

Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland

Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland

O.F. Schoumans

Alterra-rapport 730.4

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Schoumans, O., 2004. *Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 730.4. 50 blz.; 11 fig.; 5 tab.; 35 ref.

Het beleid van de rijksoverheid is erop gericht om te voorkomen dat een te hoge fosfaatbelasting van het grond- en oppervlaktewater optreedt als gevolg van een te hoge fosfaatophoping in de bodem. Mede om deze reden is in het verleden voor gronden die in de mestoverschotgebieden voorkomen, voornamelijk kalkarme zandgronden, een grenswaarde afgeleid voor de mate van fosfaatverzadiging waarboven gesproken wordt van een 'fosfaatverzadigde grond'. Voor de overige gronden ontbreekt vooralsnog een soortgelijke definitie. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de huidige inzichten om voor de overige grondsoorten een soortgelijk criterium en grenswaarden af te leiden. Het betreft hier kalkrijke zand- en kleigronden, kalkarme klei- en lössgronden en veengronden. Vervolgens is nagegaan in welke mate overschrijding van de grenswaarden voor fosfaatverzadiging heeft plaatsgevonden. Hiervoor zijn de analyseresultaten van de landelijke steekproef kaarteenheden nader geïnterpreteerd. Uit deze analyse blijkt dat ca. 56 % van het areaal landbouwgronden in Nederland met fosfaat verzadigd is.

Trefwoorden: fosfaat, fosfaatbindend vermogen, fosfaatverzadiging, kalkarm, kalkrijk, kleigronden, veengronden, zandgronden,

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €16,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 730.4. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Fosfaatverzadiging	15
2.1 Gedrag van fosfaat in de bodem	15
2.2 Definitie van een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond	16
2.3 Criteria voor fosfaatverzadiging in andere grondsoorten	19
3 Fosfaatverzadiging van de bodem	25
3.1 Landelijke steekproef kaartenheden (LSK)	25
3.2 Verdeling van de gemeten fosfaatverzadigingsgraad	27
4 Discussie	33
5 Conclusies en aanbevelingen	37
Literatuurlijst	39
<i>Aanhangsels</i>	
1 TCB-advies	43
2 Definitie van een fosfaatverzadigingsgraad	48

Woord vooraf

Voor de beantwoording van een deel van de beleidsvragen die gesteld zijn in het kader van de evaluatie van de meststoffenwet 2004 (EMW 2004) is, in opdracht van het Ministerie van LNV en onder leiding van het Milieu en Natuurplanbureau (MNP), nagegaan in hoeverre landbouwgronden in Nederland met fosfaat verzadigd zijn. Deze deskstudie is uitgevoerd in de periode december 2003 – februari 2004 en is voorgelegd aan een aantal direct betrokken onderzoekers en beleidsmedewerkers:

Prof. Dr. W.H. Van Riemsdijk	WUR-DOW, Sectie Bodemkwaliteit
Dr. ir. W.J. Chardon	Alterra
Ir. P.A.I. Ehlert	Alterra
Ir. F.J.E. van der Bolt	Alterra
Ir. B. Fraters	RIVM
Dr. ir. J.J.M. van Grinsven	RIVM
Ir. W.J. Willems	RIVM
Dr. P.C.M. Boers	RIZA
Ir. J. Kamps	RIZA
Ir. P.H. Hotsma	EC-LNV
Ir. E.E. Biewinga	LNV Directie Landbouw
Ir. B. Crijns	LNV Directie Landbouw
Ir. E. Mulleneers	LNV Directie Landbouw
Ir. S. Smeulders	VROM

Reacties zijn binnengekomen van Prof. Dr. Ir. S.E.A.T.M. van der Zee (namens de wetenschappelijke review commissie Evaluatie Meststoffenwet 2004), Dr. Ir. W.J. Chardon, Ir. P.A.I. Ehlert, Ir. W.J. Willems, Dr. P.C.M. Boers, Ir. B. Crijns, Ir. S. Smeulders. De reacties zijn in het uiteindelijke rapport verwerkt voor zover dit van toepassing was. Onderdelen die niet zijn verwerkt zijn beargumenteerd en gecommuniceerd met de onderzoekers en de beleidsmedewerkers die hebben gereageerd.

Dank is verschuldigd aan Folkert de Vries en Reind Visschers (beiden Alterra) voor het verzamelen en rubriceren van gegevens uit het Bodemkundige Informatie Systeem. Daarnaast is speciale dank verschuldigd aan Wim Chardon en Phillip Ehlert voor het kritisch doorlezen van de conceptversie van het rapport.

Samenvatting

In het kader van de Evaluatie van de MeststoffenWet in 2004 (EMW 2004) is door het beleid gevraagd, na te gaan in welke mate er sprake is van fosfaatverzadiging van de landbouwgronden in Nederland. In het verleden is de fosfaatverzadiging van de bodem veelal met behulp van modellen in beeld gebracht. Tot op heden ontbreekt een nationaal beeld van de fosfaatverzadiging op basis van meetgegevens. Een tweede beleidsvraag, die hieraan direct gelieerd is, betreft het feit dat tot op heden inzicht ontbreekt in de grenswaarden die voor de niet-kalkarme zandgronden mogelijk gehanteerd dient te worden uitgaande van de methodiek zoals deze voor de kalkarme zandgronden is afgeleid (protocol fosfaatverzadigde kalkarme zandgronden). Tot slot heeft het beleid behoefte aan inzicht in welke mate de kwaliteit van het oppervlaktewater verbeterd indien de fosfaatverzadiging van de bodem wordt teruggedrongen.

Doel van deze deskstudie is om na te gaan in hoeverre het mogelijk is om voor de niet-kalkarme zandgronden een definitie van een fosfaatverzadigde grond af te leiden en daarnaast aan de hand van de bodemgegevens van de landelijke steekproef kaartenheden (LSK) inzicht te verschaffen in de fosfaatverzadiging van de bodem in Nederland (en het areaal) zoals deze tijdens de periode van bemonstering (1992-1998) is aangetroffen. Wat de gevolgen zijn van het gericht terugdringen van de fosfaatverzadiging aan het aan het oplossen van het fosfaatprobleem in het oppervlaktewater valt buiten de context van dit rapport en kan slechts indicatief worden behandeld, omdat dit sterk van de hydrologische omstandigheden afhangt. Aan de hand van modelberekeningen met het nationale nutriënteninstrumentarium STONE zal in een ander rapport hieraan aandacht worden besteed.

Voor de niet-kalkarme zandgronden is dezelfde methodiek gevolgd als voor de kalkarme zandgronden is gehanteerd om een grenswaarde voor fosfaatverzadiging te kunnen afleiden. Vervolgens zijn procesparameters uit oriënterende laboratoriumstudies gebruikt om de kritieke fosfaatverzadigingsgraad voor de verschillende grondsoorten te schatten. Tevens is hierbij rekening gehouden met de natuurlijke achtergrondconcentraties die in de verschillende grondsoorten op grote diepte (7 meter minus maaiveld) worden aangetroffen. In hoeverre deze representatief zijn voor de bovengrond (GHG niveau waarop de fosfaatverzadigingsgraad zich richt) dient nog nader onderzocht te worden.

Gegeven deze uitgangspunten is in deze studie voor de kleigronden een kritieke fosfaatverzadigingsgraad van 25% worden gehanteerd, welke overeenkomt met het criterium voor de kalkarme zandgronden. Voor veengronden en kalkrijke zandgronden ligt deze (beduidend) lager, resp. 10 en 5%.

De fosfaatverzadigingsgraad van de verschillende grondsoorten varieert van 25 – 63% indien de grondsoort specifieke criteria worden gebruikt. Het totale areaal fosfaatverzadigde gronden bedraagt dan 1,3 miljoen ha (56% van het totale areaal in

Nederland). Indien het criterium van een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond wordt gehanteerd voor alle grondsoorten ($FVG_{crit} = 25\%$) bedraagt het areaal 1,1 miljoen ha.

Op grond van deze synthese wordt geconcludeerd dat, volgens het hier gehanteerde algemene concept van de definitie voor fosfaatverzadigde grond, ruwweg 1,1 tot 1,3 miljoen ha landbouwgrond een te hoge fosfaattoestand bezit. Verder blijkt dat de maïspcelen een relatieve hoge fosfaatverzadigingsgraad bezitten. De frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van de grasland- en bouwlandlocaties verschilt onderling nagenoeg niet.

1 Inleiding

Aanleiding

Begin jaren zeventig werd duidelijk dat door de groei van de veestapel en de daarmee gepaard gaande toename van de mestproductie, de fosfaatimport in Nederland de fosfaatopname door het gewas ver overstegen (de la Lande Cremer, 1970). Het gevolg was een aanzienlijke fosfaataccumulatie in de bodem en een toename van de fosfaatemissies vanuit landbouwgronden naar het grond- en oppervlaktewater, met als gevolg een directe bijdrage aan de eutrofiëring van het oppervlaktewater. Doordat de lozingen van puntbronnen (o.a. RWZI's, industrie) de laatste decennia drastisch zijn afgenomen, draagt de landbouw procentueel steeds sterker bij aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater (RIVM, 2002).

De mate waarin landbouwgronden bijdragen aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater hangt sterk af van de fosfaatophoping in de bodem, de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden en de hydrologische situatie. Medio jaren tachtig is voor de mestoverschotgebieden, die op kalkarme zandgronden zijn gelegen, een regionaal fosfaattransport model ontwikkeld waarmee de mate waarin de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem, berekend tot aan een bepaalde diepte was verbruikt, in kaart kon worden gebracht (Schoumans et al, 1986; Schoumans et al., 1987). Voor verschillende criteria is vervolgens het areaal landbouwgronden berekend die een bepaalde norm overschreden (Breeuwsma en Schoumans, 1986). De uitkomsten van die studie hebben ertoe geleid dat vanaf 1986 fosfaatgebruiksnormen in de mestwetgeving zijn ingevoerd, welke in de jaren daarna gefaseerd zijn aangescherpt.

Omdat een eenduidig criterium ontbrak voor de maximaal toelaatbare fosfaatophoping in de bodem in relatie tot de bindingscapaciteit van de bodem, is eind jaren tachtig een methodiek ontwikkeld om voor kalkarme zandgronden een criterium af te leiden, de zogenaamde 'definitie van een fosfaatverzadigde grond' (Van der Zee et al, 1990a en 1990b). Om de grenswaarde te kunnen bepalen diende vastgesteld te worden welke fosfaatconcentratie maximaal mag uitspoelen en welke referentiediepte hierbij gehanteerd moest worden. Het advies van de Technische Commissie Bodembescherming (TCB, zie aanhangsel 1) is hiervoor overgenomen.

Op grond van deze nieuwe randvoorwaarden kon worden vastgesteld dat de fosfaatophoping in kalkarme zandgronden niet hoger mag zijn dan 25% van de totale fosfaatbindingscapaciteit van de bodem berekend tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand (referentiediepte). Dit omdat dan op termijn een verhoogde fosfaatconcentratie tijdens hoge grondwaterstanden (GHG niveau=gemiddelde hoogste grondwaterstand) kon worden aangetroffen. Op basis hiervan kon met behulp van modelberekeningen worden geraamd dat begin jaren negentig ca. 70% van de kalkarme zandgronden in de mestoverschotgebieden volgens dit criterium als 'fosfaat verzadigd' gekarakteriseerd zou kunnen worden (Breeuwsma et al., 1990; Reijerink en Breeuwsma, 1992). In feite zijn deze gronden niet geheel met fosfaat verzadigd maar

ten dele, maar wel zodanig dat de fosfaatuitspoeling op termijn boven de natuurlijke fosfaatachtergrondconcentratie uitkomt.

Voor de overige grondsoorten in Nederland is geen criterium afgeleid. Wel zijn een aantal regionale studies uitgevoerd om de mate en de gevolgen van fosfaatophoping in kaart te brengen zoals in de veengebieden in Zuid-Holland (Schoumans et al., 1988), de moerige gronden in Drenthe (Schoumans et al., 1989), kalkarme zandgronden in het stroomgebied van de Schuitenbeek in de Gelderse Vallei (Breeuwsma et al., 1989; Schoumans en Kruijne, 1995b). Ook zijn in de landelijke steekproef kaartenheden de fosfaatgehalten in de bodem gemeten samen met een groot aantal bodemkenmerken (Finke et al., 2001).

Daarnaast is in een beperkt aantal laboratoriumstudies getracht de fosfaatreactiemechanismen in kalkrijke zandgronden (Schoumans en Lepelaar, 1995) en veengronden (Schoumans et al., 1988, Schoumans, 1999; van Beek et al., 2004) te beschrijven en wel op soortgelijke wijze als voor de kalkarme zandgronden is gebeurd (Beek en van Riemsdijk, 1979; Schoumans et al., 1987; Van der Zee, 1988). Een doorvertaling naar *alle* Nederlandse landbouwgronden heeft nog niet plaatsgevonden.

