

Aan
De Minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Postbus 30945
2500 GX Den Haag

TCB S35(2007)

Den Haag, 17 juli 2007

Betreft: Advies fosfaatverzadiging in landbouwbodems

Mevrouw de Minister,

In uw brief van 10 mei 2007¹ (bijlage 1) vraagt u de Technische commissie bodembescherming (TCB) om advies over de aanpak van fosfaatverzadigde gronden in de Nederlandse landbouw. U verzoekt dit mede namens de ministeries van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en Verkeer en Waterstaat (V&W).

De TCB heeft dit advies voorbereid samen met een werkgroep van deskundigen. De samenstelling van de werkgroep is opgenomen in bijlage 2. Vanwege de korte tijd die beschikbaar was voor het opstellen van het advies is geen aparte rapportage van de werkgroep opgesteld. In plaats daarvan zijn een onderbouwing van en achtergronden bij het advies opgenomen in bijlage 3.

INLEIDING

De TCB vindt duurzaam gebruik van de bodem een randvoorwaarde voor agrarische productie. Daarbij ziet de TCB de boer als de belangrijkste beheerder van het landelijk gebied. Fosfaatverzadiging van landbouwbodems is het gevolg van een jarenlange hogere aanvoer van fosfaat naar de bodem dan met het geogste gewas wordt afgevoerd. Fosfaatverzadiging vergroot het risico op uitspoeling van fosfaat uit de bodem naar het bovenste grondwater en naar het oppervlaktewater. Dit draagt bij aan de eutrofiëring van het oppervlaktewater. Hoge fosfaatgehalten in landbouwbodems kunnen ook de (agro)biodiversiteit nadelig beïnvloeden. Als landbouwgronden uit productie worden genomen voor natuurontwikkeling, bemoeilijkt fosfaatverzadiging van de bodem de realisatie van specifieke natuurdoelen.

¹ Kenmerk BWL/2007017496.

De totale fosfaataanvoer via dierlijke mest en kunstmest naar het land is aanzienlijk hoger dan de totale fosfaatafvoer via het geogste gewas. De aanvoer van fosfaat is hoger dan landbouwkundig noodzakelijk. Men spreekt daarom van een 'fosfaatoverschot'. Dit fosfaatoverschot is ontstaan omdat jaarlijks grote hoeveelheden fosfaat worden geïmporteerd via het krachtvoer (en bijproducten) voor de (bij)voeding van varkens, pluimvee en koeien. Bij invoering van fosfaatgebruiksnormen conform het principe van evenwichtsbemesting groeit het fosfaatoverschot in Nederland, tenzij de mestproductie en het gebruik van kunstmestfosfaat fors afnemen. In deze context pleit de TCB voor een effectief pakket aan beleidsmaatregelen om de fosfaatbelasting van de Nederlandse bodem te verminderen, binnen de kaders van een gezonde agrarische bedrijfsvoering. De TCB is van mening dat de aanpak van fosfaatverzadigde gronden alleen dan succesvol kan zijn, als tegelijkertijd het mestoverschot wordt teruggedrongen.

BEANTWOORDING VAN UW VRAGEN

Fosfaatgebruiksnormen afstemmen op de fosfaattoestand van de bodem

U vraagt welke mogelijkheden de TCB ziet om fosfaatgebruiksnormen af te stemmen op de fosfaattoestand van de bodem. De TCB ziet mogelijkheden om met gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen een bijdrage te leveren aan het terugdringen van fosfaatverzadiging in landbouwbodems. De TCB adviseert om de uitgangspunten van de huidige fosfaatbemestingsadviezen te gebruiken als basis voor gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen.

De huidige bemestingsadviezen zijn onder meer afgestemd op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem en op de fosfaatbehoefte van en fosfaatafvoer via het gewas. Toepassing van deze adviezen kan een grote bijdrage leveren aan een duurzaam beheer van landbouwbodems en een vermindering van de belasting van het oppervlaktewater. Op veel percelen wordt echter meer fosfaat via dierlijke mest en kunstmest gegeven dan volgens het bemestingsadvies noodzakelijk is, vooral ook omdat dierlijke mest momenteel een negatieve prijs heeft (de afnemer van dierlijke mest ontvangt geld). Differentiatie zal daarom alleen effectief zijn als voldoende stimulansen worden gecreëerd om de bemestingsadviezen daadwerkelijk op te volgen.

De TCB stelt een functionele driedeling voor op basis van de beschikbaarheid van fosfaat voor de agrarische productie:

Laag

In een situatie met een landbouwkundig lage fosfaattoestand van de bodem² is het redelijk om meer fosfaat aan de bodem toe te dienen dan de hoeveelheid die bij de oogst met het gewas wordt afgevoerd. De fosfaattoestand van de bodem zal voor de gewasproductie verbeteren. Dit is in overeenstemming met het huidige bemestingsadvies en is ook in de huidige mestwetgeving mogelijk;

² Indicatief een Pw-getal of PAL-getal van minder dan 20-30.

Voldoende

In een situatie met een landbouwkundig voldoende fosfaattoestand van de bodem wordt aangesloten op het bemestingsadvies op basis van evenwichtsbemesting;

Hoog

In situaties met een landbouwkundig ruim voldoende tot hoge fosfaattoestand van de bodem³ kan de fosfaatbemesting minder zijn dan de onttrekking met het gewas of zelfs geheel achterwege blijven. Ook dit komt overeen met het huidige bemestingsadvies. Als meer fosfaat uit de bodem wordt onttrokken dan via de oogst van het gewas wordt afgevoerd, vermindert de fosfaatvoorraad in de bodem en wordt de kans op uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater kleiner. Verlaging van de fosfaatvoorraad in de bodem heeft bij een hoge fosfaattoestand van de bodem geen gevolgen voor de agrarische productiviteit. Recente veldstudies hebben dit empirisch aangetoond.

Gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen conform bovenstaand voorstel vormen een zelfcorrigerend systeem. Percelen uit de categorie 'hoog' zullen geleidelijk terugvallen in de categorie 'voldoende' waarvoor evenwichtsbemesting geldt. Percelen waar bij evenwichtsbemesting op den duur toch de fosfaattoestand in de bouwvoor omlaag gaat doordat fosfaat uitspoelt en/of onomkeerbaar wordt vastgelegd in de bodem, komen in aanmerking voor een extra fosfaatgift zodra de fosfaattoestand 'vrij laag' of 'laag' wordt.

Gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen leiden op basis van de huidige inzichten bij vrijwel alle teelten niet tot achteruitgang van het gehalte aan organische stof in landbouwbodems, met als mogelijke uitzondering bloembollenteelt op geestgronden en bomenteelt.

Differentiatie op basis van de uitgangspunten van het bemestingsadvies vergt nadere uitwerking en keuzes ten behoeve van de praktische uitvoering. In bijlage 3 doet de TCB een aantal suggesties voor deze nadere uitwerking. De wetenschappelijke inzichten omtrent de meting van de fosfaattoestand van de bodem zijn momenteel sterk in beweging. De TCB adviseert om de verdere ontwikkeling daarvan te stimuleren, en na te gaan hoe verbeteringen in de meetmethode op termijn kunnen worden geïmplementeerd in de bemestingsadviezen en in de fosfaatgebruiksnormen. Bij invoering van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen is draagvlak bij de agrarische sector van groot belang, omdat handhaving van het naleven van de voorgestelde systematiek niet eenvoudig zal zijn.

Bij invoering van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen in 2015 conform bovenstaand voorstel kan in totaal tot wel 80 tot 120 miljoen kilogram fosfaat minder op land worden afgezet dan in 2002 het geval was, waardoor het mestoverschot toeneemt. Dit onderstreept het belang van een gelijktijdige aanpak van fosfaatverzadigde gronden en het mestoverschot.

Slechts een beperkt aantal landen van de Europese Unie (EU) voert een gericht fosfaatbeleid. Ierland heeft een wetgeving ingevoerd dat volledig is geënt op het bemestingsadvies, waarbij rekening wordt gehouden met zowel de fosfaatonttrekking door het gewas als met de

³ Indicatief een Pw-getal of PAL-getal van meer dan 40-60, afhankelijk van gewasgroep, grondsoort en analysemethode.

fosfaattoestand van de bodem. In Vlaanderen zijn met het Mestdecreet regels geformuleerd voor het gebruik van fosfaatmeststoffen, met specifieke aandacht voor fosfaatdeficiënte en fosfaatverzadigde gronden. In de andere EU-landen met een gericht fosfaatbeleid wordt geen rekening gehouden met de fosfaattoestand van de bodem.

Fosfaatverzadiging van de bodem in relatie tot fosfaatbelasting van het oppervlaktewater

U vraagt hoe de ernst van de problematiek van de fosfaatverzadigde bodems zich verhoudt tot het daadwerkelijk uitspoelen van fosfaat naar het oppervlaktewater. Fosfaatverzadigde bodems vormen een relevante bron voor de belasting van het grond- en oppervlaktewater met fosfaat. De concentratie fosfaat die uitspoelt vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater op landelijke schaal ligt hoger dan de huidige 'werknormen' voor fosfaat (fosfor) in oppervlaktewater van de KRW. Voor het realiseren van de doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is een vermindering van de aanvoer van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater nodig. De KRW-normen voor het oppervlaktewater zijn nog in ontwikkeling. De ambitie voor de 'ecologische status' van het oppervlaktewater zal uiteindelijk de opgave voor de landbouw bepalen.

Het verband tussen de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de fosfaatconcentratie in oppervlaktewater is complex. Een veelheid van factoren bepaalt het uiteindelijke transport van fosfaat uit de bodem naar het oppervlaktewater. Daardoor treden grote lokale en regionale verschillen op. Bij de thans in ontwikkeling zijnde methodiek om fosfaatlekkende gronden te karakteriseren wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand en de hydrologische situatie inclusief de connectiviteit van het perceel met het oppervlaktewater.

In gedraineerde bodems wordt een duidelijke relatie gevonden tussen fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de fosfaatconcentratie in het drainwater. Een verband tussen fosfaatverzadiging van landbouwbodems en de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat wordt in meetprogramma's vaak niet gevonden. Deze meetprogramma's zijn doorgaans ook niet ontworpen om deze verbanden te signaleren en waarschijnlijk worden niet alle van invloed zijnde factoren bij de analyse betrokken. De ernst van de problematiek dient echter niet alleen te worden afgeleid uit metingen van de huidige uitspoeling van fosfaat. De bestaande wetenschappelijke kennis van en inzicht in de relevante bodemprocessen met betrekking tot de binding en het transport van fosfaat in de bodem vormen voldoende aanleiding voor het nemen van brongerichte maatregelen.

