



ALTEERRA

WAGENINGENUR

# Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw

W.J. Chardon  
M. Pleijter  
C. van der Salm  
O.F. Schoumans  
O. Oenema



Alterra-rapport 1571, ISSN 1566-7197



Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw



# Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw

W.J. Chardon  
M. Pleijter  
C. van der Salm  
O.F. Schoumans  
O. Oenema

Alterra-rapport 1571

Alterra, Wageningen, 2007

## REFERAAT

W.J. Chardon, M. Pleijter, C. van der Salm, O.F. Schoumans en O. Oenema, 2007. *Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw*. Wageningen, Alterra  
Alterra-rapport 1571. 48 blz.; 18 fig.; 11 tab.; 20 ref.

In juli 2007 werd de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) door de LNV-Directie Landbouw verzocht om een studie uit te voeren naar de landbouwkundige, bedrijfseconomische en milieukundige gevolgen van de voorgenomen aanscherping (tussen 2006 en 2015) van de fosfaatgebruiksnormen voor grasland en akkerbouw- en tuinbouw. Daarnaast werd gevraagd om de mogelijkheden voor differentiatie van gebruiksnormen in kaart te brengen. In dit rapport worden de resultaten beschreven van een oriënterende studie, uitgevoerd met behulp van een simulatiemodel, naar de milieukundige gevolgen. De vermindering in de totale fosfaatuitspoeling door aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen blijkt sterk afhankelijk van de bijdrage van de bovengrond (laag 0-30 cm) aan de totale fosfaatuitspoeling uit de bodem; hoe groter de bijdrage van de bovengrond, hoe groter de vermindering van de fosfaatuitspoeling door aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen.

Trefwoorden: aanscherping, differentiatie, fosfaat, gebruiksnormen, landbouw, Milieu, uitspoeling

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl). Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice).

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto: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	15
2 Fosfaatbemesting, fosfaatoverschot en fosfaatuitspoeling	17
3 Selectie en karakterisering van bodemtypes, hydrologie en landgebruik	25
3.1 Selectie combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik	25
3.2 Karakterisering van de eigenschappen van bodem en grondwater	27
3.3 Karakterisering van de hydrologie	29
4 Samenvatting van de uitgevoerde berekeningen met <i>PLEASE</i>	33
5 Resultaten	35
5.1 Fosfaatuitspoeling	35
5.2 Bodemvruchtbaarheid	41
6 Discussie en conclusies	43
Literatuur	47



## Woord vooraf

In juli 2007 werd de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) door de LNV-Directie Landbouw verzocht om een studie uit te voeren naar de landbouwkundige, bedrijfseconomische en milieukundige gevolgen van de voorgenomen aanscherping (tussen 2006 en 2015) van de fosfaatgebruiksnormen voor grasland en akkerbouw- en tuinbouw. Daarnaast werd gevraagd om de mogelijkheden voor differentiatie van gebruiksnormen in kaart te brengen.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van een oriënterende studie, uitgevoerd met behulp van een simulatiemodel, naar de milieukundige gevolgen.





## Samenvatting

### *Inleiding*

Tijdens de onderhandelingen over de invoering van de EU-Nitraatrichtlijn heeft de Nederlandse regering met de Europese Commissie afgesproken om in 2015 evenwichtsbemesting voor fosfaat te implementeren. Het doel van de aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen tot het niveau van 'evenwichtsbemesting' is het beperken van het risico op uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar grondwater en oppervlaktewater. EU-richtlijnen en afspraken met de Europese Commissie liggen aan het genoemde doel ten grondslag. Momenteel is de bijdrage van landbouwgronden aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater 50-60%. Die relatieve bijdrage is de afgelopen jaren toegenomen, vooral omdat de bijdrage van andere bronnen is afgenomen. De belangrijkste aanvoerroutes van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater zijn oppervlakkige afstroming over de bodem, laterale uitspoeling door de bodem (ondiepe uitspoeling) en kwel van fosfaatrijk grondwater uit de ondergrond. Vooral de bijdragen van de eerste twee genoemde routes worden op termijn door de aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen verminderd.

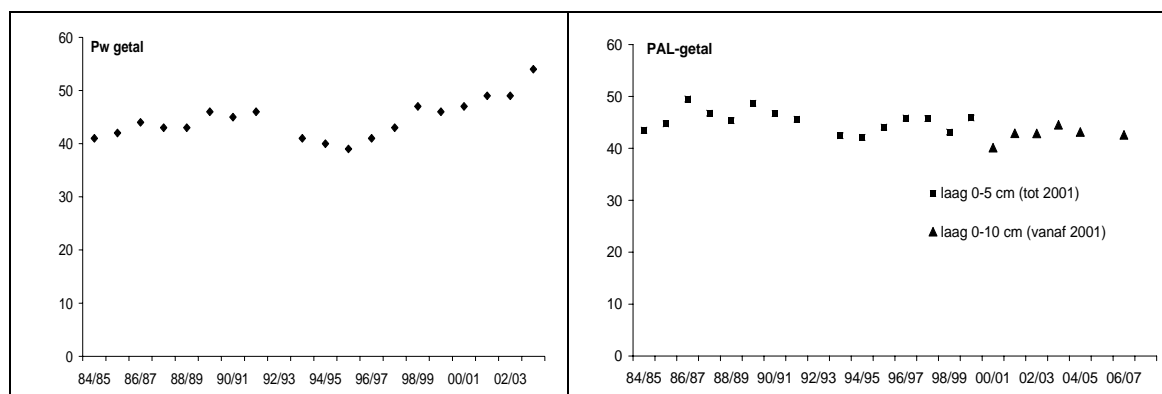
De voorgenomen generieke aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor grasland tussen 2006 en 2015 heeft echter landbouwkundige en economische gevolgen, die door differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen mogelijk kunnen worden beperkt. Het onderhavige rapport beschrijft een verkennende studie naar de effecten van de voorgenomen aanscherping en mogelijke differentiatie van fosfaatgebruiksnormen op de uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater. Omdat op dit moment nog niet duidelijk is of en zo ja hoe de fosfaatgebruiksnormen voor grasland en bouwland worden gedifferentieerd, heeft de studie het karakter van een scenarioanalyse, waarin de effecten van verschillende mogelijkheden (opties) zijn verkend. Voor 15 combinaties van bodemtype (zand-, veen- en kleigrond), hydrologie (droog, matig droog en nat) en landgebruik (grasland en bouwland) is de uitspoeling van fosfaat berekend als functie van de fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal 30, 45 en 60) en als functie van fosfaatgebruiksnormen (resultierend in fosfaatoverschotten van -40, -20, 0, 20 en 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar) over een periode van 15 tot 35 jaar. Voor elke combinatie zijn uit bestaande databestanden representatieve bodems geselecteerd (oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium, bulkdichtheid, gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand), kwelflux en het fosfaatgehalte in het kwelwater. De berekeningen zijn uitgevoerd met het model PLEASE dat recent is ontwikkeld in opdracht van het ministerie van LNV.

### *Relatie tussen fosfaatbemesting, fosfaatoverschot en fosfaatuitspoeling*

De uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater wordt bepaald door fosfaatbemesting (hoeveelheid, tijdstip en wijze van toediening), de fosfaattoestand van de bodem (fosfaatverzadigingsgraad), hydrologie en weersomstandigheden, landgebruik en bodemtype. Die veelheid aan factoren zorgt er voor

dat de uitspoeling van fosfaat sterk varieert van perceel tot perceel en van jaar tot jaar. In landbouwkundige zin is de fosfaatsuitspoeling gering, in de orde van grootte van een procent van de fosfaatbemesting, maar in milieukundige zin kan de uitspoeling van 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar naar het oppervlaktewater al tot eutrofiëring van dat oppervlakte water leiden ('groene soep').

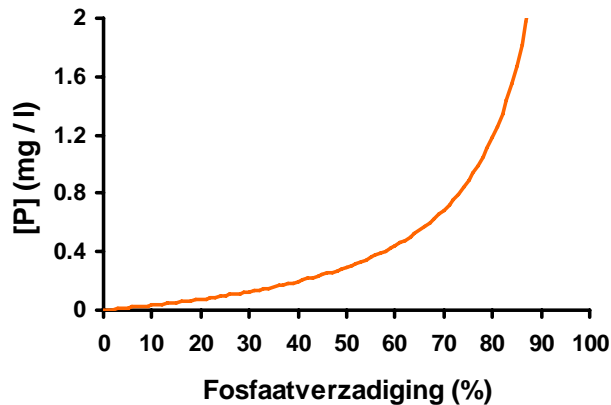
De fosfaatbemesting van Nederlandse landbouwgronden is vanaf 1985 fors gedaald. Daardoor is ook het gemiddelde fosfaatoverschot fors gedaald, maar vergeleken met andere landen in Europa was het fosfaatoverschot in Nederland in 2005 nog hoog. De gemiddelde fosfaattoestand van bouwland en grasland is ruim voldoende tot hoog, en is ondanks de forse daling van het fosfaatoverschot in de periode 1985 tot 2005 niet gedaald. Onderstaande laat zien dat de fosfaattoestand van bouwland, uitgedrukt als Pw-getal in de periode 1984 tot 2004 licht is gestegen, met gemiddeld 0,4 eenheden per jaar. De fosfaattoestand van grasland, uitgedrukt als PAL-getal, is in de periode 1984 tot 2000 stabiel gebleven. Daarna lijkt een geringe daling te zijn opgetreden, maar dat komt vooral door de verandering in bemonsteringsdiepte van 0-5 cm naar 0-10 cm.



Figuur A. De jaarlijkse mediaanwaarden van het Pw-getal van bouwland (links) en van het PAL-getal van grasland (rechts), bepaald op basis van monsters die bij BLGG zijn geanalyseerd. De figuren zijn gebaseerd op 40.000 tot 80.000 monsters per jaar (Reijneveld en Oenema, in prep.).