Probleemstelling

Gelet op bovenstaande schets van het onderzoek naar fosfaatverzadiging, is in het kader van de Evaluatie van de Meststoffenwet 2004 door het beleid gevraagd een deskstudie uit te voeren waarbij de volgende beleidsvragen, voor zover mogelijk, worden beantwoord:

- Wat is het areaal fosfaatverzadigde gronden in Nederland.
- Wat is er nog nodig om tot een protocol te komen voor aanwijzing van fosfaatverzadigde gronden (alle grondsoorten).
- Welke bijdrage kan het gericht terugdringen van de fosfaatverzadiging leveren aan het fosfaatprobleem in het oppervlaktewater.

Omdat in het verleden de fosfaatverzadiging van de bodem veelal met behulp van modellen in beeld is gebracht, bestaat er bij het beleid behoefte aan inzicht in de gemeten fosfaatverzadiging van de bodem (ex post evaluatie naar de fosfaatverzadiging van de bodem in Nederland). Daarbij komt dat inzicht in de grenswaarden voor de mate van fosfaatverzadiging voor de niet-kalkarme zandgronden ontbreekt, zodat op grond van de huidige inzichten ook hiervoor indicatieve grenswaarden dienden te worden aangegeven. Tot slot heeft het beleid behoefte aan inzicht in de gevolgen van het terugdringen van de mate van fosfaatverzadiging van de landbouwgronden op de verbetering van de chemische kwaliteit van het oppervlaktewaterkwaliteit.

Doelstelling

Doel van deze deskstudie is om na te gaan in hoeverre het mogelijk is om voor de niet-kalkarme zandgronden een definitie van een fosfaatverzadigde grond af te leiden om vervolgens daarna aan de hand van gegevens van de landelijke steekproef kaartenheden (LSK; Finke et al., 2001) een indicatie te geven van de mate van fosfaat-

verzadiging van de landbouwgronden. Dit is de enige streekproef die landsdekkend is uitgevoerd en waarin belangrijke fosfaatkarakteristieken in alle bodemlagen zijn gemeten en op dit moment het beste beeld kan geven van de mate van fosfaatverzadiging van de bodem. Tot slot zal worden aangegeven in welke mate de fosfaatconcentraties in landbouwgronden zullen dalen indien de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem weer daalt. Een volledige analyse van de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater kan alleen met behulp van modelberekeningen plaatsvinden omdat de reductie in de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden in relatie tot fosfaatverzadiging in sterke mate wordt bepaald door o.a. de weersomstandigheden, de (locale) hydrologische situatie (wijze van ontwatering) en het landgebruik. Daarbij komt dat ook de processen die in het oppervlaktewater zelf optreden van invloed zijn op het verloop van de fosfaatconcentratie in sloten, beken, meren en rivieren, en dus onderdeel uit dienen te maken van een dergelijk synthese (evaluatie van resultaten van modelexercities).

Concretisering en afbakening

Deze deskstudie beperkt zich tot de analyse van de mate van fosfaatverzadiging voor verschillende grondsoorten en is er niet op gericht om een protocol voor fosfaatverzadiging voor alle grondsoorten op te stellen, aangezien al vooraf aangegeven kan worden dat hiervoor nog aanvullend fundamenteel onderzoek noodzakelijk is. In deze deskstudie zal wel een indicatie worden gegeven indien, in lijn van het protocol voor fosfaatverzadigde kalkarme zandgronden, een dergelijke redenering wordt toegepast op de overige gronden. Voor wat betreft de relatie tussen verlaging van de fosfaatverzadiging van de bodem en de verbetering van de fosfaatkwaliteit van het oppervlaktewater kan feitelijk alleen maar een eenduidig antwoord worden gegeven indien eerst voor alle grondsoorten de definitie van een fosfaatverzadigde grondsoort is vastgesteld, en vervolgens aan de hand van modelexercities (bodem, grondwater en oppervlaktewater) een synthese wordt uitgevoerd. Wel zal inzichtelijk worden gemaakt in welke mate de fosfaatconcentratie in de bodem wijzigt, indien de fosfaatverzadigingsgraad weer daalt.

Opzet

Het project is uit een tweetal fasen uitgevoerd. De eerste fase betrof het beschrijven van de methodiek om een fosfaatverzadigde grond te karakteriseren, zodat samen met de resultaten van laboratoriumonderzoek inzichtelijk kan worden gemaakt in welke mate het mogelijk is voor de niet-kalkarme zandgronden tot een criterium te komen. In de tweede fase zijn de meetgegevens van de landelijke steekproef kaart-eenheden geïnterpreteerd om de mate van fosfaatverzadiging van landbouwgronden voor de verschillende grondsoorten in beeld te brengen. Zowel bij de bespreking van de methodiek aangaande de definitie van fosfaatverzadigde gronden als bij de discussie is aandacht besteed aan de relatie tussen fosfaatverzadiging en fosfaatuitspoeling vanuit landbouwgronden.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt allereerst ingegaan op de beschrijving van fosfaatverzadiging voor verschillende grondsoorten. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd van de analyse van de fosfaatgegevens uit de landelijke steekproef kaart-eenheden.

Hoofdstuk 4 bevat de discussie en tot slot staan in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen vermeld.

2 Fosfaatverzadiging

2.1 Gedrag van fosfaat in de bodem

Voor een actueel overzicht van de beschrijving van de fosfaatreactiemechanismen die in de verschillende grondsoorten op kan treden, en die gehanteerd wordt in het modelinstrumentarium STONE voor beleidsevaluaties, wordt verwezen naar Schoumans (1997) en Schoumans et al. (2004b). Hieronder volgt een korte samenvatting van de aspecten die van belang zijn voor het vaststellen van de mate van fosfaatverzadiging van de bodem.

Het fosfaat dat in landbouwgronden accumuleert, hoopt zich voornamelijk op in minerale vorm (70-90%; Lexmond et al., 1982). Mineraal fosfaat, ook wel anorganisch fosfaat genoemd, wordt in de bodem vooral vastgelegd aan aluminium- en ijzer(hydr)oxiden en/of kalkmateriaal, al dan niet geassocieerd met organische stof of kleimineralen. Naarmate de fosfaatophoping toeneemt neemt de snelheid waarmee fosfaat kan worden gebonden af, waardoor de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing stijgt en de kans op uitspoeling toeneemt.

Een deel van het minerale fosfaat (P_{ox}) dat is opgehoopt, is in staat om relatief gemakkelijk weer in oplossing te gaan. Dit is de fractie 'geadsorbeerd fosfaat' en wordt aangeduid met Q . Het evenwicht dat bestaat tussen de anorganische fosfaatconcentratie (ortho-P) in de bodemoplossing (C) en het geadsorbeerde fosfaat (Q) kan beschreven worden door:

$$Q = \frac{K C Q_m}{1 + K C} \quad (1)$$

Q = geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat (mmol.kg⁻¹ P)

K = k_a/k_d = adsorptieconstante (m³.mol⁻¹)

C = fosforconcentratie (mol.m⁻³)

Q_m = adsorptiemaximum (mmol.kg⁻¹ P)

Voor de kalkarme zandgronden is gevonden dat de Q_m -waarde gerelateerd is aan het gehalte aan (microkristallijne) aluminium- en ijzer(hydr)oxiden (Van der Zee et al., 1990a en b). Deze reactieve fractie aluminium en ijzer kan geëxtraheerd worden met een oxalaat extractie (Schwertmann, 1964; Beek en Van Riemsdijk, 1979):

$$Q_m = b (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (2)$$

Van der Zee et al (1990 a en b) hebben voor kalkarme zandgronden vastgesteld dat de K -waarde varieert van 10-100 (m³ mol⁻¹) en de β -waarde varieert van 0,1-0,2. In het protocol fosfaatverzadigde kalkarme zandgronden wordt resp. een gemiddelde waarde van 35 en 1/6 gehanteerd (Van der Zee et al., 1990a en b).

Een aanzienlijk deel van het minerale fosfaat wordt in de bodem sterk gebonden en gaat relatief slecht in oplossing. Dit is de fractie van het minerale fosfaat dat in de micro-kristallijne bodemdeeltjes, zoals amorf aluminium en ijzer(hydr)oxiden, is gediffundeerd en binnenin is vastgelegd (fosfaatabsorptie). Deze hoeveelheid gebonden fosfaat wordt aangeduid met S .

Voor kalkarme zandgronden blijkt dat de maximale hoeveelheid geabsorbeerd fosfaat (S_m) eveneens afhankelijk is van het oxalaatextraheerbaar Al- en Fe-gehalte (Van der Zee, 1988; Schoumans, 1995). In situaties met hoge fosfaatconcentraties (3 molm⁻³; bijv. na langjarige hoge (kunst)mestgiften), kan S_m ruwweg geschat worden uit:

$$S_m = t (Al + Fe)_{ox} \approx 1/6 (Al + Fe)_{ox} \quad (3)$$

S_m = maximale hoeveelheid geabsorbeerd anorganisch fosfaat (mmol·kg⁻¹ P)

De totale hoeveelheid mineraal fosfaat die in de bodem wordt vastgelegd wordt wel aangeduid als gesorbeerd fosfaat (F). Voor de maximale hoeveelheid die in kalkarme zandgronden gemiddeld kan worden vastgelegd (F_m) geldt dan:

$$F_m = Q_m + S_m = a (Al + Fe)_{ox} = 0,5 (Al + Fe)_{ox} \quad (4)$$

F_m = maximale hoeveelheid gesorbeerd anorganisch fosfaat (mmol·kg⁻¹ P)

2.2 Definitie van een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond

Bij de afleiding van de definitie van een fosfaatverzadigde grond is verondersteld dat het minerale fosfaat dat in bodemdeeltjes is gediffundeerd (S), zodanig langzaam in oplossing gaat dat deze buiten beschouwing kan worden gelaten bij het berekenen van de maximale toelaatbare fosfaatconcentratie die mag uitspoelen.

Ondanks de hoge fosfaatoverschotten die in het verleden optraden is het fosfaat grotendeels in de bovengrond van de bodem opgehoopt (0 - 50 cm), wat wordt veroorzaakt door de hoge fosfaatbindingscapaciteit van de bodem. Echter lang voordat de bodem geheel met fosfaat verzadigd is (100%), worden verhoogde fosfaatconcentraties in het grondwater aangetroffen. Indien de bodem in het geheel geen fosfaat meer vastlegt, kunnen na bemesting minerale fosfaatconcentraties worden aangetroffen die kunnen oplopen tot 10 - 150 mg P per liter (van der Zee et al., 1990a). Vandaar dat het onderzoek sterk gericht is geweest op de minerale component van de fosfaatuitspoeling. Hierop zal in een later stadium worden teruggekomen. Bij de definitie van een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond wordt van een 'fosfaaverzadigde' kalkarme zandgrond gesproken als een fosfaatconcentratie van 0,1 mg ortho-P per liter in het bovenste grondwater (gemiddelde hoogste grondwaterstand; GHG) wordt overschreden (Advies TCB, 1990; zie aanhangsel 1). Bij deze gronden is er sprake van een risico op fosfaatuitspoeling die op termijn ontstaat naar het bovenste grondwater en daarmee naar het oppervlaktewater.

Voor het afleiden van de *kritieke* fosfaatverzadigingsgraad van een bodem is als concept gehanteerd dat door het vrijkomen van de fractie mobiel mineraal fosfaat (Q) uit de bovengrond (maaiveld tot diepte L_s) er voldoende bindingscapaciteit is in de ondergrond ($L_s - L_{ref}$) om deze mobiele fractie in de ondergrond vast te leggen, en wel zodanig dat de fosfaatconcentratie op referentiediepte L_{ref} op termijn niet mag worden overschreden. Op basis van de fosfaatsorptie- en -desorptiekinitiek in kalkarme zangronden is afgeleid dat sprake is van een fosfaatverzadigd zandgrond indien (Van der Zee 1990 a en b); N.B. omdat dit in het protocol fosfaatverzadigde zandgronden niet is uitgewerkt is dit nu in aanhangsel 2 beschreven):

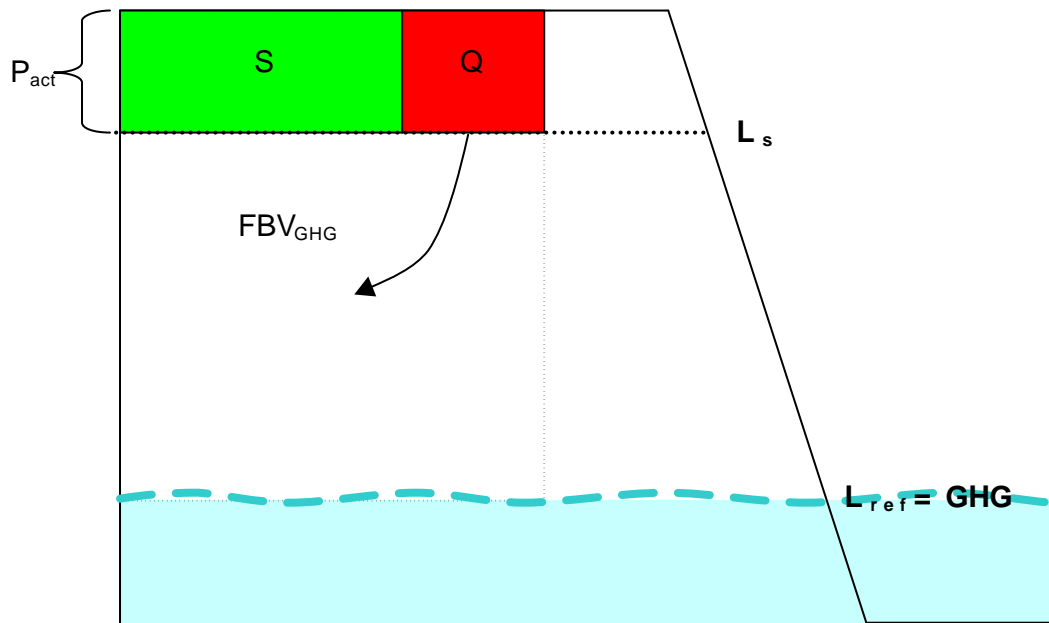
$$\frac{P_{act}}{FBV_{tot}} \geq \frac{(a/b) C_p K}{1 + (a/b) C_p K} \quad (6)$$

