor dierlijke mest, zie *Tabel 10*.

Tabel 10: *Wettelijke normen voor gebruik van fosfaathoudende meststoffen vanaf 1998.*
Bron: LNV, 1997, 1995a.

Periode	gve-grens ^(a)	verliesnorm ^(b)	inclusief kunstmest ^(c)	overschot met lichte heffing ^(d)	aanvoernorm ^(e)
1/1/1998 - 1/1/2000	2,5	40	nee	40-50	120/100 ^(f)
1/1/2000 - 1/1/2002	2,5	35	ja	35-45	85
1/1/2002 - 1/1/2005	2,0	30	ja	30-40	80
1/1/2005 - 1/1/2008	2,0	25	ja	25-30	80
na 1/1/2008	.	20	ja	.	80

- (a) Grootvee-eenheid; 1 gve = aantal dieren waarvan de mestproductie (in fosfaat) gelijk is aan de mestproductie van 1 melkkoe.
 (b) Tevens aanvoernorm voor braakland.
 (c) Aangegeven is of kunstmest moet worden meegenomen in de berekening van het overschot.
 (d) Voor 1998 en 1999 bedraagt de lichte heffing f 2,50 per kilo, de heffing voor een hoger overschot bedraagt f 10,- per kilo fosfaat. Vanaf 2000 zijn de bedragen respectievelijk f 5,- en f 20,-.
 (e) De aanvoernorm betreft naast aanvoer ook dierlijke mest geproduceerd op het eigen bedrijf. Kunstmestfosfaat wordt niet gereguleerd op deze bedrijven.
 (f) De hoogste waarde geldt voor grasland, de laagste voor bouwland.

Uit bovenstaande tabel wordt duidelijk dat met het MINAS beoogd wordt het gebruik van fosfaat geleidelijk terug te dringen. Hierbij zijn twee opmerkingen te maken:

1. De fosfaatgift blijft ook na 2008 groter dan de afvoer met het gewas, de ophoping van fosfaat in de bodem wordt niet tot staan gebracht;
2. De normen in het MINAS houden geen rekening met de fosfaattoestand van de bodem. Wel biedt de meststoffenwet (artikel 13ae; LNV, 1997) de mogelijkheid via een algemene maatregel van bestuur een afwijkende hoeveelheid vast te stellen van maximaal 50 kg per ha per jaar als de fosfaattoestand of bodemgesteldheid hiertoe aanleiding geven. Echter, een negatieve verliesnorm wordt juridisch moeilijk haalbaar geacht met MINAS. Een nulbemesting is wat de berekening betreft wel in te passen, maar juridisch niet, althans geforceerd (Woldendorp, pers. meded.).

2.7. Fosfaattoestand, bemestingsadvies en fosfaatverzadiging

2.7.1. Waarom en hoe wordt de fosfaattoestand bepaald?

De fosfaattoestand van een perceel wordt bepaald voor het beoordelen van de bodemvruchtbaarheidstoestand en het geven van een bemestingsadvies. De fosfaattoestand geeft een indicatie van de hoeveelheid fosfaat die beschikbaar is voor het gewas. Via o.a. proefveldonderzoek is een relatie gevonden tussen de fosfaattoestand, de fosfaatbemesting en de gewasopbrengst. Omdat gewassen verschillen in de tijd die ze hebben om het fosfaat te onttrekken (lengte van het groeiseizoen) en de diepte waarop ze het fosfaat weghalen (bewortelingsdiepte) worden verschillende methoden en bemonsteringsdiepten gebruikt voor het vaststellen van de fosfaattoestand.

Bij bouwland, inclusief maïsland, wordt de bouwvoor bemonsterd. De diepte van bemonstering is meestal 20-25 cm (zie *Tabel 11*). Met water wordt het fosfaat uit het grondmonster losgemaakt. Na filtreren wordt in het water de hoeveelheid fosfaat bepaald. Deze hoeveelheid wordt het Pw-getal genoemd. Bij grasland wordt alleen de zode bemonsterd. De diepte van bemonstering is meestal zo'n 5 cm. Om het fosfaat los te maken wordt geen water maar een zwak zuur gebruikt (ammoniumlactaat-azijnzuur-oplossing). De hoeveelheid fosfaat die op deze manier wordt vrijgemaakt wordt het P-Al-getal genoemd. Pw- en P-Al-getal zijn niet direct vergelijkbaar. Het Pw-getal wordt uitgedrukt in de hoeveelheid fosfaat die vrijkomt per liter grond. Het P-Al-getal wordt uitgedrukt in de hoeveelheid fosfaat die vrijkomt per 100 gram grond. In *Tabel 11* is een overzicht opgenomen van de bemonsteringsdiepte en analysemethode voor de verschillende vormen van bodemgebruik.

Tabel 11 *Overzicht van de karakterisering van de fosfaattoestand en de diepte van bemonstering voor de verschillende vormen van bodemgebruik.*

Bron: Oenema en Van Dijk, 1994.

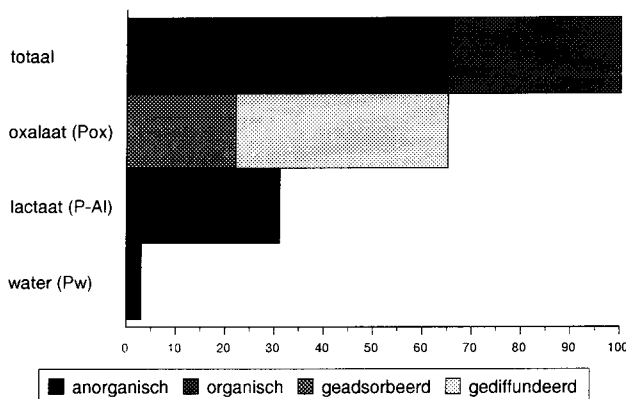
bodemgebruik	karakterisering fosfaattoestand	traject van bemonstering (cm -mv)
snijmaïs, voedergewassen, overige akkerbouw en bloembollenteelt	Pw-getal	0 - 20/25
grasland	P-Al-getal	0-5
fruitteelt	P-Al-getal	0-25
vollegrondsgroenteteelt (intensief) en boomteelt	Pw-getal en P-Al-getal	0-20/25

2.7.2. Welk fosfaat wordt gemeten bij het bepalen van de fosfaattoestand?

Er zijn in de afgelopen decennia vele methoden ontwikkeld om bodemfosfaat te extraheren. Voor nagenoeg alle extractiemethoden geldt (1) dat zowel organisch- als anorganisch-fosfaat wordt vrijgemaakt en (2) dat er altijd nog een deel van het fosfaat achterblijft in het bodemmateriaal (zie bijvoorbeeld Iyamuremye e.a., 1996). Dit achterblijvende fosfaat kan alleen volledig vrijgemaakt worden door bijvoorbeeld het monster met een sterk zuur te destrueren. Onderscheid in het destruaat tussen organisch- en anorganisch-fosfaat is niet meer te maken, omdat de organische verbindingen kapot gemaakt zijn. In een extract kan over het algemeen wel onderscheid worden gemaakt tussen organisch- en anorganisch-fosfaat (zie voetnoot 2, blz. 14). Bij sommige extractiemiddelen, zoals 0,1 M NaOH bestaat het vermoeden dat bij extractie een deel van het organisch-fosfaat wordt omgezet in anorganisch-fosfaat (Nair e.a., 1995).

In Nederland zijn naast de totaal-fosfaatbepaling (destructie) drie extractiemethoden gangbaar. Voor landbouwkundige doeleinde zijn dit een water-extractie (Pw-bepaling) en een ammoniumlactaat-extractie (P-Al-bepaling). Voor milieudoeleinde is de oxalaat-extractie (P_{ox} -bepaling) in gebruik. Bij de Pw- en P-Al-bepaling wordt in het extract alleen het anorganisch-fosfaat gemeten (Houba e.a., 1979). Een totaal-fosfaatbepaling in deze extracten ligt niet voor de hand, omdat het meer werk betekent en de relaties tussen de op huidige manier bepaalde getallen, bemestingsadviesering en gewasopbrengsten voldoen. Bij de P_{ox} -bepaling wordt in het extract totaal-fosfaat bepaald (Lexmond e.a., 1982). Lexmond e.a. (1982, blz. 76) stellen dat uit vergelijking met eerder onderzoek geconcludeerd kan worden dat dit overwegend anorganisch-fosfaat is. Zij stellen met deze methode 93% van het totaal in de bodem aanwezige fosfaat te extraheren. Reijerink e.a. (1993) rapporteren dat er aanwijzingen zijn dat dit percentage te hoog is. Zij berekenen voor bosgronden een percentage van 60%. Een analyse van de gegevens uit het LMB (Fraters en Boumans, in voorbereiding) wijst uit dat voor de bouwvoor van landbouwgronden in de zandgebieden geldt dat met oxalaat gemiddeld 65% van het totaal-fosfaat wordt geëxtraheerd, variërend van 34-94%. Als we er van uitgaan dat met de oxalaatextractie al en alleen maar het anorganisch-fosfaat wordt geëxtraheerd, betekent dit dat het aandeel organisch-fosfaat in de bouwvoor gemiddeld 35% is, variërend van 6-66%.

Bij de P-Al-bepaling wordt circa tien keer zoveel anorganisch-fosfaat losgemaakt bij eenzelfde hoeveelheid bodemmateriaal als bij de Pw-bepaling. Bij de P-Al-bepaling wordt in het extract minder dan de helft teruggevonden van de totale hoeveelheid fosfaat in het grondmonster. Het zuur dat gebruikt wordt bij de P-Al-bepaling is zwak en bovendien wordt alleen gekeken naar het anorganisch-fosfaat. In *Figuur 2.5* is schematisch samengevat, welke hoeveelheid fosfaat geadsorbeerd is en welke hoeveelheid wordt vrijgemaakt met verschillende extractiemethoden (zie §2.2.3).



Met de Pw-bepaling wordt maar een deel van het geadsorbeerde fosfaat verwijderd. Met de P-Al-bepaling wordt behalve het geadsorbeerde fosfaat ook een deel van het gediffundeerd ("irreversibel gebonden") fosfaat losgemaakt uit het grondmonster (Schoumans e.a., 1991).

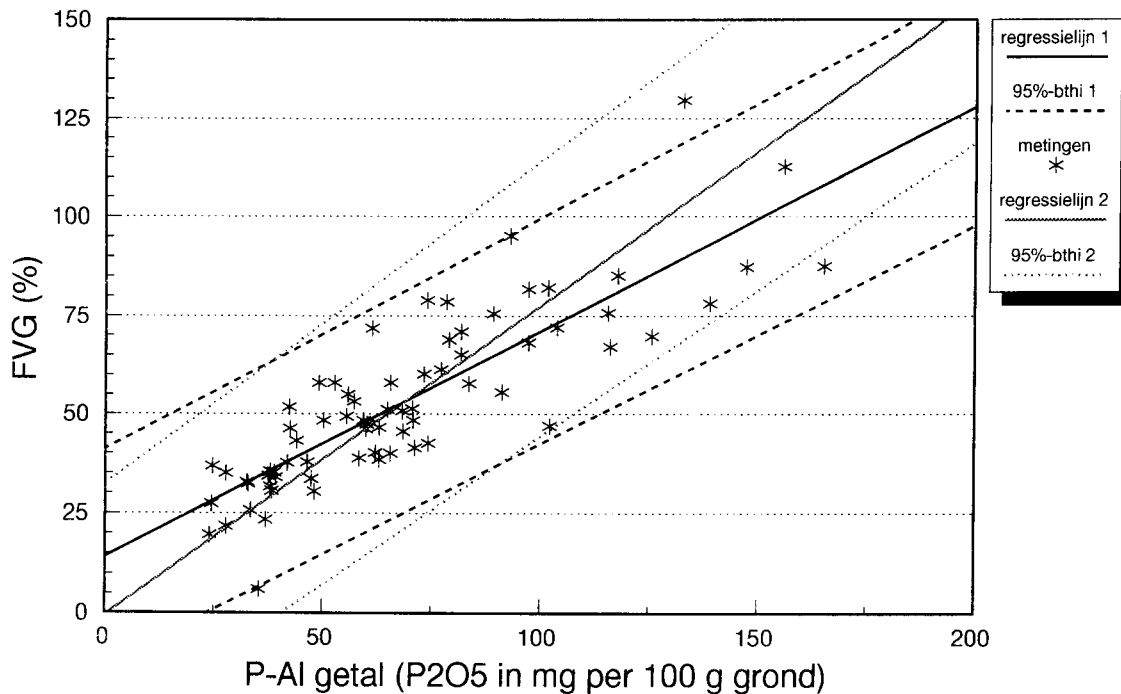
Figuur 2.5: Fosfaatfracties losgemaakt met verschillende extractiemethoden ten opzicht van de totale hoeveelheid fosfaat in de bouwvoor.

2.7.3. Is er een relatie tussen de fosfaattoestand en de fosfaatverzadigingsgraad?

De fosfaattoestand en fosfaatverzadigingsgraad van een perceel zijn ongelijke grootheden. De fosfaattoestand zegt iets over de hoeveelheid fosfaat beschikbaar voor het gewas in de toplaag van de bodem (zie §2.7.1). De fosfaatverzadigingsgraad daarentegen zegt iets over de mate waarin de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem tot aan GHG verbruikt is (zie §2.3). De fosfaatverzadigingsgraad heeft dus meestal betrekking op een veel groter deel van de bodem dan de fosfaattoestand.

Anderzijds blijkt dat bij beschouwing van een grondmonster er op zijn minst een relatie is tussen de hoeveelheid fosfaat die met oxalaat wordt losgemaakt en de hoeveelheden die bij de Pw- en P-Al-bepaling worden losgemaakt (zie vorige paragraaf, *Figuur 2.5*). Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat er ook een relatie is tussen de fosfaatverzadigingsgraad van een grondmonster en de fosfaattoestand van dat monster (Lexmond e.a., 1982 voor Pw; Schoumans e.a., 1991 voor Pw en P-Al; Chardon, 1994 voor Pw). Een voorbeeld is opgenomen in *Figuur 2.6*. Voor verdere details wordt verwezen naar Fraters en Boumans (in voorbereiding). Van der Zee (1996) heeft een vergelijking afgeleid om het Pw-getal te berekenen uit de hoeveelheid fosfaat en sesquioxiden gevonden in het oxalaatextract t.b.v. de

bepaling van de fosfaatverzadigingsgraad van een grondmonster. De met deze vergelijking berekende Pw-getallen komen goed overeen met de gemeten Pw-waarden.



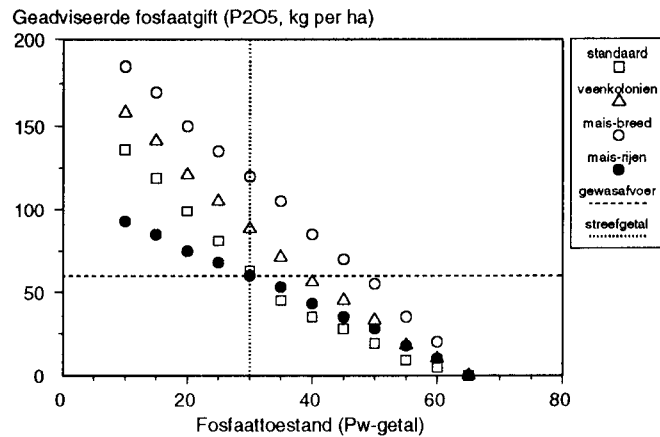
Bron: SC-DLO
Bewerking: RIVM

Figuur 2.6: Relatie tussen het P-Al-getal en de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) van een grondmonster. Regressielijn 1 en het 95%-betrouwbaarheidsinterval 1 (bthi 1) zijn berekend met $FVG = a + b * P-Al$, regressielijn 2 en bthi 2 met $P-Al = c + d * FVG$
Gegevens: Schoumans e.a., 1991.

Op basis van de relatie tussen de FVG en de fosfaattoestand van grondmonsters die representatief zijn voor de bouwvoor, kan een schatting worden gemaakt van de FVG van een perceel als de fosfaattoestand van de bouwvoor bekend is. Een dergelijke methode is toegepast door Schoumans (1991). Een aangepaste versie van de door Schoumans gehanteerde methode is gebruikt Fraters en Boumans (in voorbereiding) om een schatting te maken van de bruikbaarheid van de fosfaattoestand voor het selecteren van percelen (zie §3.3.3).