Naarmate de fosfaattoestand toeneemt, daalt de mogelijkheid van de bodem om nog fosfaat te binden. Daardoor neemt de kans op uitspoeling van fosfaat naar ondergrond en grond- en oppervlaktewater toe. Het risico op fosfaatsuitspoeling naar het bovenste grondwater wordt afgeleid uit de zogenoemde fosfaatverzadigingsgraad. Deze geeft aan in welke mate de bindingscapaciteit voor fosfaat van de bodem is verbruikt, van de bovengrond tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand. Voor kalkarme zandgronden is vastgesteld dat bij een fosfaatverzadigingsgraad van 25% de fosfaatconcentratie in het bovenste grondwater (het water dat uit de bodem naar het bovenste grondwater uitspoelt) boven de MTR-waarde van 0,15 mg totaal-P ligt die voor het oppervlaktewater geldt. Op basis van metingen aan 1392 bodemprofielen verspreid over heel Nederland in de periode 1992-1998 is vastgesteld dat 56% van het landbouwareaal fosfaatverzadigd is, dat wil zeggen een fosfaatverzadigingsgraad bezit die boven de kritieke fosfaatverzadigingsgraad uitkomt. Gebieden met een hoog aandeel fosfaatverzadigde landbouwgronden worden aangetroffen in het centrale, zuidelijke en oostelijk zandgebied.

Onderstaande figuur geeft weer hoe de mate van fosfaatverzadiging van een bodem samenhangt met de fosfaatconcentratie die uitspoelt. Uit deze figuur blijkt dat de fosfaatconcentratie meer dan evenredig toeneemt met de fosfaatverzadigingsgraad. Om uit- en afspoeling van fosfaat te beperken, moet de fosfaatverzadigingsgraad laag zijn (<25%). Naarmate deze hoger is, spoelt er meer fosfaat uit en zal ook de termijn waarover fosfaat uitspoelt naar het grond- en oppervlaktewater langer zijn.



Figuur B. Relatie tussen de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatconcentratie die op termijn in het bovenste grondwater (gemiddelde hoogste grondwaterstand; GHG) wordt aangetroffen (Schoumans en Groenendijk, 2000).

#### ***Effect van aanscherping fosfaatgebruiksnormen op fosfaatuitspoeling***

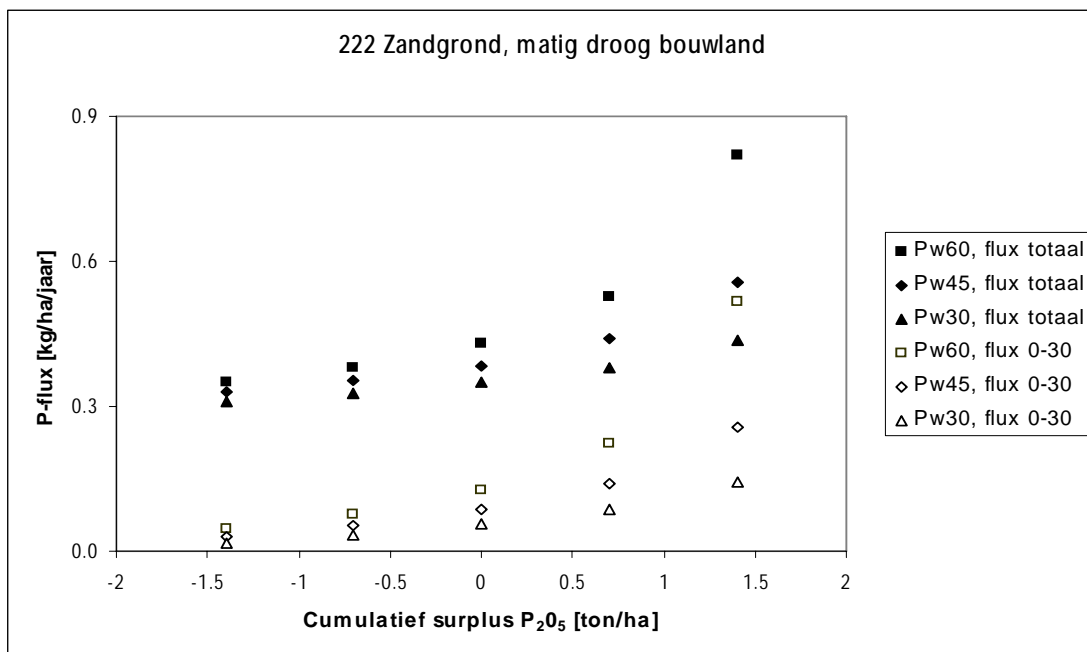
Door de voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor grasland, wordt het gemiddelde fosfaatoverschot in Nederland klein. Maar omdat de spreiding tussen bedrijven in het fosfaatoverschot groot is, is het mogelijk dat het fosfaatoverschot in de praktijk kan variëren tussen de extremen van -40 en +40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar. Bij een positief fosfaatoverschot zal de fosfaattoestand, en daardoor de fosfaatuitspoeling, een stijgende tendens vertonen. De relatieve verandering in fosfaatuitspoeling wordt sterk bepaald door de uitgangswaarde van de fosfaattoestand, de grootte van het fosfaatoverschot (of netto fosfaatonttrekking) en de relatieve bijdrage van de bovengrond aan de totale uitspoeling van fosfaat uit het bodemprofiel.

Door de voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor grasland, vermindert de uitspoeling van fosfaat op termijn met 2 tot 20%, afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem en de hydrologie. De revenuen van de aanscherping van fosfaatgebruiksnormen worden vooral op termijn duidelijk, zo blijkt uit de resultaten van onderhavige studie. Fosfaatbeleid heeft daarom een lange adem nodig.

De relatieve bijdrage van de bovengrond aan de totale uitspoeling van fosfaat uit het bodemprofiel wordt sterk bepaald door de hydrologische situatie in combinatie met de P-toestand van de bovengrond. Daarnaast speelt de aanwezigheid van kwel van fosfaatrijk water uit de ondergrond in sommige regio's een rol. In deze studie is de berekende bijdrage van de ondergrond aan de totale belasting van het oppervlaktewater groot (gemiddeld genomen 83% bij P<sub>w</sub> = 30 en 74% bij P<sub>w</sub> = 60), doordat de

waterafvoer voornamelijk plaats vindt door de ondergrond (gemiddeld 93 % van de afvoer).

Onderstaande Figuur C vat de resultaten van de berekeningen samen voor bouwland op een matig droge zandgrond. Het gemiddelde fosfaatoverschot in de landbouw in 2005 was circa 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar, overeenkomend met 1400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha over een periode van 35 jaar. Door aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar het niveau van evenwichtsbemesting (overschot is 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar), daalt de totale fosfaatuitspoeling uit deze zandgrond van 0,4 tot 0,8 kg P per ha per jaar naar 0,3 tot 0,4 kg P per ha per jaar, afhankelijk van de initiële fosfaattoestand van de bodem. De totale fosfaatuitspoeling uit de bovengrond daalt van 0,1 tot 0,5 kg P per ha per jaar naar ongeveer 0,1 kg P per ha per jaar, afhankelijk van de initiële fosfaattoestand van de bodem.



Figuur C. Berekende fosfaatuitspoeling (P-flux, in kg P per ha per jaar) uit het gehele bodemprofiel (totale uitspoeling, dichte symbolen) en uit de bovengrond (laag 0-30 cm, open symbolen) als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot (over 35 jaar) en de initiële fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal van 30, 45 en 60), voor bouwland op een matig droge zandgrond.

Bij een negatief fosfaatoverschot van 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar, overeenkomend met een cumulatieve onttrekking uit de bodem van 1400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha over een periode van 35 jaar, dalen de initiële fosfaattoestand van de bodem (niet getoond in Figuur C) en de fosfaatuitspoeling. De daling van de fosfaatuitspoeling is het grootst in de bovengrond bij een hoge (Pw-getal is 60) initiële fosfaattoestand, maar de daling van de fosfaatuitspoeling bij een negatief fosfaatoverschot is veel kleiner dan de toename van de fosfaatuitspoeling bij een positief fosfaatoverschot van 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar.

Tussen percelen bestaat een grote spreiding in de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. Die spreiding wordt veroorzaakt door natuurlijke verschillen tussen bodemtypes (fosfaatbindend vermogen), door verschillen in hydrologische omstandigheden en door verschillen in fosfaattoestand van de bodem en wijze van fosfaatbemesting. De voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen zal vooral de laatste twee variabelen beïnvloeden. De gemiddelde fosfaatuitspoeling van de onderzochte combinaties van bodemtype en hydrologie was 0,37 kg P per ha per jaar bij een Pw-getal van 30, en 0,47 kg P per ha per jaar bij een Pw-getal van 60. De spreiding tussen combinaties van bodemtype en hydrologie in fosfaatuitspoeling is groot, in de orde van grootte van een factor 10. Hoe droger de bodem, hoe kleiner de fosfaatuitspoeling; hoe natter de bodem, hoe groter de fosfaatuitspoeling [*bij nitraatuitspoeling is dat andersom; hoe droger de bodem hoe groter de uitspoeling van nitraat*].

Op natte gronden vindt de grootste fosfaatuitspoeling plaats; hier is de bijdrage van de bovengrond aan de ,it het bodemprofiel gemiddeld genomen ook het grootst. Dit suggereert dat het effect van aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op de vermindering van de fosfaatbelasting het grootst is bij de natte gronden. De resultaten van onze studie geven aan, dat afhankelijk van de beginwaarde van de fosfaattoestand, de fosfaatuitspoeling van natte zandgronden met 25 tot 90% toeneemt als over een periode van 35 jaar er een gemiddeld fosfaatoverschot is van 40 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar. Wanneer daarentegen sprake is van een netto fosfaatonttrekking neemt de fosfaatuitspoeling met 11 tot 18% af, afhankelijk van de beginwaarde van de fosfaattoestand. De relatieve vermindering van de fosfaatuitspoeling bij netto fosfaatonttrekking is dus kleiner dan de relatieve toename bij een netto fosfaatoverschot.

Het effect van aanscherping van fosfaatverliesnormen is het grootst bij een hoge fosfaattoestand. Hoe hoger de fosfaattoestand, hoe groter de fosfaatuitspoeling, maar ook hoe groter het effect is van aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen. Doordat in deze studie slechts een beperkt aantal combinaties van bodem, hydrologie en fosfaattoestand zijn doorgerekend, geven de hierboven genoemde cijfers slechts een indicatie van de te verwachten veranderingen in P uitspoeling.

### **Conclusies**

- Aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen tot 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor grasland vermindert de uitspoeling van fosfaat op termijn met 2 tot 20%.
- De vermindering in de totale fosfaatuitspoeling door aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen is afhankelijk van de bijdrage van de bovengrond (laag 0-30 cm) aan de totale fosfaatuitspoeling uit de bodem; hoe groter de bijdrage van de bovengrond, hoe groter de vermindering van de fosfaatuitspoeling door aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen.
- De uitspoeling is het grootst op natte landbouwgronden met een hoge fosfaattoestand. De uitspoeling is het kleinst op droge landbouwgronden (grondwatertrap 7 en 8) met een hoog fosfaatbindend vermogen. Differentiatie van fosfaatgebruiksnormen naar de fosfaattoestand van de bodem en naar hydrologie heeft een relatief groot effect op de uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater.