Effectiviteit van uitmijnen

Tot slot vraagt u onder welke omstandigheden uitmijnen van fosfaat uit fosfaatverzadigde en fosfaatlekkende gronden een effectieve methode is om fosfaatverzadigde bodems te saneren of fosfaatlekkende tegen te gaan. Uitmijnen is 'het onttrekken van fosfaat aan de bodem door middel van het oogsten en afvoeren van een gewas, (vrijwel) zonder fosfaatbemesting'. De TCB ziet uitmijnen vooral als een effectieve methode om een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatconcentratie in de bodemoplossing in de bouwvoor te laten dalen.

Er is een sterk niet-lineair verband tussen de fosfaatvoorraad in de bodem en de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing. Dit betekent dat bij een relatief grote daling van de fosfaatconcentratie in oplossing de fosfaatvoorraad nauwelijks afneemt. Desalniettemin vermindert het risico op

uitspoeling sterk. Zowel modelberekeningen als experimentele metingen laten zien dat in 5 tot 10 jaar zowel de fosfaattoestand als de fosfaatconcentratie in de bouwvoor sterk kan worden verlaagd. Hierdoor wordt het risico op uitspoeling van fosfaat naar het grond- en oppervlaktewater (het lekken van fosfaat) lokaal sterk verminderd. Het kan binnen enkele jaren leiden tot een merkbare verbetering van de kwaliteit van het nabijgelegen oppervlaktewater. Uitmijnen wordt nog effectiever als het wordt gecombineerd met aanvullende maatregelen zoals het baggeren van de sloten, het plaatsen van helofytenfilters, en het uitvoeren van overige waterbeheersmaatregelen. Wanneer het fosfaatverzadigingsfront dieper in de bodem is doorgedrongen dan waar het gewas wortelt, is uitmijnen minder effectief om de belasting van het oppervlaktewater tegen te gaan.

Op de korte termijn heeft uitmijnen slechts beperkt invloed op de afname van de totale voorraad fosfaat in de bodem; de via uitmijnen te onttrekken hoeveelheden fosfaat zijn relatief laag ten opzichte van de totale hoeveelheid fosfaat, tot wel 10.000 kg fosfaat per hectare in de bovenste 50 cm, die in de bovengrond van landbouwgronden is opgehoopt. Daarbij komt dat uitmijnen op termijn minder effectief wordt. Voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden zullen enkele tientallen tot honderden jaren nodig zijn om de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem via uitmijnen te saneren. De ontwikkeling van schrale natuur, waarvoor een zeer lage fosfaattoestand van de bodem nodig is, is daarmee een zaak van lange adem. Om die reden wordt bij natuurontwikkeling vaak gekozen voor het afgraven van de nutriëntrijke bovenlaag van de bodem. Dit heeft wel als nadeel dat het kostbaar is en dat de aanwezige zaadbank in de bodem tegelijkertijd wordt verwijderd.

Het toepassen van de door de TCB voorgestelde gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen zal eveneens leiden tot onttrekking van fosfaat uit fosfaatverzadigde gronden. Op ongeveer 30 procent van het landbouwareaal kunnen gewassen worden geteeld zonder aanvullende fosfaatbemesting en zonder opbrengstderving. De (agro)biodiversiteit kan toenemen, wanneer door minder of geen bemesting ook de hoeveelheid stikstof in de bodem lager wordt. Daardoor komen er plantensoorten zoals paardenbloem en pinksterbloem in het grasland, wat insecten aantrekt en daarmee (weide)vogels.

AANBEVELINGEN

Ontwikkel gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen op basis van de uitgangspunten van de huidige bemestingsadviezen voor fosfaat.

Hanteer een driedeling in een lage fosfaattoestand waarbij meer fosfaat mag worden toegediend dan volgens evenwichtsbemesting is toegestaan, een voldoende fosfaattoestand waarbij kan worden bemest conform evenwichtsbemesting (de aanvoer van fosfaat via bemesting is gelijk aan de afvoer door het geogste gewas), en een hoge fosfaattoestand waarbij geen fosfaat wordt gegeven waardoor de fosfaattoestand van de bodem zal dalen. Specifieke teelten kunnen zo nodig worden uitgezonderd.

Werk deze vorm van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen verder uit. Heb daarbij aandacht voor de praktische uitvoerbaarheid en creëer draagvlak bij boeren. Neem mogelijke angst voor opbrengstderving weg door het aanleggen van demonstratievelden.

Ontwikkel beleid om het 'mestoverschot' terug te dringen. Neem het financiële voordeel weg dat ervoor zorgt dat meer fosfaat via dierlijke mest wordt aangewend dan de gebruiksnormen voorschrijven (dierlijke mest als 'vierde gewas'). Gebruik uitkomsten van onderzoek en bedrijfsvoorlichting om het gebruik van kunstmestfosfaat te beperken, en overweeg een verbod op kunstmestfosfaat voor gronden met een voldoende en hoge fosfaattoestand. Realiseer minder fosfaat in diervoeders, en creëer meer mestverwerkingsalternatieven. Als dit onvoldoende effectief blijkt, kan het noodzakelijk worden om de omvang van de veestapel te verkleinen.

Houd rekening met recente wetenschappelijke ontwikkelingen ten aanzien van het meten van de fosfaattoestand van de bodem en de interpretatie daarvan. Ontwikkel een meetstrategie voor de kwaliteit van het oppervlaktewater waarmee de invloed van verschillende bronnen van eutrofiëring is te onderscheiden, en pas deze toe. Met deze gegevens kunnen de juiste bron- en effectgerichte maatregelen worden geduid.

Zet tegelijkertijd met de in dit advies beschreven systematiek voor gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen in op effectgerichte maatregelen zoals baggeren, om zo snel mogelijk de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat terug te dringen.

Zie fosfaatgebruiksnormen als onderdeel van een totaalpakket aan maatregelen om eutrofiëring van het oppervlaktewater tegen te gaan, en stem deze zo nodig af op de lokale situatie in relatie tot de doelen die vanuit de KRW worden gesteld.

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



Ir. L.E. Stolker-Nanninga

Bijlagen:

1. De adviesaanvraag
2. Samenstelling tijdelijke TCB-werkgroep fosfaatverzadigde gronden
3. Onderbouwing van het advies fosfaatverzadiging in landbouwbodems

BIJLAGE 1. DE ADVIESAANVRAAG

BIJLAGE 2. SAMENSTELLING TIJDELIJKE TCB-WERKGROEP FOSFAATVERZADIGDE GRONDEN

De heer prof. dr. ir. O. Oenema, Alterra, Wageningen, voorzitter, tevens lid TCB;

De heer prof. dr. J.G.M. Roelofs, Radboud Universiteit Nijmegen, tevens lid TCB;

De heer prof. dr. ir. G. Hofman, Universiteit Gent, België;

De heer prof. dr. W.H. van Riemsdijk, Wageningen Universiteit;

De heer ir. O.F. Schoumans, Alterra, Wageningen;

Mevrouw dr. ir. H. van de Weerd, RIZA, Lelystad;

De heer ir. J. Verloop, Plant Research International, Wageningen;

De heer dr. A.J.P. Smolders, Radboud Universiteit Nijmegen;

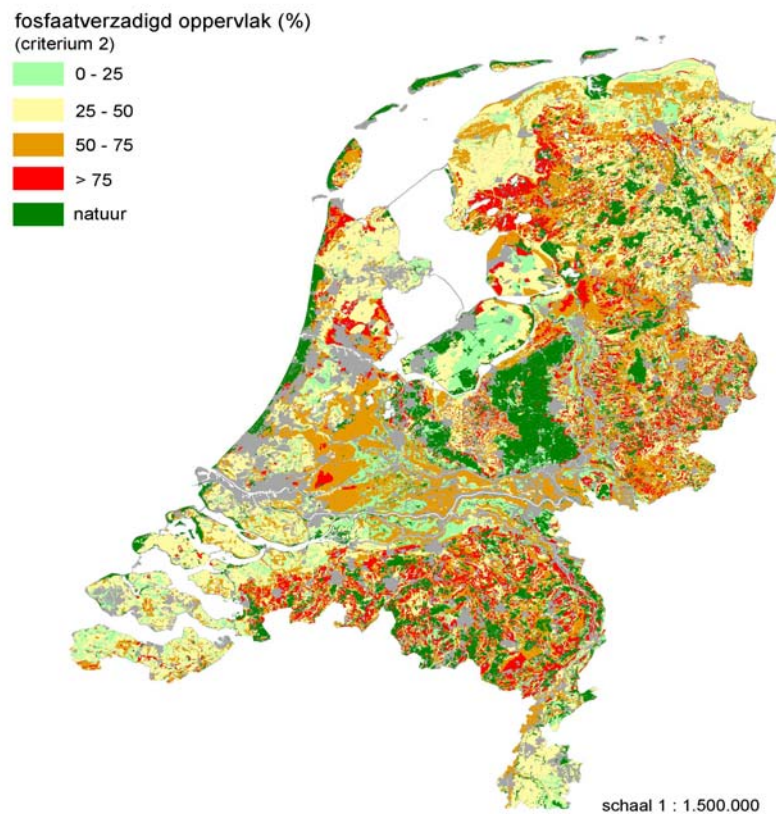
De heer ir. L.J.M. Boumans, RIVM, Bilthoven.

TCB-Secretarissen: de heer drs. J. Tuinstra en mevrouw dr.ir. A.E. Boekhold

PROBLEEMSTELLING

Fosfaatverzadigde bodems in Nederland

Geschat wordt dat 50-60 procent van het areaal landbouwgronden in Nederland met fosfaat is verzadigd (Figuur 1; Schoumans, 2004). Naarmate ze sterker met fosfaat verzadigd zijn, bevatten deze gronden veelal beduidend meer fosfaat dan landbouwkundig nodig is. Afhankelijk van de hydrologische situatie en de ligging van het perceel in relatie tot de ligging van het oppervlaktewater dragen deze gronden bij aan de fosfaatbelasting van het grond- en oppervlaktewater, en kunnen beschouwd worden als fosfaatlekkende gronden (Schoumans *et al.*, in voorbereiding). Het is daarom gewenst om de fosfaatbelasting van de bodem terug te dringen.