2.7.4. Hoe beïnvloedt de fosfaattoestand het bemestingsadvies?

De fosfaattoestand wordt om landbouwkundige redenen bepaald. Voor zowel P-Al- als Pw-getal zijn waarderingsklassen gemaakt (zie Tabel 12). Per landbouwsector zijn gedetailleerde schema's voor bemestingsadvisering ontwikkeld per waarderingsklasse (IKC, 1992 en 1994). In Figuur 2.7 is de relatie tussen de fosfaattoestand en de adviesgift weergegeven voor bouwland. In de figuur zijn ook het streefgetal (Pw-getal = 30) en de



Figuur 2.7: fosfaatbemestingsadvies voor bouwland bij verschillen in fosfaattoestand voor verschillende gewascombinaties (zie tekst).

gemiddelde gewasafvoer voor bouwland (60 kg) aangegeven. In §4.3 wordt teruggekomen op de fosfaatafvoer met het gewas. Het bemestingsadvies, bij een bepaalde fosfaattoestand, is afhankelijk van het gewas. Bij bijvoorbeeld aardappelen wordt bij eenzelfde fosfaattoestand een grotere gift geadviseerd dan bij wintertarwe. In Figuur 2.7 zijn voor twee bouwplannen de gemiddelde jaarlijkse adviesgiftten gegeven. Ten eerste voor een bouwplan van aardappelen, suikerbieten en tweemaal wintertarwe (standaard) en ten tweede voor een bouwplan met tweemaal (fabrieks)aardappelen, suikerbieten en wintertarwe (veenkoloniën). Daarnaast is de adviesgift voor maïsland vermeld, zowel bij breedwerpige bemesting als bemesting in de rij.

Tabel 12: Waardering van de fosfaattoestand van grasland (P-Al-getal) en bouwland (Pw-getal); IKC (1992 en 1994).

Waardering	P-Al-getal			Pw-getal
	Löss	Rivierklei	Overige grondsoorten	Alle grondsoorten
zeer laag				< 11
laag	< 13	< 15	< 18	11 - 20
vrij laag	13 - 19	15 - 24	18 - 29	
voldoende	20 - 29	25 - 34	30 - 39	21 - 30
ruim voldoende	30 - 45	35 - 55	40 - 55	31 - 45
vrij hoog				46 - 60
hoog	> 45	> 55	> 55	> 60

De conclusie is dat voor percelen met een standaard bouwplan en met een fosfaattoestand rond de streefwaarde de adviesgift ongeveer gelijk is aan de afvoer met het gewas. Bij opname

in het bouwplan van meer fosfaatbehoefte gewassen, zoals in het veenkoloniale bouwplan, wordt 25-30 kg meer gegeven dan de afvoer met het gewas. Als uit wordt gegaan van de gemiddeld lagere fosfaatafvoer met het gewas in het veenkoloniale bouwplan (50 i.p.v. 60 kg.ha⁻¹, zie *Tabel 25*) dan is het overschot nog groter. Bij een fosfaattoestand van 40 is het advies gelijk aan de fosfaatafvoer met het gewas. Bij breedwerpig bemeste maïs geldt dat bij een fosfaattoestand van ongeveer 50 de adviesgift gelijk is aan de afvoer met het gewas.

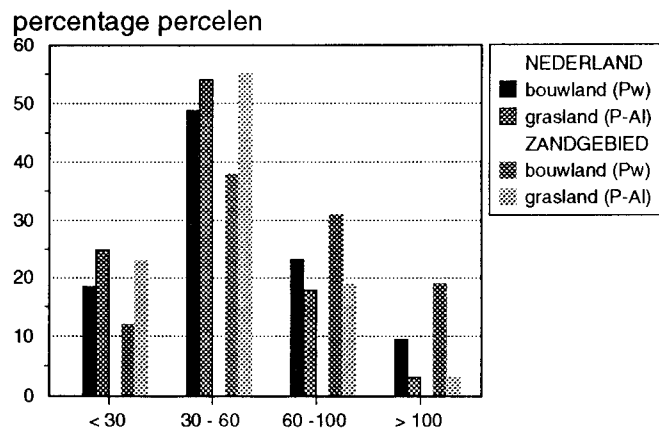
2.7.5. Hoe is de fosfaattoestand van landbouwgronden?

Het beeld van de fosfaattoestand (Pw- en P-AL-getal) voor landbouwgronden in Nederland in 1992 is weergegeven in *Figuur 2.8* (DSM, 1993). Hierbij is dezelfde klassenindeling gebruikt voor gras- en bouwland c.q. voor Pw- en P-AL-getal. Dit is conform eerdere studies t.b.v. het beleid (bijvoorbeeld Oenema en Van Dijk, 1994). Uit de figuur is af te leiden dat zo'n 33% van de bouwlandpercelen (Pw-getal) en 21% van de graslandpercelen (P-AL-getal) in Nederland in 1992 een fosfaattoestand had groter dan 60, terwijl 18% van de bouwland- en 25% van de graslandpercelen een fosfaattoestand kleiner dan 30 had. Het aandeel percelen met een toestand minder dan voldoende (fosfaattoestand <20) bedroeg in 1992 6% voor bouwland en 7% voor grasland (niet in de figuur weergegeven).

In *Figuur 2.8* is ook de toestand gegeven voor de percelen op de kalkarme zandgronden. In totaal heeft 50% van de bouwlandpercelen in het zandgebied een fosfaattoestand hoger dan 60, dit is groter dan de 33% voor heel Nederland. Voor grasland is het percentage van 22% percelen met een toestand groter dan 60 nagenoeg gelijk aan dat voor

Nederland. De percentages percelen met een fosfaattoestand kleiner dan

30 zijn in het zandgebied lager dan gemiddeld in Nederland. Van de bouwlandpercelen in het zandgebied heeft 12% een Pw-getal <30 t.o.v. 18% voor Nederland. Van de graslandpercelen in het zandgebied heeft 23% een P-AL-getal <30 t.o.v. 25% voor Nederland. In §3.2 wordt de



Figuur 2.8: fosfaattoestand voor landbouwpercelen in Nederland en in de zandgebieden in 1992 (DSM, 1993).

fosfaattoestand in de verschillende gebieden van Nederland uitgebreider vergeleken met behulp van recentere gegevens.

Al begin jaren '70 was de fosfaattoestand in de verschillende zandgebieden op 30-40 % van de bouwlandpercelen voldoende en op 50-60% van de percelen hoog. Voor grasland waren deze percentages 40-55% (voldoende) en 15 - 50% hoog (Westhoek, 1995).

De Nederlandse landbouwgronden zijn over het algemeen rijk aan fosfaat. Zo'n 26% van de landbouwpercelen heeft een fosfaattoestand hoog (>60), terwijl 6-7% een fosfaattoestand heeft in de klasse laag of zeer laag (<20).

De gegevens over de fosfaattoestand zijn afkomstig van het Bedrijfslaboratorium voor Gronden en Gewasonderzoek te Oosterbeek (BLGG). Het BLGG verricht routinematig analyses in opdracht van het landbouwbedrijfsleven. Bij de rapportages wordt ervan uitgegaan dat de resultaten in overzichten, die per landbouwgebied en per grondsoort de vruchtbaarheidstoestand aangeven representatief zijn (DSM, 1993). De redenering hierachter is o.a. dat landbouwers behoefte hebben aan algemene informatie over de bodemvruchtbaarheid van hun percelen. Ook in geval men er zeker van is dat fosfaat geen probleem is, zal men toch voor de andere parameters het perceel laten analyseren. De fosfaattoestand zit standaard in het analysepakket, en zo worden dan gronden met een hoge fosfaattoestand niet gemist. Zowel ouder als recent onderzoek geeft echter aanleiding vraagtekens te plaatsen bij deze veronderstelling. Lexmond e.a. (1982) bemonsterde 61 gras- en bouwlandpercelen op 18 landbouwbedrijven in het zandgebied. Het betrof voornamelijk bedrijven met mest- en/of fokvarkens (14). Van de percelen had 28% een Pw-getal <60, 48% had een Pw-getal >100 en 31% een Pw-getal groter dan 150. Schoumans e.a. (1991) rapporteren resultaten van twee onderzoeken uitgevoerd in Drenthe en Overijssel. Van de 74 gras- en bouwlandpercelen op bedrijven in vier gemeenten had 61% een Pw-getal <60, terwijl 26% een Pw-getal > 100 en 11% een Pw-getal >150 had. CSO (1996a) rapporteert dat in de Provincie Noord-Brabant 25% van het bouwland op zand een Pw-getal heeft >185. De maximum gerapporteerd waarde is 2500.

De conclusie is dat de gepresenteerde cijfers berekend op basis van BLGG-gegevens een onderschatting geven van de werkelijke situatie. De zwaarst bemeste percelen zitten naar alle waarschijnlijkheid niet in de steekproef.

2.7.6. Wat is het fosfaatoverschot in 1998 als landbouwpercelen bemest worden volgens het bemestingsadvies?

De vraag “wat wordt het fosfaatoverschot in 1998 als de landbouwpercelen bemest worden volgens het bemestingsadvies” wordt beantwoord voor de situatie dat (1) alle landbouwpercelen in heel Nederland volgens het advies bemest gaan worden en (2) als dit alleen in de zandgebieden zou gebeuren.

Voor de berekening van het mestoverschot op bedrijfsniveau in 1998 hanteren we de volgende uitgangspunten:

1. Bij een fosfaattoestand tussen de 30 en 60 is de fosfaatgift gelijk aan de afvoer via het gewas;
2. Bij een fosfaattoestand groter dan 60 blijft bemesting achterwege (zie *Figuur 2.7*);
3. Bij een fosfaattoestand kleiner dan 30 wordt bemest aan de hand van de normen in de Integrale Notitie (LNV, 1995a), bij de berekening kan deze categorie hier buitenbeschouwing blijven;
4. De fosfaatafvoer met het gewas is voor bouwland $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ per jaar en voor grasland (alleen maaien) $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ per jaar.

De schattingen van de arealen met een fosfaattoestand 30-60 en >60 zijn gebaseerd op de gegevens over de fosfaattoestand in 1992 (DSM, 1993) en de arealen bouw- en grasland in 1993 (LEI-DLO metelling, Milieubalans 1996).

Bij de bemesting volgens de verliesnormen als vermeld in de Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid (LNV, 1995a) wordt geen rekening gehouden met de fosfaattoestand van de bodem. In 1998 geldt voor alle gronden, ongeacht de fosfaattoestand, een heffingvrij overschot van $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Deze hoeveelheid mag in aanvulling op de gewasafvoer worden toegediend. Als de huidige bemestingsadviezen zouden worden opgevolgd ontstaat een extra hoeveelheid mest die elders moet worden afgezet c.q. verwerkt bovenop het overschot dat al voortvloeit uit het in de Integrale Notitie geformuleerde beleid. Deze extra hoeveelheid bedraagt 95 miljoen kg fosfaat als dit wordt gerealiseerd op alle landbouwpercelen in Nederland (zie *Tabel 13*) en 42 miljoen kg als de actie beperkt blijft tot de percelen in de zandgebieden (zie *Tabel 14*).

Tabel 13: Raming van het extra fosfaatoverschot als bemest wordt volgens de huidige bemestingsadviezen t.o.v. toegestane bemesting volgens de Integrale Notitie (zie tekst voor aannamen).

grondgebruik	P-toestand	oppervlak ^(a) (1000 ha)	extra fosfaatafvoer (kg.ha ⁻¹)	totale extra fosfaatafvoer (miljoenen kg)
bouwland	30-60	437	40 ^(b)	17
	> 60	293	100 ^(c)	29
grasland	30-60	574	40 ^(b)	23
	>60	224	115 ^(d)	26
totale extra afvoer				95

- (a) Berekend met het oppervlak bouw- en grasland op zandgronden voor 1993 (LEI-cijfers, Milieubalans 1996) en de verdeling over de fosfaattoestandklasse in 1992 (DSM, 1993).
 (b) Volgens bemestingsadvies wordt alleen gewasafvoer gecompenseerd, bij IN is 40 kg bovenop afvoer toegestaan.
 (c) Som van 40 kg toegestane overschot plus gemiddelde afvoer met gewas van 60 kg.
 (d) Som van 40 kg toegestane overschot plus gemiddelde afvoer met gewas van 75 kg.

Tabel 14: Raming van het extra fosfaatoverschot als in de zandgebieden bemest wordt volgens de huidige bemestingsadviezen t.o.v. toegestane bemesting volgens de Integrale Notitie (zie tekst voor aannamen).

grondgebruik	P-toestand	oppervlak ^(a) (1000 ha)	extra fosfaatafvoer (kg.ha ⁻¹)	totale extra fosfaatafvoer (miljoenen kg)
bouwland	30-60	123	40 ^(b)	4,9
	> 60	160	100 ^(c)	16,0
grasland	30-60	241	40 ^(b)	9,6
	>60	96	115 ^(d)	11,0
totale extra afvoer				41,5

- (a) Berekend met het oppervlak bouw- en grasland op zandgronden voor 1993 (LEI-cijfers, Milieubalans 1996) en de verdeling over de fosfaattoestandklasse in 1992 (DSM, 1993).
 (b) Volgens bemestingsadvies wordt alleen gewasafvoer gecompenseerd, bij IN is 40 kg bovenop afvoer toegestaan.
 (c) Som van 40 kg toegestane overschot plus gemiddelde afvoer met gewas van 60 kg.
 (d) Som van 40 kg toegestane overschot plus gemiddelde afvoer met gewas van 75 kg.

Om het fosfaatoverschot per hectare terug te brengen tot 40 kg.ha⁻¹ moet in 1998 een hoeveelheid dierlijke mest van 92 miljoen kg fosfaat elders worden afgezet of verwerkt, dit is 4 miljoen kg fosfaat meer dan in 1996 (Integrale Notitie, LNV, 1995a, blz. 20, tabel 5.1).

Wanneer de bemesting volgens de bemestingsadviezen uitgevoerd zou worden voor percelen met een fosfaattoestand ruim voldoende en hoog moet op landelijke schaal nog eens voor 95 miljoen kg fosfaat een oplossing worden gevonden. In geval de bemestingsadviezen alleen voor de zandgebieden toegepast worden, leidt dit tot een extra overschot van naar schatting 42 miljoen kg fosfaat.

Een deel van dit extra overschot zou mogelijk geplaatst kunnen worden op gronden met een fosfaattoestand < 15 à 20 . Bij een dergelijk lage fosfaattoestand is de hoeveelheid fosfaat die volgens het bemestingsadvies moet worden toegepast veelal groter dan de som van de gewasonttrekking en het heffingvrije MINAS-overschot van $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ per jaar (zie *Figuur 2.7*). Een ruwe schatting is dat op landelijke schaal circa 16 miljoen kg fosfaat gedurende enige jaren zou kunnen worden afgezet. Hiervan kan zo'n 5 miljoen kg fosfaat binnen de zandgebieden worden afgezet.

2.8. Uitspoeling van fosfaat

2.8.1. Waar hangt de uit- en afspoeling vanaf?

De uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater hangt af van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem, de verdeling van het fosfaat in de bodem en de wijze waarop het water wordt afgevoerd vanuit het perceel. Bij een grond die fosfaatverzadigd is (FVG $>25\%$), hoeft de fosfaatconcentratie in het grondwater op GHG-niveau op dit moment nog niet de $0,10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ortho-fosfaat te overschrijden. Met name bij de drogere gronden kan de concentratie nog laag zijn, omdat het fosfaat nog onderweg is. Als echter een grond eenmaal fosfaatverzadigd is, dan zal - ook als de overmatige bemesting gestopt wordt - op den duur deze concentratie op GHG-niveau bereikt worden (Van der Zee, 1990a).

2.8.2. Hoe groot is de uitspoeling naar het grondwater?

Eenvoudige berekeningen wijzen uit dat de zeer sterk fosfaatverzadigde gronden (FVG $> 75\%$) de grootste bijdrage leveren aan de uitspoeling naar het grondwater. De 9% zeer sterk verzadigde gronden veroorzaken 64% van de fosfaatbelasting van het grondwater, onder de aanname dat overal tegelijkertijd de doorbraak plaatsvindt, zie *Tabel 15* (Reijerink en Breeuwsma, 1992). Bij de berekening is uitgegaan van een neerslagoverschot van 300 mm per jaar en de gemiddelde concentratie in het gegeven traject. De aannamen die gemaakt zijn, m.n. wat betreft de gelijktijdige doorbraak, zijn weinig realistisch. De cijfers moeten daarom gezien worden als een indicatie van de invloed van de sterk en zeer sterk verzadigde gronden op de grondwaterkwaliteit.