P_{act}	= actuele fosfaatophoping in laag 0 tot L_{ref}	(kg P · ha ⁻¹)
FBV_{tot}	= totaal fosfaatbindend vermogen van laag 0 tot L_{ref}	(kg P · ha ⁻¹)
a	= maximale fosfaatsorptiecoëfficiënt (= $F_m / (Al+Fe)_{ox}$)	(-)
β	= maximale fosfaatdesorptiecoëfficiënt (= $Q_m / (Al+Fe)_{ox}$)	(-)
C_p	= maximaal toelaatbare ortho-P concentratie	(mol P · m ⁻³)
K	= Langmuir adsorptieconstante	(m ³ (mol P) ⁻¹)

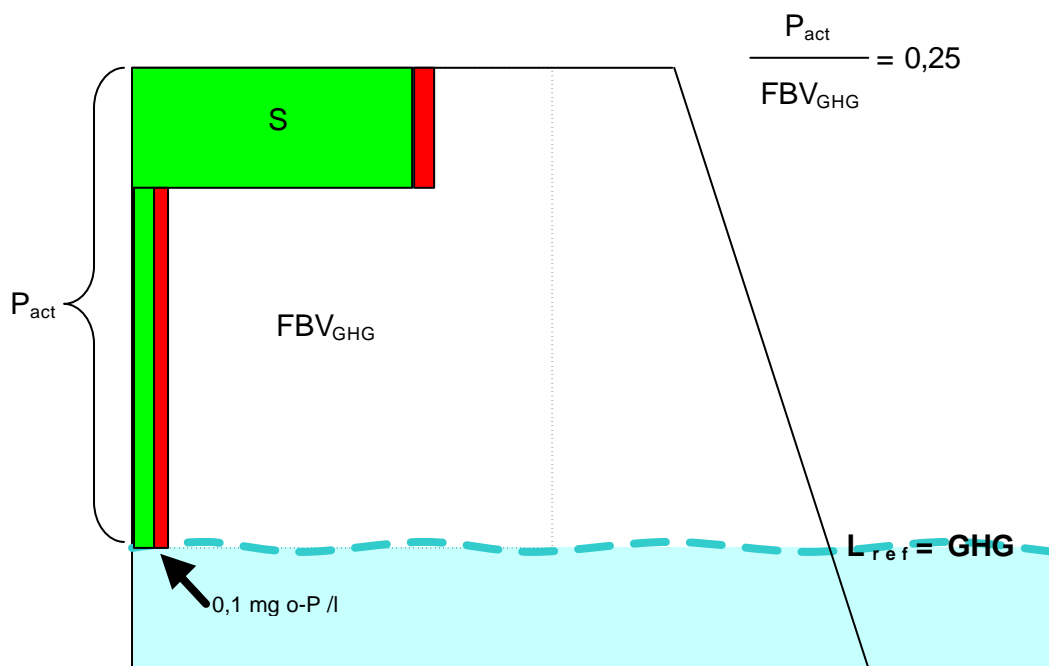
Zoals hiervoor is aangegeven heeft de Technische Commissie Bodembescherming voor kalkarme zandgronden geadviseerd als referentiediepte (L_{ref}) de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) aan te houden en als maximaal toelaatbare fosfaatconcentratie 0,10 mg ortho-P per liter (zie aanhangsel 1), dit komt overeen met een fosforconcentratie van 0,00323 mol P per m³. Uitgaande van een K-waarde van 35 (m³ (mol P)⁻¹), een a van 0,5 en $\beta=1/6$ (zie paragraaf 2.1), bedraagt de kritieke fosfaatverzadigingsgraad van de bodem 0.25 (=25%; vergelijking 6). Concreet betekent dit dat op termijn een fosfaatconcentratie op GHG-niveau zal worden aangetroffen die boven de 0,1 mg ortho-P per liter zal liggen, indien in kalkarme zandgronden de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem tot aan de GHG voor meer dan 25% is verbruikt. Figuur 1 geeft schematisch de uitgangspunten van het concept en de criteria weer.

De mate waarin de fosfaatvastleggingscapaciteit van een laag (maaiveld tot aan gemiddelde hoogste grondwaterstand) is verbruikt, wordt fosfaatverzadigingsgraad (FVG) genoemd en is als volgt gedefinieerd:

$$FVG = \left(\frac{P_{act}}{FBV_{tot}} \right) \cdot 100\% \quad (8)$$



(a) uitgangssituatie



(b) situatie na herdistributie van de fractie geadsorbeerd fosfaat

Figuur 1. Schematische weergave van de definitie van een fosfaatverzadigde grond. (a) situatie na opladen en (b) situatie na distributie van de fractie mobiel gebonden fosfaat. Bij een grenswaarde van van 0,25 voor $P_{act,GHG}/FBV_{GHG}$ wordt op termijn een waarde van 0,1 mg ortho-P per liter in het bovenste grondwater (GHG) aangetroffen (zie tekst).

2.3 Criteria voor fosfaatverzadiging in andere grondsoorten

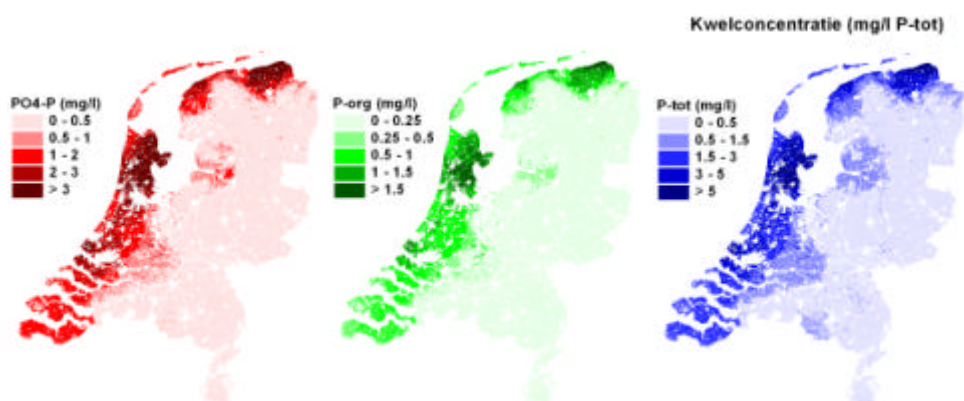
Voor niet-kalkarme zandgronden zal, volgens hetzelfde concept als voor de kalkarme zandgronden is gehanteerd, worden nagegaan in hoeverre criteria fosfaatverzadiging zijn aan te geven. In hoeverre dit tot mogelijke knelpunten leidt zal tevens worden aangegeven.

Op grond van de uitwerking in paragraaf 2.2 wordt duidelijk dat zowel de randvoorwaarden (C_p en L_{ref}) als de fosfaatbodemparakteristieken (zoals FBV_{tot} , K , a en β of direct het quotiënt van a en β) van de verschillende grondsoorten bekend moeten zijn, indien voor andere grondsoorten een kritieke waarde voor FVG moet worden berekend gelijk aan de methodiek die voor kalkarme zandgronden is gehanteerd. Hieronder worden deze uitgangspunten nader geanalyseerd.

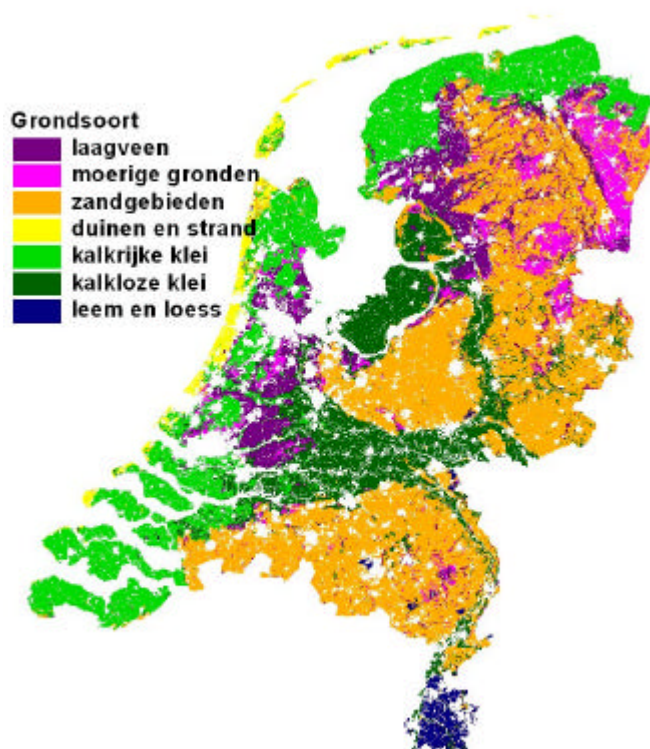
(I) Randvoorwaarden

(1) Maximaal toelaatbare fosfaatconcentratie (C_p)

In lijn met de gedachtegang die de Technische Commissie Bodembescherming heeft gehanteerd, dient voor alle grondsoorten een natuurlijke achtergrondconcentratie voor ortho-P afgeleid te worden. Dit is noodzakelijk omdat bijv. in kalkrijke zeekleien en kalkrijke zandgebieden andere fosforconcentraties in de bodem worden aangetroffen dan in de dekzandgebieden. Ook in laagveengronden, en wellicht ook moerige gronden, kan dit het geval zijn. Deze opgelegde fosfaatconcentratie (C_p) bepaalt in sterke mate welke fosfaatophoping of fosfaatverzadigingsgraad in de bodem uiteindelijk acceptabel is. Figuur 2 geeft een beeld van de fosfaatconcentraties (ortho-P) die in de ondergrond worden opgelegd bij de landsdekkende evaluatie van het mestbeleid bij het doorrekenen van bemestingsvarianten voor de 6405 plots waarin Nederland is onderverdeeld (Boers et al., 1997; 3eWH; MV5; RIVM, 2002). Om voor de verschillende grondsoorten een indruk te krijgen van de achtergrondconcentraties is de plotinformatie van de 21 fysische bodemeenheden geclusterd naar grondsoort (Figuur 3). Tabel 1 geeft een overzicht van de areaal-gewogen mediaanwaarden en areaal-gewogen gemiddelde P-concentraties voor de verschillende grondsoorten.



Figuur 2. Anorganisch P, organisch P en totaal-P concentraties in de diepe ondergrond zoals deze binnen de landsdekkende schematisatie voor STONE worden gehanteerd (Boers et al., 1997).



Figuur 3. Ligging van grondsoorten zoals deze op grond van de landsdekkende schematisatie van bodemfysische eenheden wordt gehanteerd binnen STONE (op basis van clustering van bodemfysische eenheden; zie tabel 1)

Tabel 1. Mediaan van de ortho-P concentratie zoals deze in de diepe ondergrond wordt aangehouden bij de landelijke schematisatie voor STONE

Grondsoort	Ortho-P (mg/l P)	Organisch P (mg/l P)	Totaal P (mg/l P)
Laagveen	0,38	0,15	0,53
Moerige gronden	0,20	0,08	0,28
Kalkarm zand	0,17	0,07	0,24
Leem en lössgronden	0,16	0,06	0,22
Kalkarme zavel en klei	0,31	0,13	0,44
Kalkrijk zand	1,68	0,67	2,35
Kalkrijke zavel en klei	1,73	0,69	2,42

Zowel uit tabel 1 als uit de grafische weergave in figuur 2 blijkt dat als gevolg van mariene afzettingen in de ondergrond in de kustgebieden (kalkrijke zand-, zavel- en kleigronden) de hoogste P-concentraties voorkomen. Verder is opvallend dat in de kalkarme zandgronden relatief hoge concentraties (0,17 mg P/l) worden aangenomen in vergelijking met de 0,1 mg/l P die de TCB heeft aangegeven.