Figuur 1. Fosfaatverzadigde bodems in Nederland zoals gemeten in de periode 1992-1998. Voor landbouwgronden zijn vier klassen onderscheiden rekening houdend met een criterium voor een grondsoort specifieke fosfaatverzadigingsgraad, aangeduid met criterium 2. Uit: Schoumans, 2004.

Bovenstaande figuur is gebaseerd op metingen in de periode 1992-1998. Urgente gebieden zijn vooral de landbouwgronden in beekdal en andere laaggelegen landbouwgronden op zand in Zuid- en Oost-Nederland, vanwege de ongunstige combinatie van een concentratie aan intensieve veehouderijen met voor uitspoeling gevoelige bodems. In de afgelopen jaren was het binnen het

vigerende mestbeleid mogelijk om meer fosfaat aan te voeren via dierlijke mest en kunstmest dan werd afgevoerd via het gewas (fosfaatoverschot). Uit een recente inventarisatie blijkt dat de fosfaatoverschotten in de landbouw weliswaar zijn gedaald van gemiddeld 40-60 kg P₂O₅ per hectare per jaar (medio jaren negentig) naar gemiddeld 20-40 kg P₂O₅ per hectare in 2005⁴ (Van der Ham *et al.*, in voorbereiding), maar dat desalniettemin nog steeds sprake is van een overschot. Op basis hiervan hebben zich in het afgelopen decennium enkele honderden kg P₂O₅ per hectare extra in landbouwgronden opgehoopt. De situatie zoals weergegeven in figuur 1 is hierdoor feitelijk verslechterd, waardoor het fosfaatverzadigd oppervlak van landbouwgronden in de afgelopen jaren verder is toegenomen. Hierdoor zal ook de fosfaatconcentratie in het bovenste grondwater op termijn hoger liggen dan de situatie zoals deze voor de periode 1992-1998 in kaart is gebracht (Schoumans, 2004).

Vanuit het perspectief van een efficiënt gebruik van de beperkte voorraden aan gemakkelijk winbare voorkomens van ruwfosfaat op aarde, is fosfaatverzadiging van landbouwbodems op zichzelf een niet-duurzame situatie. Over circa 100 jaar is de gemakkelijk winbare hoeveelheid ruwfosfaat op en nemen de kosten voor winning van ruwfosfaat toe (Laegreid *et al.*, 1999). Arme landen, waar doorgaans sprake is van een natuurlijke fosfaatdeficiëntie van de bodem, zullen bij toenemende kosten van fosfaatkunstmest steeds meer moeite krijgen met het produceren van voldoende voedsel.

Fosfaatconcentratie in de bodemoplossing en de totale hoeveelheid fosfaat

Fosfaat (P₂O₅) wordt sterk gebonden in de bodem, waardoor de hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing relatief gering is. In de vaste fase kan onderscheid worden gemaakt in een fractie makkelijk uitwisselbaar fosfaat (reversibel gebonden fosfaat) en een fractie moeilijk uitwisselbaar fosfaat (irreversibel gebonden fosfaat). De verdeling over het bodemvocht en de beide vaste fasen is afhankelijk van de milieucondities (met name de pH), de samenstelling van de bodem (met name aluminium- en ijzerverbindingen en het organisch stofgehalte) en totale fosfaatconcentratie in de bodem.

Plantenwortels nemen fosfaat op uit de bodemoplossing, waardoor de concentratie in de bodemoplossing daalt. De hoeveelheid fosfaat in bodemoplossing wordt bij onttrekking weer aangevuld vanuit de uitwisselbare fractie in de

bodem, met andere woorden: er is sprake van een bufferende werking van de bodem. De hoeveelheid fosfaat geadsorbeerd in de vaste fase van de bodem neemt dan iets af.

De relatie tussen de hoeveelheid gebonden fosfaat aan de vaste fase van de bodem en de hoeveelheid fosfaat in het bodemvocht wordt weergegeven in een ad- of desorptie-isotherm. De algemene vorm van deze isotherm voor fosfaat in de bodem is zoals de isotherm weergegeven in figuur 2. De relatie is niet rechtevenredig. Als de fosfaatsorptiecapaciteit voor een groot deel is gebruikt, neemt de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing meer dan evenredig toe, en daarmee ook het risico op uitspoeling van fosfaat naar de ondergrond en het grond- en oppervlaktewater. De relatie is afhankelijk van de bodemsamenstelling en de milieucondities. Deze figuur toont de resultaten van een potexperiment waarbij plantopname het gehalte fosfaat in de bodem deed afnemen (uitmijnen). In deze

⁴ De variatie wordt bepaald door de verschillende regio's en sectoren.

potproef, die betrekking heeft op de bovenste 10 centimeter van de bouwvoor, verloopt de afname van de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem beduidend sneller dan verwacht in veldsituaties.

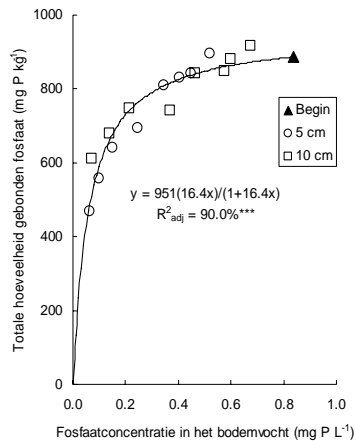


Fig 2. Verband tussen de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing (x-as) en de totale hoeveelheid gebonden fosfaat (y-as) op 5 en 10 centimeter diepte, op basis van een 30 dagen durend potproef-experiment. De rondjes en vierkantjes geven experimentele resultaten weer, de getrokken lijn de theorie. Uit: Koopmans, 2004.

Fosfaattoestand

De gangbare landbouwkundige term om de voor het gewas beschikbare hoeveelheid fosfaat in de bodem aan te geven is de fosfaattoestand. In de huidige bemestingsadviezen wordt voor deze fosfaattoestand geadviseerd met het Pw-getal (uitgedrukt in mg fosfaat per liter grond) en/of het PAL-getal (uitgedrukt in mg fosfaat per 100 g grond). Het Pw-getal geeft de hoeveelheid fosfaat die in de bodemoplossing voorkomt plus een deel van de hoeveelheid makkelijk uitwisselbaar fosfaat. Met het PAL getal wordt daarenboven ook een deel van het moeilijk uitwisselbaar fosfaat bepaald. Een Pw-getal van 20-25 komt overeen met een direct beschikbare hoeveelheid fosfaat

van 40-50 kg fosfaat per ha en een Pw-getal van 40-45 met 80-90 kg fosfaat per hectare, afhankelijk van het gewas.

Voor een goede bepaling van de fosfaattoestand zijn eigenlijk minimaal twee metingen nodig omdat de fosfaattoestand zowel wordt bepaald door de concentratie in de bodemoplossing als door de hoeveelheid fosfaat gebonden aan de bodem. De huidige eenpuntsmetingen (Pw en PAL) zijn dus een praktisch compromis. Er is onderzoek gaande naar verbetering van de meetmethode.

Fosfaatverzadigde gronden en fosfaatlekkende gronden

De totale hoeveelheid fosfaat die aan de bodem kan worden gebonden noemt men het fosfaatbindend vermogen (of fosfaat-sorptiecapaciteit), dat per bodemtype verschilt. Het fosfaatbindend vermogen hangt ook af van de concentratie in het bodemvocht. Bij landbouwgronden die als fosfaatverzadigd zijn aangemerkt is het fosfaatbindend vermogen voor een dusdanig percentage gebruikt, dat de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing is toegenomen tot een niveau waarbij een verhoogde fosfaatbelasting van het bovenste grondwater kan ontstaan (op het niveau van de gemiddelde hoogste grondwaterstand; concentraties hoger dan 0,10 mg ortho-P per liter of 0,15 mg totaal P per liter; zie TCB, 1990).

Afhankelijk van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de hydrologische omstandigheden kan sprake zijn van actuele fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater en wordt gesproken van fosfaatlekkende gronden (Schoumans *et al.*, in voorbereiding).

Fosfaat en ecologie

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) stelt eisen aan de kwaliteit van het oppervlaktewater in de lidstaten. Voor 'natuurlijke' wateren wordt als doel het bereiken van een goede ecologische toestand gesteld. Voor fosfaat zijn voor de Nederlandse situatie voorlopige watertype-specifieke

werknormen opgesteld, die voor natuurlijke wateren variëren van 0,03 tot 0,14 mg P per liter. Bij overschrijding van deze normen is sprake van eutrofiëring van het oppervlaktewater, wat kan leiden tot wel 80 procent vermindering van de potentiële biodiversiteit. De uiteindelijke normen voor niet-natuurlijke wateren moeten nog worden vastgesteld.

Op landelijke schaal is de mediane totaal-P-concentratie in regionaal oppervlaktewater gehalveerd van circa 0,4 mg/L in 1985 naar circa 0,2 mg/L in 2002 (MNP, 2005), maar ligt daarmee nog boven de hoogste werknormen. De toekomstige KRW-normen voor oppervlaktewater zullen mogelijk lokaal hogere gehalten toestaan (differentiatie in normstelling), maar een algemene versoepeling van de fosfaatsnormen wordt niet verwacht. Dat betekent dat een aanzienlijke inspanning nodig zal zijn om de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat voldoende te reduceren.

Een teveel aan fosfaat in de bodem van (voormalige) landbouwgronden bestemd voor natuurontwikkeling kan leiden tot minder biodiversiteit dan gewenst, waardoor de ontwikkeling van natuur op voormalige landbouwgronden wordt bemoeilijkt. Over het algemeen is het effect van stikstofbemesting echter groter dan het effect van fosfaatbemesting (zie kader).

Fosfaat en biodiversiteit

Soortenrijke vegetaties, zoals schrale biodiverse graslanden (bijvoorbeeld de in het natuurbeleid hoog gewaardeerde blauwgraslanden) ontwikkelen zich alleen op P-gelimiteerde bodems (Wassen *et al.*, 2005; Smolders *et al.*, 2006). Bij een hogere P-toestand kunnen kruidenrijke graslanden tot ontwikkeling komen met soorten als pinksterbloem, paardenbloem en boterbloem (Korevaar *et al.*, 2006). In situaties waarin deze gewenste soortenrijkdom moeilijk werd bereikt, was veelal sprake van een te hoge stikstofvoorziening (door nalevering uit voorraden in de bodem) of het afwezig zijn van de benodigde zaden in de bodem.