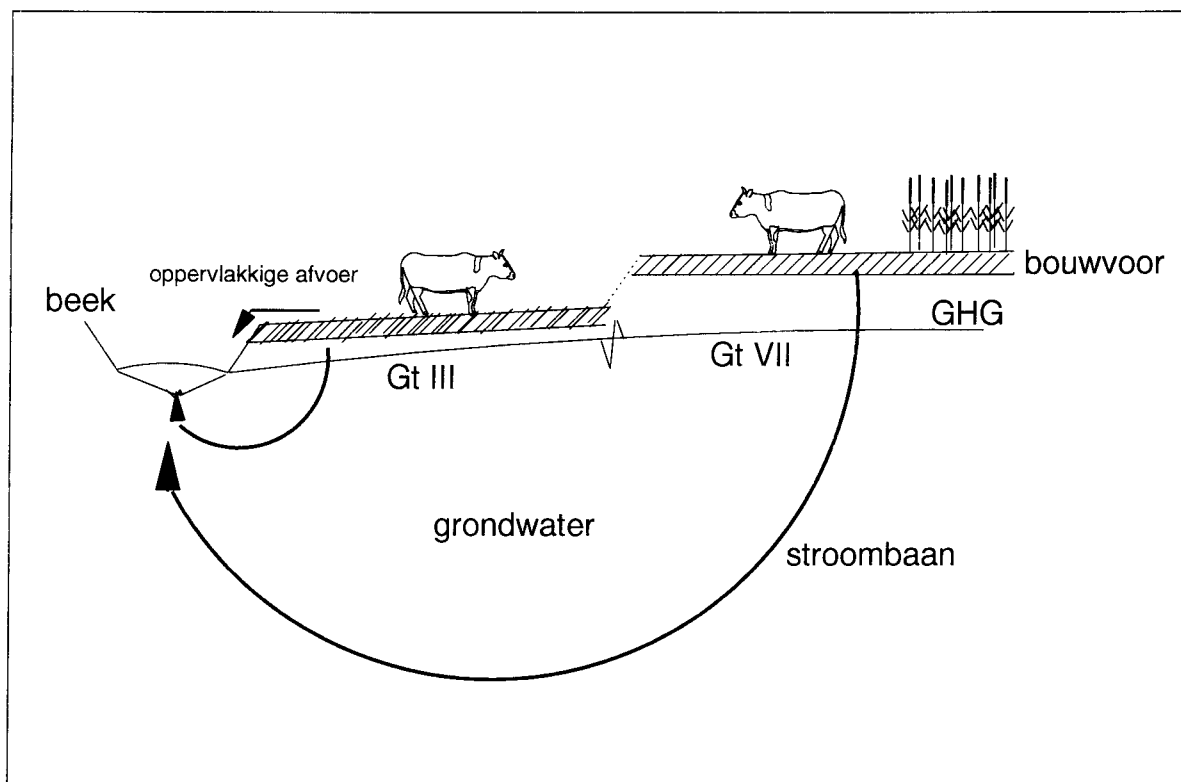
Tabel 15: *Berekende fosfaatvracht uit fosfaatverzadigde gronden naar het grondwater in de drie zandgebieden, bij een netto neerslag van 300 mm per jaar en gelijktijdige doorbraak.*

Bron: Reijerink en Breeuwsma, 1992.

Fosfaat- verzadigingsgraad	oppervlakte		ortho-fosfaatconcentratie op GHG-niveau	fosfaatvracht (P ₂ O ₅)	
	ha	%		ton	%
25-50	281.000	70	0,1 - 0,3	386	19
50-75	87.000	21	0,3 - 0,9	359	17
> 75	35.000	9	0,9 - 10	1311	64
totaal	403.000	100		2056	100

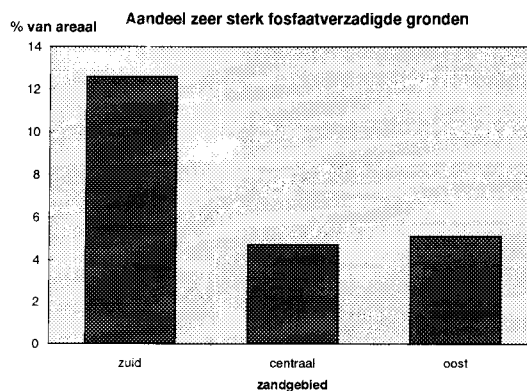
2.8.3. Hoe groot is de uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater?

De gevolgen van fosfaatverzadiging voor de kwaliteit van het oppervlaktewater kunnen niet op dezelfde wijze als bij het grondwater berekend worden. De hydrologie is van belang. Bij droge gronden komen geen greppels en sloten voor. Het grondwater wordt dan via de diepe ondergrond afgevoerd naar oppervlaktewater (zie *Figuur 2.9*). Onderweg kan het fosfaat nog worden vastgelegd. Bij natte gronden legt water over het algemeen een kortere weg af naar het oppervlaktewater. Behalve de korte weg door de ondergrond, speelt oppervlakkige afvoer en afvoer via bijvoorbeeld buizendrainage een rol. Dit houdt in dat twee gronden met een even hoge FVG, maar een verschillende Gt een verschillende bedreiging voor het oppervlaktewater betekenen. Bij eenzelfde FVG bevat de drogere grond meestal meer fosfaat. Toch is de fosfaatmissie naar het oppervlaktewater minder, omdat het grondwater een langere weg aflegt door de bodem en de oppervlakkige afspoeling minder is.



Figuur 2.9: Transport van water en stoffen naar oppervlaktewater. Niet weergegeven is het transport via buizendrainage.

Groenenberg e.a. (1996) laten zien dat het aandeel zeer sterk fosfaatverzadigde gronden in de stroomgebieden van het Zuidelijk zandgebied hoger is dan in het Centrale zandgebied (zie *Figuur 2.10*). Doordat de gronden in de stroomgebieden van het Centrale zandgebied natter zijn, blijken echter de fosfaatconcentraties in het naar het oppervlaktewater afstromende water in deze stroomgebieden hoger te zijn dan die in de stroomgebieden van het Zuidelijk zandgebied (zie *Figuur 2.11*). In het Centrale zandgebied heeft minder dan 25% van het natte

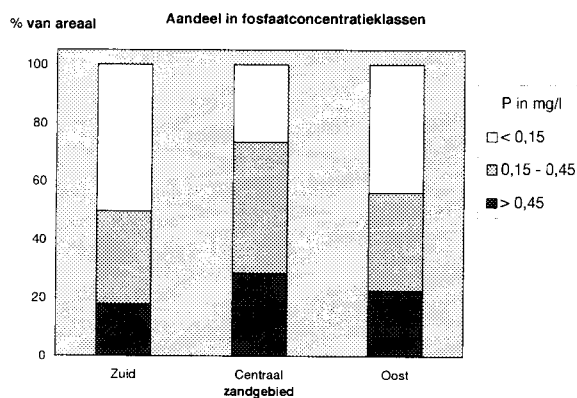


Figuur 2.10: Percentage van het areaal, per zandgebied, dat in 1996 zeer sterk fosfaatverzadigd was (FVG >75%). Bron: SC-DLO; modelberekeningen.

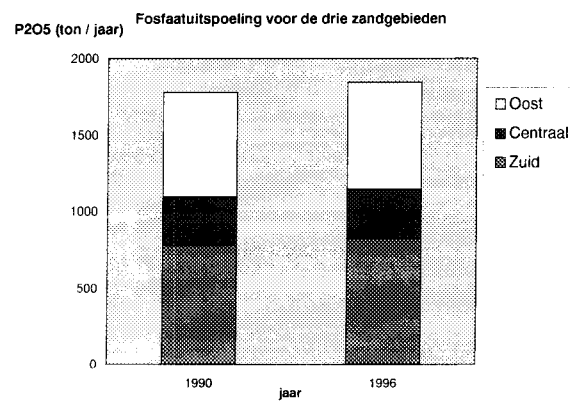
landbouwareaal (met Gt's < GtVI) een fosfaatconcentratie in het naar het oppervlaktewater afstromende grondwater lager dan de norm voor totaal-fosfaat in oppervlaktewater van 0,15 mg.l⁻¹. In het Zuidelijk zandgebied met het dubbele aandeel zeer sterk fosfaatverzadigde

gronden heeft 50% van het areaal een fosfaatconcentratie in het naar het oppervlaktewater uitspoelende grondwater lager dan deze norm.

De fosfaatsuitleping naar het oppervlaktewater (zowel organisch- als anorganisch-fosfaat) begin jaren '90 voor de drie zandgebieden is berekend op circa 1800 ton per jaar. In *Figuur 2.12* is de bijdrage van de verschillende zandgebieden weergegeven aan de totale fosfaatvracht naar het oppervlaktewater. Door het grotere areaal landbouwgrond in het Zuidelijk en Oostelijk zandgebied, is de bijdrage aan de belasting (in kilogrammen) van het oppervlaktewater groter.



Figuur 2.11: Aandeel van het areaal landbouwgrond met een $Gt < VI$ en een fosfaatconcentratie in het naar het oppervlaktewater afstromende water voor 1996 onder de norm, tot driemaal de norm en meer dan driemaal de norm. Bron: SC-DLO; modelberekeningen.



Figuur 2.12: Fosfaatsuitleping naar oppervlaktewater voor twee jaren voor drie zandgebieden. Bron: SC-DLO; modelberekeningen, eerder verschenen in RIVM (1996).

3. HET OPSPOREN VAN ZEER STERK FOSFAATVERZADIGDE GRONDEN

3.1. Inleiding

Het saneren van alle fosfaatverzadigde gronden is op dit moment financieel niet haalbaar, vanwege de grote omvang van het areaal (zie §2.5). Vanuit de ministeries van VROM en LNV wordt beleid uitgezet om eerst de problemen van de zeer sterk fosfaatverzadigde gronden aan te pakken.

Bij de aanpak van zeer sterk fosfaatverzadigde gronden kunnen twee benaderingen worden gevolgd. De eerste betreft een generieke benadering. Alle gronden die zeer sterk fosfaatverzadigd zijn worden gesaneerd. In dat geval moeten deze gronden overal in Nederland opgespoord worden. Het opsporen kan eventueel beperkt worden tot de regio's in Nederland waarvan bekend is dat in het verleden veel mest is toegepast (zie §3.2). De tweede benadering is de gebiedsbenadering. Er worden kwetsbare en waardevolle gebieden geselecteerd. In deze gebieden worden de gronden die de hoogste belasting van het oppervlaktewater veroorzaken opgespoord en gesaneerd.

In dit rapport wordt alleen de generieke benadering bekeken. De gebiedsbenadering is onderwerp van een studie die elders wordt uitgevoerd. Bij de gebiedsbenadering kan wel gebruik worden gemaakt van de in dit rapport gepresenteerde resultaten.

3.2. Moet heel Nederland bemonsterd worden?

3.2.1. Zijn er verschillen tussen regio's in Nederland?

Bij de generieke benadering zouden alle zeer sterk fosfaatverzadigde gronden in Nederland moeten worden opgespoord. De vraag is of hiervoor ook alle gronden in Nederland bemonsterd moeten worden, of dat we vooraf het gebied waar we naar deze gronden gaan zoeken kunnen beperken.

De studies over fosfaatverzadigde gronden zijn tot nu toe grotendeels beperkt gebleven tot de zandgronden, en dan met name tot de mestoverschotgebieden (Oostelijk, Centrale en Zuidelijke zandgebied). De definitie van een fosfaatverzadigde grond en het daarbij behorende protocol is alleen uitgewerkt voor de kalkloze zandgronden (zie opmerkingen §3.3.2). De reden hiervoor was dat werd aangenomen dat de fosfaatgiften in deze gebieden decennia lang veel hoger zijn geweest dan in de overige gebieden.

Een goede graadmeter voor de historisch bemesting van de grond met fosfaat is de fosfaattoestand. De fosfaattoestand van de bodem is een maat voor de beschikbaarheid van fosfaat voor opname door het gewas; uitgedrukt in Pw-getal bij bouwland en P-Al-getal bij grasland, zie §2.7. Hoe meer fosfaat er is bemest hoe groter in het algemeen het Pw- of P-Al-getal. Vanuit landbouwkundig oogpunt is een fosfaattoestand van 30 over het algemeen voldoende. Een fosfaattoestand groter dan 60 is altijd onnodig. Een fosfaattoestand groter dan 90-100 duidt op een excessief gebruik van mest.

In *Tabel 16* is voor de verschillende grondsoorten aangegeven hoeveel percelen een fosfaattoestand groter of gelijk aan 100 hebben. Uit de tabel wordt duidelijk dat de meerderheid van deze percelen (80%) gelegen is in het gebied met kalkloze zandgronden (dalgrond 6% en diluviaal zand 74%).

Tabel 16: *Aantal percelen met een Pw- of P-Al-getal ≥ 100 per grondsoort, voor respectievelijk bouwland (inclusief maïsland) en grasland.*
Bron: DSM, 1993.

grondsoort	alluviaal zand	dalgrond	diluviaal zand	ijssel-meergrond	jonge zeeklei	löss	oude zeeklei	rivier klei	veen
bouwland	1	321	3339	0	51	85	5	216	13
grasland	1	1	877	0	122	1	52	193	402
totaal ≥ 100	2	322	4216	0	173	86	54	409	415
% van totaal	0	6	74	0	3	2	1	7	7

Ook recente gegevens ondersteunen dit beeld. Deze gegevens zijn verzameld door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek in opdracht van het ministerie van LNV (BLGG, 1996). Bij deze studie is niet naar het type bodemgebruik op perceelsniveau gekeken, zoals bij de eerdere gepresenteerde DSM-cijfers, maar naar het bedrijfstype. Per bedrijfstype is perceelsinformatie op bedrijfsniveau verzameld. Alleen percelen met een grondonderzoek jonger dan 4 jaar zijn meegenomen. Percelen met een afwijkende bemonsteringsdiepte, zoals bij herinzaai van grasland zijn buiten de analyse gebleven. In het overzicht zijn de gemengde bedrijven (met bijvoorbeeld zowel akkerbouw als veehouderij) toegedeeld aan hun belangrijkste tak. In *Tabel 17* is een overzicht opgenomen met per bedrijfstype het percentage percelen met een fosfaattoestand groter dan 60 en groter dan 90 gelegen in elk van de onderscheiden gebieden. Zo kan uit de tabel worden afgelezen dat 81% van de percelen op akkerbouwbedrijven met een fosfaattoestand >90 gelegen is in het zandgebied. Voor veehouderijbedrijven is dit 77% en voor vollegrondsgroentenbedrijven 85%.

In de laatste kolom is het percentage opgenomen ten opzichte van het totale areaal. Uit de tabel is af te lezen dat 14% van de percelen op akkerbouwbedrijven in Nederland een fosfaattoestand heeft >90.

Van alle landbouwpercelen op de onderscheiden bedrijfstypen heeft 24% een fosfaattoestand >60, 7% heeft een fosfaattoestand >90. De hoogste fosfaattoestand (>90) komt vooral voor bij percelen in het zandgebied (80% van het totale aantal).

Tabel 17 *Het percentage percelen met een fosfaattoestand >60 en > 90 per gebied voor elk van de bodemgebruiktypen (zie tekst voor uitleg)
Berekend op basis van BLGG-gegevens voor percelen niet langer dan 4 jaar geleden bemonsterd. (BLGG, 1996).*

gebruik	P-toestand	klei	veen	dalgrond	zand	löss	% van totaal areaal
akkerbouw	>60	17	1	18	60	4	24
	>90	7	1	8	81	3	14
vollegronds-groententeelt	>60	20	3	0	77	0	56
	>90	12	3	0	85	0	23
veehouderij	>60	10	25	1	63	1	22
	>90	8	14	0	77	1	6
Totaal	>60	13	15	7	63	2	24
	>90	8	8	3	80	1	7

In *Tabel 18* zijn de aantallen en percentages bedrijven gegeven per bedrijfstype en grondsoort met een bedrijfsgemiddelde fosfaattoestand <15 en <30 en >60 en >90. Bij de beschouwing van deze en vorige tabel moet rekening worden gehouden met de onderschatting van de fosfaattoestand, door het niet volledige representatief zijn van de BLGG-steekproef (zie §2.7.5). Voor alle bedrijfstypen geldt, dat het merendeel van de bedrijven met een gemiddelde fosfaattoestand >90 gelegen is in het zandgebied. Van de 42011 onderzochte bedrijven heeft 8% (3291) een gemiddelde fosfaattoestand >90. Hiervan is 85% (2792) gelegen in het zandgebied. Het grootste aantal betreft veehouderijbedrijven (1323). Echter het percentage akkerbouw- en met name vollegrondsgroententeeltbedrijven dat een fosfaattoestand heeft >90, is groter dan het percentage veehouderijbedrijven. Zo heeft 28% van de onderzochte vollegrondsgroententeeltbedrijven in het zandgebied een fosfaattoestand >90. Voor akkerbouw in het zandgebied is dit percentage 22% en voor veehouderij 8%. Tot slot kan uit de cijfers worden afgeleid dat voor het zandgebied geldt dat 37% van de landbouwbedrijven een fosfaattoestand heeft >60, waarvan 13% >90. Voor het klei- en veengebied geldt dat minder dan 15% van de bedrijven een fosfaattoestand heeft >60 en minder dan 4% >90. Het dalgrond- en lössgebied zitten hier tussen in.

Tabel 18: Aantallen bedrijven^(a) per bedrijfstype en grondsoort met een bedrijfsgemiddelde fosfaattoestand lager dan of hoger dan de aangegeven waarde. Tussen haakjes het geschatte percentage bedrijven per grondsoort binnen het beschouwde bedrijfstype. Berekend op basis van BLGG-gegevens gegevens voor percelen niet langer dan 4 jaar geleden bemonsterd (BLGG, 1996)

bedrijfstype	grondsoort	fosfaattoestand			
		< 15 (%)	< 30 (%)	> 60 (%)	> 90 (%)
akkerbouw	klei	79 (1)	1714 (30)	370 (6)	57 (1)
	veen	11 (4)	92 (29)	42 (13)	9 (3)
	dalgrond	2 (<1)	46 (4)	244 (23)	19 (2)
	zand	26 (<1)	223 (5)	2565 (55)	1032 (22)
	löss	4 (<1)	32 (8)	152 (36)	26 (6)
vollegronds-groententeelt	klei	19 (2)	100 (10)	407 (40)	108 (11)
	veen	14 (7)	38 (20)	113 (59)	59 (31)
	dalgrond	1 (7)	2 (14)	4 (29)	1 (7)
	zand	4 (<1)	49 (3)	1126 (72)	437 (28)
	löss	3 (10)	17 (59)	3 (10)	0 (0)
veehouderij	klei	98 (2)	1306 (28)	451 (10)	76 (2)
	veen	44 (<1)	1189 (22)	639 (12)	132 (2)
	dalgrond	2 (<1)	45 (16)	28 (10)	3 (1)
	zand	82 (<1)	1858 (12)	4621 (29)	1323 (8)
	löss	7 (2)	83 (26)	44 (14)	9 (3)
landbouw totaal	klei	196 (2)	3120 (27)	1228 (11)	241 (2)
	veen	69 (1)	1319 (22)	794 (13)	200 (3)
	dalgrond	5 (<1)	93 (7)	276 (21)	23 (2)
	zand	112 (<1)	2130 (10)	8312 (37)	2792 (13)
	löss	14 (2)	132 (17)	199 (26)	35 (5)

(a) Het totaal aantal vollegronds-groentenbedrijven dat in de steekproef van BLGG is opgenomen is hoger dan het aantal dat in 1993 volgens het CBS voorkomt. De oorzaak hiervan is onduidelijk.