Hierbij kunnen een aantal kanttekeningen worden gemaakt. Sinds de eerste evaluatie van het mestbeleid in het kader van de derde Nota Waterhuishouding (Boers et al., 1997) zijn de gegevens niet meer geactualiseerd. Opvallend is dat onafhankelijk van de regio er een constante verhouding bestaat tussen ortho-P en totaal-P (ca. 70% wat goed overeenkomt met de verhouding die ook de TCB heeft aangehouden voor de

kalkarme zandgronden: 2/3 op basis van metingen in het grondwatermeetnet van het RIVM). Huidige inzichten uit het RIVM grondwatermeetnet geven echter aan dat deze verhoudingen drastisch anders kunnen zijn (bijv. tijdens bemonstering bovenste grondwater). Een helder overzicht ontbreekt echter op dit moment (Willems, pers. med.). Voor de discussie over de definitie van fosfaatverzadigde gronden, en het afleiden van een criterium voor de maximaal toelaatbare fosfaatverzadigingsgraad voor de verschillende grondsoorten of landschappelijke regio's, is het dan ook van belang dat de natuurlijke fosfaatachtergrondconcentraties, die daadwerkelijk ook in het oppervlaktewater van omliggende sloten en beken terechtkomen (*bij ondiepe grondwaterstanden*), adequaat worden vastgesteld.

Indien de fractie mineraal fosfaat lager is dan oorspronkelijk werd aangegeven (2/3) dan leidt dit automatisch tot een scherper criterium voor de maximaal toelaatbare fosfaatverzadigingsgraad. Daarnaast betekent dit dat ook meer aandacht zal moeten worden besteed aan de bijdrage van de organische fosfaatuitspoeling, en wel vooral na het uitrijden van dierlijke mestgiften omdat dan tijdelijke hoge organische fosfaatconcentraties kunnen worden aangetroffen (Van der Salm en Schoumans, 2000; Middelkoop et al., 2004). Wellicht moet dan ook meer aandacht worden besteed aan de rol van mestflaten bij de uitspoeling naar het bovenste grondwater. Algemeen kan wel gesteld worden dat veel minder kennis is opgedaan met betrekking tot de dynamiek van mobiel organisch fosfaat tijdens het transport door de bodem naar het oppervlaktewater. Vooralsnog worden in deze deskstudie de waarden van tabel 3 overgenomen in de analyse (althans voor de overige grondsoorten).

(2) Referentiediepte (L_{ref})

Als referentiediepte kan in principe altijd voor de GHG worden gekozen, zij het dat dit criterium voor gedraineerde gebieden niet echt logisch lijkt. Het zou hier beter zijn om de draindiepte te hanteren, omdat de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater grotendeels via dit buizenstelsels plaatsvindt. Aangezien informatie over de mate waarin gronden gedraineerd zijn en de diepte waarop de drains zijn gelegen slechts in beperkte mate beschikbaar is (Kroon et al., 2000; Massop et al., 2000), is in deze deskstudie vooralsnog uitgegaan van de GHG.

(II) Grondsoortkarakteristieken voor fosfaat

Naast de uitgangspunten dienen ook de relevante fosfaatsorptie en -desorptie parameters voor de verschillende grondsoorten bekend te zijn (zie vergelijking 6). Het betreft hier de sorptieparameters FBV_{tot} , a en de desorptieparameters β en K .

(1) Sorptieparameters: Totaal fosfaatbindend vermogen FBV_{tot} en a

Voor veengronden en kalkarme kleigronden wordt uitgegaan van dezelfde relatie die is gevonden voor kalkarme zandgronden (Schoumans, 1999; Schoumans et al., 2004b; Beek et al., 2004), namelijk:

$$F_m = a (Al + Fe)_{ox} = 0,5 (Al + Fe)_{ox} \quad (9)$$

Omdat kalkrijke kleigronden ook veel oxalaatextraheerbaar aluminium en ijzer bezitten en de aanwezigheid van kalk geen duidelijk verschil in fosfaatsorptiesnelheid

oplevert (niet gepubliceerd laboratorium onderzoek van O.F. Schoumans) wordt vooralsnog dezelfde relatie aangenomen.

In kalkrijke zandgronden worden echter nagenoeg geen aluminium- en ijzer(hydr)-oxiden aangetroffen (Schoumans en Lepelaar, 1995). In laboratoriumexperimenten kon wel het totaal fosfaatbindend vermogen worden afgeleid, maar kon geen relatie worden gelegd met het kalkgehalte en/of het lage aluminium- en ijzergehalte.

(2) Desorptieparameters β en K

Deze twee parameters volgen uit de Langmuirvergelijking (vergelijking 1 gecombineerd met 2) en zijn nog niet systematisch vastgesteld voor de overige grondsoorten, alleen voor de veengronden (Schoumans, 1999 en Van Beek et al, 2004) en kalkrijke zandgronden (Schoumans en Lepelaar, 1995) is er een indicatie te geven. Daarbij wordt opgemerkt dat voor beide grondsoorten de β en K -waarde afhankelijk zijn van de horizont of type moedermateriaal. Dit leidt ertoe dat de algemene vergelijking voor kritieke fosfaatverzadigingsgraad (vergelijking 6) anders is dan die voor kalkarme zandgronden indien meerdere horizonten boven de GHG voorkomen. In laagveengronden is de GHG meestal ondieper dan 40 cm beneden maaiveld, waardoor het effect in de praktijk beperkt zal zijn.

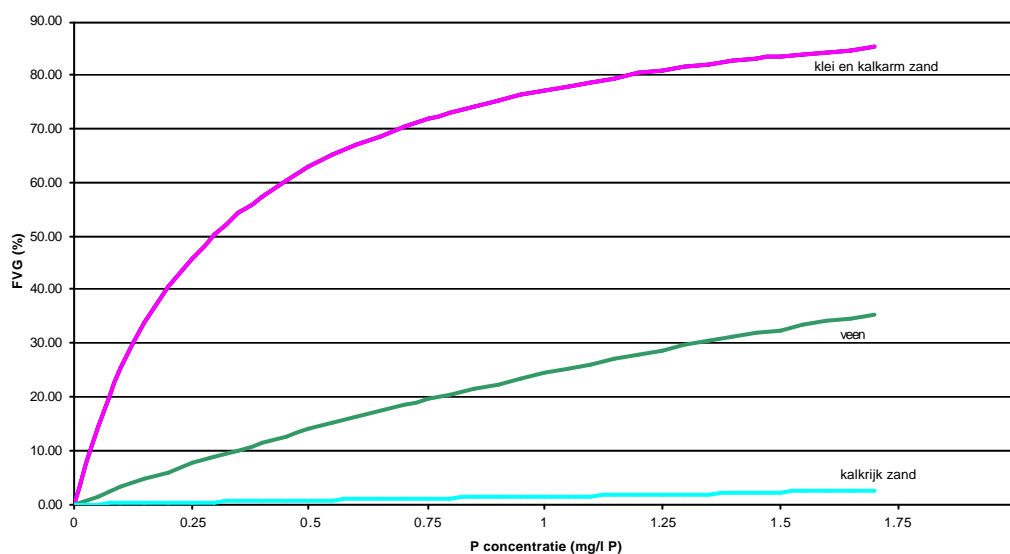
Berekening kritiek fosfaatverzadigingsgraad voor de verschillende grondsoorten

Op grond van bovenstaande criteria is in tabel 2 aangegeven welke parameterwaarden en kritieke fosfaatverzadigingsgraad in deze studie gehanteerd worden om inzicht te krijgen in het areaal fosfaatverzadigde landbouwgronden. Voor veengronden en kalkrijke zandgronden wordt in deze studie een FVG_{crit} van resp. 10 en 5% aangehouden (na afronden op 5 eenheden; tabel 2). Opgemerkt wordt dat bij deze grondsoorten de gegeven parameterwaarden zijn afgeleid voor een beperkt aantal monsters. Voor de kalkrijke zandgronden wordt er verder impliciet van uitgegaan dat zowel het totaal fosfaatbindend vermogen (FBV_{tot}) als het adsorptiemaximum (Q_m) lineair afhankelijk is van de reactieve bodemdeeltjes (zoals ook in andere grondsoorten is waargenomen), waardoor de verhouding FBV en Q_m overeenkomt met de verhouding van a en β . Voor de kalkrijke kleigronden is er grote onzekerheid in de achtergrondconcentratie die moet worden gehanteerd voor fosfaat. Op grote diepte worden er zeer hoge fosfaatconcentraties aangetroffen ($1,7 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$; zie tabel 2). De vraag is echter of deze concentraties op GHG niveau gehanteerd mogen worden, aangezien het niet aannemelijk is dat in kalkrijke kleigronden het kwelvlak tot deze hoogte reikt, waardoor veel lagere concentraties op grondwater-niveau worden aangetroffen. Om deze reden is ook de kritieke fosfaatverzadigingsgraad berekend bij een gelijke achtergrondconcentratie die ook door de TCB is gehanteerd. De kritieke fosfaatverzadigingsgraad bij een ortho-P-concentratie van $0,1 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$ bedraagt dan 25% en bij een concentratie van $1,7 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$ is deze 85%. Vooralsnog wordt in deze studie de waarde van 25% aangehouden. Gelet op bovengenoemde onzekerheden is in figuur 4 aangegeven bij welke ortho-P-concentratie welke fosfaatverzadigingsgraad geldt, gegeven de parameterwaarden voor de specifieke grondsoort.

Tabel 2. Overzicht gehanteerde parameterwaarden voor de berekening van de kritieke fosfaatverzadigingsgraad (cursief vet: aannamen; zie tekst)

Grondsoort	Parameters					Opmerkingen
- Al/Fe <i>gedomineerd</i>	<i>a</i>	<i>?</i>	<i>K</i> (mol/m ³)	<i>C_p</i> (mg l ⁻¹)	<i>FVG_{crit}</i> (%)	
Kalkarm zand	0,5	0,167	35	0,1	25	Protocol
Kalkarme klei	0,5	0,167	35	<u>0,1</u>	25	Aanname: Schoumans et al, 2004a
Kalkrijke klei	0,5	0,167	35	<u>0,1 - 1,7</u>	25 - 85	Aanname: Schoumans et al, 2004
Laagveen	0,5	0,10 - 0,15	1 - 2	<u>0,4</u>	4 - 11	Schoumans, 1999 Van Beek et al, 2004a Beperkt aantal monsters
- Kalk <i>gedomineerd</i>	<i>a/B</i>		<i>K</i> (mol/m ³)	<i>C_p</i> (mg l ⁻¹)	<i>FVG_{crit}</i> (%)	
	(-)					
Kalkrijk zand						
wadzand	0,11 - 0,19		3,1	<u>1,7</u>	2 - 4	Schoumans en Lepelaar, 1995
kustduinzand	0,04 - 0,09		4,5	<u>1,7</u>	1 - 2	Beperkt aantal monster

^{*)} ortho-P-concentraties uit tabel 1 gehanteerd (uitgezonderd voor kalkarm zand, welke op de TCB advies is gebaseerd en die is overgenomen in het protocol fosfaatverzadigde kalkarme zandgronden). Voor kalkrijke kleigronden is een traject gehanteerd



Figuur 4. Relatie tussen de fosfaatverzadigingsgraad en de fosforconcentratie volgens het principe protocol fosfaatverzadigde gronden en zoals afgeleid voor de verschillende grondsoorten (parameterwaarden zoals vermeld in tabel 2).

3 Fosfaatverzadiging van de bodem

3.1 Landelijke steekproef kaarteenheden (LSK)

In de landelijke steekproef kaarteenheden (LSK) heeft in de periode 1992-1998 een bemonstering van de bodem plaatsgevonden en is per bemonsteringspunt de grondwatertrap incl. de GHG en GLG vastgelegd (Finke et al., 2001). Het betreft hier een gestratificeerde steekproef van grondwatertrappen waarbinnen verschillende grondsoorten zijn onderscheiden. In totaal zijn 1392 puntlocaties bemonsterd verdeeld over 95 strata (combinaties van bodemtype en grondwatertrap), waarvan uiteindelijk 24 punten niet konden worden doorgerekend omdat gegevens van een bepaalde horizont ontbraken. Van de bemonsterde punten is van elke horizont (minimaal tot aan 1.2 m beneden maaiveld) het gehalte aan oxalaat extraheerbaar P, Al en Fe bepaald. Deze dataset is gebruikt om in deze studie de fosfaatverzadigingsgraad van de verschillende grondsoorten in kaart te brengen. Hiervoor zijn de bemonsteringspunten binnen alle strata gemiddeld. Figuur 5 toont de ligging van de bemonsterde locaties. Tevens is als voorbeeld de ligging van 1 stratum weergegeven waarbinnen de resultaten van de bemonsterde locaties zijn gemiddeld. Dit geeft aan dat één gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad geldt voor een stratum (zoals bijvoorbeeld voor het weergegeven vlak in figuur 5). Tevens kan het fosfaatverzadigde oppervlak dat de kritieke fosfaatverzadigingsgraad overschrijdt voor deze vlakken als geheel worden aangegeven. Doordat tijdens de opname ook het grondgebruik is vastgelegd, kan ook een indicatie gegeven worden van de fosfaatverzadigingstoestand van de landbouwgronden voor verschillende landgebruikvormen.