Bij verandering van het landgebruik van landbouw naar natuur vormen hoge fosfaatgehalten in de bodem een belemmering voor de ontwikkeling van zeer biodiverse vegetaties. De gewenste natuur kan alleen worden gerealiseerd na bijvoorbeeld afplaggen van de nutriëntrijke bovenlaag. Dit biedt echter niet altijd een oplossing, omdat hoge fosfaatgehalten tot op grotere diepten aanwezig kunnen zijn. Afplaggen

is, als het over beperkte oppervlakken gaat, tot circa 40 centimeter nog praktisch haalbaar, maar wel kostbaar en de aanwezige zaadbank in de bodem wordt tegelijkertijd verwijderd.

Een teveel aan fosfaat in de bodem kan leiden tot ondoordringbaarheid van de ecologische verbindingzones voor bepaalde planten. Deze zones vormen verbindingen tussen natuurgebieden, waarlangs organismen van het ene gebied naar het andere gebied kunnen migreren. Veel in het natuurbeleid hoog gewaardeerde planten overleven deze hoge fosfaatgehalten niet. De zones verliezen daarmee voor deze planten hun verbindende functie.

Een ander probleem dat kan ontstaan bij functiewisseling van landbouw naar natuur is een toename van het lekken van fosfaat naar het grondwater. Dit vindt bijvoorbeeld plaats bij vernatting van graslanden. In het ontstane anaerobe milieu komt veel fosfaat vrij. In de vegetatie is dit te zien aan de toename van ongewenste pitrusvegetaties.

DIFFERENTIËREN VAN FOSFAATGEBRUIKSNORMEN

Fosfaatgebruiksnormen kunnen vanuit landbouwkundige en milieukundige motieven worden gedifferentieerd. Landbouwkundige motieven zijn verschillen in fosfaatbehoefte tussen gewassen, en verschillen tussen de fosfaatgift die nodig is om de fosfaatbeschikbaarheid in verschillende bodemtypes op peil te houden. De landbouwkundige invalshoek houdt rekening met het feit dat gronden met een lage fosfaattoestand dienen te worden gecompenseerd met een extra fosfaatgift. Milieukundige motieven voor differentiatie zijn verschillen in de gevoeligheid voor uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater en de natuurwaarde van het agrarisch landschap. De TCB gaat uit van een benadering waarin de landbouwkundige en de milieukundige motieven worden gecombineerd (zie de beantwoording van vraag 1).

Nederland werkt, in lijn met afspraken die met de EU zijn gemaakt, toe naar evenwichtsbemesting in 2015. Dat wil zeggen dat de toevoeging van fosfaat aan de bodem dan zal overeenkomen met de afvoer van fosfaat via het geoogste gewas. Volgens deze interpretatie van evenwichtsbemesting wordt echter geen rekening gehouden met het reeds aanwezige fosfaat in de bodem.

Evenwichtsbemesting

In dit advies wordt verstaan onder evenwichtsbemesting dat de aanvoer van fosfaat via dierlijke mest en kunstmest gelijk is aan de afvoer via het gewas. De 'onvermijdbare landbouwkundige en milieukundige verliezen' vallen hier niet onder. Het begrip evenwichtsbemesting is niet eenduidig gedefinieerd. Er worden in de praktijk verschillende interpretaties gehanteerd. Zo zijn de aanvoerposten niet duidelijk afgebakend en kunnen 'onvermijdbare verliezen' onderdeel zijn van de definitie.

Meststof

In de Meststoffenwet is het begrip 'meststof' ruim gedefinieerd. Naast dierlijke mest en kunstmest worden overige organische en anorganische meststoffen onderscheiden. Tot deze laatste categorie behoren ook retourstromen vanuit de agrarische verwerkende industrie, mits aangewezen door de Minister van LNV via de zogeheten Positieve Lijst. Het fosfaat in alle meststoffen telt mee bij het bepalen van de totale fosfaataanvoer; voor compost telt slechts een gedeelte van het aanwezige fosfaat mee. Het aandeel van retourstromen in het totale mestgebruik is gering, maar kan lokaal van belang zijn.

De Nederlandse overheid onderzoekt thans de mogelijkheden om de fosfaatgebruiksnormen af te stemmen op de fosfaattoestand van de bodem. De generiek geformuleerde fosfaatgebruiksnormen in het derde Nederlandse Actieprogramma in het kader van de Europese nitraatrichtlijn van 60 kg P₂O₅ per hectare per jaar voor bouwland en 90 kg P₂O₅ per hectare per jaar voor grasland zijn indicatieve waarden op het niveau van evenwichtsbemesting. Omdat dit niveau voor fosfaatarme gronden te laag is, biedt het huidige mestbeleid de mogelijkheid om extra fosfaat te geven op fosfaatarme gronden (vier jaar achtereenvolgens maximaal 160 kg P₂O₅ per ha). Het areaal fosfaatarme gronden in Nederland is gering (ongeveer 2-7 procent, Schoumans *et al.*, 2004a). Dat Nederland nog landbouwgronden met een lage fosfaattoestand heeft, wordt vooral veroorzaakt door diepploegen, egaliseren van land, bekalking en drainage. Daarmee wordt grond met een lage fosfaattoestand uit de ondergrond naar boven gehaald, of wordt het beschikbare fosfaat in de bodem irreversibel vastgelegd. Voor fosfaatrijke gronden gelden momenteel geen beperkingen ten

aanzien van de fosfaatgiften; generieke fosfaatgebruiksnormen zijn thans hoger dan nodig voor een optimale gewasproductie.

Landbouwgronden met een hoge fosfaattoestand in de bouwvoor kunnen over het algemeen toe zonder fosfaatbemesting, zonder dat dit gevolgen heeft voor de productie en de kwaliteit van het gewas. Recente veldstudies hebben dit empirisch aangetoond (Neeteson *et al.*, 2006). Ook zonder verdere fosfaatbemesting kan bij deze gronden sprake zijn van fosfaatverzadiging of fosfaatlekken (Schoumans *et al.*, in voorbereiding).

In Vlaanderen is momenteel al sprake van een verbod op het gebruik van kunstmestfosfaat bij bepaalde teelten als de fosfaattoestand van de bodem hoog is. Er bestaan wel een aantal nauw omschreven uitzonderingen op dit verbod. Voor de teelt van bepaalde snelgroeiende bladgroentes en gewassen met een ondiepe en weinig ontwikkeld wortelstelsel in de vollegrondsgroenteteelt (bijvoorbeeld spinazie, sla, prei) is fosfaatkunstmest van belang voor een kwalitatief goede opbrengst. Het areaal van deze gewassen is in Nederland echter zeer beperkt (minder dan 1 procent). Deze gewassen kunnen daarom zonder milieukundige gevolgen op landelijke schaal worden vrijgesteld van een eventuele beperking van kunstmestfosfaatbemesting op fosfaatrijke gronden.

Uitgaande van ongeveer 2 miljoen hectare landbouwgrond, waarvan 1 miljoen hectare bouwland en maïsland, en de voorgestelde generieke fosfaatgebruiksnormen van 60 kg fosfaat per hectare per jaar voor bouwland en 90 kg fosfaat per hectare per jaar voor grasland, kan jaarlijks maximaal 150 miljoen kg fosfaat worden toegediend. De aanvoer van fosfaat via kunstmest varieerde in de periode 1998-2002 tussen 50 en 70 miljoen kg per jaar, en die van dierlijke mest tussen 160 en 200 miljoen kg per jaar. In 2006 was de totale hoeveelheid fosfaat in dierlijke mest circa 160 miljoen kg (Luesink, in voorbereiding). Dit impliceert dat bij invoering van generieke fosfaatgebruiksnormen tussen 2002 en 2015 de totale fosfaataanvoer naar de landbouw met 50 tot 80 miljoen kg per jaar moet verminderen. In de afgelopen jaren werd 10 tot 20 miljoen kg fosfaat per jaar geëxporteerd.

Bij differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen conform het antwoord op vraag 1 wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand van de bodem. Volgens Schoumans (2007a) had in de periode 1998-2003 gemiddeld genomen 23 procent van de door het Bedrijfslaboratorium voor Gewas- en Grondonderzoek (BLGG) onderzochte bodemmonsters afkomstig van grasland een hoge fosfaattoestand. Voor bodemmonsters afkomstig van maïsland en bouwland was dat respectievelijk 43 en 31 procent. Aannemende dat de genomen bodemmonsters een representatief beeld geven van het gehele landbouwareaal, dan heeft circa 28 procent van het landbouwareaal een hoge fosfaattoestand van de bodem, en volgens het bemestingsadvies derhalve geen fosfaatgift nodig. In totaal 2-7 procent van het landbouwareaal had een lage tot vrij lage fosfaattoestand, waarbij een extra fosfaatgift gewenst is (Schoumans *et al.*, 2004a). Omdat er meer fosfaatrijke dan fosfaatarme landbouwgronden zijn, kan bij differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen conform de hier voorgestelde systematiek in totaal tot wel 30 à 40 miljoen kg fosfaat per jaar minder worden toegediend dan bij generieke fosfaatgebruiksnormen. Dit betekent dat bij invoering van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen in 2015 in totaal tot wel 80 tot 120 miljoen kg fosfaat minder kan worden afgezet dan in 2002 het geval was, wat een aanzienlijke toename betekent van het mestoverschot. Naast een sterke beperking van het gebruik van kunstmestfosfaat, is beperking

van de aanvoer van fosfaat via dierlijke mest noodzakelijk (minder fosfor in het voer, mestverwerking, mestexport, etcetera).

RELATIE MET HET MESTOVERSCHOT IN NEDERLAND

Differentiëren van de fosfaatgebruiksnormen naar de fosfaattoestand van de bodem zal alleen dan effectief zijn, als tegelijkertijd wordt gezorgd voor een vermindering van het aanbod van de hoeveelheid dierlijke meststoffen. Zonder terugdringing van het aanbod van de hoeveelheid fosfaat in dierlijke mest ontstaat door differentiatie een steeds verder toenemende druk op de mestmarkt. Differentiatie zal zonder vermindering van het niet-op-het-land-plaatsbare en niet-verwerkbare 'mestoverschot' fraude met de mestwetgeving in de hand werken. Gepleit wordt voor maatregelen die het herwinnen van fosfaat uit allerhande agrarische nevenstromen (mest, agro-industrie) competitief maken ten opzichte van het onbewerkt toedienen op land.