# 1 Inleiding

Nederland heeft al vanaf de jaren '70 een 'mestbeleid'. Dat beleid is erop gericht de aanvoer van stikstof en fosfaat in de landbouw meer in evenwicht te brengen met de afvoer via het geoogste gewas, om zodoende de verliezen van stikstof en fosfaat naar het milieu te verminderen. Door dit beleid, maar ook door veranderingen in landbouwbeleid en ontwikkelingen in markt en technologie, is het verschil tussen aan- en afvoer van stikstof en fosfaat afgenomen, en zijn de verliezen naar het milieu gedaald. Een laatste stap in dat mestbeleid is het realiseren van fosfaatevenwichtsbemesting per 2015. Bij evenwichtsbemesting is de aanvoer van fosfaat via dierlijke mest en meststoffen gelijk aan de afvoer van fosfaat via het geoogste gewas (plus een mogelijke toeslag voor onvermijdbare verliezen). Nederland heeft met de Europese Commissie afgesproken om de fosfaatgebruiksnormen voor bouwland en grasland stapsgewijs aan te scherpen totdat in 2015 evenwicht is bereikt.

Het doel van de aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen tot het niveau van 'evenwichtsbemesting' is het beperken van het risico op uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar grond- en oppervlaktewater. EU-richtlijnen en afspraken met de Europese Commissie liggen aan het genoemde doel ten grondslag. Momenteel is de bijdrage van landbouwgronden aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater 50-60%. Die relatieve bijdrage is de afgelopen jaren toegenomen, vooral doordat de bijdrage van andere bronnen is afgenomen. De belangrijkste aanvoerroutes van fosfaat uit landbouwgronden zijn oppervlakkige afstroming, uitspoeling uit fosfaatrijke landbouwgronden, en kwel van fosfaatrijk grondwater uit de ondergrond. Vooral de bijdragen van de eerste twee genoemde routes worden door de aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen op termijn verminderd.

De voorgenomen generieke aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor grasland tussen 2006 en 2015 heeft echter mogelijke gevolgen voor:

- de opbrengst en –kwaliteit van die gewassen die een hogere fosfaatafvoer en/of fosfaatbehoefte hebben dan met de generieke gebruiksnormen kan worden toegediend;
- de fosfaattoestand van de bodem en het organische stofgehalte van de bodem, en daarmee ook voor de opbrengst en kwaliteit van bepaalde gewassen;
- de afzet van dierlijke mest op de mestmarkt:
  - o toenemende kosten voor veehouderijbedrijven die mest moeten afvoeren
  - o toenemende inkomsten voor (akkerbouw)bedrijven die mest afnemen.

Differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen naar de fosfaatafvoer en/of fosfaatbehoefte van de gewassen en/of de fosfaattoestand van de bodem kan de voornoemde landbouwkundige en bedrijfseconomische gevolgen verminderen. Het risico op uitspoeling van fosfaat naar grondwater en oppervlaktewater verandert daarbij, afhankelijk van de grondslag en mate van differentiatie. Generieke aanscherping van gebruiksnormen kan betekenen dat de fosfaataanvoer via bemesting groter is dan de



fosfaatafvoer met het geoogste gewas, resulterend in een fosfaatoverschot en ophoping van fosfaat in de bodem. Aanscherping kan ook betekenen dat de fosfaat-aanvoer via bemesting kleiner is dan de fosfaatafvoer met het geoogste gewas. In dat geval is sprake van uitmijnen van fosfaat uit de bodem, waardoor de fosfaattoestand van de bodem daalt.

De landbouwkundige en bedrijfseconomische gevolgen van de voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen en de mogelijkheden van differentiatie in de akkerbouw en tuinbouw zijn gerapporteerd door Van Dijk et al. (2007). Voor de melkveehouderij zijn de gevolgen van aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen en de mogelijkheden van differentiatie voor grasland en maïsland gerapporteerd door Aarts et al. (2007).

Het onderhavige rapport beschrijft een verkennende studie naar de effecten van de voorgenomen aanscherping en mogelijke differentiatie van fosfaatgebruiksnormen op de uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater. Omdat op dit moment nog niet duidelijk is of, en zo ja hoe, de fosfaatgebruiksnormen voor grasland en bouwland worden gedifferentieerd, heeft de studie het karakter van een scenarioanalyse, waarin de effecten van verschillende mogelijkheden (opties) zijn verkend. Voor een 15-tal representatieve bodemcombinaties is voor gemiddelde weersomstandigheden de uitspoeling van fosfaat berekend als functie van de fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal 30, 45 en 60), en als functie van al dan niet gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen ( resulterend in mogelijke fosfaatoverschotten van -40, -20, 0, 20 en 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar), over een periode van 15 tot 35 jaar. Er zijn in het verleden nooit metingen uitgevoerd van de fosfaatuitspoeling als functie van de fosfaattoestand van de bodem en het fosfaatoverschot. Daarom is gebruik gemaakt van een rekenmodel; er zijn berekeningen uitgevoerd met het model PLEASE dat recent is ontwikkeld in opdracht van het ministerie van LNV (Schoumans et al., 2007).

Het eerstvolgende hoofdstuk beschrijft globaal het verband tussen fosfaatbemesting, fosfaatoverschot, fosfaattoestand van de bodem, fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en fosfaatuitspoeling in de Nederlandse landbouw. Daarbij wordt ook teruggeblikt in de tijd, omdat de fosfaattoestand van de bodem vooral wordt bepaald door de fosfaatbemesting in het verleden.

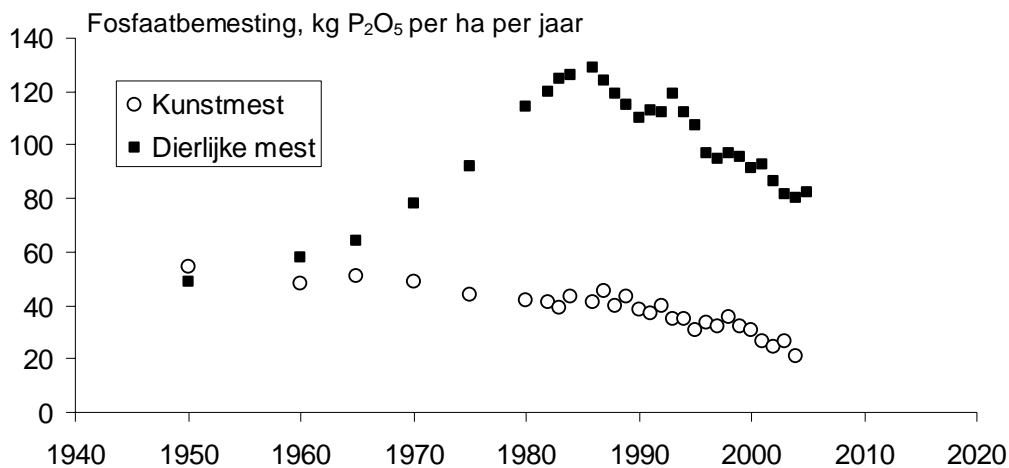
Het derde hoofdstuk beschrijft voor welke combinatie van bodemtype, hydrologie en landgebruik de berekeningen zijn uitgevoerd. Met deze keuze van bodemtype, hydrologie en landgebruik wordt beoogd de variatie in de effecten van aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater te verkennen. De studie beoogt niet om een gemiddeld of representatief beeld voor heel Nederland te schetsen.

De daarna volgende hoofdstukken beschrijven beknopt de modelberekeningen en de resultaten van de berekeningen. Het rapport sluit af met een algemene discussie en opsomming van de belangrijkste resultaten.

## 2 Fosfaatbemesting, fosfaatoverschot en fosfaatuitspoeling

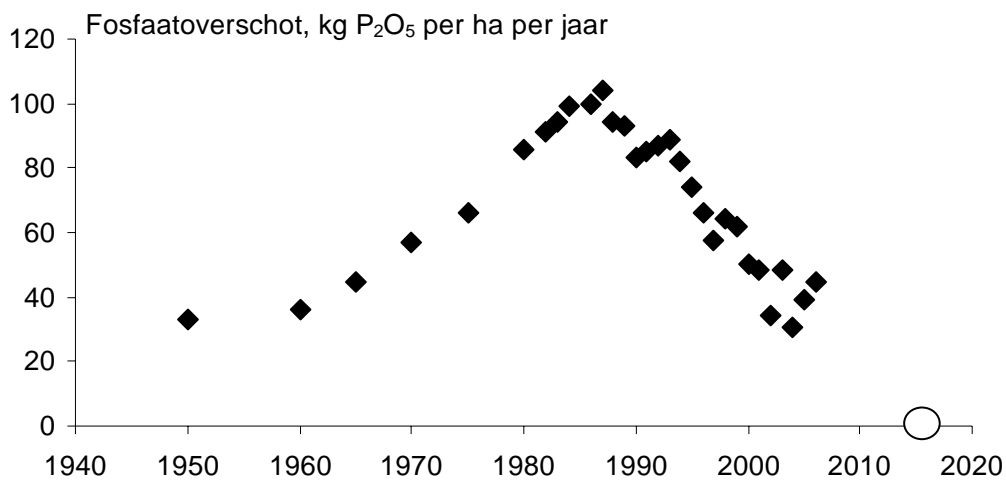
De uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater wordt bepaald door fosfaatbemesting (hoeveelheid, tijdstip en wijze van toediening), de fosfaattoestand van de bodem (fosfaatverzadigingsgraad), hydrologie en weersomstandigheden, landgebruik en bodemtype. Die veelheid aan factoren zorgt er voor dat de uitspoeling van fosfaat sterk varieert van perceel tot perceel en van jaar tot jaar. In landbouwkundige zin is de fosfaatuitspoeling gering, in de orde van grootte van een procent van de fosfaatbemesting, maar in milieukundige zin kan de uitspoeling van 1 kg  $P_2O_5$  per ha per jaar naar het oppervlaktewater al leiden tot eutrofiëring van dat oppervlakte water ('groene soep').