Frappant is dat er blijkbaar ook nog grote aantallen bedrijven zijn met een gemiddelde fosfaattoestand <30 en zelfs nog bedrijven met een gemiddelde fosfaattoestand <15.

In *Tabel 18* is een beschouwing gemaakt aan de hand van bedrijfsgemiddelde waarden voor de fosfaattoestand. De BLGG-gegevens (BLGG, 1996) geven ook een indruk van de variatie in de fosfaattoestand op een bedrijf. Over het algemeen komen op bedrijven zowel percelen voor met een fosfaattoestand < 30 als >60. Van de 42011 onderzochte bedrijven heeft 88% percelen met een fosfaattoestand <30 en/of >60, 35% heeft percelen met een fosfaattoestand <15 en/of >90. In *Tabel 19* is per gebied aangegeven hoe de verhouding is tussen de bedrijven

met meer, evenveel of minder percelen met een lage fosfaattoestand dan een hoge fosfaattoestand.

Tabel 19: *Percentage bedrijven per gebied met meer, evenveel en minder percelen met een lage fosfaattoestand ($L < 30$ en < 15) dan een hoge fosfaattoestand ($H > 60$, respectievelijk > 90).*
Bron: BLGG, 1996.

grondsoort	L < 30, H > 60			L < 15, H > 90		
	L > H	L = H	L < H	L > H	L = H	L < H
klei	68	5	27	60	3	37
veen	65	5	31	53	2	45
dalgrond	35	6	60	23	3	74
zand	33	6	60	17	2	81
löss	44	8	48	39	4	57
totaal	48	6	47	30	2	68

Uit de tabel valt op te maken dat het percentage bedrijven met evenveel percelen met een lage en een hoge fosfaattoestand heeft klein is. In het zand- en dalgrondgebied overheersen de bedrijven met meer percelen met een hoge fosfaattoestand, in het klei- en veengebied de bedrijven met meer percelen met een lage fosfaattoestand en in het lössgebied zijn de percentages bedrijven met meer en minder percelen met een fosfaattoestand laag dan hoog ongeveer gelijk bij 30/60. Bij de 15/90 vergelijking overheersen in het lössgebied de bedrijven met meer percelen met een hoge fosfaattoestand.

Het verschil tussen de fosfaattoestand van landbouwpercelen op klei- en zandgronden komt ook naar voren uit studies verricht in de provincie Noord-Brabant (CSO, 1996a, 1996b). In *Tabel 20* is een samenvatting gegeven van de resultaten.

Tabel 20: *Fosfaattoestand van akkerbouw- (Pw) en graslandpercelen (P-AI) op zand- en kleigronden in de provincie Noord-Brabant.*
Bron: CSO, 1996a, 1996b.

grondsoort	Pw-getal			P-AI-getal		
	1 ^e kwart. ^(a)	mediaan ^(b)	3 ^e kwart. ^(c)	1 ^e kwart. ^(a)	mediaan ^(b)	3 ^e kwart. ^(c)
kleigrond	28	46	70	9	17	22
zandgrond	83	120	185	19	22	32

(a) 1ste kwartiel, 25% van de percelen heeft een Pw-getal lager en 75% een Pw-getal hoger dan gegeven waarde

(b) mediaan, 50% van de percelen heeft een Pw-getal lager en 50% een Pw-getal hoger dan gegeven waarde

(c) 3de kwartiel, 75% van de percelen heeft een Pw-getal lager en 25% een Pw-getal hoger dan gegeven waarde

3.2.2. Wat kunnen we met verschillen tussen regio's?

Op basis van de gegevens uit §3.2.1 kan de conclusie getrokken worden dat, zeker in eerste instantie, het opsporen van percelen met een hoge fosfaattoestand beperkt kan blijven tot de kalkloze zandgebieden. De zandgronden omvatten circa 45% van het landbouwareaal (LEI, 1994). Door 45% van het landbouwareaal te bemonsteren kan circa 85% van de percelen met een fosfaattoestand >90 getraceerd worden (afgeleid uit BLGG, 1996). Als men zich niet beperkt tot de zandgebieden wordt met een dubbele inspanning slechts 15% extra getraceerd.

Voor de hierboven gepresenteerde gegevens geldt dat percelen met een hoge fosfaattoestand mogelijk ondervertegenwoordigd zijn in de beschikbare gegevensbestanden (zie §2.7.5). Voor de bovenstaande conclusie heeft deze ondervertegenwoordiging o.i. geen consequenties, omdat vermoed kan worden op basis van veedichtheden dit soort gronden vooral in het zandgebied voorkomt.

Dezelfde BLGG-gegevens (1996, uitwerking per zandgebied hier niet opgenomen) ondersteunen de conclusie van Westhoek (1995), dat de fosfaattoestand van de gronden in het Noordelijk zandgebied, met name de bouwlandgronden, niet veel afwijkt van die in het Oostelijk en Centrale zandgebied. Westhoek (1995) meldt dat de indruk bestaat dat in het Noordelijk zandgebied in de naoorlogse periode meer kunstmestfosfaat is gebruikt dan in het Oostelijk zandgebied, terwijl in het dierlijk mestgebruik in het Oostelijk zandgebied groter was.

Behalve fosfaattoestand en fosfaatverzadigingsgraad zou bij selectie van gebieden ook gebruik gemaakt kunnen worden van de verschillen in grondwaterstanden tussen gebieden. Zoals we in § 2.8.3 gezien hebben wordt de uitspoeling naar oppervlaktewater bepaald door de grondwaterstanden. Deze optie is vooral interessant bij de gebiedsbenadering.

3.3. Hoe de zeer sterk fosfaatverzadigde gronden op te sporen?

3.3.1. Wat is het protocol fosfaatverzadigde gronden?

Het protocol fosfaatverzadigde gronden is een voorschrift met als doel aan te geven (1) wat een fosfaatverzadigde grond is en (2) hoe een fosfaatverzadigde grond herkend kan worden in routinematig onderzoek. In dit voorschrift wordt de aard van de bodembemonstering, de analyse van bodemonsters in het laboratorium en de gegevensanalyse voorgeschreven (Van der Zee e.a., 1990a en 1990b). De voorgeschreven methoden zijn gebaseerd op een groot aantal onderzoeksresultaten.

3.3.2. Is het protocol algemeen toepasbaar?

Het protocol is gebaseerd op modellen die oorspronkelijk ontwikkeld zijn voor het beschrijven van het gedrag van ortho-fosfaat in niet-kalkhoudende, zure zandgronden. In het protocol zelf wordt geen expliciete beperking opgelegd aan grondsoort. Gesteld wordt bijvoorbeeld dat met P_{ox} een goede schatting kan worden gemaakt van het totaal-fosfaat voor zandige en kleiige bodem (Van der Zee e.a., 1990a, blz. 11). De discussie hierover is gevoerd in §2.7.2.

In België is het protocol ook toegepast op zandige leemgronden in West -Vlaanderen (De Smet e.a., 1996, 1995, 1994; Lookman e.a., 1994), dit gebied is ongeveer 100.000 ha groot. Hierbij is gekozen voor een gebiedsbenadering in plaats van een perceelsbenadering voor het aanwijzen van gronden met een milieurisico. Op 296 punten geselecteerd volgens een regelmatig grid met tussen afstanden van twee kilometer zijn monsters genomen. Vervolgens werd m.b.v. statistiek de kans berekend dat gebieden van 500 bij 500 m² fosfaatverzaadigd zijn. Vervolgens werden drie typen gebieden onderscheiden:

1. gebieden waar de kans op fosfaatverzaadiging (FVG >25%) kleiner is dan 68%, in deze gebieden wordt op basis van uitspoelingsgegevens verondersteld dat de ortho-fosfaatconcentratie kleiner is dan 0,075 mg.l⁻¹;
2. gebieden waar de kans op fosfaatverzaadiging tussen de 68-95%, de gemiddelde uitspoelende concentratie bedraagt hier 0,25 mg.l⁻¹;
3. gebieden met meer dan 95% kans op fosfaatverzaadiging, waar de concentratie tot boven de 0,75 mg.l⁻¹ kan uitkomen.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat de drie typen respectievelijk 81%, 13% en 6% van het areaal omvatten.

Chardon e.a. (1996) nemen aan dat de definitie van fosfaatverzaadiging en het daarbij behorende protocol alleen bruikbaar zijn voor kalkloze zandgronden Chardon e.a. adviseren dan ook om voor de complementering van het beeld van fosfaatverzaadigde gronden voor alle grondsoorten criteria voor fosfaatverzaadiging te ontwikkelen. Echter Van der Zee e.a. (1990a) stelden eerder dat voor kalkloze leem-, klei- en veengronden niet gebleken is dat de vastlegging en accumulatie van fosfaat anders is. Het protocol zou in dat geval ook voor deze grondsoorten kunnen worden toegepast. De vraag is wel of de aanvaardbaar geachte fosfaatconcentratie op GHG-niveau voor alle grondsoorten gelijk is.

Verder moet worden opgemerkt dat het protocol ontwikkeld is voor het opsporen van percelen met een FVG >25%. Het protocol dient aangepast te worden als het gebruikt gaat worden voor het opsporen van percelen met een FVG > 75%, omdat de statistische onderbouwing gebaseerd is op het aanwijzen van percelen met een FVG van 25%.

Om te bepalen of een perceel fosfaatverzadigd moet o.a. de GHG bepaald worden (zie §2.3.2). In het protocol wordt voor het vaststellen van de GHG de Gt-kaart gebruikt en per Gt-klasse een referentiediepte gegeven. Opgemerkt moet worden dat het gebruik van de Gt-kaart op perceelsschaal oneigenlijk is. Het schaalniveau van de Gt-kaart is 1 : 50.000. Op deze kaart komt 1 cm² overeen met 25 ha. In het ideale geval zijn hier 4 boringen verricht, wat overeenkomt met 1 boring per 6,25 ha (De Bakker en Locher, 1992). Voor een kaartvlak wordt een onzuiverheid van maximaal 30% toelaatbaar geacht. Omdat percelen meestal kleiner zijn dan 6 ha, is de betrouwbaarheid op perceelsschaal dus laag. Aan de andere kant is het alternatief van in het veld vaststellen van de Gt moeilijk, doordat de grondwaterstand sterke seizoens- en jaarfluctuaties kan hebben.

Naast dit schaalprobleem doet zich het feit voor dat van veel kaartbladen de Gt-informatie niet meer actueel is (Van het Loo, 1997a,b), doordat door o.a. later uitgevoerde ontwateringswerken de grondwaterstand is gedaald. Reijerink e.a. (1993) constateerden dit al en hebben daarom een aanvullende analyse uitgevoerd die leidde tot nieuwe GHG-waarden (mediaanwaarden) bij de verschillende Gt's. Voor het maken van landelijke berekeningen is dit goed, maar voor het in het veld aanwijzen van gronden betekent het een extra onzekerheid.

Het gebruik van het protocol wordt, ondanks dat het ontwikkeld is voor routinematig onderzoek, als te bewerkelijk en kostbaar gezien om het op het gehele zandgebied toe te passen.

3.3.3. Zijn er alternatieven voor het protocol?

Er is een relatie is tussen de fosfaatverzadigingsgraad van een bodemmonster van een kalkarme zandgrond en de fosfaattoestand van dat bodemmonster (zie §2.7.3). Om deze reden is bekeken in hoeverre de fosfaattoestand gebruikt kan worden om de zeer sterk fosfaatverzadigde percelen in de zandgebieden op te sporen. Een bijkomend voordeel bij het gebruiken van de fosfaattoestand is dat de fosfaattoestand aansluit bij de landbouwpraktijk (zie §2.7). De berekeningen en aannamen die ten grondslag liggen aan de hier gepresenteerde cijfers zijn terug te vinden in deel 2 (Fraters en Boumans, in voorbereiding).

Uit het onderzoek kwam naar voren dat de fosfaattoestand als eerste selectie criterium goed te hanteren is. Duidelijk werd echter dat het niet kan dienen als vervanging van het protocol. In *Tabel 20* zijn de resultaten van de analyse opgenomen. In de tabel is aangegeven wat de omvang is van het areaal dat geselecteerd wordt als alle percelen met een fosfaattoestand groter dan de kritische waarde van respectievelijk 80, 100 en 120 worden geselecteerd. De gegeven arealen zijn gebaseerd op de gegevens over de fosfaattoestand in 1992 (DSM, 1993).

Deze gegevens onderschatten het areaal landbouwgrond met een hoge fosfaattoestand (>80) (zie §2.7.5). De berekende arealen zijn ons inziens ondergrenzen. In de tabel is verder aangegeven welk areaal ten onrechte wordt geselecteerd. D.w.z. het areaal van de percelen met een fosfaattoestand groter dan de kritische waarde, maar met een FVG < 75%. Ook het areaal wordt vermeld van de percelen die wel een FVG > 75% hebben, maar die niet geselecteerd worden doordat de fosfaattoestand kleiner is dan de kritische waarde.

Tabel 21: *Arealen van alle en alleen de natte percelen in de zandgebieden met een fosfaattoestand (Pw-IP-Al-getal) groter dan 80, 100 en 120, alsook het areaal dat ten onrechte wordt geselecteerd (P-toestand > kritische waarde, maar FVG < 75%) en dat ten onrechte niet wordt geselecteerd (FVG >75%, maar P-toestand < kritische waarde).*

kritische Pw/P-Al	geselecteerd areaal ^(a) (1000 ha)		ten onrechte geselecteerd als zeer sterk fosfaatverzadigd (1000 ha)		ten onrechte niet geselecteerd als zeer sterk fosfaatverzadigd (1000 ha)	
	alle Gt's ^(b)	< Gt VI ^(c)	alle Gt's	< Gt VI	alle Gt's	< Gt VI
80	117	63	97	44	0,4	1,5
100	64	34	46	17	2,5	3,6
120	24	13	14	3,4	8,8	9,3

(a) oppervlak bouw- en grasland op zandgronden voor 1993 (LEI-cijfers, Milieubalans 1996). Totaal areaal bouwland (inclusief maïs) op zand is 320.000 ha en grasland is 438.000 ha.

(b) volledig areaal met een waarde groter dan de kritische waarde

(c) areaal met een fosfaattoestand groter dan de kritische waarde en een Gt kleiner dan Gt VI.

Naarmate men de waarde van de fosfaattoestand die men gebruikt voor de selectie (kritische fosfaattoestand) hoger kiest, is het geselecteerde areaal kleiner. Uit *Tabel 20* blijkt dat zo'n 117 duizend ha heeft een fosfaattoestand van ≥ 80 , terwijl slechts 24 duizend⁵ ha een fosfaattoestand heeft ≥ 120 . Als alleen de natte percelen (Gt < Gt VI) beschouwd worden zijn de oppervlaktes respectievelijk 63 duizend en 13 duizend ha.

Hoe hoger de kritische waarde hoe kleiner het aandeel percelen dat niet zeer sterk fosfaatverzadigd is, en dus ten onrechte zou zijn geselecteerd. Van de 117.000 ha gronden met een fosfaattoestand >80 hebben 97.000 ha (83%) een FVG <75%. Van de 64.000 ha gronden met een fosfaattoestand >100 hebben 46.000 ha (72%) een FVG <75%. Tegelijkertijd neemt echter het aantal percelen toe, welke een FVG hebben van > 75% en die niet geselecteerd zijn (fosfaattoestand kleiner dan de kritische waarde). Van de gronden met een fosfaattoestand <80 hebben 400 ha een FVG >75%, van de gronden met een fosfaattoestand <100 heeft 2500 ha een FVG >75%. Als men zich beperkt tot de natte gronden heeft men er duidelijk minder

⁵ Deze 24.000 ha is een schatting op basis van BLGG/DSM gegevens. Vermoed wordt dat het werkelijk areaal groter is.

last van dat er teveel gronden geselecteerd worden die niet zeer sterk fosfaatverzadigd zijn. Van de 63.000 ha gronden met een $Gt < VI$ en een fosfaattoestand >80 heeft 44.000 ha (70%) een FVG $<75\%$.