Het grote aanbod van dierlijke mest op de mestmarkt in Nederland wordt al sinds het begin van de zestiger jaren van de vorige eeuw grotendeels veroorzaakt door de intensieve landbouw, met name de varkens- en pluimveehouderij. Deze importeert op grote schaal (grondstoffen voor) veevoeders (onder meer soja). Het geproduceerde vlees wordt vooral geëxporteerd, (drijf)mest resteert als nevenproduct. De hoeveelheden daarvan zijn groter dan de behoefte aan meststoffen in de Nederlandse bodem, ondanks de relatief grote mestbehoefte in de hoogproductieve Nederlandse landbouw. Lokaal zijn de fosfaatoverschotten op bedrijfsniveau enorm, met name in Noord-Brabant en Gelderland, en moet veel mest worden afgevoerd naar andere gebieden (MNP, 2004).

De problematiek is al vele jaren bekend (Henkens, 1969; De la Lande Cremer, 1970; Breeuwsma en Schoumans, 1986). Oplossingen zijn mogelijk, maar alleen via ingrijpende maatregelen, zoals een verbod op het gebruik van fosfaatkunstmest, een verregaande intensivering van de mestverwerking inclusief mestscheiding en export, wat leidt tot een forse toename van de verwerkingskosten, of desnoods het verkleinen van de omvang van de veestapel. Ook via het verminderen van de hoeveelheid fosfaat in diervoeders kan een bijdrage worden geleverd aan het terugdringen van de fosfaatbelasting van de Nederlandse bodems. De TCB vindt duurzaam gebruik van de bodem een bindende randvoorwaarde voor agrarische productie, en pleit daarom voor een effectiever pakket aan beleidsmaatregelen om de fosfaatbelasting van de Nederlandse bodem te verminderen. Het grote aanbod van fosfaat via dierlijke mest staat oplossingen voor de fosfaatproblematiek in Nederland al jaren in de weg.

RELATIE MET DE FOSFAATBELASTING VAN HET OPPERVLAKTEWATER

Door de belasting met nutriënten is het Nederlandse oppervlaktewater grotendeels geëutrofeerd. In meer dan de helft van de meetlocaties in het oppervlaktewater liggen de fosfaatconcentraties boven het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) (Bakker en Plette, 2007). De belasting met fosfaat vanuit landbouwgronden speelt hierbij een belangrijke rol (Tabel 1; MNP, 2005).

Tabel 1. Belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met fosfor door emissies, uit- en afspoeling en grensoverschrijdende rivieren. Belasting in miljoen kg/jaar. Uit: MNP, 2005.

Bron	1985	1995	2002
Industrie	13,4	3,5	0,6
Effluenten RWZI's ¹	10,8	3,5	3,0
Overige communale bronnen ²	2,6	0,4	0,2
Uit- en afspoeling ³	4,8	5,0	5,9
w.v. landbouwgrond	4,4	4,6	5,5
Landbouw direct	0,8	0,4	0,4
Totaal van binnenlandse bronnen	32,4	12,8	10,1
Rijn, Maas en Schelde	43,4	23,3	26,8

¹ Rioolwaterzuiveringsinstallaties.

² Niet gerioleerde bebouwing, afstroming verharde oppervlakken, riooloverstorten.

³ Bijdrage van landbouwgrond gemiddeld 92 procent, de overige 8 procent is afkomstig van natuurterreinen.

De belangrijkste bronnen van fosfaat in oppervlaktewater zijn rioolwaterzuiveringsinstallaties, industrie en diffuse belasting vanuit het landelijk gebied. De vracht aan fosfaat via de rivieren is relatief groot, maar vanwege de hoge waterafvoer qua concentraties laag. De ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater dat wordt gevoed door de Rijn is de laatste jaren enorm verbeterd. Deze verbetering wordt echter nog niet gezien in door landbouw beïnvloede watersystemen. De belasting vanuit het landelijk gebied wordt grotendeels veroorzaakt door af- en uitspoeling van meststoffen uit percelen in landbouwkundig gebruik. Regionaal kan fosfaatrijke kwel (bijvoorbeeld in gebieden met mariene afzettingen in de ondergrond zoals in zeekelegebieden en veengebieden tot een verhoogde fosfaatbelasting leiden (Van Beek, 2007). De belasting door rioolwaterzuiveringsinstallaties en de industrie is vanaf 1985 tot 2005 zeer sterk gedaald (afname 82 procent tot 2002, zie tabel 1). De bijdrage vanuit het landelijk gebied is vanaf 1985 nagenoeg gelijk gebleven. Het gevolg is dat de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater vanuit het landelijk gebied nu de grootste bron van fosfaat is. In tegenstelling tot de andere bronnen vertoont de bijdrage vanuit het landelijk gebied ruimtelijk en temporeel grote variaties; uitspoeling vindt vooral in de winter plaats en is in natte jaren hoger dan in droge (Van de Weerd en Torenbeek, 2007; Schoumans en Kruijne, 1995b; Schoumans en al, 2002; MNP, 2005).

De relatie tussen fosfaattoestand en fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en fosfaatbelasting van het oppervlaktewater is complex en wordt lokaal bepaald door bodemtype en hydrologische omstandigheden, inclusief de connectiviteit van het perceel met het oppervlaktewater (Haygarth and Jarvis, 2002; Dawson and Johnston, 2006; Schoumans *et al.*, in voorbereiding). De concentratie fosfaat in het oppervlaktewater is alleen te voorspellen uit de concentratie fosfaat in de bodem als de lokale systeemkenmerken (bodemopbouw, bronnen, bodemprocessen, hydrologie en ligging) bekend zijn en kunnen worden gekwantificeerd.

Benadrukt moet worden dat er ook bij een goed systeembegrip nog altijd onzekerheden zullen bestaan bij het kwantificeren van de lokale relatie tussen de gehalten fosfaat in de bodem en de

concentraties fosfaat in het oppervlaktewater. Dit is het gevolg van de intrinsieke heterogeniteit van de bodem en het feit dat diverse processen in het oppervlaktewater optreden. Rekenmodellen die het gedrag van stoffen in de bodem en grondwater beschrijven kunnen dit, via stochastische modellering, verdisconteren. Onzekerheid in de voorspelling van het gedrag van stoffen in de bodem en het grondwater is algemeen en fundamenteel. De onzekerheid laat zich vooral gelden ten aanzien van voorspellingen van de lokale kwaliteit van het oppervlaktewater. Het doet echter niets af aan het feit dat op macroschaal de landbouw nu de grootste bijdrage levert aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.

Bronmaatregelen, gericht op het terugbrengen van de aanvoer van fosfaat naar de bodem, zijn daarom belangrijk om de fosfaatemissies naar het oppervlaktewater structureel terug te dringen. Via alleen bronmaatregelen kan het echter meerdere decennia duren voordat effect op de kwaliteit van het oppervlaktewater merkbaar is. Effectgerichte maatregelen op perceelsniveau, zoals uitmijnen en maatregelen waarmee afvoer via *run-off* wordt beperkt, kunnen lokaal relatief snel tot een reductie van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater leiden. In hoeverre via effectgerichte maatregelen landelijk de reductie conform de KRW-doelstellingen kan worden gehaald is onduidelijk.

De ambitie voor de ecologische toestand van het oppervlaktewater en de daaruit voortvloeiende criteria voor de kwaliteit van het oppervlaktewater zal uiteindelijk de termijn bepalen waarvoor fosfaatverzadigde en fosfaatlekkende gronden een probleem blijven vormen. Deze ambitie zal tevens de grootte van de opgave voor de landbouw bepalen.

DUURZAMER BODEMGEBRUIK IN DE LANDBOUW

In 2005 bracht de TCB op verzoek van de Minister van Landbouw, mede namens de staatssecretaris van VROM, een advies uit over duurzaam bodemgebruik in de landbouw⁵. De TCB heeft in dit advies uitgangspunten geformuleerd voor duurzamer bodemgebruik. Duurzamer bodemgebruik gaat uit van de diensten die de bodem levert. Deze diensten moeten zodanig worden onderhouden dat het herstelvermogen van de bodem intact blijft. Voorkomen dient te worden dat deze diensten worden uitgeput of vernietigd. Het gebruik van het bodemecosysteem mag de omgeving, zoals het grondwater en aanliggende ecosystemen, niet belasten. Deze algemene uitgangspunten heeft de TCB toegepast bij de beantwoording van de gestelde vragen.

⁵ Advies Duurzamer bodemgebruik in de landbouw, TCB A36(2005).

BEANTWOORDING VAN DE GESTELDE VRAGEN

Vraag 1

Welke mogelijkheden ziet u om de fosfaatgebruiksnormen af te stemmen op de fosfaattoestand van de bodem? Hierbij vraag ik u rekening te houden met:

- de mate waarin fosfaat in de bodem beschikbaar is voor gewassen;
- mogelijke neveneffecten als gevolg van een verandering in de organische stof in de bodem op lange termijn;
- de manier waarop in andere lidstaten hiermee om wordt gegaan (bijvoorbeeld Morgan's index in Ierland) en de toepasselijkheid van deze inzichten in Nederland.

De huidige bemestingsadviezen (bijvoorbeeld Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen 2007; Van Dijk *et al.*, 2003; Van Dam *et al.*, 2004) zijn onder meer afgestemd op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem in relatie tot de fosfaatbehoefte en fosfaatafvoer van het gewas. Alhoewel deze adviezen meer landbouwkundig dan milieukundig zijn geïnspireerd, zal toepassing ervan al een grote bijdrage leveren aan een duurzaam bodembeheer en een vermindering van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Voor bepaalde teelten leidt het bemestingsadvies tot een bodemoverschot aan fosfaat, maar dat komt maar beperkt voor. De TCB adviseert daarom de uitgangspunten van deze bemestingsadviezen te gebruiken als basis voor gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen. De huidige bemestingsadviezen zijn goed onderbouwd, sluiten aan op de praktijk maar houden nog onvoldoende rekening met de kwaliteit van het oppervlaktewater (Schoumans *et al.*, 1991; Schoumans en Groenendijk, 2000; Schoumans en Lepelaar, 1995; Neeteson *et al.*, 2006). Ook zijn nog verbeteringen mogelijk in de meetmethoden en de interpretatie daarvan.