De bemesting van landbouwgrond met fosfaat via kunstmest en dierlijke mest is in Figuur 2.1 weergegeven. In 1950 was de aanvoer van fosfaat via kunstmest en dierlijke mest ongeveer gelijk (circa 50 kg  $P_2O_5$  per ha per jaar). Daarna is de aanvoer van kunstmest gestaag gedaald tot circa 20 kg  $P_2O_5$  per ha in 2005. De aanvoer van fosfaat via dierlijke mest is tot circa 1986 gestegen en daarna gedaald tot circa 80 kg  $P_2O_5$  per ha in 2005.



Figuur 2.1. Bemesting van landbouwgrond in Nederland met fosfaat via kunstmest en dierlijke mest in de periode 1950 – 2005, in kg  $P_2O_5$  per ha per jaar (Bron CBS-StatLine 2007).

De gemiddelde fosfaatafvoer met het geoogste gewas varieert tussen 60 en 70 kg  $P_2O_5$  per ha per jaar (CBS-StatLine, 2007). Voor grasland is de fosfaatafvoer gemiddeld circa 80 tot 90 kg  $P_2O_5$  per ha per jaar, voor de gewassen in de akker- en tuinbouw circa 40 tot 60 kg  $P_2O_5$  per ha per jaar. Tussen bedrijven komen echter grote verschillen voor (Van Dijk et al., 2007; Aarts et al., 2007).

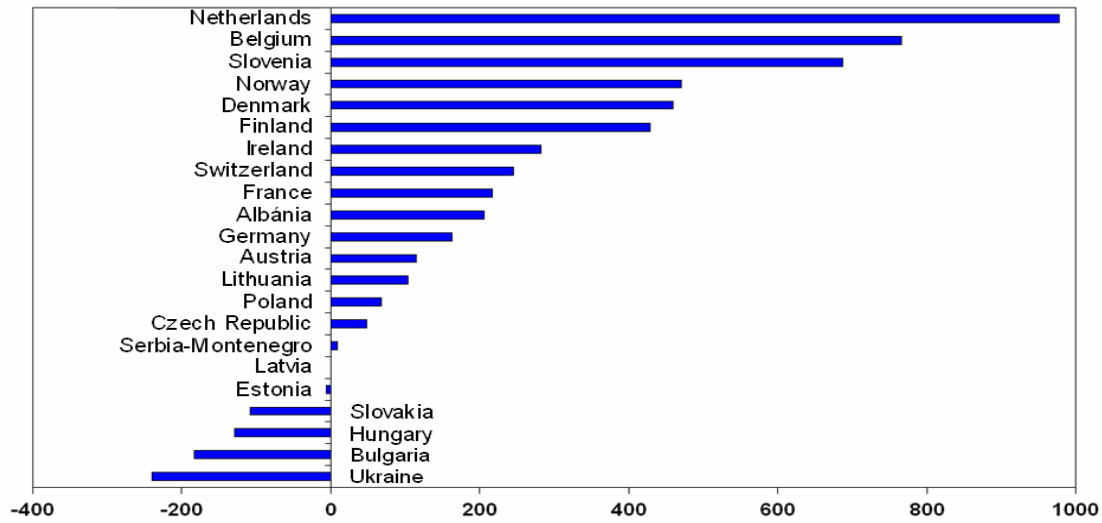


*Figuur 2.2. Fosfaatoverschot in de Nederlandse landbouw in de periode 1950 – 2005, in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar (Bron CBS-StatLine 2007).*

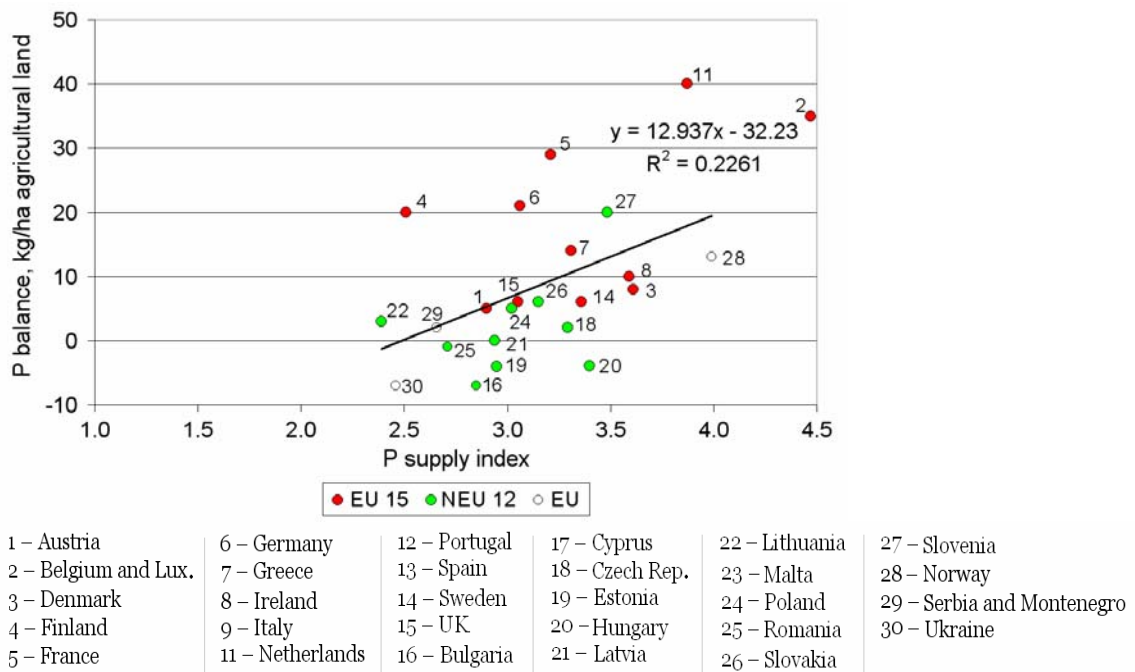
Het verschil tussen fosfaataanvoer via bemesting met kunstmest en dierlijke mest en fosfaatafvoer met het geogoste gewas is het fosfaatoverschot. Het fosfaatoverschot is gestegen van circa 35 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha in 1950 tot circa 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha in 1985, en vervolgens weer gedaald tot circa 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha in 2005 (Figuur 2.2). De voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen tot het niveau van fosfaat-evenwichtsbemesting in 2015 betekent een voortzetting van de daling van het fosfaatoverschot met gemiddeld 3,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar tussen 1985 en 2015.

Uit Figuur 2.2 valt af te leiden dat het gemiddelde cumulatieve fosfaatoverschot in de periode 1950 tot 2005 circa 3500 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha was. Het grootste deel hiervan is opgehoopt in de bovengrond. In een presentatie in september 2007 voor de Europese Commissie toonde Peter Csatho uit Hongarije grafieken met de cumulatieve hoeveelheid stikstof en fosfaat die na de implementatie van de EU-Nitraatrichtlijn in Europese landen (ook in niet-EU-lidstaten) zijn terechtgekomen. Figuur 2.3 geeft aan dat in Nederlandse landbouwgronden circa 1000 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha is geaccumuleerd in de periode 1991-2005. Er zijn grote verschillen tussen landen.

Wanneer wordt bemest volgens het fosfaatbemestingsadvies, dan neemt de fosfaatbehoefte van het gewas en dus de fosfaatbemesting af met de hoogte van de fosfaattoestand van de bodem (Van Dijk et al., 2007; Aarts et al., 2007). Wanneer wordt bemest volgens het fosfaatbemestingsadvies, dan zou ook het fosfaatoverschot moeten dalen met een toename van de fosfaattoestand van de bodem. In de praktijk blijkt dat niet zo te zijn. Uit de voornoemde presentatie in september 2007 van Peter Csatho uit Hongarije voor de Europese Commissie blijkt dat het gemiddelde fosfaatoverschot juist toeneemt met de fosfaattoestand van de bodem (Figuur 2.4). Het fosfaatoverschot in de landbouw in Europese landen is gerelateerd aan de veedichtheid (beschikbaarheid van dierlijke mest) en economische omstandigheden (dit geldt vooral voor landen in centraal Europa).



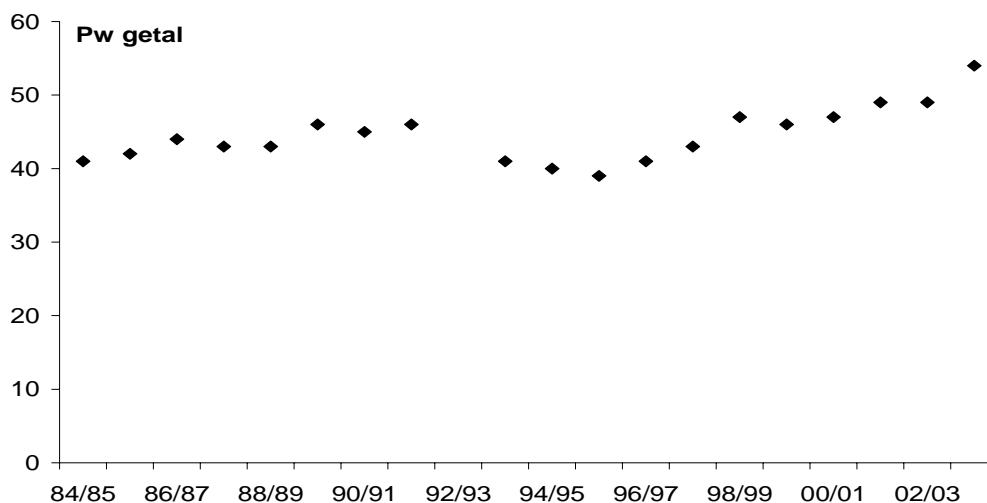
Figuur 2.3. Cumulatieve accumulatie van fosfaat in landbouwgronden van Europese landen in de periode 1991 tot 2005 (na de implementatie van de EU-Nitraatrichtlijn in 1991), in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (Bron Csathó and Radimský, 2007).