Tabel 3 geeft een overzicht van de verdeling van het aantal bemonsteringspunten, incl. de bijbehorende arealen, verdeeld over grondsoort en landgebruik. De gemiddelde bemonsteringsdichtheid voor landbouwgronden bedraagt ca 1 boring per ca. 2245 ha (totaal 2 422 625 ha en 1079 bemonsteringspunten). Het totale areaal landbouwgronden is ca. 20% hoger dan de CBS cijfers aangeven (ca. 2 miljoen ha landbouwgrond). Dit wordt veroorzaakt doordat bij de opzet van de landelijke steekproef van de landelijke grondgebruiksinventarisatie van Nederland (LGN4) is uitgegaan, die altijd hoger uitkomt dan de CBS cijfers (Wit, 1999) in combinatie met het feit dat op de bodemkaart de infrastructurele werken, zoals wegen e.d., beperkt zijn aangegeven. Voor de schatting van het areaal fosfaatverzadigde gronden is uitgegaan van de arealen zoals deze in de landelijke steekproef zijn gehanteerd, omdat anders geen schatting mogelijk is (onduidelijk is welke strata in welke mate gecorrigeerd zouden moeten worden).

Ondanks dat de dichtheid van de steekproef niet hoog is, is deze dataset echter de enige steekproef die voor geheel Nederland beschikbaar is en waarbinnen de belangrijkste bodemchemische gegevens (zoals P_{ox} , Al_{ox} en Fe_{ox}), die voor deze analyse minimaal noodzakelijk zijn, tot op grote diepte zijn verzameld (minimaal GHG).

Tabel 3. Aantal bemonsterde locaties (N) en het bijbehorende areaal (ha)

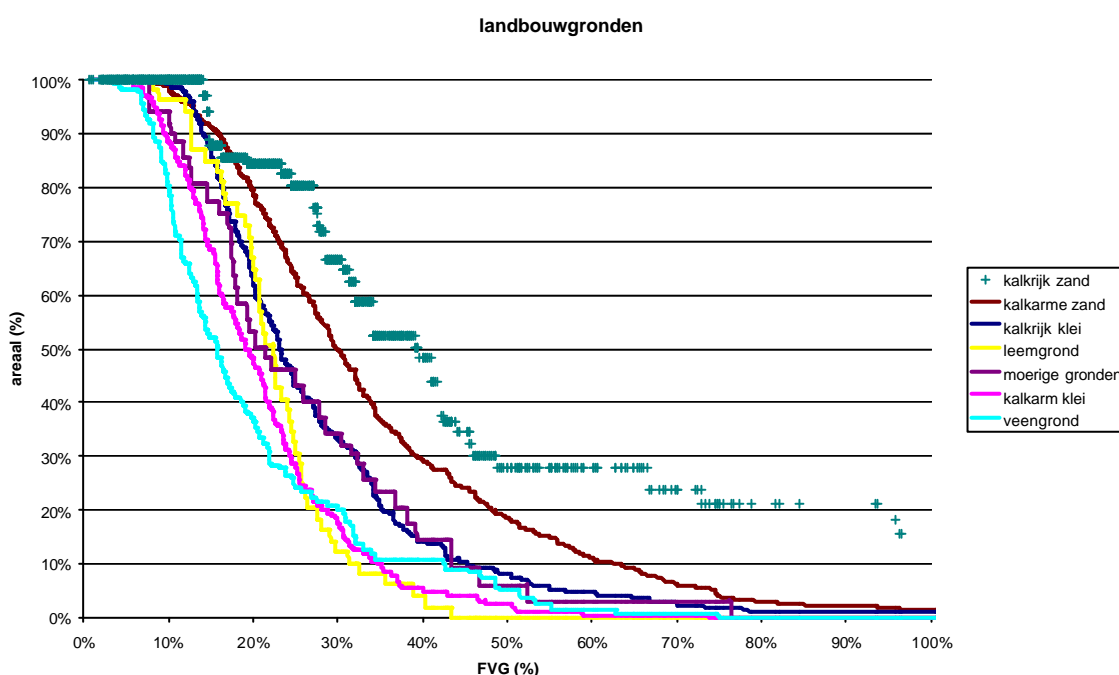
Grondsoort		Landgebruik				Totaal
		Mais	Bouwland	Gras	Natuur	
kalkarm zand	N	57	54	260	195	566
	Areaal	161526	153492	662464	411820	1389301
kalkrijk zand	N	1	22	13	23	59
	Areaal	1362	39800	22821	27203	91186
kalkarme klei	N	5	21	156	17	199
	Areaal	10073	63480	325693	24785	424032
kalkrijke klei	N	8	113	98	15	234
	Areaal	27230	355066	227116	10493	619904
Leemgrond	N	6	22	19	9	56
	Areaal	4450	16226	15894	11910	48480
Moerig	N	1	6	33	14	54
	Areaal	2564	16056	69778	18136	106535
Veen	N		9	175	16	200
	Areaal		17151	230383	12479	260013
Totaal aantal bemonsteringspunten		78	247	754	289	1368
Totaal areaal (ha)		207204	661271	1554150	516826	2939451



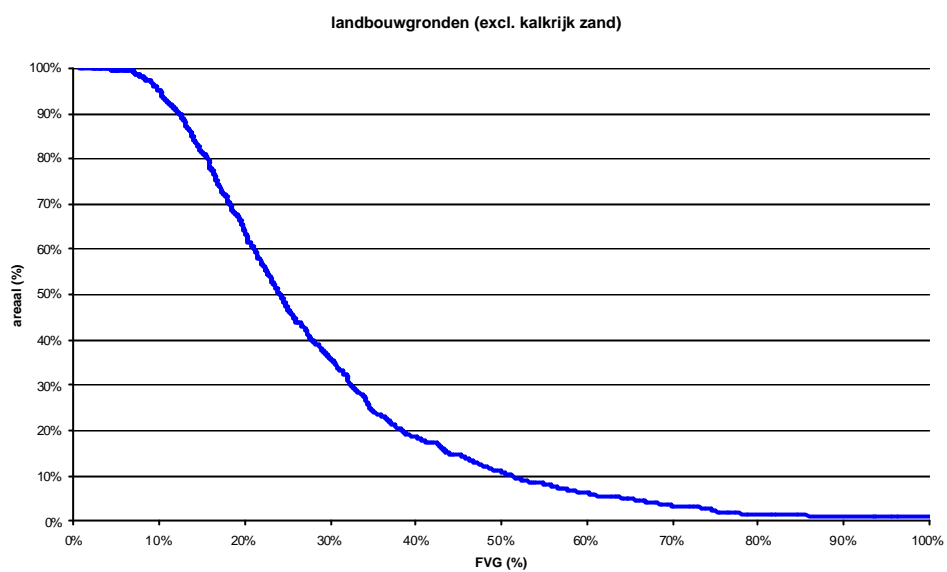
Figuur 5. Ligging van de bemonsterde locaties en een voorbeeld van de vlakverdeling van één van de strata waarvoor de gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad en het fosfaatverzadigde oppervlak is berekend (rood oppervlak).

3.2 Verdeling van de gemeten fosfaatverzadigingsgraad

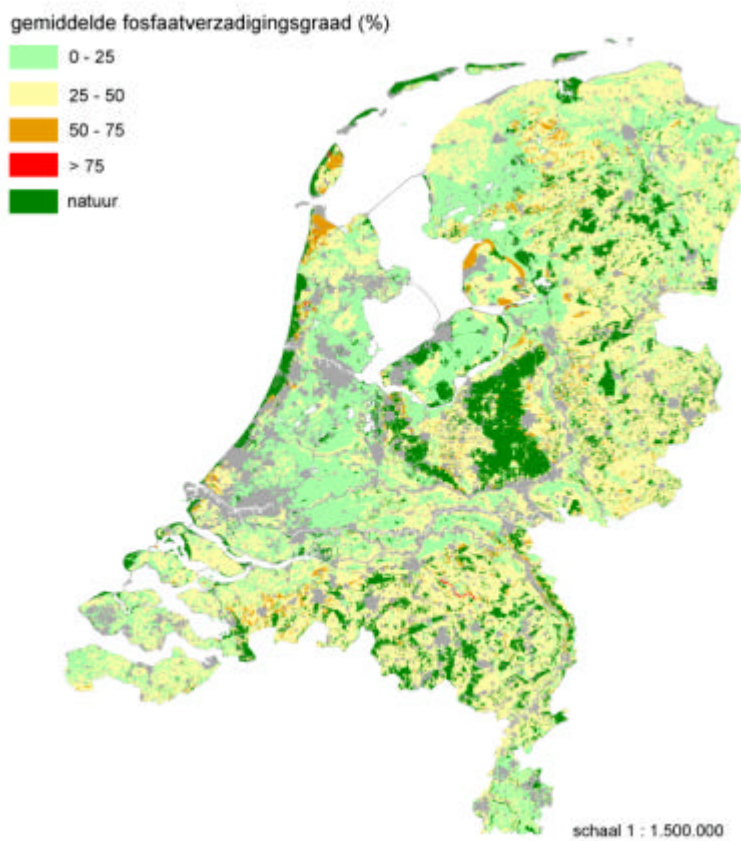
De fosfaatverzadigingsgraad is voor elk bemonsteringspunt afzonderlijk berekend conform de methodiek die in hoofdstuk 2 is aangegeven. Figuur 6 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van landbouwgronden zoals deze is aangetroffen in de verschillende grondsoorten (FVG berekend op basis van oxalaat extraheerbaar aluminium- en ijzergehalte). De kalkrijke zandgronden zijn als punten weergegeven, omdat de berekening van de fosfaatverzadigingsgraad feitelijk niet mag plaatsvinden op grond van (uitsluitend) het oxalaat extraheerbaar aluminium- en ijzergehalte. Dit gehalte is namelijk in kalkrijke zandgronden zeer laag, waardoor bijna altijd een hoge fosfaatverzadigingsgraad wordt aangetroffen. Figuur 7 toont de gemiddelde cumulatieve frequentieverdeling voor alle landbouwgronden excl. de kalkrijke zandgronden. Tot slot is in figuur 8 het ruimtelijke beeld van de gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad van alle 95 strata weergegeven. Opgemerkt wordt dat de bemonsteringspunten van een willekeurig stratum (combinatie van bodemtypen en grondwatertrap) afkomstig kan zijn uit verschillende plaatsen binnen heel Nederland (zie figuur 5). Bij een ruimtelijke weergave van de fosfaatverzadiging per stratum (figuur 8) verdwijnen hierdoor de verschillen tussen de regio's in Nederland (bijv. mestoverschotgebieden in het centrale zandgebied versus het noordelijke zandgebied). Het is echter statistisch niet verantwoord om de data van elk stratum alsnog naar verschillende regio's op te splitsen.



Figuur 6. Cumulatieve frequentieverdeling van het areaal landbouwgronden dat een bepaalde fosfaatverzadigingsgraad overschrijdt, opgesplitst naar grondsoort



Figuur 7. Cumulatieve frequentieverdeling van het areaal landbouwgronden voor alle grondsoorten samen (excl. de kalkrijke zandgronden)



Figuur 8. Gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad van de 95 strata die zijn bemonsterd (n=1368).

In tabel 4 is voor de grondsoorten (excl. de kalkrijke zandgronden) aangegeven welk areaal van de grondsoort een bepaald fosfaatverzadigingscriterium overschrijdt. Indien het officiële protocol van een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond consequent van toepassing wordt verklaard op alle grondsoorten (feitelijk niet juist; zie paragraaf 2.3) dan blijkt 47% van de landbouwgronden deze kritieke fosfaatverzadigingsgraad van 25% te overschrijden. Het betreft hier ca. 1.1 miljoen ha. Voor de kalkarme zandgronden in Nederland bedraagt dit percentage 63%, dit komt overeen met ca. 618 000 ha landbouwgrond. Reijerink en Breeuwsma (1992), berekenden dat in 1990 ca. 70% van de kalkarme zandgronden in het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied 'fosfaatverzadigd' was. Deze schatting ligt in lijn met de hier gevonden resultaten (gemiddelde opname jaar 1995), omdat in de LSK dataset ook de zandgronden in noordoost Nederland zijn betrokken, waar lagere fosfaatoverschotten in het verleden heersten en dus een lagere fosfaatverzadiging mag worden aangenomen. Hierdoor ligt de gemiddelde FVG voor kalkarme zandgronden lager. Uit tabel 4 blijkt dat voor alle grondsoorten (excl. de kalkrijke zandgronden) geldt dat 25 tot 43% van het areaal landbouwgrond een hogere fosfaatverzadigingsgraad (FVG) bezit dan 25% (vet aangegeven).

Tabel 4. Percentage landbouwgrond dat een bepaalde fosfaatverzadigingsgraad (FVG) overschrijdt.