Een lagere fosfaattoestand van de bodem is ook noodzakelijk om tot duurzamere landbouw te komen. De huidige bacteriegedomineerde ecosystemen in bodems die intensief voor landbouw worden gebruikt kunnen bij een lagere nutriëntendruk weer terugontwikkelen naar systemen met een hogere schimmel/bacterie verhouding (Van der Wal *et al.*, 2006; De Vries *et al.*, 2006). Bodems met een hogere schimmel/bacterie verhouding zijn beter in staat om ecosysteemdiensten te leveren, zoals natuurlijke bodemvruchtbaarheid, goede bodemstructuur en natuurlijke ziekte- en plaagwering. Hierbij spelen niet alleen schimmels maar ook andere organismen een rol (Johansson *et al.*, 2004; Hamel, 2004; Esperschütz *et al.*, 2007). Daardoor zijn minder externe *inputs* (kunstmest en bestrijdingsmiddelen) nodig voor de gewasproductie en vindt navenant minder afwenteling plaats. De gewasopbrengst is bij dergelijke duurzamere landbouw doorgaans wat lager dan bij gangbare landbouw, maar er worden ook minder kosten gemaakt (Mäder *et al.*, 2002).

Een advies geven betekent nog niet dat het wordt opgevolgd. Boeren kijken op basis van diverse overwegingen af van het bemestingsadvies. Een belangrijke landbouwkundige overweging daarbij is een verondersteld risico op een mogelijke opbrengstderving als gevolg van een te geringe bemesting. Ook ontvangen de boeren een inkomensrelevante financiële vergoeding voor de dierlijke mest die zij afnemen (dierlijke mest als 'vierde gewas'), wat meer bemesten dan noodzakelijk volgens het bemestingsadvies aantrekkelijk maakt. Dit blijkt ook uit resultaten van mineralenbalansen op bedrijfsniveau volgens de inmiddels afgeschafte MINAS-systematiek, in relatie tot de gemiddelde fosfaattoestand van de bodem (MNP, 2004). Gepleit wordt voor de introductie van stimulansen die leiden tot het naleven van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen. Dit vergt een adequate doorwerking van kennis over grondonderzoek,

bemesting en gewasopbrengst naar de praktijk. Maatregelen zijn nodig om het inkomensvoordeel dat het afnemen van dierlijke mest oplevert op te heffen.

Als basis voor differentiatie van fosfaatgebruiksnormen kan worden uitgegaan van een voor de landbouw functionele driedeling, gebaseerd op zowel de fosfaattoestand van de bodem als de onttrekkingen door het (type) gewas:

Laag

Situatie met een landbouwkundig lage fosfaattoestand in de bodem; dan is een extra fosfaatgift (bovenop de gift voortkomend uit evenwichtsbemesting) redelijk. Deze regeling is in de huidige mestwetgeving al mogelijk;

Voldoende

Situatie met een landbouwkundig voldoende fosfaattoestand van de bodem. Fosfaatgebruiksnormen kunnen worden gebaseerd op evenwichtsbemesting, zijnde een fosfaatgift gelijk aan de fosfaatafvoer via het geoogste product (netto fosfaatonttrekking door het gewas);

Hoog

Situatie met een landbouwkundig hoge fosfaattoestand in de bodem; dan kan fosfaatbemesting achterwege blijven zonder gevolgen voor de productiviteit. Het leidt tot verlaging van de fosfaatvoorraad in de bodem.

Een differentiatie op basis van deze driedeling moet nader worden uitgewerkt om toepasbare fosfaatgebruiksnormen op te leveren. Dit zal nog tal van praktische keuzes en beslissingen vragen. Zo vraagt een beoordeling in welke van de drie categorieën van de fosfaattoestand een bodem zich bevindt, dat de P-toestand van de bodem bekend is, en dus dat bodemonderzoek heeft plaatsgevonden. De wetenschappelijke inzichten omtrent de meting van de fosfaattoestand van de bodem is momenteel sterk in beweging (Houba and Temminghof, 1999; Koopmans *et al.*, 2004; Van Rotterdam-Los (in voorbereiding)). Geadviseerd wordt om de verdere ontwikkeling daarvan in het kader van de fosfaatgebruiksnormen te stimuleren en in de praktijk te toetsen. De differentiatie kan echter ook worden uitgewerkt naar een gebiedsgerichte of regionale benadering indien een generieke differentiatie tot te veel onvolkomenheden leidt. Ook kan de fosfaatbemesting worden gedifferentieerd naar gewasgroepen die worden onderscheiden op grond van fosfaatonttrekking en fosfaatbehoefte.

Veel boeren hechten eraan een startgift aan fosfaat te geven aan het begin van het groeiseizoen, omdat dit de gewasgroei zou bevorderen. Deze initiële sterkere groei blijkt echter niet altijd nodig te zijn (Neeteson *et al.*, 2006; Van Noordwijk *et al.*, 1990). Blijkbaar haalt een gewas zonder startgift een eventuele groeiachterstand later in het groeiseizoen weer in. De vochtvoorziening van het gewas en de temperatuur van de bodem beïnvloedt de reactie van het gewas op een startgift. Bij een goede vochtvoorziening en een niet te koude grond is het effect van een startgift gering. Dit impliceert dat verbetering van de vochtvoorziening in het vroege voorjaar effectiever voor de fosfaatvoorziening van het gewas kan zijn dan een startgift.

Gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen conform het voorstel van de TCB leidt naar verwachting niet tot nadelige gevolgen voor het gehalte aan organische stof in landbouwbodems. Mogelijke

uitzondering hierop is de bollenteelt op de geestgronden, waar sprake is van een relatief hoge afbraaksnelheid van organische stof (Ten Berge *et al.*, 2007). Ook bij de bomenteelt, waar door het verwijderen van de kluit met de oogst de organische stofrijke bovengrond wordt afgevoerd, is aandacht voor de ontwikkeling van het organische stofgehalte nodig. Geadviseerd wordt om voor deze sectoren na te gaan op welke wijze de landbouwkundige neveneffecten zo veel mogelijk kunnen worden vermeden, bijvoorbeeld door het gebruik van fosfaatarme organische mest en compost.

Als de fosforgehalten in veevoeders lager worden, kan de aanvoer van organische stof naar de bodem toenemen binnen de huidige gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat; er kan dan immers meer dierlijke mest worden uitgereden.

De aanvoer van organische stof naar Nederlandse landbouwgronden is relatief hoog. Er is sprake van een relatief lage mineralisatiesnelheid (natte gronden) en een hoge agrarische productie met daardoor veel wortel- en bladresten die op het land achterblijven. Het gehalte aan organische stof in landbouwbodems lijkt eerder omhoog dan omlaag te gaan in Nederland (Reijneveld *et al.*, (in review).

Uit een recent uitgevoerde inventarisatie van de wetgeving ten aanzien van het gebruik van fosfaat in de verschillende landen van de EU (Schoumans, 2007b) blijkt dat slechts een beperkt aantal landen gericht fosfaatbeleid voert. Ierland heeft een wetgeving ingevoerd die volledig op het bemestingsadvies geënt is, waarbij rekening wordt gehouden met zowel de fosfaatonttrekking door het gewas en de fosfaattoestand van de bodem. In Vlaanderen zijn met het Mestdecreet regels geformuleerd voor het gebruik van fosfaatmeststoffen, met aandacht voor fosfaatdeficiënte en fosfaatverzadigde gronden. In de andere EU-landen met een gericht fosfaatbeleid wordt geen rekening gehouden met de fosfaattoestand van de bodem.

Vraag 2

Hoe verhoudt (in kwalitatieve zin) de ernst van de problematiek van fosfaatverzadigde bodems zich tot het daadwerkelijk uitspoelen van fosfaat naar het oppervlaktewater? Ik wil u vragen hierbij de huidige stand van kennis over de factoren die bijdragen aan het lekken van fosfaat uit fosfaatverzadigde bodems mee te nemen.

Studies die de uit- en afspoeling van fosfaat van landbouwgronden naar oppervlaktewater kwantificeren op basis van metingen zijn schaars. Resultaten zijn beschikbaar uit *case*-studies op drie melkveehouderijen op zand, klei en veen (Torenbeek, 2003, Van den Eertwegh en Van Beek, 2004, Van der Salm *et al.*, 2006, Van de Weerd en Torenbeek, 2007). Het betreft hier echter geen fosfaatverzadigde gronden. De afvoerroute van fosfaat naar het oppervlaktewater wordt bepaald door de oppervlaktemorfolgie en begreppeling van het land, de dynamiek in de grondwaterstanden, neerslagverdeling en -intensiteit en tijdstip en wijze van bemesting. Afhankelijk van de bemesting was de bijdrage van *run-off* op de onderzochte percelen relatief hoog, variërend van 0 tot 85 procent. De bijdrage van de ondiepe uitspoeling is afhankelijk van de fosfaattoestand van het bovenste deel van de bodem.

Het RIVM beheert het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). De gemeten concentraties fosfaat in het ondiepe grondwater volgens dit meetnet zijn relatief laag in relatie tot de

fosfaatconcentraties die in het oppervlaktewater worden gemeten. Het meetnet van het RIVM is oorspronkelijk ontworpen om nitraatconcentraties in landbouwwater te monitoren op landbouwbedrijven. Aanvullend wordt ook fosfaat gemeten, maar gegevens over de fosfaatverzadiging van de bodem zijn niet beschikbaar in het LMM.

De actuele belasting van het oppervlaktewater kan sterk verschillen omdat bij gelijke fosfaatverzadigingsgraad maar verschillende grondwaterstanden de emissies naar het oppervlaktewater verschillend zullen zijn. Uit experimentele metingen blijkt dat met een toename van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem de fosfaatconcentratie in het drainagewater toeneemt. Dit wordt geïllustreerd door de meetresultaten in drainagewater, zoals gepresenteerd in tabel 2. De resultaten laten zien dat in drainagewater van de percelen met de hoogste fosfaatverzadigingsgraden ook de hoogste ortho-fosfaat concentraties worden gemeten. Opgemerkt wordt dat de draindiepten niet steeds gelijk waren. De hoogste waarde (2,47 mg/L ortho-fosfaat) is gemeten in een ondiepe drain (40 cm diepte) (Brookes *et al.*, 1997; VLM, 1997).

Tabel 2. Verband tussen de procentuele P-verzadiging en de ortho-P-concentratie in drainwater. Uit: VLM, 1997.