Bedacht moet worden dat de ten onrechte aangewezen gronden niet schoon zijn. Zo is van de 44.000 ha natte gronden met een fosfaattoestand > 80 , die niet zeer sterk fosfaatverzadigd zijn (FVG $<75\%$, zie *Tabel 20*), circa 37.000 ha sterk verzadigd (FVG $> 50\%$), terwijl het overig deel van het areaal op 4% na fosfaatverzadigd is (FVG $> 25\%$). In *Tabel 21* is aangegeven wat de fosfaatverzadigingsgraad is van de percelen die ten onrechte geselecteerd zijn.

Ook gronden met een fosfaattoestand < 80 kunnen fosfaatverzadigd zijn. Naast de 400 ha zeer sterk verzadigde gronden een $Pw/P-Al \leq 80$, komt nog zo'n 38.000 ha sterk verzadigde gronden voor.

Tabel 22: Fosfaatverzadigingsgraad (FVG in %) van de ten onrechte als zeer sterk fosfaatverzadigd geselecteerde gronden uit *Tabel 20*. Vermeld is het percentage van alle ten onrechte geselecteerde percelen per kritische $Pw/P-Al$ -waarde zonder rekening te houden met grondwaterstand (alle gronden) en indien rekening wordt gehouden met de grondwaterstand (natte gronden = $Gt < Gt VI$).

kritische $Pw/P-Al$	alle gronden			natte gronden		
	$< 25\%$	25-50%	50-75%	$< 25\%$	25-50%	50-75%
> 80	4	44	52	$<0,5$	16	84
> 100	1	42	57	-	5	95
> 120	$< 0,5$	46	54	-	1	99

Geconcludeerd kan worden dat de fosfaattoestand alléén niet geschikt is om percelen te selecteren die zeer sterk fosfaatverzadigd zijn. Er zijn hiervoor twee belangrijke oorzaken. De eerste is dat zelfs bij de variant ' $< Gt VI$ ' nog onvoldoende rekening wordt gehouden met de invloed van de GHG op de FVG. Ten tweede wordt de fosfaattoestand alleen bepaald aan (een beperkt deel van) de bouwvoor, terwijl de FVG bepaald wordt tot aan het GHG-niveau. Zoals duidelijk te zien is in *Figuur 2.3* kunnen er grote verschillen zijn in de mate waarin de ondergrond verzadigd is. Een derde, o.i. minder belangrijke oorzaak, is dat de relatie tussen de fosfaattoestand van een grondmonster en de fosfaatverzadigingsgraad van dit monster niet 1 op 1 is (zie §2.7).

Voor het opsporen van fosfaatverzadigde gronden (FGV $> 25\%$) dienen in feite alle landbouwpercelen onderzocht te worden. Van der Vlist e.a. (1994) bespreken een aantal

alternatieven. Als het er om gaat om percelen te identificeren die op korte termijn of nu al een verhoogde fosfaatuitspoeling veroorzaken, dan gaat het er eerder om, om het topje van een ijsberg te vinden. In dat geval moeten nog steeds alle percelen onderzocht worden, maar zouden eenvoudiger selectiemethoden kunnen worden gebruikt. Van der Vlist e.a. (1994) stellen voor om op basis van de mestboekhouding bedrijven te selecteren met een kans op fosfaatverzadigde percelen. Vervolgens dienen de percelen op de aldus geselecteerde bedrijven onderzocht te worden met de in het protocol fosfaatverzadigde gronden beschreven methode (Van der Zee, 1990a en 1990b).

Één eenvoudige alternatieve selectiemethode is de fosfaattoestandsbepaling. Een nadeel dat kleeft aan de huidige standaard bepalingmethode van de fosfaattoestand van een perceel is de geringe bemonsteringsdiepte (zie *Tabel 11*), zeker wat grasland betreft. Dit zou ondervangen kunnen worden door een grotere bemonsteringsdiepte te hanteren. Vanuit milieu-oogpunt is een zo groot mogelijke bemonsteringsdiepte aantrekkelijk, omdat de kans op schommelingen in fosfaattoestand en fosfaatverzadigingsgraad dan zo klein mogelijk is. Gedacht kan worden aan een diepte van 30 cm voor zowel gras- als bouwland. Het huidige bemestingsadvies is hierop nog niet afgestemd. Vanuit landbouwkundig oogpunt is zeker voor grasland een grotere bemonsteringsdiepte dan de huidige 0-5 cm geen bezwaar. Den Boer e.a. (1995a en 1995b) tonen aan dat de fosfaattoestand in de ondergrond (5-20 cm -mv) effecten heeft op de opbrengsten na de eerste snede. Den Boer pleit dan ook voor een diepere bemonstering dan 0-5 cm (Den Boer, 1996). Het verplicht onderwerken van mest, waarbij op grasland methoden worden gebruikt die de mest tot onder de standaardbemonsteringsdiepte van 5 cm wordt gebracht, is zowel vanuit landbouwkundig als vanuit milieuoogpunt een reden om de bemonsteringsdiepte te vergroten. Ook voor bouwland is een grotere bemonsteringsdiepte mogelijk. In de buurlanden wordt op dit moment nagenoeg dezelfde bemonsteringsdiepten gehanteerd als in Nederland. In België wordt bij bouwland en tijdelijk weiland 0-23 cm -mv gehanteerd en grasland 0-6 cm -mv (Depuydt, pers. meded.). In Duitsland wordt voor bouwland een bemonsteringsdiepte van 0-20 cm aangehouden en voor grasland 0-10 cm (Finck, 1992).

De conclusie is dat de fosfaattoestand als eerste selectiemethode kan worden gebruikt om mogelijk zeer sterk fosfaatverzadigde percelen in de zandgebieden op te sporen. Door bijvoorbeeld als criterium een fosfaattoestand van 80 te kiezen, beperkt men het areaal voor nader onderzoek tot 117.000 ha van de totale 758.000 ha landbouwgrond. Het areaal dat gemist wordt is klein, zoals uit de tabel is af te lezen. Wil men het zekere voor het onzeker kiezen, dan kan als criterium een fosfaattoestand van 60 gekozen worden. In dat geval dient nog 227.000 ha aan een nader onderzoek te worden onderworpen. Het definitief vaststellen

via nader onderzoek of een perceel werkelijk zeer sterk fosfaatverzadigd is, kan dan gebeuren met de protocolmethode.

4. HERSTEL VAN ZEER STERK FOSFAATVERZADIGDE GRONDEN

4.1. Algemeen

Chardon e.a. (1996) stellen dat om een vermindering van de uit- en afspoeling van fosfaat te bewerkstelligen, die zo natuurlijk en duurzaam mogelijk is, fosfaatlekkende gronden dienen te worden uitgemijnd. Fosfaatlekkende gronden zijn fosfaatverzadigde gronden die nu reeds een te hoge fosfaatuitspoeling van het oppervlaktewater veroorzaken (zie §2.8.3). Uitmijnen kan volgens de auteurs worden gerealiseerd door een maximale reductie van de fosfaatgift te combineren met het optimaliseren van de fosfaatonttrekking uit de bodem door een gerichte gewaskeuze. Van der Zee e.a. (1992) gaven al eerder aan dat uitmijnen, via onttrekking van het fosfaat aan de bodem m.b.v. gewassen, het gevaar voor onacceptabele fosfaatuitspoeling kan verkleinen. Momenteel worden de mogelijkheden onderzocht voor een landelijke regeling voor de aanpak van de sterk fosfaatverzadigde gronden. In een dergelijke regeling zou uitmijnen van (zeer sterk) fosfaatverzadigde percelen gerealiseerd kunnen worden door het opleggen van een negatieve verliesnorm. In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden verkend van uitmijnen, als een van de opties om zeer sterk fosfaatverzadigde percelen te saneren.

4.2. Wat zijn de mogelijkheden van uitmijnen?

4.2.1. Hoeveel fosfaat moet er verwijderd worden?

De hoeveelheid fosfaat in een zeer sterk fosfaatverzadigde grond kan groot zijn, zoals we in §2.4 hebben gezien. Hieronder zullen we aan de hand van de voorbeeld profielen uit *Figuur 2.3* een schets geven van de hoeveelheid fosfaat die verwijderd moet worden.

Bij uitmijnen met behulp van gewassen wordt het fosfaat vooral aan de toplaag onttrokken. Bij de indicatieve berekeningen, waarvan we hier de resultaten presenteren, zijn we uitgegaan van een diepte van fosfaatonttrekking van 30 cm. In deze toplaag bevindt zich 8.700 - 21.000 kg fosfaat per ha. De gemiddelde fosfaatafvoer per ha met het gewas bedraagt 60 kg. In de toplaag zit dus 145 - 350 keer de hoeveelheid die jaarlijks met het gewas wordt afgevoerd.

Niet al het fosfaat hoeft verwijderd te worden. Het is vooral het geadsorbeerde fosfaat dat leidt tot - vanuit milieuoogpunt - te hoge concentraties in het grondwater, zie §2.2. De hoeveelheid fosfaat die uit de toplaag moet verdwijnen, om het geadsorbeerde fosfaat te verwijderen, is gesteld op 33% van het in de toplaag aanwezige fosfaat (oxalaatextraheerbaar fosfaat; zie §2.2.3). De hoeveelheid in kg varieert voor de drie voorbeeld percelen van 2900 tot 7000 kg per ha. Dit is circa 50 - 120 keer de jaarlijkse gewasafvoer.

4.2.2. Hoe lang duurt uitmijnen en wat zijn de resultaten?

Tijdens het uitmijnen zal ook nog een deel van het fosfaat uitspoelen uit de toplaag. Als we hiermee rekening houden is de toplaag van de drie percelen AST 1, BAEX 6 en GEN 3 na respectievelijk 36, 54 en 89 jaar uitgemijnd. In *Figuur 4.1* is het verloop van de FVG met de diepte weergegeven voor en na uitmijnen.

In de toplaag van de percelen zal ondanks de hoge fosfaatverzadigingsgraad van deze laag na het uitmijnen (55-72%, zie *Tabel 22*) de fosfaatconcentratie in het bodemvocht laag zijn. De verzadigingsgraad van de lagen beneden tussen 30-50 cm en 50-100 cm -mv neemt gedurende de uitmijnperiode toe, als gevolg van de uitspoeling van fosfaat tijdens deze periode.

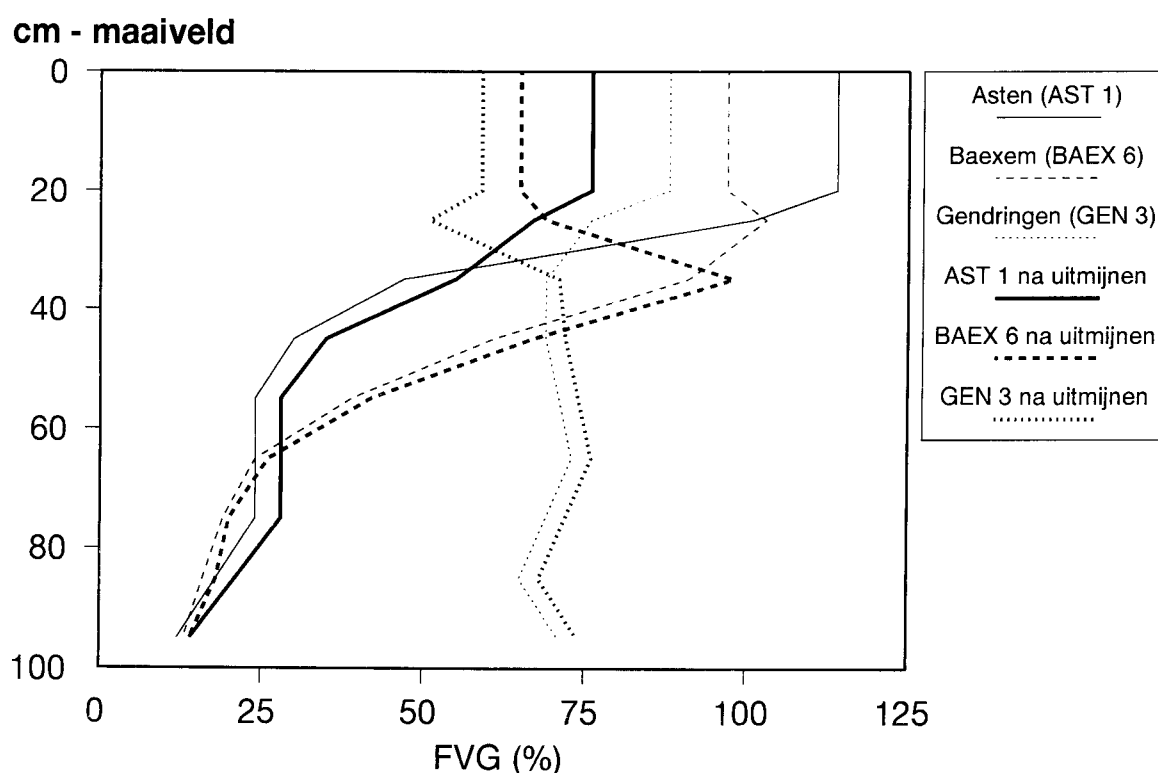
De fosfaatconcentratie in de bouwvoor neemt af gedurende het uitmijnen. Het is de vraag of bij lage fosfaatconcentraties het gewas nog zoveel fosfaat opneemt, dat ook na 20-30 jaar nog 60 kg kan worden afgevoerd van het perceel. Het is op dit moment niet bekend hoe lang uitmijnen goed gaat. D.w.z. bij welk niveau het gewas in de problemen komt, terwijl het uitmijnen in relatie tot de milieu-effecten nog niet als beëindigd beschouwd kan worden. Uit een voorbeeldberekening van het Groenenberg e.a. (1997) blijkt dat, volgens de huidige modelinzichten, bij grasland met een Pw-getal van 115 in de bovenste 15 cm een nulbemesting in circa 20 jaar tijd leidt tot een afname van het Pw-getal tot 30 (zie *Figuur 4.2*). In geval een beperkte bemesting wordt gegeven, zodanig dat men steeds 50 kg fosfaat meer onttrekt dan aanvoerd per jaar, dan daalt het Pw-getal in 25-30 jaar tot 20. Ehlert e.a. (1996) berekenen voor bouwland (bouwvoor van 20 cm) een sterkere afname van het Pw-getal. Bij een netto afvoer van 30 kg fosfaat per ha per jaar berekenen zij dat de afname van het Pw-getal van 100 naar 20 in binnen 10 jaar plaatvindt. Na 20 jaar is het Pw-getal gedaald volgens hun berekeningen tot beneden de 10.

Tabel 23 FVG (in %) van voorbeeldpercelen uit *Figuur 4.1* over gehele diepte en voor toplaag en ondergrond voor aanvang uitmijnen en na beëindiging van uitmijnen.

perceel	FVG 0-100 cm		FVG 0-30 cm		FVG 30-50 cm		FVG 50-100 cm	
	voor	na	voor	na	voor	na	voor	na
AST 1	51	39	109	72	39	45	20	24
BAEX 6	56	43	99	67	76	82	22	24
GEN 3	74	64	84	55	69	72	70	73

Bij het beschouwen van *Tabel 17* en *Figuur 4.1*, dient rekening te worden gehouden met de twee belangrijke randvoorwaarden die zijn gebruikt. Ten eerste dat de ortho-

fosfaatconcentratie in het bodemvocht en grondwater lager zal zijn dan 0,10 mg/l als al het geadsorbeerde fosfaat verwijderd is (zie §2.2.3). Als dit niet zo is, dan wordt het beeld heel anders. De termijn van uitmijnen zal dan langer zijn. De tweede aanname is dat de plantenwortels geen fosfaat meer opnemen beneden 30 cm -mv. Als dit wel zo is, bijvoorbeeld in beperkte mate, dan zou het uitspoelende fosfaat uit de bouwvoor door plantenwortels terug gewonnen kunnen worden. De hoeveelheid fosfaat die zal uitspoelen zal minder zijn dan hier geschetst, maar de termijn van uitmijnen zal langer zijn.



Figuur 4.1 Verloop van de fosfaatverzadigingsgraad met de diepte na uitmijnen tot 2/3 van de in de toplaag (0-30 cm -mv) aanwezige hoeveelheid fosfaat, voor de drie percelen uit Tabel 22. Zie tekst Figuur 2.3 voor uitleg

Uit bovenstaande beschouwing valt te concluderen dat het succes van uitmijnen bepaald wordt door de mogelijkheid om het fosfaat in de laag 30-50 cm -mv beschikbaar te krijgen voor opname. Dit is in overeenstemming met de conclusie van Van der Zee e.a. (1992). Dit zou gerealiseerd kunnen worden door de verbouw van diep wortelende gewassen. Het fosfaat dat uitspoelt uit de toplaag kan dan toch nog 'opgevangen' worden. Dit is vooral van belang voor percelen met een relatief schone ondergrond, zoals het Asten-perceel en in mindere mate het Baexem-perceel. Voor percelen met een verloop als dat van het Gendringen-perceel zullen zeker aanvullende maatregelen genomen moeten worden om het oppervlaktewater te

beschermen. Een overzicht van mogelijke aanvullende maatregelen op uitspoeling naar het oppervlaktewater tegen te gaan wordt gegeven door Chardon e.a. (1996).