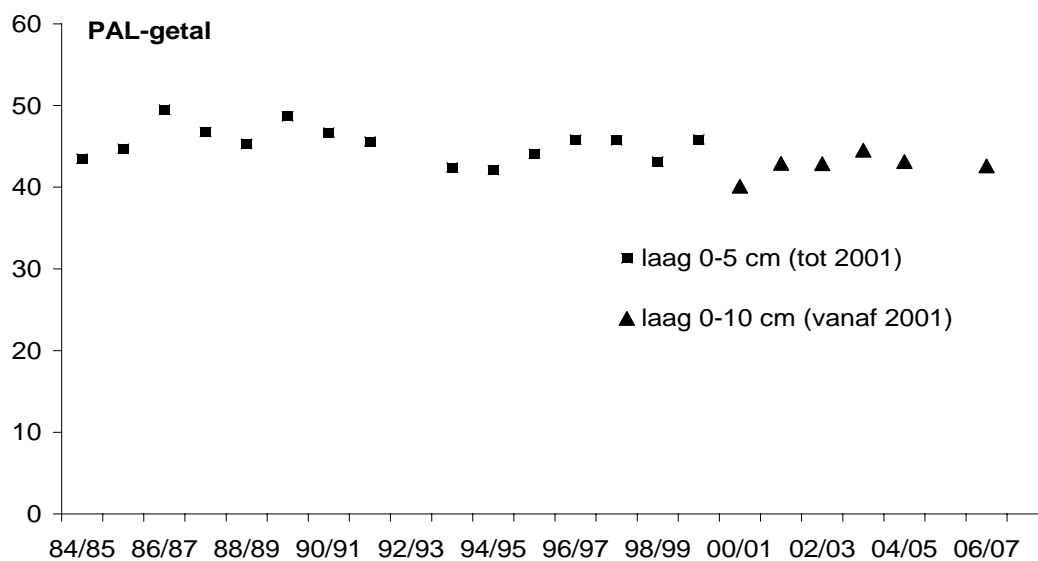
Figuur 2.4. Verband tussen gemiddeld fosfaatoverschot in de landbouw en de fosfaattoestand van landbouwgronden (uitgedrukt op een schaal van 1=laag tot 5=hoog) in Europese landen in de periode 1991 tot 2005 (Bron Csathó and Radimský, 2007).

Ondanks de forse daling van het fosfaatoverschot in de Nederlandse landbouw in de periode 1985 tot heden (Figuur 2.2) is de fosfaattoestand van landbouwgronden niet gedaald. De fosfaattoestand van bouwland, uitgedrukt als Pw-getal (zie Van Dijk et al., 2007) is in de periode 1984 tot 2004 licht gestegen met gemiddeld 0,4 eenheden van het Pw-getal per jaar (Figuur 2.5). De fosfaattoestand van grasland, uitgedrukt als

PAL-getal (zie Aarts et al., 2007) is in de periode 1984 tot 2000 stabiel gebleven (Figuur 2.6). Daarna lijkt een geringe daling te zijn opgetreden, mede door de verandering in bemonsteringsdiepte van 0-5 cm naar 0-10 cm.



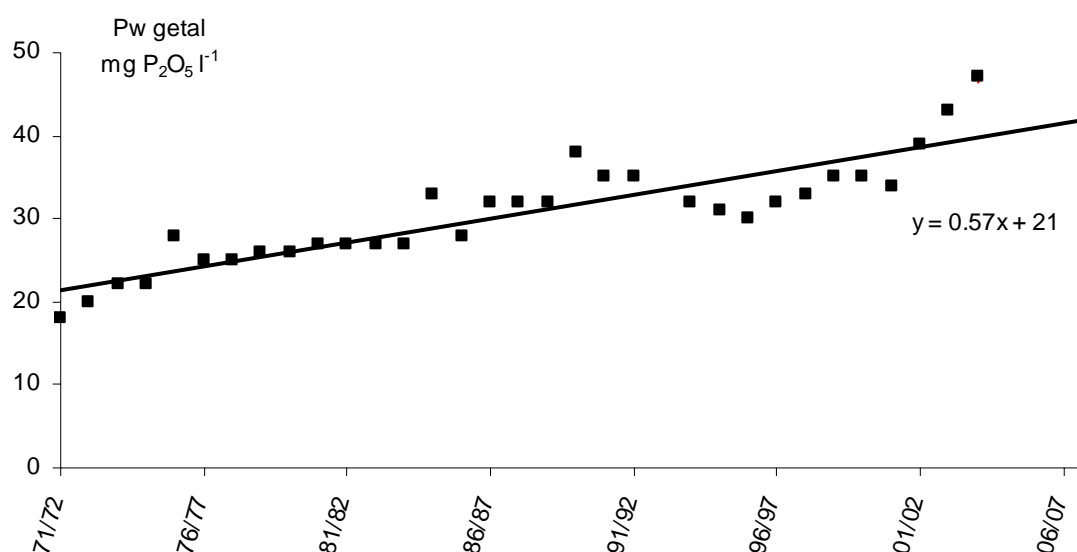
Figuur 2.5. De jaarlijkse mediaanwaarden van het Pw-getal van bouwland, bepaald op basis van monsters die bij BLGG zijn geanalyseerd. De figuur is gebaseerd op 20.000 tot 40.000 monsters per jaar (Reijneveld en Oenema, in prep.).



Figuur 2.6. De jaarlijkse mediaanwaarden van het P-AL-getal van grasland, bepaald op basis van monsters die bij BLGG zijn geanalyseerd. De figuur is gebaseerd op 20.000 tot 40.000 monsters per jaar (Reijneveld en Oenema, in prep.).

Regionaal komen echter forse verschillen voor in de veranderingen in Pw-getal van bouwland en P-AL-getal van grasland. Figuur 2.7 geeft de mediaanwaarden van het Pw-getal van bouwland van monsters afkomstig uit de Noordoostpolder. In de periode 1971-2005 is het Pw-getal met gemiddeld 0,57 eenheden per jaar gestegen.

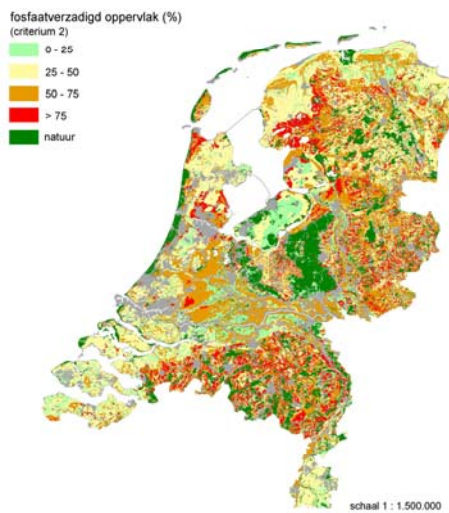
Van jaar tot jaar komen forse schommelingen in de mediaanwaarden van het Pw-getal voor. Deze schommelingen hangen vermoedelijk samen met de effecten van weersomstandigheden (temperatuur, regenval) op het Pw-getal, en mogelijk met verschillen tussen percelen in fosfaattoestand. De standaardfout van de mediaanwaarde per jaar is in alle gevallen niet groter dan 1 tot 2 eenheden van het Pw-getal; dit suggereert dat de mediaanwaarden een heel goede schatting geven van de gemiddelde fosfaattoestand. De berekende mediaanwaarden zijn lager dan de berekende gemiddelde waarde van het Pw-getal (en P-AL-getal), vooral omdat er monsters voorkomen met een zeer hoog Pw-getal. De mediaanwaarden geven daarom een beter beeld van de gemiddelde fosfaattoestand van landbouwgronden dan de gemiddelde waarden.



Figuur 2.7. De jaarlijkse mediaanwaarden van het Pw-getal van bouwland in de Noordoostpolder, bepaald op basis van monsters die bij BLGG zijn geanalyseerd. De figuur is gebaseerd op circa 1500 monsters per jaar (Reijneveld en Oenema, in prep.).

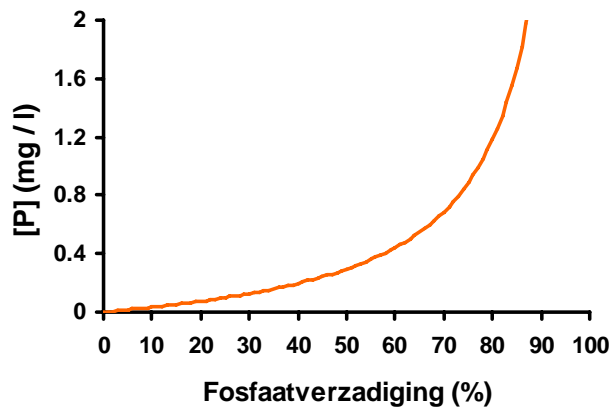
Naarmate de fosfaattoestand toeneemt, daalt de mogelijkheid van de bodem om fosfaat te binden. Daardoor neemt de kans op uitspoeling van fosfaat naar ondergrond en grondwater en oppervlaktewater toe. Om het risico op fosfaatuitspoeling naar het bovenste grondwater te kunnen kwantificeren is een criterium ontwikkeld, namelijk de fosfaatverzadigingsgraad. Deze geeft aan in welke mate de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem is verbruikt tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand. Voor kalkarme zandgronden is vastgesteld dat bij een fosfaatverzadigingsgraad van 25% de fosfaatconcentratie in het bovenste grondwater (naar het bovenste grondwater uitspoelt) boven de MTR-waarde van 0,15 mg totaal-P ligt die voor het oppervlaktewater geldt. De afgelopen jaren zijn regelmatig kaarten gepubliceerd van de ligging van fosfaatverzadigde gronden. De meest recente kaart is gebaseerd op de landelijke steekproef kaarten die eind jaren negentig heeft plaatsgevonden en in het kader van de EMW 2004 is gerapporteerd (Schoumans, 2004).

In de landelijke steekproef kaartenheden (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. Op grond van deze bemonstering is 56% van het areaal landbouwareaal als fosfaatverzadigd aangemerkt, dat wil zeggen een fosfaatverzadigingsgraad bezit die boven de kritieke fosfaatverzadigingsgraad uitkomt. Gebieden met een hoog percentage fosfaatverzadigde oppervlakken worden aangetroffen in het centrale, zuidelijke en oostelijk zandgebied (Figuur 2.8). Dit komt overeen met die regio's in Nederland waar de afgelopen decennia de hoogste fosfaatoverschotten voorkwamen. In voor-noemde steekproef was de mediaanwaarde voor de fosfaataccumulatie in de bodem 4700 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. De spreiding in de fosfaatophoping in de landbouwgronden is groot: deze varieert van 2.250 tot 10.250 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (Schoumans et al., 2004).



Figuur 2.8. Ligging van de fosfaatverzadigde gronden in Nederland (Schoumans, 2004).