Perceel	% fosfaatverzadiging	mg o-P/L (gem) in drainwater
1	24	0,01
2	31	0,10
3	32	0,03
4	33	0,05
5	33	0,10
6	34	0,02
7	38	0,05
8	38	0,15
9	40	0,25
10	41	0,05
11	42	0,02
12	44	0,07
13	45	0,40
14	47	0,06
15	48	0,07
16	48	0,20
17	49	0,02
18	49	1,23
19	51	2,47
20	53	0,95
21	54	0,90
22	55	1,01
23	56	1,33
24	58	0,68
25	62	0,50

Uit veldstudies blijkt dat ondiepe uitspoeling door de bodem en afspoeling over het maaiveld na bemesting gevolgd door neerslag een belangrijke bijdrage kan leveren aan de lokale

fosfaatbelasting van het oppervlaktewater (Schoumans en Kruijne, 1995a, Van de Weerd en Torenbeek, 2007). Bij een frequenter voorkomen van een hoge neerslagintensiteit, zoals wordt verwacht als gevolg van klimaatverandering, zal de lokale fosfaatbelasting van het oppervlaktewater over het maaiveld in de toekomst wellicht verder toenemen.

Via gebiedsstudies kan het belang van de verschillende bronnen op regionale schaal worden vastgesteld. In het project Monitoring Stroomgebieden, dat door LNV, VROM en V&W gefinancierd wordt, is een intensief monitoringsprogramma opgezet voor een veengebied (Krimpernerwaard), een kleigebied (Quarles van Uffort), een hoog belast zandgebied (Schuitenbeek) en een laag belast zandgebied (Drentse Aa). In al deze gebieden blijkt dat de diffuse belasting van het oppervlaktewater door de landbouw de belangrijkste bron van fosfaat is (Leenders *et al.*, 2007).

Fosfaatverzadigde bodems vormen dus een relevante bron voor de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. Het verband tussen de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater is echter complex. Een veelheid van factoren bepaalt het uiteindelijke transport van fosfaat uit de bodem naar het oppervlaktewater (Schoumans *et al.*, in voorbereiding). Er zijn daardoor grote regionale verschillen. Fosfaatlekkage naar het oppervlaktewater treedt vooral op bij fosfaatverzadigde percelen die direct aan waterlopen zijn gelegen en waar relatief hoge grondwaterstanden in de loop van het jaar voorkomen. Daarnaast treedt in situaties met een neerslagintensiteit die de infiltratiecapaciteit van de bodem overschrijdt een extra fosfaatbelasting van het oppervlaktewater op doordat plasvorming en vervolgens afvoer over het maaiveld plaatsvindt.

Voor het terugdringen van de eutrofiëring van het oppervlaktewater is een aanzienlijke reductie nodig van de aanvoer van fosfaat naar het oppervlaktewater (MNP, 2005). Bronmaatregelen, gericht op het terugbrengen van de aanvoer van fosfaat naar de bodem, zijn belangrijk om de fosfaatemissies naar het oppervlaktewater structureel terug te dringen. Via alleen bronmaatregelen kan het echter meerdere jaren tot decennia duren voordat effect op de kwaliteit van het oppervlaktewater lokaal merkbaar is. Effectgerichte maatregelen op perceelsniveau, die de afvoer via *run-off* vlak na bemesting verminderen of die de drainage veranderen, kunnen dan lokaal op korte termijn veel resultaat opleveren.

De normatieve en ruimtelijke uitwerking van de KRW zal de grootte van de opgave voor de landbouw bepalen. Daarbij is van invloed in hoeverre de normen van de KRW betrekking hebben op alle oppervlaktewater, of vooral worden vastgesteld voor het 'grote' oppervlaktewater (zoals rivieren, meren). Het is vooral 'klein' oppervlaktewater (zoals sloten, ook wel 'landbouwwater' genoemd) dat direct wordt beïnvloed door de landbouw.

Geadviseerd wordt om meetmethodieken te ontwikkelen en toe te passen in karakteristieke regio's om de invloed van verschillende bronnen te onderscheiden, teneinde de juiste bron- en effectgerichte maatregelen te kunnen duiden. Naast de ontwikkeling van de modellering van het gedrag van fosfaat in de bodem, verdient het aanbeveling om de relatie tussen fosfaat in de landbouw en fosfaat in oppervlaktewater via gerichte metingen te kwantificeren.

Vraag 3

Onder welke omstandigheden is uitmijnen een effectieve methode om fosfaatverzadigde bodems te saneren of fosfaatlekken tegen te gaan?

Uitmijnen is het verlagen van de fosfaattoestand en de fosfaatgehalten in de bodem door het telen en afvoeren van gewas bij een lage of geen fosfaatbemesting. Via uitmijnen kan de fosfaattoestand in de bovenste circa 20 centimeter van de bodem relatief snel worden verlaagd, omdat gewassen goed in staat zijn de direct beschikbare ('labiele') minerale fosfaatfractie uit de bodem te onttrekken. Via uitmijnen treedt een relatief grote daling op van de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing, waardoor de uitspoeling sterk zal afnemen. Dit geldt met name bij grasland, omdat met het geogste gras 70 tot 130 kg fosfaat per ha per jaar wordt afgevoerd. Met andere gewassen wordt 40 tot 60 kg fosfaat per ha per jaar afgevoerd (Ehlert *et al.*, 2006). Zonder fosfaatbemesting kan er jaarlijks een hoeveelheid fosfaat worden afgevoerd met het gewas die gelijk is aan de hoeveelheid fosfaat die volgens evenwichtsbemesting zou moeten worden toegevoegd. In situaties waarbij de ondiepe fosfaatuitspoeling via de bodem naar het oppervlaktewater de belangrijkste uitspoelingsroute is, leidt een verlaging van de fosfaattoestand van de bovengrond via uitmijnen tot een lagere belasting van het oppervlaktewater. Uitmijnen is hier een effectief middel om de belasting van het oppervlaktewater met fosfaat te verminderen.

Er zijn ook ervaringen waarbij de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar fosfaat bij uitmijnen niet meer zijn afgenomen dan bij evenwichtsbemesting (Reijneveld *et al.*, 2003). Bij zes jaar toepassen van respectievelijk nul-bemesting, evenwichtsbemesting en de helft van de dosis behorend bij evenwichtsbemesting op 'De Marke' werd geen significant verschil gevonden in de ontwikkeling van het Pw-getal tussen de behandelingen. Het is aannemelijk om het Pw-getal te interpreteren als gemakkelijk beschikbaar fosfaat. Dat betekent dat de hoeveelheid gemakkelijk beschikbaar fosfaat in de bodem niet lager was bij nul-bemesting dan bij evenwichtsbemesting. Dit resultaat kan veroorzaakt zijn doordat het experiment plaatsvond op een perceel met drie jaar grasland in wisselbouw met voederbiet en twee jaar maïs. Wisselbouw kan een verhogend effect hebben op de Pw ondanks onttrekking, en kan de verhouding tussen de hoeveelheden anorganisch en organisch fosfaat hebben veranderd. Landbouwkundig is dat gunstig, omdat de gewasopbrengst niet snel gelimiteerd zal worden door fosfaatgebrek ondanks geen of een lage P-bemesting. Milieukundig kan dit effect van wisselbouw ook gunstig zijn, omdat een hoge P-onttrekking bij uitmijnen gehandhaafd kan worden, hetgeen de snelheid van uitmijnen ten goede komt. Daar waar het uitspoelingsrisico groot is, is het door vruchtwisseling op peil houden van de Pw mogelijk ongunstig, onder de aanname dat het Pw-getal, de concentratie van P in oplossing, en de uitspoeling van P naar het oppervlaktewater aan elkaar gerelateerd zijn.

Naarmate de bodem meer verzadigd is met fosfaat zal de periode van uitmijnen langer duren. Naarmate het fosfaat ook dieper in de bodem aanwezig is, onder de wortelzone, zal de effectiviteit van uitmijnen minder zijn. In sommige fosfaatverzadigde bodems is tot wel 10.000 kg fosfaat per ha opgehoopt en in deze situatie duurt het vele decennia voordat de bodem volledig is gesaneerd. Daarom is uitmijnen in deze situaties een kwestie van lange adem.

Uitmijnen biedt kansen voor de transitie van intensief beheerde landbouwgrond naar een kruidenrijk grasland, vooral omdat met uitmijnen niet alleen fosfaat maar ook de beschikbare hoeveelheid stikstof in de bodem wordt verlaagd. Het is evenwel veelal een onvoldoende

maatregel bij omzetten van landbouwgrond naar schrale graslanden met een hoge biodiversiteit en daardoor een hoge natuurwaarde. De vereiste vermindering van de fosfaatgehalten in de bodem tot een niveau waarbij fosfaatlimitatie kan leiden tot deze soortenrijke schrale graslanden is dusdanig, dat uitmijnen als enige maatregel zeer lang (ordegrootte honderd jaar) duurt.

Een andere methode om fosfaatsuitspoeling uit de bodem tegen te gaan is het toedienen van natuurlijke fosfaatbindende mineralen die ijzer en/of aluminium bevatten. In onder meer de Verenigde Staten (aluminiumsulfaat) en in Australië (zeolieten) wordt hiermee in de praktijk geëxperimenteerd. Een aantal materialen is onder Nederlandse omstandigheden getest (Schoumans en Köhler, 1995; Schoumans en van der Molen, 1995; Kronvang *et al.*, 2005). De TCB pleit voor terughoudendheid bij toepassing van fosfaatbindende stoffen in Nederland. Het is een effectgerichte *end-of-pipe* maatregel, vooral geschikt als alle andere maatregelen falen.

CONCLUSIES

De TCB adviseert om fosfaatgebruiksnormen te differentiëren naar drie klassen op basis van de fosfaattoestand van de bodem, en daarbij de uitgangspunten van het bemestingsadvies te hanteren. Deze differentiatie dient nog verder te worden uitgewerkt. Differentiatie volgens deze systematiek leidt ertoe dat fosfaatverzadigde gronden worden 'uitgemijnd'. De aanpak van fosfaatverzadigde gronden kan alleen dan succesvol zijn, als tegelijkertijd het te verwachten niet-verwerkbare 'mestoverschot' wordt teruggedrongen.

Fosfaatverzadigde bodems vormen een relevante bron voor uitspoeling van fosfaat naar het grond- en oppervlaktewater. Het daadwerkelijk lekken van fosfaat uit de bodem naar het oppervlaktewater wordt niet alleen bepaald door de fosfaattoestand van de bodem, maar vooral ook door de hydrologische omstandigheden en de ligging van het perceel in relatie tot het lokale oppervlaktewater. Dit maakt dat het een complex proces is. Er zijn aanwijzingen dat oppervlakkige afspoeling van meststoffen (over de bodem en door de toplaag van de bodem), vrij snel na toediening van de mest, lokaal significant bijdraagt aan de eutrofiëring van het oppervlaktewater.