Verder is duidelijk dat uitmijnen een kwestie van lange adem is. Chardon e.a. (1996) concludeerden al dat voor het op korte termijn verminderen van eutrofiëringsverschijnselen in oppervlaktewateren een pakket van aanvullende maatregelen noodzakelijk is. Het betreft hier maatregelen op en langs percelen en/of maatregelen in kleine en grote oppervlaktewateren.

4.3. Het bemestingsadvies en uitmijnen

Het gangbare bemestingsadvies corrigeert ook voor hoge P-Al- en Pw-getallen, zoals besproken is in §2.7. Deze correctie vindt plaats door minder fosfaat toe te dienen dan de hoeveelheid die door het gewas wordt opgenomen. Dit zou in feite leiden tot een negatief fosfaatoverschot op perceelsniveau. Het bemestingsadvies (IKC, 1992 voor bouwland en 1994 voor grasland en mais) is behalve van de fosfaattoestand - dus Pw- of P-Al-getal - ook afhankelijk van de grondsoort, het gewas en 'teelt'plan (m.n. beweiden of maaien voor grasland, aantal teelten per jaar op bouwland).

In *Tabel 23* is voor de toestand 'ruim voldoende' en 'hoog' voor verschillende combinaties van graslandgebruik aangegeven wat het jaarlijks fosfaatoverschot is. Westhoek en Agterberg (1997) zijn hierbij uitgegaan van een fosfaatafvoer welke afhankelijk is van het tijdstip van de snede, of het een weide- of maaisnede is en of er beperkt of onbeperkt geweid wordt. Bij alleen maaien is uitgegaan van een totale fosfaatafvoer van 88 kg per ha per jaar. Dit is iets hoger dan de gemiddelde afvoer van 75 kg per ha per jaar, omdat bij hoge fosfaattoestanden luxe consumptie optreedt. Dit betekent voor percelen met een toestand 'hoog' dat bij het volgen van het bemestingsadvies voor grasland in het eerste jaar nog een toevoer plaatsvindt van 4 kg fosfaat per ha bij alleen (onbeperkt) weiden en een onttrekking van 73 kg per ha bij alleen maaien. De jaren erna is, bij het opvolgen van het bemestingsadvies, bij alleen maaien sprake van een toevoer van 2 kg fosfaat per ha per jaar, en is er een overschot bij beweiding (beperkt en onbeperkt) van circa 25 kg fosfaat per ha. Het bemestingsadvies maakt onderscheid tussen eerst maaien en dan weiden en eerst weiden en dan maaien. Het advies is lager indien de eerste snede een maaisnede is. Wordt eerst gemaaid dan geldt bij de toestand ruim voldoende dat de adviesgift ongeveer gelijk is aan de afvoer met het gewas. Wordt eerst geweid dan wordt bij 1 maaisnede circa 25 en bij 2 maaisnedes circa 5 kg fosfaat per ha meer gegeven dan wordt afgevoerd.

Tabel 24: *Jaarlijks fosfaatoverschot (gift minus afvoer) bij graslandpercelen met een ruim voldoende of hoge fosfaattoestand bij het volgen van het bemestingsadvies in kg P₂O₅ per ha per jaar.*

Bron: Westhoek en Agterberg, 1997.

fosfaat-toestand	alleen maaien	alleen weiden		1 * maaien ^(a)		2 * maaien ^(a)	
		onbeperkt ^(b)	beperkt	onbeperkt	beperkt	onbeperkt	beperkt
ruim voldoende	2	24	25	-1 tot 24	0 tot 25	-1 tot 5	0 tot 6
hoog	-73	4	-5	-21	-30	-46 tot -40	-55 tot -49

(a) De adviesgift is afhankelijk van het feit of de eerste snede de maaisnede is of de weidesnede.

(b) Onbeperkt weiden betekent dat in de weideperiode dag en nacht beweid wordt. Beperkt weiden betekent dat de dieren gedurende de nacht opgesteld zijn.

Voor voedergewassen en bouwland geldt een streef-Pw-getal van 30. Bij een Pw-getal van 30-45 wordt geadviseerd de toestand te handhaven. Voor zeelei gelden iets lager waarden. Een Pw van 46-60 wordt als vrij hoog gekarakteriseerd en een Pw van > 60 als hoog. Er worden vier gewasgroepen onderscheiden op basis van fosfaatbehoefte. Voor alle gronden en gewassen wordt bij een Pw-getal van 65 of hoger een nul-bemesting geadviseerd. Voor de minst fosfaatbehoefte gewassen (o.a. granen, m.u.v. gerst) geldt al een nul-bemestingsadvies bij een Pw-getal van 35 of hoger.

In *Tabel 24* is de gemiddelde fosfaatafvoer per ha gegeven voor akkerbouwbedrijven uit verschillende regio's voor het vermoedelijk meest voorkomende bouwplan en voor gemiddelde opbrengsten (Berghs en Hotsma, 1993). De gemiddelde fosfaatonttrekking voor de beschouwde regio's varieert van 50 tot 70 kg per ha per jaar. Dit betekent dat bij het opvolgen van het bemestingsadvies geldt dat bij een Pw-getal van 65 in feite al sprake is van een negatieve fosfaatoverschot op perceelsniveau.

Tabel 25: *Gemiddelde fosfaatafvoer per regio voor het meest voorkomende bouwplan en gemiddelde opbrengsten voor akkerbouwgewassen.*

Bron: Berghs en Hotsma, 1993.

regio	bouwplan	fosfaatafvoer (kg/ha/jaar)
noord Friesland	pootaardappelen, suiker bieten, winter tarwe	56
noord Groningen	consumptie aardappelen, suiker bieten, 2* winter tarwe	60
Veenkoloniën	2* fabrieksaardappelen, suiker bieten, winter tarwe	50
Flevoland	consumptie aardappelen, suiker bieten, 2* winter tarwe	70
Zuid Holland	consumptie aardappelen, winter tarwe, 0,5 * suiker bieten, 0,5 * spruitkool	65
Zeeland	consumptie aardappelen, suiker bieten, 1,5 * winter tarwe, 1,5 * diverse gewassen	62

De conclusie is dat het huidige bemestingsadvies voor grasland maar gedeeltelijk leidt tot het uitmijnen van de grond (1 jaar). Het advies gaat ervan uit dat de fosfaattoestand weer snel daalt tot de toestand ruim voldoende. Bij zeer hoge fosfaattoestanden zal dit langer duren. Bij een te hoge fosfaattoestand wordt vanaf het tweede jaar net zoveel of meer fosfaat gegeven dan wordt afgevoerd. De hoeveelheid is in het algemeen wel lager dan de 20 kg die is toegestaan volgens de IN in 2008. Uitzondering hierop zijn percelen waarop alleen beweiding plaatsvindt en de percelen waarbij eerst beweïd wordt en pas daarna gemaaid. In die gevallen is het overschot ongeveer 25 kg per ha per jaar. Voor bouwland geldt een bemestingsadvies voor vier jaar en zal bij een hoge toestand het perceel vier jaar lang worden uitgemijnd.

Hermans en Vereijken (1996) stellen voor om bij veehouderijbedrijven bij een bedrijfsgemiddeld P-Al getal hoger dan 55 alle, tijdens de stalperiode geproduceerde, mest af te voeren. Jaarlijks wordt dan volgens hen per hectare netto 48 tot 55 kg fosfaat afgevoerd. Op deze bedrijven kan nog wel krachtvoer worden aangekocht om de verliezen via de afvoer van melk en vlees te compenseren. Als alternatief voor mestafvoer kan ook worden geëist dat geen fosfaat op het bedrijf wordt aangevoerd en dat krachtvoer op het eigen bedrijf geteeld wordt. Hierdoor bedraagt volgens Hermans en Vereijken de jaarlijkse netto afvoer, in dit geval via melk en vlees, 18 tot 23 kg aan fosfaat. Zij stellen wel dat in het dat geval wenselijk is bij zeer hoge fosfaattoestanden (P-AL-getal >100) geen vee meer te houden. De netto fosfaatafvoer kan dan worden gemaximaliseerd tot 69 - 80 kg fosfaat per ha per jaar.

De conclusie is dat uitmijnen deels al gerealiseerd kan worden door het bemestingsadvies op te volgen. Bij de akkerbouwpercelen geldt afhankelijk van gewasrotatie dat met een Pw-getal > 55-65 zo'n 50 - 70 kg fosfaat per ha per jaar gedurende 4 jaar wordt afgevoerd. Bij graslandpercelen met een P-Al-getal > 45-55 (afhankelijk van grondsoort) zal gedurende het eerste jaar 20 - 73 kg fosfaat worden afgevoerd, met uitzondering van percelen waar alleen geweid wordt (aanvoer van 4 tot afvoer van 5 kg.ha⁻¹.jaar⁻¹). De jaren erna is geen spraken meer van uitmijnen.

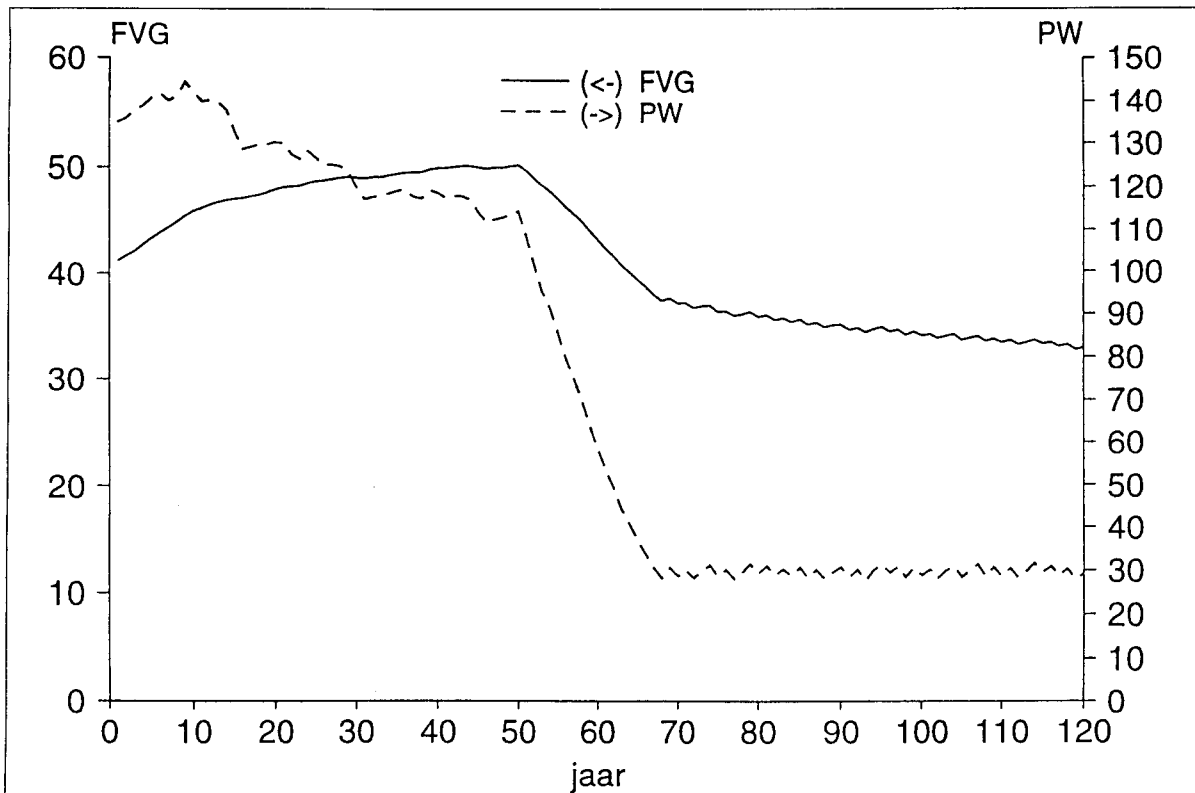
4.4. Wanneer is een perceel voldoende uitgemijnd?

Wanneer is een fosfaatverzadigd perceel geen bedreiging meer voor het milieu? Deze vraag lijkt eenvoudig beantwoord te kunnen worden. Dit is echter niet het geval. Het protocol fosfaatverzadigde gronden is hiervoor niet geschikt, omdat hiermee alleen de verzadigingsgraad wordt vastgesteld. De oorzaak dat de verzadigingsgraad niet in alle gevallen iets zegt over de bedreiging van het milieu is dat niet één maar twee processen een rol spelen bij het vastleggen en weer vrijkomen van het vastgelegde fosfaat, zie §2.2. Het snelle proces van fosfaat adsorptie aan de ijzer- en aluminiumverbindingen en het proces van

fosfaatdiffusie dat zeer lang kan voortgaan. Hierdoor kunnen twee percelen eenzelfde fosfaatverzadigingsgraad en Gt hebben, maar een verschillende bedreiging vormen voor grond- en oppervlaktewater. In de huidige situatie komt dit niet voor, omdat nog steeds percelen meer fosfaat ontvangen dan er wordt afgevoerd. In de huidige situatie is het protocol dus wel degelijk geschikt. Zodra echter (zeer sterk) fosfaatverzadigde gronden uitgemijnd gaan worden, ontstaat er een nieuwe situatie. Gronden met eenzelfde FVG, bodemopbouw en Gt kunnen dan een verschillende bedreiging van grond- en oppervlaktewater te zien geven. Bepalend hiervoor is of de FVG aan het toe- of afnemen is. Dit zal worden geïllustreerd aan de hand van twee voorbeelden.

Het eerste voorbeeld is te vinden in *Tabel 22* in §4.2.2. In de tabel is aangegeven dat het uitmijnen van de bouwvoor van het AST 1 perceel de FVG van de bouwvoor terugbrengt van 109% tot 72%. Ondanks deze nog steeds hoge FVG, zal de fosfaatconcentratie in het uit de bouwvoor uitspoelende water lager zijn dan de milieunorm. Als een perceel vòòr uitmijnen een dergelijke hoge FVG had, was de fosfaatconcentratie in het uitspoelen water wel hoger dan de norm geweest. In deze laatste situatie wordt de concentratie bepaald door het aan de bodem geadsorbeerde fosfaat. In de eerste situatie (na uitmijnen) wordt de concentratie bepaald door de snelheid van het vrijkomen van gediffundeerd fosfaat. Op basis van de huidige kennis wordt verondersteld dat in een dergelijke situatie de concentratie lager zal zijn dan de norm (zie §2.2.3).

Een tweede illustratie is een voorbeeldberekening uitgevoerd door het SC-DLO (Groenenberg e.a., 1997). In *Figuur 4.2* is het verloop van de FVG en de fosfaattoestand (Pw-getal) in de tijd gegeven voor een graslandperceel dat in 1990 een FVG heeft van circa 40%. Het perceel heeft een jaarlijks fosfaatoverschot dat vanaf 1998 gelijk is aan het overschot dat is toegestaan volgens de Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid. Hierdoor stijgt de FVG van het perceel in 50 jaar tot 50%. Vanaf dat moment moet per ha 50 kg fosfaat meer worden afgevoerd dan er wordt aangevoerd (verliesnorm van -50 kg P₂O₅). In de resterende periode daalt de FVG tot circa 30%. Het Pw-getal - de fosfaattoestand van de bovenste 20 cm - begint al in 1998 te dalen. Dit komt doordat de overschotten die toegestaan zijn volgens de Integrale Notitie Mest - en Ammoniakbeleid vanaf 1998 lager zijn dan de overschotten in de voorafgaande jaren. Bij de beginsituatie was de FVG 41% en het Pw-getal 135. Na circa 67 jaar is, na eerst gestegen te zijn, de FVG weer 41%. Het Pw-getal is echter gedaald tot 105. Bij eenzelfde FVG kunnen dus verschillende fosfaattoestanden horen. Hoe lager het Pw-getal van de toplaag, hoe lager de uit- en afspoeling zullen zijn uit deze laag, en op de langere termijn hoe minder grond- en oppervlaktewater belast zullen worden met fosfaat.



Figuur 4.2: Verloop van de FVG en het Pw-getal op een graslandperceel tussen 1990 en 2110. Vanaf 1998 wordt bemest volgens de IN. Bij het bereiken van een FVG van 50% wordt niet meer bemest (nulbemesting). Bron: SC-DLO, niet gepubliceerd materiaal bij studie van Groenberg e.a. (1997).

Op welke manier aangetoond kan worden dat een perceel geen bedreiging meer vormt voor grond- en oppervlaktewater is op dit moment nog niet duidelijk. Als alternatief voor de protocolmethode zou een methode ontwikkeld kunnen worden waarbij op basis van de fosfaattoestand van de bodem tussen de bouwvoor en de GHG bepaald wordt of het perceel zeer sterk fosfaatverzadigd is. Mogelijk biedt het bepalen van het Pw-getal van de verschillende bodemlagen tot aan de GHG een uitkomst. P-Al is hiervoor waarschijnlijk een minder goede indicator omdat het deels gediffundeerd fosfaat omvat (zie *Figuur 2.5*).

In zijn algemeenheid kan wel gesteld worden dat door uitmijnen de kans op uit- en afspoeling verminderd wordt.