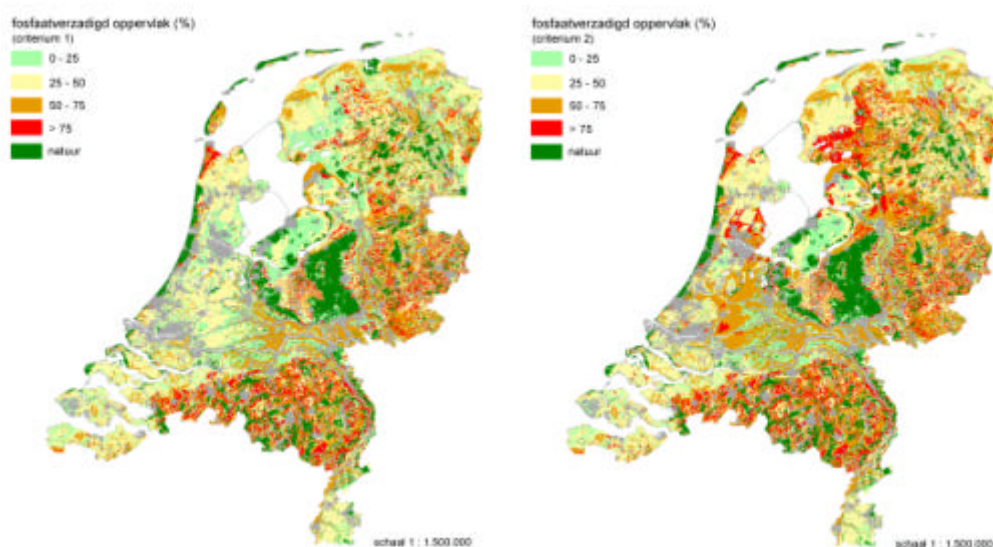
FVG	kalkrijk klei	kalkarm klei	leemgrond	veengrond	moerige gronden	kalkarme zand	Totaal excl. kalkrijk zand
5%	100	100	100	100	100	100	100
10%	99	89	96	82	94	99	95
15%	87	69	85	53	78	91	82
20%	63	49	67	38	53	79	64
25%	43	29	31	25	43	63	47
30%	33	18	12	21	34	50	36
35%	21	10	8	11	23	37	25
40%	14	5	4	11	15	30	19
45%	10	4	0	9	9	25	15
50%	8	2	0	5	6	19	11
55%	5	1	0	3	3	15	8
60%	5	0	0	2	3	12	6
65%	4	0	0	1	3	9	5
70%	2	0	0	1	3	6	4
75%	2	0	0	0	3	4	2
(ha)	609411	399247	36570	247534	88399	977481	2358642

Zoals in paragraaf 2.3 is aangegeven, zijn er kanttekening te plaatsen bij het voor alle grondsoorten hanteren van het 25% FVG-criterium, zoals dat voor kalkarme zandgronden is afgeleid. Indien op basis van de beschikbare oriënterende laboratoriumexperimenten en de gebiedspecifieke achtergrondsconcentraties, per grondsoort een specifieke kritieke FVG waarde wordt afgeleid (tabel 2), kan tevens een schatting worden gemaakt van het areaal fosfaatverzadigde landbouwgrond (tabel 5).

Tabel 5. Overzicht van het areaal fosfaatverzadigde gronden (afgerond op 1000 ha) indien de criteria zoals beschreven in paragraaf 2.3 worden gehanteerd (zie tekst)

Grondsoort	$FVG_{crit}^{(9)}$ (%)	Areaal (%)	Areaal (ha)
Kalkarm zand	25	63	618.000
Moerige gronden	25	43	38.000
Leemgronden	25	31	11.000
Kalkarme klei	25	29	114.000
Kalkrijke klei	25	43	263.000
Laagveen	10	82	199.000
Kalkrijk zand	5	100	64.000
Totaal		56	1.307.000

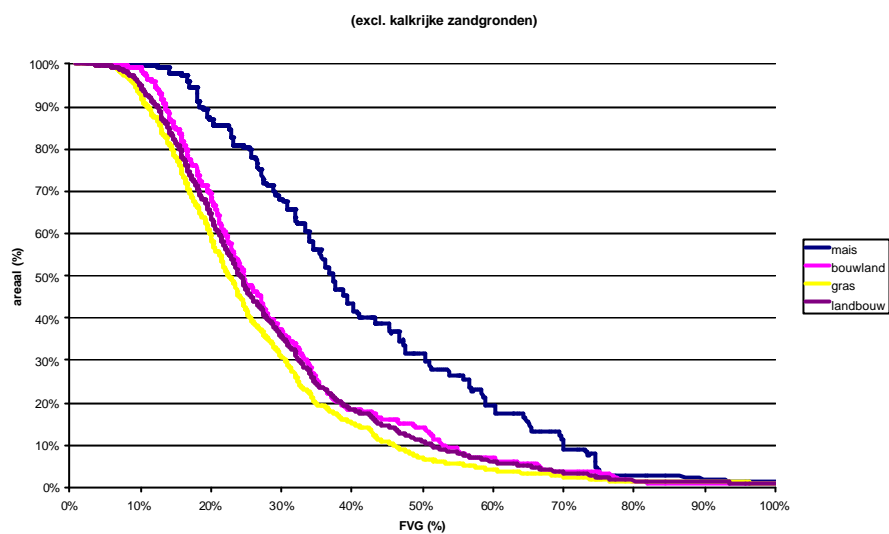
Op grond van deze synthese wordt geconcludeerd dat volgens het hier gehanteerde algemene concept van de definitie voor fosfaatverzadigde grond 1,1 tot 1,3 miljoen ha landbouwgrond een te hoge fosfaatvoorraad bezit. In figuur 9 is voor beide criteria, namelijk (a) alle gronden een kritieke fosfaatverzadigingsgraad van 25% en (b) een grondsoort gedifferentieerde kritieke fosfaatverzadigingsgraad (tabel 5), het fosfaatverzadigde oppervlak voor elk stratum aangegeven dat het bijbehorende criterium overschrijdt (uitgedrukt als percentage van het areaal van de afzonderlijke strata).



Figuur 9. Fosfaatverzadigd oppervlak (links op basis van een kritieke fosfaatverzadigingsgraad van 25% en rechts op basis van een grondsoort specifiek criterium (tabel 5).

Naast het algemene beeld van de fosfaatverzadiging en het fosfaatverzadigde oppervlak is het ook mogelijk om een indruk te geven van de mate van fosfaatverzadiging opgesplitst naar landgebruik (maïs, gras, overig bouwland/teelten), omdat tijdens de opname van de steekproef ook het landgebruik is vastgelegd. Figuur 10 geeft hiervan een beeld. Uit figuur 10 blijkt dat de maïslocaties een relatief hoge fosfaatverzadigingsgraad bezitten. Het verschil tussen bouwland en grasland is gering. Het is niet eenduidig aan te geven waardoor dit veroorzaakt wordt, aangezien een en ander samenhangt met verschillen in GHG's van de afzonderlijke locaties mede in relatie

tot de fosfaatvoorraad (tot aan de GHG) en het fosfaatbindend vermogen (berekend tot aan de GHG) van de afzonderlijke locaties.



Figuur 10. Cumulatieve frequentieverdeling van het areaal landgebruikvormen dat een bepaalde fosfaatverzadigingsgraad overschrijdt die niet op de kalkrijke zandgronden zijn gelegen.

4 Discussie

In deze studie zijn de inzichten die zijn verkregen in laboratoriumexperimenten gecombineerd met het concept achter de definitie van een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond, waardoor het mogelijk is om ook voor andere grondsoorten in Nederland een indruk te krijgen van de mate van fosfaatverzadiging. Hiervoor zijn de analyseresultaten van de landelijke steekproef kaartenheden bewerkt.

De methodiek die is gehanteerd om de definitie van fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond af te leiden, is gebruikt om na te gaan of ook voor andere grondsoorten een criterium voor een kritieke fosfaatverzadigingsgraad is af te leiden. Enerzijds dienen hiervoor de randvoorwaarden vastgelegd te worden in termen van (1) de maximale P concentratie die mag uitspoelen en (2) de referentiediepte waarop deze concentratie niet overschreden mag worden. Voor de kalkarme zandgronden heeft de TCB waarden aangedragen.

Voor de referentiediepte is in lijn met het criterium voor de kalkarme zandgronden gekozen voor de GHG. De vraag is of dit voor gedraineerde gronden een juist of zinvol criterium is, omdat het bodemwater grotendeels via de drains wordt afgevoerd. De drainagediepte kan echter sterk variëren. Vooralsnog is ook in deze situatie gekozen voor de GHG. Ook voor laagveengronden waar de GHG zich regelmatig in de bouwvoor van het perceel bevindt, en dus regelmatig in contact is met de laag met landbouwkundig gezien noodzakelijk verhoogde fosfaattoestand, dient de referentiediepte wellicht aan een nadere analyse onderworpen te worden.

Voor wat betreft de ortho-P-concentratie is ook in lijn met het criterium voor de kalkarme zandgronden gekozen voor de natuurlijke achtergrondconcentratie ('de commissie meent dat de anorganische fosfaatconcentratie in het grondwater in deze gronden derhalve gelijk dient te zijn aan die in onbelaste gronden'; hetgeen resulteerde in een waarde van 0,1 mg ortho-P/l; Van Duijvenbooden et al, 1989; TCB). Om een eerste indruk te krijgen voor de overige grondsoorten zijn de achtergrondsconcentraties voor ortho-P rechtstreeks afgeleid uit de dataset die in de landelijke schematisatie van STONE voor de diepe ondergrond wordt gehanteerd. Feitelijk zou moeten worden nagegaan welke concentraties worden aangetroffen in het waterafvoerend pakket dat ondiep wordt afgevoerd naar greppels en sloten. Met name in de kustgebieden met mariene afzettingen in de ondergrond komen relatief hoge ortho-P en totaal-P concentraties voor die ver boven de 0,1 mg P per liter liggen. Ook deze fosfaatconcentraties kunnen bijdragen aan de diffuse belasting van het oppervlaktewater. Deze natuurlijke achtergrondsconcentraties zijn vooralsnog als basis gekozen voor het afleiden van de grenswaarde voor de fosfaatverzadigingsgraad voor de overige grondsoorten. In hoeverre de gehanteerde waarden daadwerkelijk de reële waarden zijn die ook gehanteerd mogen worden op het referentieniveau dat in het protocol wordt gehanteerd, is nog punt van aandacht.

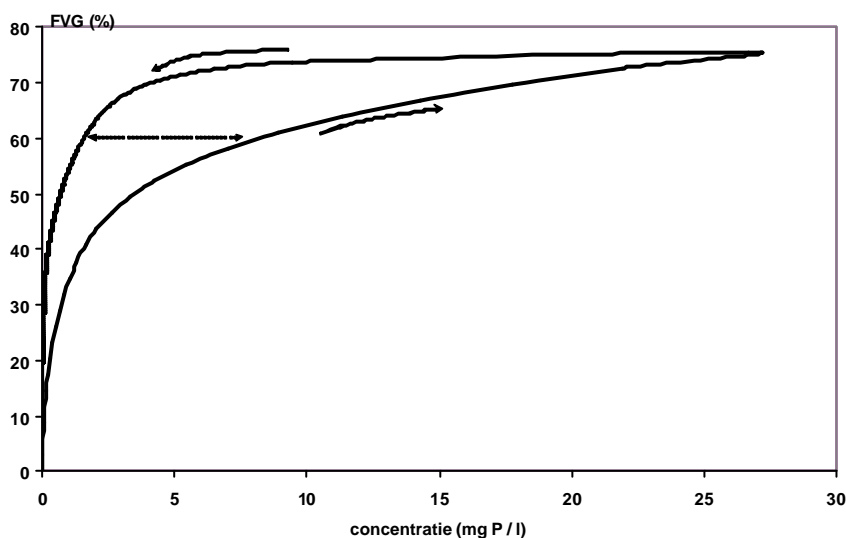
Naast de uitgangspunten met betrekking tot de referentiediepte en de ortho-P concentratie dienen ook de bodemkarakteristieken voor fosfaat nauwkeurig bekend te zijn. De relevante procesparameters voor het vaststellen van de kritieke fosfaatverzadigingsgraad zijn hiervoor afgeleid uit verschillende oriënterende laboratorium-onderzoeken. Bewust wordt hier het woord oriënterend gebruikt omdat het onderzoek veelal geconcentreerd is geweest op een beperkt aantal monsters, waardoor de gehanteerde procesparameters beduidend minder betrouwbaar zijn vastgesteld dan in het officiële protocol voor een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond. Desalniettemin kan op deze wijze wel helder inzichtelijk gemaakt worden in welke mate het protocol zich laat vertalen naar andere grondsoorten en welke arealen de kritieke grondsoortspecifieke grenswaarde overschrijden. Voor veengronden is een kritieke fosfaatverzadigingsgraad van 10% gehanteerd en voor kalkrijke zandgronden een waarde van 5%. Nogmaals wordt aangegeven dat er nog onzekerheden zitten met betrekking tot de kritieke waarden die voor de verschillende grondsoorten worden gehanteerd (referentiediepte, achtergrondconcentratie en bodemkarakteristieken) welke op dit moment niet goed zijn te kwantificeren.

Op basis van de gemeten verdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem, uitgesplitst naar de verschillende grondsoorten, en de afgeleide bijbehorende kritieke grenswaarden van de fosfaatverzadigingsgraad, is een indicatie gegeven van het areaal fosfaatverzadigde gronden in heel Nederland. Deze bedraagt ongeveer 56 %. Indien voor alle gronden dezelfde grenswaarde wordt gekozen als die voor de kalkarme zandgronden wordt gehanteerd, bedraagt dit percentage 47 % (excl. de kalkrijke zandgronden). Op grond hiervan wordt verwacht dat ca. 1,1 - 1,3 miljoen ha landbouwgronden een te hoge fosfaatoophoping heeft in relatie tot de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden, waardoor op termijn op GHG niveau ortho-P concentraties worden aangetroffen die de gehanteerde achtergrondconcentratie zullen overschrijden.