Door uitmijnen kan jaarlijks een deel van de aanwezige totale voorraad fosfaat in de bovengrond aan de bodem worden onttrokken. De TCB ziet uitmijnen als een effectieve methode om de fosfaattoestand van de bouwvoor relatief snel te verlagen en daarmee de kans op uitspoeling naar het oppervlaktewater te verminderen. Het volledig saneren van fosfaatverzadigde bodems door uitmijnen zal in de meeste situaties honderden jaren duren.

LITERATUURLIJST

- Bakker, D.W. en A.C.C. Plette, 2007. Mest en Oppervlaktewater. Een terugblik 1985-2005. Deelrapport ten behoeve van de evaluatie meststoffenwet 2007. RIZA rapport 2007.
- Beek, C.L. van, 2007. Nutrient losses from grassland on peat soils. Proefschrift Wageningen Universiteit, 109 pp.
- Berge ten H.F.M., A.M. van Dam, B.H. Janssen en G.L. Velthof, 2007. Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek WOT-werkdocument, Wageningen.
- Breeuwsma, A. en O.F. Schoumans, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden. Stiboka rapport nr. 1866, 66 pp.
- Brookes P.C., G. Heckrath, J. de Smet, G. Hofman, J.Vanderdeelen, 1997. Losses of phosphorus in drainage water. In: H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes, A.E. Johnston, 1997. Phosphorus loss from soil to water. CAB International, p 253-271.
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen 2007. Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen (<http://www.bemestingsadvies.nl/>).
- Dam, A.M. van, L.J.M. Kater en N.S. van Wees, 2004. Adviesbasis voor de bemesting van Bloembolgewassen. Publicatie 708. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse.
- Dawson C.J. and A.E. Johnston 2006 Agricultural phosphorus in relations to its effect on water quality. IFS proceedings no 589.
- Dijk W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. Middelkoop en K.B. Zwart, 2003. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Publicatie 307. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.
- Eertwegh, G.A.P.H. en C.L. van Beek, 2004. Water- en Nutriënthuishouding van een veenweidegebied. De vlietpolder in Zuid-holland in beeld. STOWA-rapport 2004-30.
- Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop en P.H.M. Dekker, 2006. Fosfaatafvoer en fosfaatgehalten van landbouwgewassen. Alterra Rapport 1348, Wageningen, 92 pp.
- Esperschütz, J., A. Gattinger, P. Mäder, M. Schloter and A. Fließbach, 2007. Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. FEMS Microbiology Ecology 61, 26–37.
- Ham, A. van den, C.H.G. Daatselaar, G.J. Doornewaard & D.W. de Hoop, in voorbereiding. Bodemoverschotten op landbouwbedrijven. Deelrapportage van Ex Post Milieukwaliteit; studie in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2007 (EMW 2007).

- Hamel, C. 2004. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 383–395.
- Haygarth, P.M and Jarvis S.C. (eds.), 2002. *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Cabi Publishing, Wallingford, UK, 502 pp.
- Henkens, Ch.H., 1969. Problemen rond de organische mest. *De Bedrijfspluimveehouder* 47:689.
- Houba, V.J.G. and E.J.M. Temminghof, 1999. Behaviour of phosphate in soil extracts using weakly buffered extracting solutions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30: 1367-1370.
- Johansson, J.F., L.R. Paul and R.D. Finlay, 2004. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology* 48, 1-13.
- Koopmans, G.F., 2004. Characterisation, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Korevaar, H., A. van der Werf, R.H.E.M. Geerts & W. de Visser. 2006. Long-term effects of nutrients on productivity and species-richness of grasslands: the Ossenkampen fertilizer experiment. Poster abstract in: Long-term studies in ecology, A celebration of 150 years of the Park Grass Experiment. Harpenden, UK.
- Kronvang, B., M. Bechmann, H. Lundekvam, H. Behrendt, G.H. Rubaek, O.F. Schoumans, N. Syversen, H.E. Andersen and C.C. Hoffmann, 2005. Phosphorus losses from agricultural areas in river basins; effects and uncertainties of targeted mitigation measures. *Journal of Environmental Quality* 34 (2005).pp. 2129 – 2144.
- Laegreid, M., O.C. Bockman and E.O. Kaarstad, 1999. *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. CABI Publishing in association with Norsk Hydro ASA, Wallingford, UK.
- Lande Cremer, L.C.N. de la, 1970. Mestoverschotten, een potentiële bron van milieuverontreiniging. *Kali* 80: 361-368.
- Leenders, T.P, J. Roelsma, F.J.E. van der Bolt, O.F. Schoumans, H.C. Jansen, J.G. Kroes, 2007. Nutriëntenbelasting van het landsysteem op het oppervlaktewater in relatie tot de oppervlaktewaterkwaliteit in vier stroomgebieden; Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2007 ex-post milieukwaliteit. Alterra rapport 1477, Wageningen, 98 pp.
- Luesink H.H., in voorbereiding. Monitoring mestmarkt 2006. Rapportages LEI en WUR.
- Mäder, P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried and U. Niggli, 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- MNP, 2004. Mineralen beter geregeld. Evaluatie van de werking van de Meststoffenwet 1998-2003. MNP en RIVM. Rapport nr. 500031001, RIVM, Bilthoven.

- MNP, 2005. Milieukwaliteit en verliesnormen, Deelproject 1 van de Evaluatie Meststoffenwet 2004. MNP en RIVM. RIVM rapport nr 50031002/2005.
- Neeteson J., J. Schröder, B. Smit, J. Bos and K. Verloop, 2006. Need and opportunities to reduce phosphorus inputs, soil supply and loss from agriculture in the Netherlands, IFS proceedings no. 595.
- Noordwijk, M. van, P. de Willigen, P.A.E. Ehlert and W.J. Chardon, 1990. A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. *Neth. J. Agric. Science* 38: 317-332.
- Reijneveld, J.A., J. Verloop en G.J. Hilhorst, 2003. Sanering van zandgrond met een hoge fosfaattoestand; resultaten van een veldexperiment op proefbedrijf de Marke. De Marke rapport 43.
- Reijneveld, J.A., J. van Wensem and O. Oenema, in review. Trends in soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004.
- Rotterdam-Los A.M.D. van, E.J.M. Temminghoff, W. Busink, W.H. van Riemsdijk (in voorbereiding). Predicting phosphorus desorption kinetics based on a combination of two standard soil tests.
- Salm, C. van der, J. Dolfing, J.W. van Groenigen, M. Heinen, G. Koopmans, J. Oenema, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2006. Diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit grasland op een zware kleigrond. Monitoring van nutriëntenemissies op een melkveehouderijbedrijf in Waardenburg. STOWA-rapport 2006-12.
- Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse en R. Zwijnen, 1991. De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-Al-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden. Rapport 112, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1991.
- Schoumans, O.F. en H. Köhlenberg, 1995. Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaattuitspoeling uit landbouwgronden. Mogelijkheden van toediening van aluminium en ijzerverbindingen aan de bodem. Staring Centrum Wageningen, Rapport no. 374.
- Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995a. Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaattuitspoeling uit landbouwgronden. Meting van de fosfaattuitspoeling uit fosfaatverzadigde zandgrond met en zonder hydrologische maatregel. Staring Centrum Wageningen, Rapport no. 374.1.
- Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995b. Voorspelling van de fosfaattuitspoeling naar het oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Staring Centrum Wageningen, Rapport no. 386.
- Schoumans, O.F., R. Kruijne en D.T. van der Molen, 1995. Vermindering van de fosfaattuitspoeling. Mogelijkheden bij fosfaatverzadigde gronden. *Landschap*. Vol. 6: 63-73.

- Schoumans, O.F. en 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. en P. Groenendijk, 2000. Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. *J. environ. Qual.* 29 (2000), 1: 111-116.
- Schoumans, O.F., J. Roelsma, H.P.Oosterom, P. Groenendijk, H. Van Zeijts, G.J. van der Born, S. van Tol, H.F.M. van den Berg, H.G. van der Meer en F.K. Evert, 2002. Nutriëntenemissies vanuit landbouwgronden naar het grondwater en oppervlaktewater bij varianten van verliesnormen. Modelberekeningen met STONE 2.0. Clusterrapport 4: deel 1. Alterra, Wageningen.
- Schoumans, O.F., 2004. Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Alterra rapport 730.4. Alterra, Wageningen. In het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2004.
- 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. Alterra rapport 730.3. Alterra, Wageningen. In het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2004.
- Schoumans, O.F., L. Renaud, H. Oosterom, P. Groenendijk, 2004b. Lot van het fosfaatoverschot. Analyse van STONE-berekeningen die zijn uitgevoerd in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2004. Alterra rapport 730.5. Alterra, Wageningen. In het kader van de Evaluatie Meststoffenwet.
- Schoumans, O.F., 2007a. trends in de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Rapportage in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2007. Alterra rapport.
- Schoumans, O.F., 2007b. Phosphorus Regulations in Europe. Outcome of an inventory in 27 countries involved in EU-COST action 869. "Mitigation Options for Nutrient Reduction in Surface Water and Ground water at River Basin Scale in order to Reach Targets of the Water Framework Directive". Oral Presentation and draft report, Working Group Meeting in Hamar (No) 22 May - 25 May 2007.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm en M. Pleijter, in voorbereiding. Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronde. PLEASE. Alterra rapport, Wageningen.
- Smolders, A., E. Lucassen E., H. Tomassen, L. Lamers en J. Roelofs, 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad natuur, bos en landschap*, april 2006 p 5-11.
- TCB, 1990. Advies parameters ten behoeve van het protocol fosfaatverzadigde gronden. S/90-09. 6 maart 1990.
- Torenbeek, R., 2003. Diffuse belasting van oppervlaktewater met nutriënten in de veehouderij (DOVE). Grasland op zand. STOWA-rapport 2003-16.

Van de Weerd, H. en R. Torenbeek, 2007. Uitspoeling van meststoffen uit graslanden – emissieroutes onder de loep. STOWA-publicatie, in voorbereiding.

VLM, 1997. Fosfaatverzadiging van zandige bodems in Vlaanderen. VLM, Brussel, 143 p.

Vries F.T. de, E. Hoffland, N. Van Eekeren, L. Brussaard and J. Bloem, 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting management. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 2092-2103.

Wal A. van de, J.A. van Veen, W. Smant, H.T.S. Boschker, J. Bloem, P. Kardol, W.H. van der Putten and W. de Boer, 2006. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 51-60.

Wassen, M.J., H. Olde Venterink, E.D. Lapshina en F. Tanneberger, 2005. Endangered plants persists under phosphorus limitation. *Nature* 437, 547-550.