5. OPTIES VOOR DE BELEIDSKEUZEN, DISCUSSIE EN CONCLUSIES

5.1. Algemeen

In de vorige hoofdstukken zijn we ingegaan op de verschillende technische deelaspecten van de (sterk) fosfaatverzadigde gronden om voor de onderstaande beleidsmatige vragen een aantal alternatieven tegen elkaar te kunnen afwegen. Het betreft de volgende vragen:

- Voor welk gebied moet een wettelijke regeling van kracht worden?
- Welke methode voor identificatie dient gebruikt te worden?
- Welke kritische waarde (criterium) moet gebruikt worden bij het aanwijzen van gronden?
- Welke verliesnorm moet gaan gelden voor de aangewezen gronden?

In de volgende paragrafen zullen alternatieven antwoorden per vraag op een rij worden gezet en besproken. Hoewel dit alles gebeurt vanuit het perspectief van een landelijke regeling, kunnen beschreven opties en alternatieven ook gebruikt worden bij de gebiedsgerichte benadering, namelijk bij de selectie van gronden binnen de relevante gebieden.

5.2. Voor welk gebied moet een regeling van kracht worden?

Voor het gebied waar een regeling 'sterk fosfaatverzadigde gronden' van kracht wordt, zullen naar alle waarschijnlijkheid alle in het betreffende gebied gelegen landbouwpercelen bemonsterd worden. De volgende opties zijn mogelijk vanuit het generieke perspectief:

1. Alle landbouwgronden in Nederland, in totaal 1.970.000 ha (LEI-cijfers voor 1994)
2. De landbouwgronden in de zandgebieden, in totaal 854.000 ha (LEI-cijfers voor 1994)
3. De landbouwgronden die behoren tot de zandgronden volgens het Besluit Gebruik Dierlijk Meststoffen (LNV, 1987), in totaal 935.000 ha
4. De landbouwgronden in de mestoverschotgebieden, c.q. het Centrale, Oostelijke en Zuidelijke zandgebied, in totaal 619.000 ha (LEI-cijfers voor 1994).

Optie 1 doet het meest recht aan het principe dat iedereen gelijk behandeld dient te worden. De benodigde bemonsteringsinspanning is groot.

Optie 2: een beperking tot de zandgebieden betekent dat slechts 43% van het areaal bemonsterd hoeft te worden om 80% van de percelen met een fosfaattoestand >90 op te sporen (zie §3.2). Percelen met een fosfaattoestand >60 zijn voor 63% gelegen in de zandgebieden.

Optie 3 heeft als voordeel dat de gebieden reeds in een ander wettelijk kader zijn vastgelegd. Ze overlappen grotendeels met de optie 2 gronden en bevatten bovendien de veenkoloniale gronden. Met dit gebied wordt circa 83% van de gronden met een fosfaattoestand >90 en 70% van de gronden met een fosfaattoestand >60 opgespoord.

Optie 4 heeft als voordeel dat het te bemonsteren areaal zo klein mogelijk wordt gehouden. Het is het gebied waar de meeste fosfaatverzadigde gronden zullen voorkomen. Ten opzichte van optie 2 wordt het Noordelijk zandgebied buiten beschouwing gelaten. Hoewel het Noordelijk zandgebied, zowel wat aantal als percentage percelen met een fosfaattoestand >90 lager scoort dan de overige zandgebieden, zijn de verschillen met het Oostelijk en Centrale zandgebied klein. Westhoek (1995) laat zien dat al in 1972 de verschillen in fosfaattoestand tussen het Noordelijk en Oostelijk zandgebied klein waren. Ook dit gebied kent dus een hoge historische fosfaatbelasting van de bodem, waarschijnlijk als gevolg van een hoger fosfaatkunstmestgebruik.

Conclusie

Van de opties 2 tot en met 4 verdient optie 3 de voorkeur. Ten eerste is het gebied vastgelegd in het BGDM en ten tweede worden respectievelijk 7% (t.o.v. optie 2) en 16% (t.o.v. optie 4) meer gronden met een hoge fosfaattoestand opgespoord bij iets grotere bemonsteringsinspanning, respectievelijk 4% (optie 2) en 16% (optie 4). Optie 1 is mogelijk rechtvaardiger, maar betekent meer dan een verdubbeling van de bemonsteringsinspanning om de resterende 17% van de percelen met een fosfaattoestand >90 op te sporen. Indien men maatregelen wil nemen voor alle percelen met een fosfaattoestand >60, dan lijkt een beperking tot het zandgebied minder voor de hand te liggen. Een probleem is wel dat er nog geen protocol en definitie van fosfaatverzadiging is voor de grondsoorten anders dan kalkarme (zand)gronden. Zand staat tussen haken, omdat niet door iedereen wordt onderschreven dat het protocol alleen geschikt is voor zandgronden (zie discussie §3.3.2).

5.3. Welke methode voor identificatie dient gebruikt te worden?

Formeel kan alleen het protocol fosfaatverzadigde gronden gebruikt worden voor het identificeren van fosfaatverzadigde gronden. Hierbij zijn twee beperkingen:

1. Er is alleen een protocol voor kalkarme (zand)gronden (zie opmerking aan eind vorige paragraaf);
2. Het protocol is gemaakt voor het identificeren van gronden met een FVG >25%.

Het protocol is gemaakt voor routinematig gebruik. Voor identificatie van fosfaatverzadigde gronden door bemonstering van alle percelen in een gebied zo groot als het zandgebied of zelf zo groot als heel Nederland wordt de methode toch als te bewerkelijk gezien.

Een alternatief is de bepaling van de fosfaattoestand, zoals op reguliere basis gebeurt ten behoeve van de bemestingsadvisering. Met deze bepalingsmethode worden, afhankelijk van het gekozen selectie criterium, meer of minder gronden ten onrechte geselecteerd als fosfaatverzadigd of juist ten onrechte niet geselecteerd als fosfaatverzadigd. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat bij het identificeren aan de hand van de fosfaattoestand geen rekening wordt gehouden met de Gt. Bij de protocolmethode wordt hiermee wel rekening gehouden, en dit is een van de oorzaken dat deze methode bewerkelijker is dan de fosfaattoestandbepaling.

Opgemerkt moet worden dat de effecten voor grond- en oppervlaktewater van een fosfaattoestand, bijvoorbeeld een Pw- of P-Al-getal hoger dan 100, niet voor alle grondsoorten gelijk zullen zijn. Er zijn bijvoorbeeld verschillen in de manier waarop fosfaat wordt vastgelegd in de bodem. Daarnaast zullen de achtergrondconcentraties aan fosfaat in het grondwater verschillend zijn voor zand- klei en veengronden. Nader onderzoek in het klei- en veengebied is dan ook noodzakelijk. Hierna nemen we aan dat de effecten voor grond- en oppervlaktewater gelijk zijn. Er zijn drie opties voor het opsporen van fosfaatverzadigde gronden, al dan niet met variaties hierop:

1. Men hanteert de protocolmethode;
2. Men gebruikt de fosfaattoestand als eerste selectie criterium. Voor percelen die een fosfaattoestand hebben boven een nader te specificeren waarden wordt de protocolmethode toegepast;
3. Men gebruikt alleen de fosfaattoestand.

Optie 1 is strikt genomen de meest correcte methode. Dit betekent wel dat als men ook andere grondsoorten wil meenemen in het onderzoek, hiervoor eerst een protocol ontworpen moet worden. De optie zal veel tijd en energie en dus geld vergen.

Optie 2 maakt gebruik van beschikbare kennis om het areaal, dat met de bewerkelijker protocolmethode onderzocht moet worden, in te perken.

Optie 3 heeft als voordeel dat bij een landelijke aanpak geen protocol voor de andere grondsoorten ontwikkeld hoeft te worden. Deze benadering kan alleen gehanteerd worden als de strikte koppeling met het fosfaatverzadigd zijn wordt losgelaten. De argumentatie voor aanvullende maatregelen moet dan meer gezocht worden in het feit dat een fosfaattoestand boven een bepaalde waarde landbouwkundig niet meer zinvol is, en daarom aangepakt dient te worden.

Het verschil tussen de protocolmethode en de selectie via de fosfaattoestand kan kleiner gemaakt worden. Het grootste verschil ontstaat door het niet meenemen van de GHG bij de beoordeling op basis van de fosfaattoestand. Door bij selectie via de fosfaattoestand rekening te houden met de GHG kan het verschil aanzienlijk verkleind worden. Men dient zich te realiseren dat manier waarop dit in het protocol gebeurt ook al afwijkingen van de werkelijke fosfaatverzadigingsgraad oplevert (zie §3.3.2). Overwogen kan worden een snelle veldmethode te ontwikkelen voor het schatten van de GHG van een perceel. Punt van aandacht bij de fosfaattoestandbepaling is verder de bemonsteringsdiepte (zie §3.3.3).

5.4. Welk criterium en/of kritische waarde moet gebruikt worden bij het aanwijzen van gronden?

Welk fosfaatverzadigingscriterium men het beste kan hanteren bij het aanwijzen van percelen vallende onder een regeling, hangt af van de doelstelling en de (financiële) randvoorwaarden. In het algemeen wordt het onhaalbaar geacht maatregelen te nemen voor alle fosfaatverzadigde gronden (FVG >25%). Alleen in de drie zandgebieden (Oost, Centraal en Zuid) zijn zo'n 400.000 ha fosfaatverzadigde gronden. Het opleggen van een nul-overschot voor deze gronden zou een toename van het mestoverschot in Nederland van 16 miljoen kg fosfaat betekenen in 1998. Bij het opleggen van een negatief overschot, dat nodig is om de gronden uit te mijnen, is het extra mestoverschot eerder in de orde van grootte van 30-40 miljoen kg. Het areaal sterk fosfaatverzadigde gronden (FVG >50%) in deze zandgebieden bedraagt ongeveer 122.000 ha, waarvan circa 32.000 ha zeer sterk fosfaatverzadigd is (FVG >75%). Indien voor deze 32.000 ha nul-bemesting zou gelden, dan ontstaat er een extra fosfaatoverschot van 3-4 miljoen kg, afhankelijk van het huidige bodemgebruik.

Welke kritische waarde voor de fosfaattoestand men het beste kan gebruiken, indien men er voor kiest (sterk of zeer sterk) fosfaatverzadigde gronden te identificeren, hangt af van het gebruikte criterium voor de fosfaatverzadigingsgraad. We gaan ervan uit, gezien de boven geschetste mestoverschotproblematiek, dat gekozen wordt voor het fosfaatverzadigingscriterium van 75% FVG. In deze studie zijn drie alternatieve kritische waarden voor de fosfaattoestand beschouwd. Het hier berekende areaal sterk fosfaatverzadigde gronden van rond de 20.000 wijkt af van de door het SC-DLO berekende areaal van 32.000. Dit kan veroorzaakt worden door (a) het niet volledige representatief zijn van de DSM/BLGG-gegevens waarop de hier gepresenteerde berekeningen gebaseerd zijn (zie §2.7.5), (b) het hanteren van een veiligheidsmarge bij het berekenen of een grond

fosfaatverzadigd is (zie Fraters en Boumans, in voorbereiding) en (c) een mogelijke overschatting door SC-DLO. De volgende kritische waarden voor het Pw- en P-Al-getal zijn beschouwd:

1. *Fosfaattoestand >80*: Nader onderzoek, met bijvoorbeeld protocol, dient te worden uitgevoerd op 117.000 ha. Het alternatief zonder nader onderzoek betekent dat er 97.000 ha onder een regeling worden gebracht die een FVG hebben van <75%. Van deze 97.000 ha is 4% niet-fosfaatverzadigd (FVG <25%), ruim 50% is sterk fosfaatverzadigd (FVG >50%). Volgens berekeningen heeft zo'n 400 ha landbouwgrond een fosfaattoestand <80, maar wel een FVG van >75%.
2. *Fosfaattoestand >100*: Zo'n 64.000 ha zal aanvullend bemonsterd moeten worden. Ongeveer 2500 ha met een fosfaattoestand <100, maar met een FVG > 75% worden gemist. Van de 64.000 ha hebben zo'n 46.000 ha een FVG <75%. Van deze 46.000 ha is 1% niet-fosfaatverzadigd, ruim 55% is sterk fosfaatverzadigd.
3. *Fosfaattoestand >120*: Circa 24.000 ha zal aanvullend bemonsterd moeten worden. Ongeveer 8800 ha met een fosfaattoestand <120, maar met een FVG > 75% worden gemist. Van de 24.000 ha hebben 14.000 ha een FVG <75%. Deze 14.000 ha zijn fosfaatverzadigd. Bijna 55% hiervan is sterk fosfaatverzadigd.

Het beeld is gunstiger als op voorhand een onderscheid gemaakt kan worden tussen droge (Gt VI en hoger) en natte (Gt V* en lager) gronden (zie §3.3.3).

Alternatief 1 betekent relatief veel aanvullend onderzoek, hoewel het areaal binnen het zandgebied waarop de protocolmethode zou kunnen worden toegepast, al wordt teruggebracht met een factor 8. Voordeel van dit alternatief is dat men weinig gronden met een FVG >75% mist.

Bij alternatief 3 is in feite geen aanvullend onderzoek meer nodig, als het doel van de actie areaalreductie is, er resteert nog maar 24.000 ha. Indien men de protocolmethode niet wil of kan gebruiken zou dit een redelijk alternatief zijn. Wel wordt zo'n 8800 ha met een FVG >75% gemist.

Alternatief 2 zit tussen beide opties in. Het areaal voor nader onderzoek wordt gehalveerd t.o.v. alternatief 1, terwijl het areaal dat gemist wordt een factor 3-4 lager is dan bij alternatief 3. Door bij alternatief 2 gebruikt te maken van kennis over de Gt, zou deze gebruikt kunnen worden indien er geen toepassing van het protocol mogelijk of gewenst is. Het areaal natte gronden met een fosfaattoestand >100 is ongeveer 34.000, waarbij 17.000 ha een FVG heeft <75%. In dit geval wordt 3600 ha met een FVG >75% gemist.

5.5. Welke verliesnorm moet gaan gelden voor de aangewezen gronden?

Elke verliesnorm groter dan ongeveer $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ per jaar betekent een verdere ophoping van fosfaat in de bodem, waardoor de belasting van het oppervlakte water op lange termijn toenemen. Berekeningen van het SC-DLO (Groenenberg e.a., 1997) wijzen uit dat op korte termijn de uit- en afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater zal afnemen, indien het fosfaatoverschot gereduceerd wordt, zelfs bij overschotten op het niveau van de verliesnorm voor 1998. Bij een fosfaattoestand van de bouwvoor >60 is bemesting niet noodzakelijk en kan de verliesnorm gelijk worden aan de onttrekking. Voor grasland betekent dit in het meest extreme geval, waarbij geen vee meer kan worden gehouden, een verliesnorm van -69 tot $-80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Hermans en Vereijken (1996; zie ook §4.3) stellen voor een dergelijke strenge maatregel toe te passen voor bedrijven met een gemiddelde P-AI > 100 . Voor bedrijven met een P-AI tussen 60 en 100 stellen zij voor geen fosfaat meer aan te voeren. De verliesnorm per ha is dan -18 tot $-23 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Een alternatief is alle bedrijven met een gemiddelde P-AI >60 te verplichten de stalmest af te voeren en niet meer fosfaat te laten aanvoeren dan met vlees en melk wordt afgevoerd. De verliesnorm per ha is dan -48 tot $-55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Voor bouwland komt een nul-bemesting bij een Pw-getal >60 neer op een verliesnorm, van -56 tot $-70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ afhankelijk van het bouwplan.

Als de fosfaattoestand van de bouwvoor beneden de 60 is gedaald, betekent dit niet dat het perceel niet meer (zeer sterk) fosfaatverzadigd is. Verder uitmijnen is noodzakelijk. Of bij een fosfaattoestand <60 minder stringente verliesnormen kunnen gelden, zodat opbrengstverliezen minimaal zijn en er wel wordt uitgemijnd, is een vraag die nu niet beantwoord kan worden. Als de fosfaattoestand lager wordt dan 20 zal, bij handhaven van een negatieve verliesnorm en de gebruikelijke landbouwkundige methoden, niet meer dezelfde opbrengst gerealiseerd kunnen worden. Deze lage toestand zal waarschijnlijk worden bereikt voordat volledig is uitgemijnd.

5.6. Weten we voldoende?

Uit voorgaande hoofdstukken en paragrafen is duidelijk geworden dat nog niet alles bekend is. Duidelijk is wel dat de fosfaattoestand van landbouwgronden aanzienlijk omlaag kan, zonder dat dit tot landbouwkundige (opbrengst) problemen hoeft te leiden. Voor de middellange en lange termijn effecten van uitmijnen dienen nog een aantal zaken uitgezocht te worden. Het betreft zowel effecten t.a.v. de landbouw als t.a.v. het milieu. Hierbij kan gedacht worden aan vragen als:

1. Leveren gronden die uitgemijnd zijn totdat al het geadsorbeerde fosfaat verwijderd is nog een te hoge uitspoeling naar grond- en/of oppervlaktewater op? Met andere woorden, wat is de nalevering van het gediffundeerde fosfaat?
2. Op welke manier kan aangetoond worden dat een fosfaatverzadigde grond voldoende gesaneerd is?
3. Zijn er landbouwkundige methoden waarmee bij lage fosfaattoestand (<20) nog acceptabele opbrengsten (minder dan 10% verschil met huidige niveau) gerealiseerd kunnen worden?
4. Zijn er economische rendabele gewassen waarmee fosfaat op grotere diepte aan de bodem kan worden onttrokken?