Figuur 2.9 geeft weer hoe de mate van fosfaatverzadiging van een laag samenhangt met de fosfaatconcentratie die uitspoelt. Uit deze figuur blijkt dat de fosfaatconcentratie meer dan evenredig toeneemt met de verzadigingsgraad. Om uit- en afspoeling van fosfaat te beperken, moet de verzadigingsgraad gering zijn (<25%). Naarmate de verzadigingsgraad van de bodem hoger is, spoelt er meer fosfaat uit en zal ook de termijn waarover fosfaat uitspoelt naar het grond- en oppervlaktewater langer zijn.



Figuur 2.9. Relatie tussen de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatconcentratie die op termijn in het bovenste grondwater (gemiddelde hoogste grondwaterstand; GHG) wordt aangetroffen (Schoumans en Groenendijk, 2000).

Metingen van P-uitspoeling van landbouwgronden naar het oppervlaktewater zijn relatief schaars. Op drie melkveehouderijbedrijven zijn recent de verliezen van fosfaat vanaf een graslandperceel naar het oppervlaktewater gemeten (van Beek et al., 2007). De metingen vonden plaats op een matig droge zandgrond, een natte veengrond en een natte kleigrond. De fosfaatverzadigingsgraad van de gronden liep uiteen van 37 % op de zandgrond, 15 % op de veengrond en 7 % op de kleigrond. De totale jaarlijkse fosfaatverliezen bedroegen 2 kg P ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> op de zandgrond, 3 kg op de kleigrond en 5 kg op de veengrond. In alle gevallen was de fosfaatconcentratie in het uitstromende water (ruim) boven de MTR waarde van 0,15 mg/l. De verschillen tussen de locaties werden sterk bepaald door de combinatie van hydrologische situatie en de mate van fosfaatverzadiging. De hoogste verliezen werden gevonden op de natte veengrond met een intermediaire fosfaatverzadigingsgraad. De laagste verliezen werden gemeten op matig droge zandgrond waar het grootste deel van het water wordt afgevoerd door diepere bodemlagen (>40 cm) die relatief weinig fosfaat bevatten. De verliezen op de kleigrond waren ondanks de lage fosfaatverzadigingsgraad van de bodem vrij hoog omdat meer dan 70 % van het water zeer ondiep wordt afgevoerd (via greppels).





### **3 Selectie en karakterisering van bodemtypes, hydrologie en landgebruik**

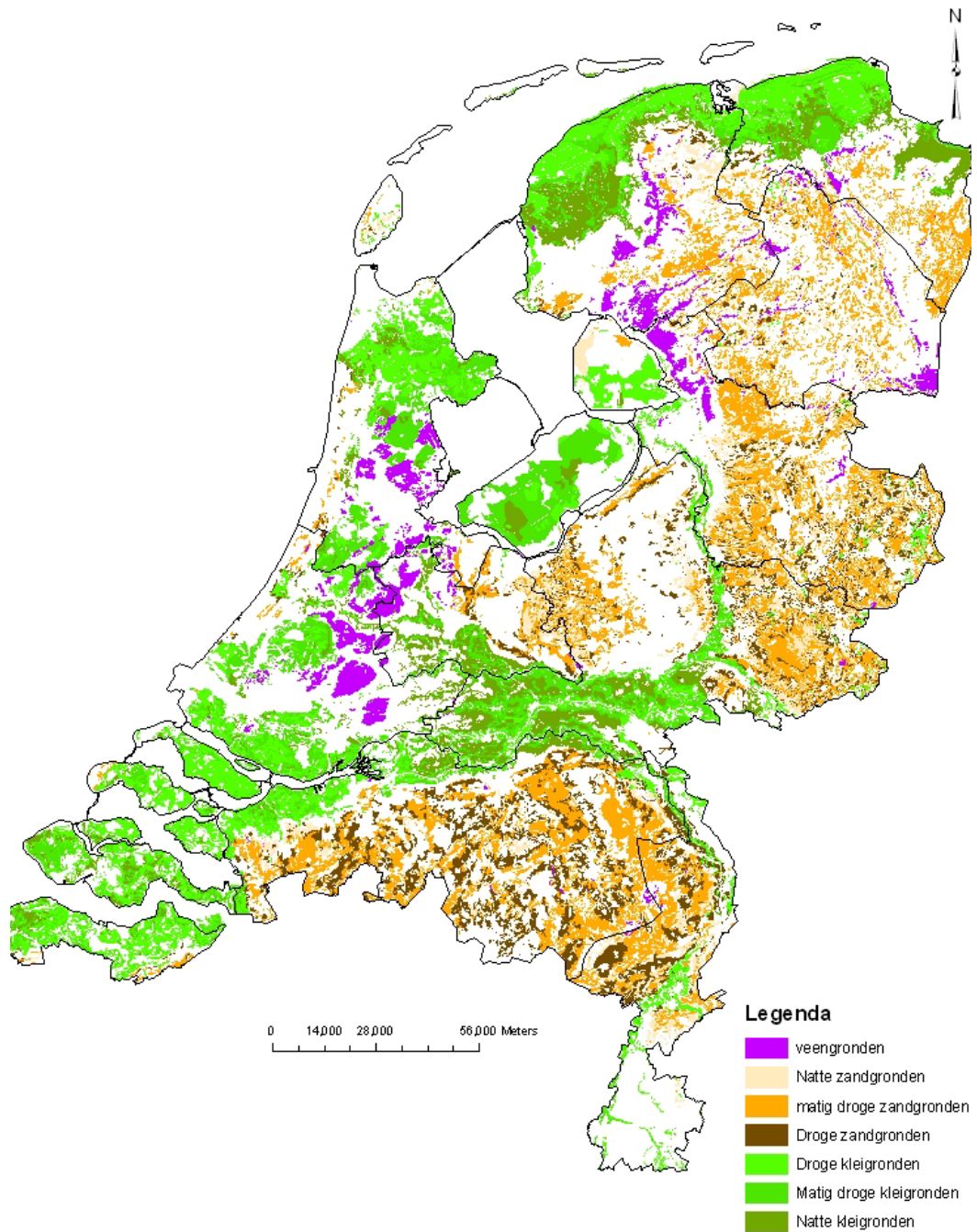
#### **3.1 Selectie combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik**

Bodem en hydrologie hebben een zekere samenhang. Hiermee is bij het selecteren van de bodemtypes rekening gehouden. Nederlandse landbouwgronden hebben drie veel voorkomende grondsoorten (veen, zand en klei) en drie veel voorkomende hydrologische omstandigheden (nat, matig droog en droog). Bij de selectie van de bodemtypes is gezocht naar een goede balans tussen grondsoorten en hydrologische omstandigheden; er is gekozen voor combinaties die in de praktijk het meest voorkomen. De bodemtypes zijn op basis van expert-judgement geselecteerd uit de zogenoemde PAWN-indeling in 21 bodemeenheden (Wösten et al., 1985).

In Figuur 3.1 is aangegeven waar in Nederland de geselecteerde natte, matig droge en droge veengronden, zandgronden en kleigronden zijn gelegen. Veengronden komen vooral voor in natte situaties en daarom is bij veengronden alleen gekozen voor natte veengronden (natte hydrologische omstandigheden). Bij zandgronden en kleigronden zijn zowel natte, matig droge als droge hydrologische omstandigheden gekozen. Binnen de zandgronden is vervolgens nog onderscheid gemaakt tussen verschillende bodemtypes, op basis van bodemvorming en bodemeigenschappen.

Verder is rekening gehouden met het dominante landgebruik. Slechts twee verschillende typen van landgebruik zijn onderscheiden, namelijk bouwland en grasland. Sommige combinaties van bodemgesteldheid en landgebruik komen echter nauwelijks voor. Daarom zijn bijvoorbeeld geen combinaties geselecteerd van bouwland op veengrond of op natte kleigrond.

Voornoemd selectieproces leidde uiteindelijk tot 15 veel voorkomende combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik (tabel 1). De 15 combinaties zijn gekarakteriseerd door een drie-cijferig nummer. Het eerste cijfer geeft de grondsoort (zand, klei en veen) en bodemtype weer, het tweede cijfer de hydrologie (nat, matig droog, droog) en het derde cijfer het landgebruik (grasland, bouwland). Voor de zandgronden is bij een natte situaties gekozen voor een sterk lemige beekerdgrond, voor de matig droge situatie voor een veldpodzolgrond en voor de droge situatie voor een enkerdgrond. Ook bij de kleigronden is rekening gehouden met verschillen in bodemopbouw bij verschillende hydrologische situaties. De natte kleigronden zijn in het algemeen zwaarder van textuur en hebben een zware kleiondergrond, al dan niet in combinatie met veen in de ondergrond. De beter ontwaterde kleigronden hebben meestal een homogene profielopbouw. Droge kleigronden hebben vaak een lichte textuur en een aflopend profiel of hebben een zandondergrond.



*Figuur 3.1. Ligging van de geselecteerde bodemtypes.*

Tabel 1: Geselecteerde combinaties van bodemtype hydrologie en landgebruik en de verklaring van de nummering van de 15 combinaties van bodemtype, hydrologie en landgebruik

Combinatie-nummer	Eerste cijfer Grondsoort / bodemtype	Tweede cijfer hydrologie	Derde cijfer landgebruik
111	1 = veen koopveengrond	1 = Nat	1 = Grasland
211	2 = zand beekerdgrond	1 = Nat	1 = Grasland
212	2 = zand beekerdgrond	1 = Nat	2 = Bouwland
221	2 = zand veldpodzolgrond	2 = Matig droog	1 = Grasland
222	2 = zand veldpodzolgrond	2 = Matig droog	2 = Bouwland
231	2 = zand enkeerdgrond	3 = Droog	1 = Grasland
232	2 = zand enkeerdgrond	3 = Droog	2 = Bouwland
241	2 = zand veldpodzolgrond	4 = Matig droog	1 = Grasland
251	2 = zand veldpodzolgrond	5 = Droog	1 = Grasland
252	2 = zand veldpodzolgrond	5 = Droog	2 = Bouwland
311	3 = klei poldervaaggrond	1 = Nat	1 = Grasland
321	3 = klei poldervaaggrond	2 = Matig droog	1 = Grasland
322	3 = klei poldervaaggrond	2 = Matig droog	2 = Bouwland
331	3 = klei ooivaaggrond	3 = Droog	1 = Grasland
332	3 = klei poldervaaggrond	3 = Droog	2 = Bouwland

### 3.2 Karakterisering van de eigenschappen van bodem en grondwater

Het model PLEASE heeft de volgende gegevens nodig voor het berekenen van de fosfaatuitspoeling:

- Oxalaatextraheerbaar aluminium (Al) en ijzer (Fe) van de lagen 0-20 cm, 20-50 cm, 50 cm tot 1 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG-1m), als maat voor het fosfaatbindend vermogen van de bodem.
- Bulkdichtheid van de lagen 0-20, 20-50 cm, 50 cm tot 1 meter beneden GLG (=GLG-1m).
- De fosfaattoestand van de bodem (als Pw-getal) van de lagen 0-20 en 20-50 cm.
- De fosfaatconcentratie in het grondwater op 1 meter onder GLG-niveau.