Opgemerkt kan worden dat de fosfaatverzadigingsgraad een afgeleide parameter is, welke als indicatie gehanteerd wordt voor het feitelijke probleem waar het om draait, namelijk de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Het protocol is ontwikkeld om gronden in kaart te brengen waar op termijn een verhoogde fosfaatbelasting van het grond- en oppervlaktewater verwacht mag worden ten gevolge van landbouwkundige activiteit (potentieel risico). Achtergrond was om voor deze gronden een lagere fosfaatgebruiksnorm in de mestwetgeving op te nemen, eventueel eerst alleen op de gronden met de hoogste fosfaatverzadigingsgraad. Dit is tot op heden niet in de regelgeving opgenomen. Het begrip 'fosfaatverzadigde grond' klinkt dan ook als erg dreigend als zijnde een grond die volledig met fosfaatverzadigd zou zijn. Feitelijk worden gronden geïdentificeerd met een verhoogd risico op fosfaatuitspoeling naar het bovenste grondwater (potentieel risico op fosfaatbelasting van het oppervlaktewater). Gronden die voldoen aan het criterium fosfaatverzadigde grond zijn niet altijd de gronden met de hoogste fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in een afwateringsgebied ('fosfaatlekkende gronden'; Chardon et al, 1996). Een en ander hangt namelijk ook sterk af van de ligging van het perceel, de hydrologische situatie en de ontwateringskarakteristieken van het gebied (Schoumans en Kruijne, 1995b; Schoumans et al., 2004b). Daarbij komt dat de bijdrage van de natuurlijke achter-

grondconcentratie aan de totale fosfaatvracht van het oppervlaktewater in veel gebieden slecht gekwantificeerd is.

Verder moet er in de praktijk rekening mee worden gehouden dat de relatie tussen fosfaatverzadiging en de kans op uitspoeling niet eenduidig is. Dit wordt veroorzaakt doordat tijdens het opladen van de bodem met fosfaat het fosfaat wel in slecht beschikbare vorm wordt vastgelegd, terwijl dit slechts langzaam weer beschikbaar komt als de grond wordt uitgemijnd. Hierdoor blijft de fosfaatverzadigingsgraad relatief lang hoog terwijl de fosfaatconcentratie relatief snel daalt. Figuur 11 geeft schematisch het verloop in zowel de fosfaatconcentratie als verzadigingsgraad weer (opladen gevolgd door uitmijnen) en geeft het 'fosfaathysterese-effect' weer dat in de bodem optreedt. Figuur 11 toont duidelijk aan dat er geen eenduidige relatie bestaat tussen de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing. Dit maakt de interpretatie van de fosfaatverzadigingsgraad in relatie tot *actuele* kans op fosfaatuitspoeling lastig. Modelberekeningen met STONE geven dergelijke relaties ook aan (Groenenberg et al., 1998) en ook in potproeven wordt een snelle daling van het water oplosbare fosfaat waargenomen (P_w) terwijl de P voorraad nog steeds hoog is (Koopmans, 2004). De verwachting is dat uiteindelijk wel nagenoeg al het fosfaat uit de bodem gehaald kan worden (ook het 'slecht beschikbare fosfaat') indien maar lang genoeg fosfaat wordt onttrokken.



Figuur 11. Relatie tussen de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatconcentratie bij opladen van de bodem en uitmijnen van de bodem.

Vanuit de invalshoek van de Kaderrichtlijn Water is het van cruciaal belang dat juist ook aan deze aspecten meer aandacht wordt besteed. Dit om juist in de praktijk die maatregelen te kunnen nemen om de fosfaatbelasting vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater te reduceren vanuit landbouwgronden die daadwerkelijk in hoge mate het oppervlaktewater belasten (waardoor kwetsbare aquatische (en terrestrische) natuurgebieden gericht kunnen worden beschermd) (Schoumans en Kruijne, 1995a, Schoumans et al., 1995).

5 Conclusies en aanbevelingen

Op grond van deze studie kunnen de volgende conclusies getrokken worden en aanbevelingen worden gedaan:

- Technisch is het mogelijk om voor alle grondsoorten een kritieke fosfaatverzadigingsgraad af te leiden. De kritieke waarden die in deze studie zijn afgeleid zijn slechts indicatief, en zijn nog met onzekerheden omgeven.
- Om de feitelijke definitie te formaliseren dient aandacht besteed te worden aan (I) de uitgangspunten van de definitie van een fosfaatverzadigde grond, te weten (1) de referentiediepte en (2) de fosfaatconcentratie die niet op de referentiediepte overschreden mag worden en (II) de fosfaatkarakteristieken van de bodem in termen van (1) maximaal fosfaatbindend vermogen, (2) fractie gemakkelijk desorbeerbaar fosfaat en (3) Langmuir adsorptieconstante.
- Op basis van de verdeling van de gemeten fosfaatverzadigingsgraad van de bodem wordt geschat dat 47 tot 56% van alle landbouwgronden in Nederland als 'fosfaatverzadigde grond' gekenmerkt kunnen worden; dit komt overeen met een areaal van ca. 1,1 - 1,3 miljoen ha landbouwgrond.
- De fosfaatverzadigingsgraad blijft echter een afgeleide parameter die een indicatie geeft voor de potentiële kans op (ortho-)fosfaatuitspoeling vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater, op termijn. De feitelijke en actuele bijdrage (lokaal of gehele afwateringsgebied) hangt sterk af van een groot aantal andere factoren zoals de ligging van het perceel, de mate van bemesting van de bodem, het fosfaatbindend vermogen van de bodem, de hydrologische situatie en de ontwateringskarakteristieken van het gebied.
- Aanbevolen wordt dan ook om, mede vanuit de invalshoek van de KRW, na te gaan op welke wijze het grote areaal fosfaatverzadigde gronden feitelijk het beste 'aangepakt c.q. benaderd' kan worden om op stroomgebiedsniveau kwetsbare aquatische (en terrestische) natuurgebieden te beschermen.

Literatuurlijst

Beek, J. & W.H. van Riemsdijk, 1979. Interaction of orthophosphate ions with soil. In: G.H. Bolt (ed.) Soil chemistry. B. Physico-chemical models. Elsevier Amsterdam. p. 259-284

Beek, van C.L., W. Schuurmans & O.F. Schoumans, 2004. Fosfaatsorptie- en desorptiekarakteristieken van bodemonsters van onderzoekslocatie 'de Vlietpolder'. Rapport in druk, Alterra, Wageningen.

Boers P.C.M., H.L. Boogaard, J.Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh & J.A.P.H. Vermulst, 1997. Watersysteemverkenningen, Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw. Rapport 97.013, RIZA, Lelystad en Rapport 532, Staring Centrum, Wageningen.

Breeuwsma, A., & O.F. Schoumans, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden. Bodembeschermingsreeks, nummer 74. Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.

Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus & H. van het Loo, 1989. Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Rapport no. 10 Staring Centrum Wageningen,.

Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink & O.F. Schoumans, 1990. Fosfaatverzadigde gronden in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied. Staring Centrum Wageningen, Rapport no. 68.

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. Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, Deel 8, Wageningen

Finke, P.A., J.J. de Gruijter & R. Visschers, 2001. Status 2001 Landelijke Steekproef Kaartenheden en toepassingen. Alterra rapport 389, Wageningen.

Groenenberg, J.E., G.J. Reinds & O.F. Schoumans, 1998. Modelonderzoek naar het milieurendement van lagere fosfaatverliesnormen op fosfaatverzadigde gronden in drie stroomgebieden. DLO-Staring Centrum rapport 583. Wageningen: DLO-Staring Centrum.

Koopmans, G.F., 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Thesis. Wageningen University, Wageningen.

Kroon, T., P.A. Finke, I. Peerboom en A.H.W. Beusen, 2001. Redign STONE. De nieuwe schematisatie van STONE; de ruimtelijke indeling en toekenning van de hydrologische en bodemchemische parameters. Rapport 2001.017, RIZA, Lelystad.

Lande Cremer, L.C.N. de la, 1970. Mestoverschotten, een potentiële bron van milieuverontreiniging. Kali 80: 361-368

Lexmond, Th.M., W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1982. Fosfaat en koper in de bodem in gebieden met intensieve veehouderij. Reeks Bodembescherming nr. 9. Staatsuitgeverij 's Gravenhage 1982, 160 pp. en bijl.

Massop, H.T.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors & J. Huygen, 2000. Hydrologie voor STONE; schematisatie en parametrisatie., 2000. Alterra-rapport 038/Reeks Milieuplanbureau 9, Alterra Wageningen, 101 blz.

Middelkoop J.C van, C. van der Salm, D.J. den Boer, M. ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils & O.F. Schoumans, 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland Veldonderzoek op vier locaties, 1997-2001. Rapport, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, in druk

Reijerink, J.G.A. & A. Breeuwsma, 1992. Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden. Rapport 222, Staring Centrum, Wageningen.

RIVM, 2002. Minas en Milieu, balans en verkenning. Milieu en Natuurplanbureau RIVM, Bilthoven. 205 pp.

Salm, C. van der & O.F. Schoumans, 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Report 083, Alterra Wageningen.

Schoumans, O.F., 1995. Beschrijving en validatie van de procesformulering van de abiotische fosfaatreacties in kalkarme zandgronden. Rapport 381. Staring Centrum Wageningen.

Schoumans, O.F., 1997. Relation between phosphate accumulation, soil P levels and P leaching in agricultural land. Rapport no. 146. Staring Centrum Wageningen.

Schoumans, O.F., 1999. Beschrijving van het gedrag van anorganisch fosfaat in veengronden. Rapport 522. Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F. & R. Kruijne, 1995a. Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden. Eindrapport. Rapport no. 374. Staring Centrum Wageningen.

Schoumans, O.F. & R. Kruijne, 1995b. Voorspelling van de fosfaatsuitleiding naar het oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Rapport no. 386. Staring Centrum Wageningen.

Schoumans, O.F., & P. Lepelaar, 1995. Emissie van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Procesbeschrijving van het gedrag van anorganisch fosfaat in kalkrijke zandgronden. Rapport 387.1. Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F., P.A.I. Ehlert & W.J. Chardon, 2004a. Evaluatie van methoden voor de karakterisering van gronden die in aanmerking komen voor reparatiebemesting. Rapport 730.3, Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F., L. Renaud, H.P. Oosterom & P. Groenendijk. 2004b. Lot van het fosfaatoverschot. Rapport 730.5, Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, & W. de Vries, 1987. Use of soil survey information for assessing the phosphate sorption capacity of heavily manured soils. In: W. van Duijvenbooden et al. (ed.), Vulnerability of soil and groundwater to pollutants; TNO Comm. on Hydrological Res. Proc. and Information no. 38. Den Haag. pp. 1079-1088

Schoumans, O.F., R. Kruijne & D.T. van der Molen, 1995. Vermindering fosfaatsuitleiding. Mogelijkheden bij fosfaatverzadigde gronden. Landschap 12. Vol. 6. p. 63-73.

Schoumans, O.F., B.A. Marsman & A. Breeuwsma, 1989. Assessment of representative soil data for phosphate leaching. Proc. Int. Symposium Land qualities in space and time. Eds. J. Bouma and A.K. Bregt, Pudoc, Wageningen, 201-205

Schoumans, O.F., W. de Vries & A. Breeuwsma, 1986. Een fosfaattransport-model voor toepassing op regionale schaal. Rapport nr. 1951. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 69 p.

Schoumans, O.F., R.W. de Waal & A. Breeuwsma, 1988. Risicogebieden voor fosfaatsuitleiding in Zuid-Holland. Bodemchemisch onderzoek naar de invloed van fosfaatbemesting en -binding in landbouwgebieden. Rapport nr. 1978. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 43 p.

Schwertmann, U., 1964. Differentzierung der Eisenoxiden des Bodens durch extraction mit Ammonium Oxalaat Loessung. Pflanzenernährung Düngung und Bodenkunde, 105, 194-202.

TCB (Technische Commissie Bodembescherming), 1990. Advies van de Technische Commissie Bodembescherming ten behoeve van de hantering van het protocol fosfaatverzadigde gronden. Advies aan de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 6-3-1990.

Wit, A.J.W., Th.G.C. van der Heijden en H.A.M. Thunnissen, 1999. Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3-grondgebruiksbestand. Staring Centrum. Rapport 663

Zee, S.E.A.T.M. van der, 1988. Transport of reactive contaminants in heterogeneous soil systems. Dissertatie, Landbouwniversiteit Wageningen, 283 pp.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990a. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. Landbouwniversiteit Wageningen.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990b. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische Uitwerking. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding. Landbouwniversiteit Wageningen.

Aanhangsel 1 TCB-advies

AANHANGSEL 1 ADVIES TECHNISCHE COMMISSIE BODEMBESCHERMING (TCB)



Bezoekadres
Dr. van der Starstraat 2
2265 BC Leidschendam

Postadres
Postbus 450
2260 MB Leidschendam

Telefoon
070 - 209367

Aan
de Minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Postbus 20951
2500 EZ 's-Gravenhage

Uw kenmerk.