De huidige studies over fosfaatverzadiging hebben vooral betrekking op zandgronden. Hoewel de hierbij opgedane kennis deels bruikbaar is voor de ander grondsoorten, moet toch geconstateerd worden dat in de kennis over voorkomen en gedrag van fosfaat in klei- en veengronden nog veel blinde vlekken voorkomen.

Daarnaast is de laatste tijd steeds meer aandacht voor de rol van het organisch-fosfaat. Tot nu toe is deze in de modelstudies nagenoeg verwaarloosd. Er zal o.a. uitgezocht moeten worden of de huidige modellen voldoende adequaat het gedrag en transport van organisch-fosfaat beschrijven. Nagaan zal moeten worden of organisch-fosfaat net als anorganisch-fosfaat ophoopt of dat er net als bij nitraat geen rekening hoeft te worden gehouden met langdurige nalevering zodra gestopt wordt met overmatig bemesten.

Een aanvullend aandachtspunt m.b.t. de modellering van fosfaatuitspoeling is het effect van heterogeniteit op de fosfaatuitspoeling. Hierbij kan gedacht worden aan de effecten van preferent transport, de effecten van heterogeniteit in bemesting (bijvoorbeeld mestflaten) en de effecten van de variabiliteit in de bodem op de fosfaatuitspoeling. Deze onderwerpen zijn bij het SC-DLO en AB-DLO in onderzoek.

In dit rapport is vooral gekeken naar uitmijnen als oplossing voor de aanpak van de fosfaatverzadigde percelen en is geen aandacht besteed aan effect gerichte maatregelen, zoals saneringstechnieken, beheersstroken en bufferstrokenbeheer, die vaak op de korte termijn soelaas kunnen bieden om de belasting van het oppervlaktewater te verminderen. Ook is nauwelijks aandacht besteed aan de fosfaatlekkende percelen binnen de groep van fosfaatverzadigde percelen. Op deze terreinen is zeker nog nader onderzoek noodzakelijk, teneinde op efficiënte wijze de belasting van het oppervlaktewater terug te dringen. Hiervoor wordt verwezen naar Chardon e.a. (1996).

Verder realiseren we ons dat we in deze rapportage niet gekeken hebben naar effecten van beleid op andere terreinen op de problematiek van de uitspoeling van fosfaat naar grond- en

oppervlaktewateren. Gedacht kan worden aan beleid gericht op de aanpak van de nitraatuitspoelingsgevoelige gronden (aanwijzen van droge en natte gebieden), maar met name aan het anti-verdrogingsbeleid. Het verhogen van grondwaterstanden om verdroging te bestrijden, kan grote gevolgen hebben voor de uitspoeling van fosfaat naar m.n. oppervlaktewateren.

Ondanks lacunes in de kennis is o.i. voldoende bekend en de noodzaak voldoende duidelijk om een begin te maken met het terugdringen van de landbouwkundig onnodig hoge fosfaattoestanden van landbouwgronden.

REFERENTIES

- Agterberg, G.C. en P.L.C.M. Henkens (1995). Grondslagen van het fosfaatbemestingsadvies op grasland. *Meststoffen* 1995:12-23. Wageningen: NMI.
- Bakker, H. de en W.P. Locher (1992). *Bodem van Nederland. Deel 2: Bodemgeografie*. Den Bosch: Malberg.
- Berghs, M.E.G. en P.H. Hotsma (1993). Fosfaatafvoercijfers van land- en tuinbouwgewassen in Nederland. Ede: Informatie en Kennis Centrum - Landbouw.
- BLGG (1996). Overzicht van de fosfaattoestand op akkerbouw, vollegrondsgroente en veehouderijbedrijven in Nederland per LEI-gebied. Oosterbeek: Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek.
- Boer, D.J. (1996). Bemonsteringsdiepte van grasland; valt er iets te verbeteren? Samenvatting van een voordracht op de NMI-Eindejaarsbijeenkomst van 22 november 1996 te Wageningen. In: NMI-eindejaarsbijeenkomst: Betere benutting van nutriënten in de bodem. Wageningen: NMI
- Boer, D.J. den, J.C. van Middelkoop, G. André, A.P. Wouters en H. Evers (1995a). Fosfaatwerking van dunne rundermest op grasland bij jaarlijkse injectie en zodebemesting. *Meststoffen* 1995:24-31. Wageningen: NMI.
- Boer, D.J. den, J.C. van Middelkoop, G. André, A.P. Wouters en H. Evers (1995b). Effecten fosfaattoestand en fosfaatbemesting op grasopbrengst en P-gehalte. *Meststoffen* 1995:32-37. Wageningen: NMI.
- Boers, P., W. Laane, L. van Liere, C. Peeters, S. Parma en J. van der Does (1993). Eutrofiëring en beleid in Nederland, hoe verder? Lelystad: RIZA notitie 93.056X.
- Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink en O.F. Schoumans (1990). Fosfaatverzadigde gronden in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied. Wageningen: SC-DLO rapport 68.
- CBS (1997). Milieustatistiek voor Nederland 1996. Voorburg: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Chardon, W.J. (1994). Relationship between phosphorus availability and phosphorus saturation index. Haren: AB-DLO, rapport 19.
- Chardon, W.J., O. Oenema, P. del Castilho, R. Vriesema, J. Japenga and D. Blaauw (1997). Organic Phosphorus in solutions and leachates from soils treated with animal slurries. *Journal of Environmental Quality*, 26:372-378.
- Chardon, W.J., O. Oenema, O.F. Schoumans, P.C.M. Boers, B. Fraters, Y.C.W.M. Geelen (1996). Verkenning van de mogelijkheden voor beheer en herstel van fosfaatlekkende landbouwgronden. Reeks: Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, deel 8. Wageningen: PGBO.
- CSO (1996a). Uitvoering nulmetingen Provinciaal Meetnet Bodemkwaliteit Noord-Brabant. Rapportage fase 2: landbouweenheden op zand en veen. Bunnik: CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek, rapportnummer 96.136.

- CSO (1996b). Uitvoering nulmetingen Provinciaal Meetnet Bodemkwaliteit Noord-Brabant. Rapportage fase 3: landbouweenheden op zee- en rivierklei. Bunnik: CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek, rapportnummer 96.180.
- DSM (1993). De fosfaattoestand in Nederland 1991/1992, gesorteerd per provincie, grondsoort, landbouwgebied. Sittard: DSM Meststoffen B.V.
- Ehlert, P.A.I., S.L.G.E. Burgers en J.W. Steenhuizen (1996). Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in grond onder invloed van bemesting. Observationeel statistisch onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. Haren/Wageningen: AB-DLO rapport 51.
- Finck, A. (1992). Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Zweite, neuarbeitete Auflage. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- Fraters, B. en L.J.M. Boumans (in voorbereiding). Berekeningen bij de rapportage Technische achtergronden bij de aanpak van de fosfaatverzadigde gronden. Bilthoven: RIVM rapport.
- Fraters, B., H.A. Vissenberg, L.J.M. Boumans, T. de Haan en D.W. de Hoop (1997). Resultaten Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven in het zandgebied (MKBGL-zand) 1992-1995. Bilthoven: RIVM rapport nr. 714801014.
- Freeze, D., R. Lookman, R. Merckx and W.H. van Riemsdijk (1995). New method for assessment of long-term phosphate desorption from soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:1295-1300.
- Groenenberg, J.E., G.J. Reinds en O.F. Schoumans (in voorbereiding). Modelonderzoek naar het milieurendement van lagere verliesnormen op fosfaatverzadigde gronden in drie stroomgebieden. Wageningen: SC-DLO rapport ...
- Groenenberg, J.E., G.J. Reinds en A. Breeuwsma (1996). Simulauon of phosphate leaching in catchments with phophate-saturated soil in the Netherlands. Wageningen: SC-DLO rapport 116.
- Haygarth, P. (1997). Agriculture as a source of phosphorus transfer to water: sources and pathways. SCOPE Newsletter, number 21. Brussels: Scientific Committee on Phosphates in Europe.
- Hermans, T. en P. Vereijken (1996). Graasveehouderij op basis van duurzaam nutriëntenbeheer; een ecologisch overlevingsperspectief. Spil (113-114):37-44.
- Houba, V.J.G., J. Ch. van Schouwenburg, I. Walinga and I. Novozamsky (1979). Soil analysis II. Methods of analysis for soils. Syllabus of lectures 06-17-3011. Wageningen: Landbouwniversiteit Wageningen.
- Hotsma, P.H. en M.E.G. Berghs (1994). Mogelijkheden van grondonderzoek voor het onderscheiden van gronden met een lage fosfaattoestand. Rapportages van de werkgroep grondonderzoek lage fosfaattoestand. Project Verliesnormen, deelrapport 2. Den Haag: LNV.
- IKC (1994). Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen. IKC-publicatie nr.44. Ede: Informatie en Kennis Centrum - Landbouw.
- IKC (1992). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen. IKC-publicatie nr.xx. Ede: Informatie en Kennis Centrum - Landbouw.

- Iyamuremye, F., R.P. Dick and J. Baham (1996). Organic amendments and phosphorus dynamics: II. Distribution of soil phosphorus fractions. *Soil Science*, 161, 7:436-443.
- LEI (1994). Land- en tuinbouwbedrijven, metelling 1994.
- Lexmond, Th.M, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan (1982). Onderzoek naar fosfaat en koper in het bijzonder in gebieden met intensieve veehouderij. Reeks Bodembescherming, deel 9; 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij.
- Loo, H. van het (1997a). Steekproef voor de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de bodemkaart van Nederland schaal 1: 50.000. Kaarteenheden met Gt II. Wageningen: SC-DLO, rapport 483.2.
- Loo, H. van het (1997b). Steekproef voor de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de bodemkaart van Nederland schaal 1: 50.000. Kaarteenheden met Gt III. Wageningen: SC-DLO, rapport 483.1.
- Lookman, R., I. Schoeters, K. Vlassak, R. Merckx, J. de Smet, M. van Meirvenne, K. Scheldeman, L. Baert, G. Homan, J. Vanderdeelen (1994). De fosfaattoestand van de bodem in Vlaamse veeconcentratiegebieden: II. Onderzoeksresultaten. In: KVIV (ed.), Fosfaatproblematiek in de landbouw, Antwerpen, blz 35-49.
- LNV (1997). Wet van 2 mei 1997, houdende wijziging van de Meststoffenwet. Staatsblad 360.
- LNV (1996). Wijziging van de Meststoffenwet. Tweede Kamer, vergaderjaar 1995-1996, 24 445, nr.1.
- LNV (1995a). Integrale notitie mest- en ammoniakbeleid. Tweede Kamer, vergaderjaar 1995-1996, 24 782, nrs.1-2.
- LNV (1995b). Acceptabele fosfaat- en stikstofverliezen in de landbouw, op weg naar evenwichtsbemesting. Eindrapport Project Verliesnormen.
- LNV (1987). Besluit van 25 maart 1987, houdende regelen met betrekking tot het op of in de bodem brengen van dierlijke meststoffen (Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen). Staatsblad 114.
- Murphy, J. and J.P. Riley (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27:31-36.
- Nair, V.D., D.A. Graetz and K.M. Portier (1995). Forms of phosphorus in soil profiles from dairies of south Florida. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 59:1244-1249.
- Nieuwenhof, R. van den (1995). Vermesting en water; de overlast voor gebruikers. Amsterdam: Uitgeverij Babylon-De Geus.
- Oenema, O en T.A. van Dijk (1994). Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Rapport van de technische projectgroep 'P-deskstudie'. Project Verliesnormen, deelrapport I. Den Haag: LNV.
- Reijerink, J.G.A., A. Breeuwsma, H.H. Luesink en H. Kleijer (1993). Rekenmodel voor de fosfaatverzadigingstoestand van mestoverschotgebieden. Wageningen: SC-DLO, rapport 241.
- Reijerink, J.G.A., en A. Breeuwsma (1992). Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden. Wageningen: SC-DLO, rapport 222.

- Remmers, J. (1995). De aanpak van fosfaatverzadigde gronden. Utrecht: Stichting Natuur & Milieu.
- Riemsdijk, W.H. van en A. Breeuwsma (1990). Fosfaatverzadiging van Nederlandse zandgronden. In: P. del Castillo e.a. (red.), Dierlijke mest problemen en oplossingen. Proceedings van het symposium gehouden op 13 en 14 juni 1990 te Utrecht, bladzijden 223-245.
- RIVM (1996). Achtergronden bij: Milieubalans 96. Alphen a.d. Rijn: Samsom H.D. Tjeenk Willink bv.
- RWS (1989). Eutrofiëring. Basisrapport Derde Nota Waterhuishouding (Rijkswaterstaat). Nota 89.034. Lelystad: RIZA.
- Schoumans, O.F. (1995). Beschrijving en validatie van de procesformulering van de abiotische fosfaatreacties in kalkloze zandgronden. Wageningen: SC-DLO, rapport 381.
- Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse, R. Zwijnen (1991). De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-Al-getal en fosfaatverzadiging bij zandgronden. Wageningen: SC-DLO, rapport 112.
- Sharpley, A.N. and S.J. Smith (1995). Nitrogen and phosphorus forms in soils receiving manure. Soil Science, 159, 4: 253-258
- Smet, J. de, M. van Meirvenne, K. Scheldeman, L. Baert, G. Hofman, J. Vanderdeelen, R. Lookman, I. Schoeters, K. Vlassak, R. Merckx (1994). De fosfaattoestand van de bodem in Vlaamse veeconcentratiegebieden: I. Bemonsteringsstrategie en gegevensverwerking. In: KVIV (ed.), Fosfaatproblematiek in de landbouw, Antwerpen, blz 25-34.
- Smet, J. de, G. Hofman, J. Vanderdeelen, M. van Meirvenne, L. Baert (1995). Fosfaatuitspoeling onder zandleembodems, Agricontract, 276:1-6.
- Smet, J. de, G. Hofman, J. Vanderdeelen, M. van Meirvenne en L. Beart (1996). Phosphate enrichment in sandy loam soils of West-Flanders, Belgium. Fertilizer Research, 43:209-215.
- STORA (1989). Kenmerken van niet rechtstreeks door afvalwater beïnvloed binnenwater. Den Haag: Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater.
- Swinderen, E.C. van, B. Fraters, H.A. Vissenberg, D.W. de Hoop en T. de Haan (1996). Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven; resultaten tweede bemonstering 1993. Bilhoven: RIVM rapport nr. 714831001
- Swinderen, E.C. van, W.J. Willems, C.H.G. Daatselaar, D.W. de Hoop en T. de Haan (1994). Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven; resultaten eerste bemonstering 1992. Bilhoven: RIVM rapport nr. 714901002
- TCB (1990). Advies van de Technische Commissie Bodembescherming inzake het protocol fosfaatverzadigde gronden.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin (1993). Soil Fertility and fertilizers. Fifth edition. New York: Macmillan Publishing Company. [Chapter 5: Soil and fertilizer phosphorus].

- Westhoek, H.J en G.C. Agterberg (1997). Wijziging fosfaatbemestingsadvies voor grasland. Meststoffen 1996:19-22. Wageningen: NMI.
- Westhoek, H.J. (1995). Verkenning van de milieu-effecten van verschillende stikstof- en fosfaatverliezen. Rapport van de projectgroep 'Quick-scan milieu-effecten'. Ede: IKC-landbouw.
- Willems, W.J. en B. Fraters (1995). Naar afgestemde kwaliteitsdoelstellingen voor nutriënten in grondwater en oppervlaktewater. Bilthoven: RIVM rapport nr. 714901003.
- Vlist, M.J. van der, S.E.A.T.M. van der Zee, S.A.M. Warmerdam (1994). Incorporation of phosphate saturated soils clause in the soil protection act. In: H.N. van Lier e.a., Sustainable land use planning: Proceedings of an international workshop, 2-4 september 1992, Wageningen; pp. 325-334
- Zee, S.E.A.T.M. van der en W.H. van Riemsdijk (1986). Sorption kinetics and transport of phosphate in sandy soils. *Geoderma*, 38: 293-309
- Zee, S.E.A.T.M. van der, L.G.J. Fokkink and W.H. van Riemsdijk (1987). A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:599-604, 1680.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan (1990a). Het protocol fosfaatverzadigde gronden; deel I: Toelichting. Wageningen: Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding.
- Zee, S.E.A.T.M., van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan (1990b). Het protocol fosfaatverzadigde gronden; deel II: Technische uitwerking. Wageningen: Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding.
- Zee, S.E.A.T.M., van der, A. Gjaltema, W.H. van Riemsdijk and F.A.M. de Haan (1992). Simulation of phosphate transport in soil columns. II. Simulation results. *Geoderma*, 52: 111-132.
- Zee, S.E.A.T.M., van der en M.C. del Campillo (1996). Bemestingsadviezen voor fosfaat in relatie tot milieukwaliteitsdoelstellingen. *Milieu*, 5:233-238