De gehalten aan (Al+Fe)<sub>ox</sub> en de bulkdichtheid van de combinaties zijn afgeleid uit Kroon et al. (2001) en komen dus overeen met die in het modelleninstrumentarium STONE. Hierin zijn de zogenoemde PAWN-eenheden verder verfijnd van 21 naar 456 eenheden op basis van landgebruik, fosfaatbindend vermogen, kationenuitwisselingscapaciteit en mineralisatiecapaciteit. De bodemchemische parameters hierin zijn bepaald met gegevens uit het Bodemkundig informatie Systeem, het BIS (De Vries, 1999), aangevuld met gegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK). In de schematisatie van de ondergrond is gebruik gemaakt van 30 regionale geo-hydrologische eenheden (Tabel 2).

Tabel 2: Toekenning van PAWN-eenheden en STONE plotnummers aan de combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik.

Combinatie-nummer	PAWN- eenheid	Opp. (ha)	% *	STONE plotnummer	Regio-indeling
111	1	108.834	3,5	4325	Holland
211	13	168.635	5,5	3740	Midden Nederland
212	9	466.792	15,1	2426	Oost-Nederland
221	9	466.792	15,1	5909	Zuidwest Brabant
222	9	466.792	15,1	5932	Peelhorst
231	12	195.167	6,3	3818	Oost-Nederland
232	12	195.167	6,3	6105	Peelhorst
241	9	466.792	15,1	917	Noordelijke zandgebieden
251	9	466.792	15,1	1082	Noordelijke zandgebieden
252	17	190.933	6,2	3626	Rivierengebied
311	17	190.933	6,2	5993	Zuidwestelijke kustvlakte
321	16	296.437	9,6	4418	Rivierengebied
322	16	296.437	9,6	4895	Zuidwestelijke kustvlakte
331	20	23.400	0,8	4735	Rivierengebied
332	15	335.284	10,9	5184	Zuidwestelijke kustvlakte

\*) In totaal is 58 % van het totaal voor PAWN gekarteerde oppervlakte binnen Nederland in deze studie meegenomen

Voor de selectie van de meest geschikte STONE-plot voor een combinatie van bodemtype-hydrologie-landgebruik is gekeken naar de plot binnen een bepaald bodemtype met de grootste oppervlakte. Om invoer voor het model te genereren zijn de bemonsterde lagen geaggregeerd naar de 3 modellagen (0-20, 20-50 en 50 cm tot GLG-1m). De gebruikte bodemchemische parameters staan in tabel 3.

Tabel 3: In het model gebruikte bodemchemische parameters per combinatie van bodemtype-hydrologie-landgebruik.

Combinatie- nummer	Bulkdichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]			(Al+Fe)ox [mmol/kg]		
	0-20	20 - 50	50 >>	0-20	20 - 50	50 >>
111	589	271	473	434	312	175
211	1303	1447	1601	93	97	42
212	1325	1457	1581	80	81	63
221	1350	1472	1656	69	65	52
222	1358	1461	1647	50	42	135
231	1314	1449	1543	81	74	53
232	1317	1388	1662	74	85	89
241	1367	1452	1667	73	83	90
251	1349	1454	1675	75	69	119
252	1323	1448	1676	64	61	119
311	1123	1219	1288	144	129	207
321	1290	1356	1612	132	123	104
322	1327	1367	1509	113	111	107
331	1409	1444	1666	179	134	106
332	1381	1431	1646	82	78	93

In tabel 3 is te zien dat het fosfaatbindend vermogen in de ondergrond van de matig droge zandgrond (combinatienummer 222) sterk verschilt van de overige zandgronden. Combinatie 241 heeft een gehalte aan (Al+Fe)ox dat vergelijkbaar is met dat van gangbare zandgronden.

### 3.3 Karakterisering van de hydrologie

Het model PLEASE heeft de volgende hydrologische kenmerken nodig voor het berekenen van de laterale drainage en fosfaatuitspoeling:

- Netto neerslagoverschot
- Gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG)
- Kwelflux

Voor iedere hydrologische klasse is een karakteristieke grondwatertrap uitgekozen (Tabel 4). Bij iedere grondwatertrap zijn een gemiddeld hoogste (GHG) en een gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) afgeleid naar Van der Sluijs (1990) en de HELP-tabel (Werkgroep HELP-tabel, 1987).

De kwelgegevens zijn gebaseerd op regionale berekeningen met het model SWAP voor het stroomgebied van de Schuitenbeek (Schoumans et al., 2007). Voor elke hydrologische klasse is een kwelflux geschat.

Tabel 4: Indeling in drie hydrologische klassen

Hydrologische klasse	Grondwatertrap	GHG (cm)	GLG (cm)	Kwelflux (mm/jaar)
Nat	II	20	70/75	98
Matig droog	VI	70	130/160	-5
Droog	VIII	140	250	-174

Het netto neerslagoverschot (tabel 5) is gebaseerd op een jaarlijkse neerslag van 750 mm (De Bilt) en landelijk gemiddelde evapotranspiratie voor de verschillende gewassen (van Bakel et al., 2007). In de tabel is het netto neerslagoverschot voor grasland en bouwland per hydrologische klasse weergegeven. De hydrologische klassen zijn in dit geval gebaseerd op groepen van grondwatertrap (Gt's).

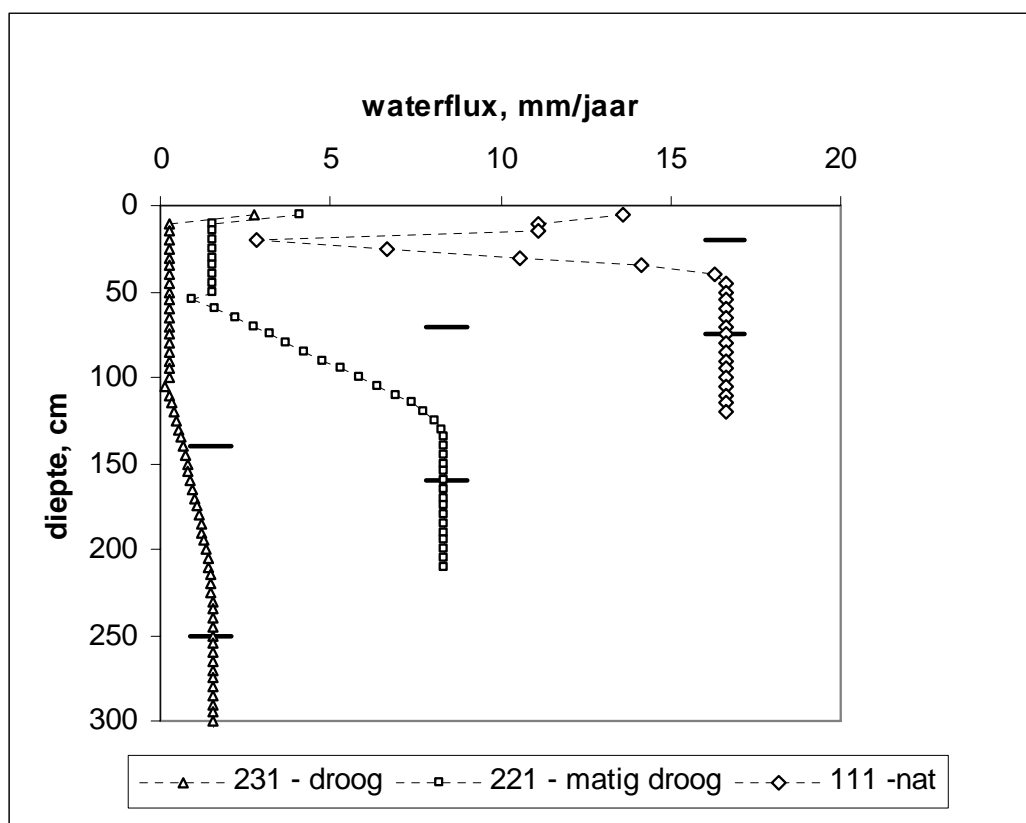
Tabel 5: Netto neerslagoverschot voor verschillende vormen van landgebruik en hydrologische klasse

Landgebruik	Nat (mm/jaar)	Matig droog (mm/jaar)	Droog (mm/jaar)
Bouwland	348	383	246
Grasland	257	291	289

Nat: Gt's I, II, II\*, III en III\*,  
 Matig droog: Gt's IV, V, V\*, VI  
 Droog: Gt's VII en VII\*

In Figuur 3.2 is aangegeven hoe in model PLEASE de gemiddelde drainage (waterflux) verloopt in droge, matig droge en natte bodems. In de figuur staat elk symbool voor de waterflux vanuit een laag van 5 cm naar het oppervlaktewater. Het totale oppervlak links onder de curven is een maat voor de totale waterflux vanuit het profiel naar het oppervlaktewater. In droge gronden stroomt relatief weinig water

naar het oppervlaktewater; het meeste water wordt afgevoerd naar het grondwater. Bij natte gronden wordt het meeste drainagewater door de bovengrond afgevoerd naar het oppervlaktewater. Door de verschillen in hydrologie en door de verschillen in fosfaatbindend vermogen en in fosfaattoestand van de onderzochte 15 combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik is de fosfaatsuitspoeling uit de bodem naar het oppervlaktewater dus heel verschillend. Ook de effecten van aanscherping en differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen zullen verschillen tussen de onderzochte 15 combinaties van bodemtype-hydrologie-land-gebruik.



Figuur 3.2. Gemiddelde waterflux uit droge, matig droge en natte bodems. Horizontale lijntjes geven per bodem de gemiddeld hoogste (GHG) en laagste grondwaterstand (GLG) aan (zie tekst).