Ons kenmerk. S/90-09

Datum. 6 maart 1990

Uw brief van.

Mijnheer de Minister,

In uw brief van 24 november 1989, kenmerk 16N9407, verzocht u, mede namens de Minister van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, de Technische commissie bodembescherming om een advies over een tweetal zaken die betrekking hebben op het protocol fosfaatverzadigde gronden. Dit protocol wordt opgesteld in verband met de uitvoering van het Besluit gebruik dierlijke meststoffen en beschrijft de wijze waarop moet worden bepaald welke gronden fosfaatverzadigd zijn. Voor de hantering van het protocol vroeg u de commissie advies te geven over het volgende:

1. De aanvaardbare concentratie van anorganisch fosfaat voor de grondwatervoeding in nauwe samenhang met de kwaliteitsdoelstelling voor het oppervlaktewater, zoals neergelegd in het NMP (0.15 mg totaal P/liter);
2. De te hanteren referentiediepte in het bodemprofiel waarop deze bovengenoemde concentratie mag uitspoelen mede met het oog op een minimalisatie van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.

U gaf daarbij aan dat deze adviesaanvraag een onderdeel van het protocol betreft en dat het protocol als geheel in een later stadium aan de TCB zal worden voorgelegd.

Voor de voorbereiding van het advies heeft de commissie overeenkomstig uw voorstel een bijeenkomst van deskundigen op het terrein van de landbouw, de bodemkunde, het grondwater en het oppervlaktewater belegd, waarop het gevraagde werd besproken. Voor de deelnemers aan het overleg verwijs ik u naar bijlage 1. De commissie vroeg de deelnemers zich voor de beantwoording van de vragen te richten op landbouwgronden in zandgebieden.

1) Het fosfaatgehalte in het grondwater

U verzocht de commissie om de concentratie van anorganisch fosfaat te relateren aan de kwaliteitsdoelstelling voor het oppervlaktewater. Deze relatie is echter niet eenvoudig te leggen. Immers, onder invloed van omstandigheden als temperatuur, licht, zuurstofgehalte en andere aanwezige stoffen, heerst in het oppervlaktewater een andere evenwichtssituatie voor omzettingprocessen van fosfaat dan in grondwater.

Een andere reden die een uitspraak over de samenhang tussen oppervlaktewater en grondwater bemoeilijkt is het feit dat het transport van fosfaat via het grondwater naar het oppervlaktewater lastig in één algemeen geldend model is weer te geven, gezien de voorkomende variaties in route en reistijd. Bovendien is het fosfaat-vastleggend vermogen tijdens het transport van plaats tot plaats verschillend en daardoor met weinig zekerheid te voorspellen.

Tenslotte wijst de commissie erop dat oppervlaktewater niet alleen wordt gevoed door fosfaat uit grondwater, maar ook uit oppervlakkig afstromend water en andere bronnen.

Op grond van voornoemde overwegingen concludeert de commissie dat de relatie tussen de bemesting, het transport naar het grondwater en de bijdrage aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater niet met een aantal eenvoudige algemeen geldende constanten te kwantificeren is.

De commissie stelt met nadruk dat het in het protocol gaat om een *methode* waarmee gebieden kunnen worden aangewezen, waarin met grote waarschijnlijkheid een aanzienlijke fosfaatbelasting van het grondwater kan optreden, wanneer meer fosfaat wordt toegediend, dan door het gewas kan worden onttrokken. Het toelaatbare fosfaatgehalte dat in het protocol als parameter moet worden ingevoerd kan derhalve naar het oordeel van de commissie direct worden afgeleid uit de uitgangspunten van het Besluit gebruik dierlijke meststoffen, waar de regeling voor fosfaatverzadigde

gronden deel van uitmaakt. Bij deze directe afleiding is het niet noodzakelijk om uit te gaan van een expliciete kwantitatieve relatie met de oppervlaktewater normering. Deze afleiding wordt hieronder beschreven.

In het Besluit gebruik dierlijke meststoffen is de normering van het gebruik van dierlijke meststoffen gebaseerd op het fosfaatgehalte van de mest. Uitgangspunt voor de normering is dat de aanvoer van fosfaat gelijk dient te zijn aan de onttrekking ervan door het gewas. Met het op korte termijn invoeren van de eindnorm volgens het principe "aanvoer = afvoer" werden problemen voorzien, waarvoor op het moment van invoering van de regeling geen oplossingen voorhanden waren. Om die reden wordt in fasen naar de eindnorm toegewerkt. Een uitzondering hierop vormen de fosfaatverzadigde gronden. Mede uit oogpunt van de bescherming van het oppervlaktewater dient op grond van het besluit voor deze gronden de eindnorm direct te worden ingevoerd.

Op deze percelen grond dient derhalve niet meer fosfaat aan de bodem te worden toegevoegd dan er door het gewas aan wordt onttrokken. De commissie meent dat de concentratie van anorganisch fosfaat in het grondwater in deze gronden derhalve gelijk dient te zijn aan die in onbelaste gronden.

Op grond van de beschikbare gegevens, ondermeer in het RIVM rapportnr. 728820001 (W. van Duijvenbouden 1989), kan de waarde van 0,1 mg orthofosfaat-P/l bij zandgronden als een representatieve waarde voor onbelaste situaties worden beschouwd. Gezien het bovenstaande en omdat, wanneer eenmaal fosfaatdoorslag is opgetreden, het honderden jaren kan duren voordat de situatie zich herstelt, adviseert de commissie om de waarde van 0,1 mg orthofosfaat-P/liter als parameter in het protocol te hanteren.

2) De referentiediepte

In het concept protocol wordt uitgegaan van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) als referentiediepte. De commissie kan hiermee instemmen. Zij gaat daarbij uit van de volgende definitie:



"Onder de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) wordt verstaan het rekenkundig gemiddelde over tenminste acht achtereenvolgende jaren (bij een ongewijzigd waterregime) van de hoogste drie grondwaterstanden per hydrologisch jaar (1 april - 31 maart)."

Deze definitie wordt gegeven in: "Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000; Algemene begrippen en indelingen". (Steur, G.G.L. en W. van Heijink, 1983, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen). Weliswaar ligt het freatisch vlak van het grondwater gedurende een aanzienlijk gedeelte van het jaar dieper dan de GHG, maar ook gedurende die periode bestaat er in veel gevallen via capillaire opstijging van grondwater contact met de fosfaatverzadigde zone en treedt uitspoeling op. Op grond van deze overwegingen adviseert de commissie om de GHG als referentiediepte te hanteren.

Gezien de door u voorgestelde procedure, volgens welke het gehele protocol op een later tijdstip aan de TCB zal worden voorgelegd, meent de commissie te kunnen volstaan met het in deze brief verwoorde advies. Zij ziet de uitwerking van het gehele protocol met belangstelling tegemoet.

Met de meeste hoogachting,
de voorzitter van de
Technische commissie bodembescherming,

Ir. H. Haverkate

Bijlage 1: Deelnemerslijst



Bijlage 1

Deelnemers aan het overleg ter voorbereiding van het advies

Voorzitter:

Prof.dr.ir. F.A.M. de Haan (lid TCB)

Overige deelnemers:

Dr.ir. A. Breeuwsma (Staringcentrum)

Dr. T.H.L. Claassen (Provincie Friesland)

Ir. W. van Duijvenbouden (RIVM)

Mr.drs. C.F.A.M. Hopstaken (WL)

Prof.dr. W.H. van Riemsdijk (LUW)

Ir. C.W.J. Roest (Staringcentrum)

Ir. E.J.B. Uunk (DBW/RIZA)

Dr.ir. S.E.A.T.M. van der Zee (LUW)

Aanhangsel 2 Definitie van een fosfaatverzadigingsgraad

Uitgangspunt

Een perceel is fosfaatverzadigd indien een vastgestelde fosfaatconcentratie (C_p) op een referentiediepte (L_{ref}) overschreden wordt. Deze overschrijding wordt bereikt als het fosfaatfront tot een diepte L_s is doorgedrongen zodanig dat bij desorptie vanuit de bovengrond ($0-L_s$) in de ondergrond ($L_s - L_{ref}$) onvoldoende vastlegging plaatsvindt (zie ook figuur 1):

Desorbeerbare hoeveelheid fosfaat in de bovengrond = Sorbeerbare hoeveelheid in de ondergrond

In formule:

$$\overline{r}_{0-L_s} \overline{(AlFe)}_{0-L_s} L_s (Q'_m - \tilde{Q}') = g \overline{r}_{L_s-L} \overline{(AlFe)}_{L_s-L_{ref}} (L_{ref} - L_s) \tilde{Q}' \quad (1)$$

met

$$\overline{r} = \text{gemiddelde droge bulkdichtheid} \quad (\text{kg m}^{-3})$$

$$L = \text{laagdiepte} \quad (\text{m})$$

$$Q' = Q / (AlFe) \quad (-)$$

$$g = F_m / Q_m = a / b \quad (-)$$

$$Q = \text{geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat} \quad (\text{mmol.kg}^{-1} P)$$

$$Q_m = \text{adsorptiemaximum} \quad (\text{mmol.kg}^{-1} P)$$

$$(AlFe) = \text{oxalaat extraheerbaar Al en Fe} \quad (\text{mmol.kg}^{-1} Al \text{ en } Fe)$$

Voor Q geldt:

$$Q = \frac{KcQ_m}{1 + Kc} = \frac{Kcb(AlFe)}{1 + Kc}$$

$$K = k_a/k_d = \text{adsorptieconstante} \quad (\text{m}^3\text{mol}^{-1})$$

$$c = \text{fosforconcentratie} \quad (\text{mol}\cdot\text{m}^{-3})$$

Definieer:

$$e = \overline{(AlFe)}_{L_s-L} / \overline{(AlFe)}_{0-L_s} \quad (-)$$

$$l = \overline{r}_{L_s-L} / \overline{r}_{0-L_s} \quad (-)$$

Dan volgt uit (1):

$$L_s = \frac{K C_p g e l}{1 + K C_p g e l} L_{ref} \quad (2)$$

Vergelijking 2 geeft aan dat de maximale diepte van de bodem die volledig met fosfaatverzadigd mag raken (L_s) afhankelijk is van de (fosfaat)bodemkarakteristieken, de gekozen referentiediepte (L_{ref}) en de maximaal toelaatbare fosfaatconcentratie (C_p)

Kortom, een perceel is fosfaatverzadigd indien meer fosfaat tot aan de referentiediepte (L_{ref}) aanwezig is ($P_{act, L_{ref}}$) dan maximaal tot aan L_s gebonden kan worden (FBV_{L_s}). Op grond hiervan is de kritieke fosfaatverzadigingsgraad van de bodem te berekenen:

$$P_{0-L_{ref}}^{act} \geq FBV_{0-L_s} \quad (3)$$

Ofwel:

$$\frac{P_{0-L_{ref}}^{act}}{FBV_{0-L_{ref}}} \equiv Z \geq \frac{\overline{a(AlFe)_{0-L_s}} \overline{L_s} \overline{r_{0-L_s}}}{\overline{a(AlFe)_{0-L_{ref}}} \overline{L_{ref}} \overline{r_{0-L_{ref}}}} \quad (4)$$

Substitutie van (2) en herschrijven levert:

$$Z \geq \frac{\overline{(AlFe)_{L_s-L_{ref}}} \overline{r_{L_s-L_{ref}}}}{\overline{(AlFe)_{0-L_{ref}}} \overline{r_{0-L_{ref}}}} \frac{Kc_{gel}}{1 + Kc_{gel}} \quad (5)$$

Omdat verder geldt:

$$\frac{\overline{(AlFe)_{0-L_{ref}}} \overline{r_{0-L_{ref}}}}{\overline{(AlFe)_{0-L_s}} \overline{r_{0-L_s}}} = \frac{\overline{L_s} \overline{(AlFe)_{0-L_s}} \overline{r_{0-L_s}} + (L_{ref} - L_s) \overline{(AlFe)_{L_s-L_{ref}}} \overline{r_{L_s-L_{ref}}}}{L}$$

$$e = \overline{(AlFe)_{L_s-L}} / \overline{(AlFe)_{0-L_s}}$$

$$l = \overline{r_{L_s-L}} / \overline{r_{0-L_s}}$$

kan vergelijking (5) herschreven worden tot

$$Z \geq \frac{1}{\frac{L_s}{L_{ref}} (1 - el) + el} \frac{Kc_{gel}}{1 + Kc_{gel}} \quad (6)$$

Substitutie van vergelijking (2) in (6) levert:

$$Z \equiv \frac{P_{0-L_{ref}}^{act}}{FBV_{0-L_{ref}}} \geq \frac{Kc_{gel}}{1 + Kc_{gel}}$$

Voor kalkarme zandgronden is vastgesteld (Van der Zee et al., 1990a en b):

$$K = 35/31 \text{ (l/mg)}$$

$$C = 0,1 \text{ (mg/l)}$$

$$? = a/\beta = 3 \text{ (-)}$$

hetgeen tot de kritieke fosfaatverzadigingsgraad voor kalkarme zandgronden leidt:

$$Z \equiv \frac{P_{0-Lref}^{act}}{FBV_{0-Lref}} \geq 0.25 = 25\%$$