Om de concentratie fosfaat in kwelwater voor iedere combinatie te bepalen is gebruik gemaakt van gegevens uit Rozemeijer et al. (2005). Hierin is op basis van een regionale indeling de mediane fosfaatconcentratie in kwelwater bepaald (tabel 6). Om deze te vertalen naar de betreffende combinatie is de regionale fosfaatconcentratie genomen van de regio waarin deze ligt.

Tabel 6: Mediane fosfaatconcentratie in kwelwater (Roze-meijer et al., 2005)

Regio	mg P/l
Holland	0.40
Midden Nederland	0.023
Oost Nederland	0.016
Noordelijke zandgebieden	0.010
Peelhorst	0.001
Zuidwest Brabant	0.023
Rivierengebied	0.036
Zuidwestelijke kustvlakte	0.30

Tabel 7 geeft een samenvattend overzicht van de hydrologische parameters voor de 15 combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik, zoals ingevoerd in PLEASE. De fosfaatconcentratie van het kwelwater is afhankelijk gesteld van de regio en is dus voor bepaalde combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik dus identiek.

Tabel 7. Overzicht van gebruikte hydrologische parameters per bodemkarakteristiek.

Combinatie-nummer	GHG (cm)	GLG (cm)	Kwelflux <sup>1</sup> (mm)	Fosfaatconcentratie in kwel (mg P/l)	Netto neerslag-overschot (mm)	Totale flux <sup>2</sup> (mm)
111	20	75	98	0,40	257	353
211	20	75	98	0,023	257	353
212	20	75	98	0,016	348	443
221	70	160	-5	0,016	239	232
222	70	160	-5	0,30	291	284
231	140	250	-174	0,001	246	69
232	140	250	-174	0,016	289	112
241	70	130	-5	0,001	239	231
251	140	250	-174	0,010	246	69
252	140	250	-174	0,010	289	112
311	20	70	98	0,036	257	353
321	70	160	-5	0,036	239	232
322	70	160	-5	0,30	291	284
331	140	250	-174	0,036	246	69
332	140	250	-174	0,30	289	112

<sup>1</sup>) Positieve flux is kwel, negatieve flux is wegzijging.

<sup>2</sup>) Totale waterflux uit profiel





#### 4 Samenvatting van de uitgevoerde berekeningen met *PLEASE*

Bij de toepassing van *PLEASE* ten behoeve van de berekeningen is aangenomen dat, in situaties met een fosfaatoverschot, het fosfaatoverschot zich voor 90% ophoopt in de laag 0-20 cm van de bodem en voor 10% in de laag 20-30 cm. Omgekeerd is voor situaties met een negatief fosfaatoverschot aangenomen dat de dan optredende netto fosfaatonttrekking voor 90% afkomstig is uit de laag 0-20 cm van de bodem en voor 10% uit de laag 20-30 cm.

In overleg met de opdrachtgever zijn berekeningen uitgevoerd voor 3 fosfaattoestanden in de bovengrond, namelijk voor een Pw-getal van 30, 45 en 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter grond. Deze fosfaattoestanden worden volgens de Adviesbasis gewaardeerd als ‘voldoende tot ruim voldoende’, ‘ruim voldoende tot vrij hoog’ en ‘vrij hoog tot hoog’). Er is aangenomen dat het Pw-getal in de laag 20-50 cm een derde was van die in de laag 0-20 cm. Dus, bij een Pw-getal in de bouwvoor van 30 is aangenomen dat het Pw-getal 10 was in de laag 20-50 cm. Voor een Pw-getal in de bouwvoor van 45 was deze 15, en voor een Pw-getal in de bouwvoor van 60 was deze 20. Er is in deze verkenning aangenomen dat de fosfaattoestand van de lagen dieper dan 30 cm in de bodem niet verandert voor de duur van de simulaties (tot 2030 of 2050).

Er is aangenomen dat bij fosfaatevenwichtsbemesting gemiddeld genomen het fosfaatoverschot gelijk is aan 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. In de praktijk kan de fosfaatonttrekking door gewassen dusdanig variëren dat het werkelijk optredend fosfaatoverschot ligt tussen -40 en +40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. Fosfaatoverschotten van -40 kg en +40 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar moeten gezien worden als extreme (uiterste) waarden. De gemiddelde variatie bij een generieke aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar voor grasland zal naar verwachting minder zijn. Om met de bovengenoemde potentiële variatie in werkelijke overschotten rekening te houden zijn berekeningen uitgevoerd voor fosfaatoverschotten van -40, -20, 0, +20, +40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. De ‘zichtjaren’ in de modelberekeningen waren 2030 en 2050, d.w.z. er is aangenomen dat de voornoemde overschotten respectievelijk 15 en 35 jaar voortduren. De veranderingen in de hoeveelheid fosfaat (cumulatief) in de bodem varieerde hierdoor tussen -1400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (-40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar x 35 jaar) en +1400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (+40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar x 35 jaar).

Bij een positief fosfaatoverschot neemt de fosfaatverzadiging van de bodem toe en bij een negatief overschot neemt de fosfaatverzadiging van de bodem af (uitmijning). De fosfaatverzadigingsindex geeft weer welk deel van het fosfaatverbindend vermogen van de bodem is gebruikt. De fosfaatverzadigingsindex wordt bepaald door de verhouding  $P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ . Tussen de fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /L grond) en de fosfaatverzadigingsindex van de bodem werd het volgende verband verondersteld (Chardon, 1994):

$$P_w = 481 \cdot [P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}]^{1,433} \quad [1]$$

Omgekeerd kan hiermee ook  $P_{ox}$  (mmol/kg) berekend worden uit de  $P_w$  en  $(Al+Fe)_{ox}$  (mmol/kg) volgens:

$$P_{ox} = (P_w/481)^{1/1,433} \cdot (Al+Fe)_{ox} \quad [2]$$

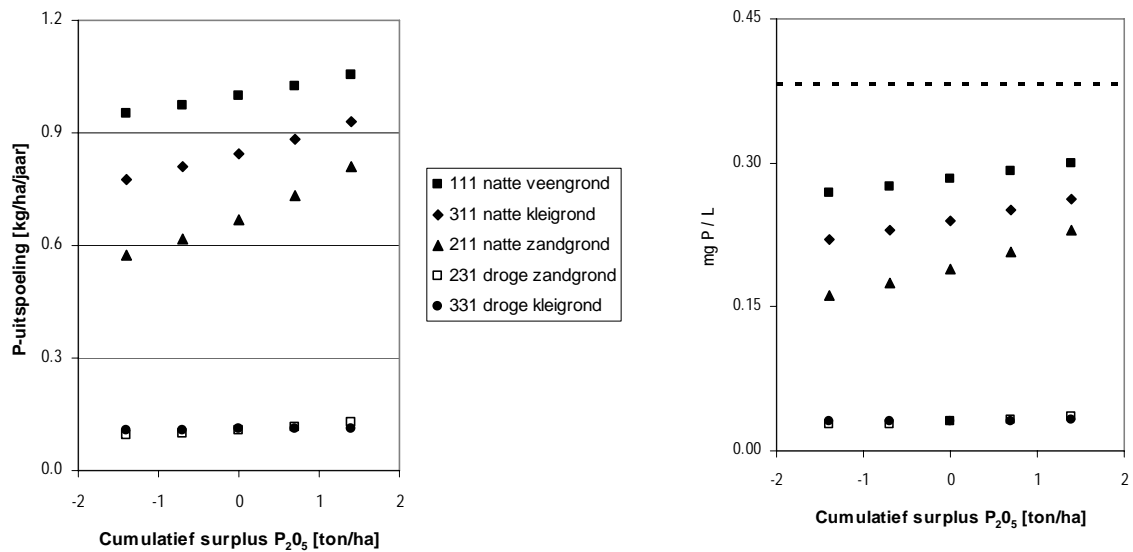
Het  $P_w$ -getal is een invoerparameter van het model; de  $P_{ox}$  werd hieruit berekend volgens formule [2]. Om het effect van een bepaald overschot of tekort op de uitspoeling door te rekenen werd  $P_{ox}$  van de lagen 0-20 en 20-30 cm gecorrigeerd voor het fosfaatoverschot (0, 20 of 40 kg  $P_2O_5$ /ha/jaar). Bij een positief overschot werd  $P_{ox}$  verhoogd, bij netto onttrekking werd  $P_{ox}$  verlaagd. Uit de gewijzigde waarde van  $P_{ox}$  en  $(Al+Fe)_{ox}$  werd voor de lagen 0-20 en 20-30 cm de nieuwe  $P_w$  berekend volgens [1], en vervolgens de P-uitspoeling vanuit beide lagen geschat. Uit de berekende uitspoeling werd tevens het fosfaatgehalte van het uitstromende drainagewater berekend, met behulp van de totale waterflux uit het profiel (tabel 7).

In de volgende paragrafen is de berekende fosfaatuitspoeling (Y-as) grafisch weergegeven als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot (X-as), voor verschillende combinaties van bodemtype-hydrologie-landgebruik, en bij verschillende uitgangswaarden voor de fosfaattoestand ( $P_w$ -getal van bouwvoor 30, 45 en 60).

## 5 Resultaten

### 5.1 Fosfaatuitspoeling

In Figuur 5.1 is de fosfaatuitspoeling, uitgedrukt in kg P/ha/jaar, weergegeven als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot, uitgedrukt in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, voor 5 combinaties van bodemtype-hydrologie op grasland bij een initiële fosfaattoestand van de bovengrond van P<sub>w</sub> 45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter grond. De berekende fosfaatuitspoeling varieerde van ca. 0,1 kg P/ha/jaar voor droge gronden tot ca. 1 kg voor de natte veengronden. De bijbehorende fosfaatconcentratie in het drainagewater varieerde van ca. 0,03 mg P L<sup>-1</sup> voor droge gronden tot ca. 0,3 mg P L<sup>-1</sup> voor de natte veengronden. De uitspoeling van 1 kg P/ha/jaar komt overeen met een uitspoeling van 2,3 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. De hoge fosfaatuitspoeling bij veengronden wordt mede veroorzaakt door de grote bijdrage van fosfaatrijke kwel uit de ondergrond; er is aangenomen dat het kwelwater 0,4 mg P L<sup>-1</sup> bevat (Tabellen 6 en 7). Voor de beide andere natte combinaties zijn waarden gebruikt van 0,023 voor de zandgrond en van 0,036 mg P L<sup>-1</sup> in het kwelwater voor de kleigrond (Tabel 7).



Figuur 5.1. Berekende fosfaatuitspoeling (links) en fosfaatconcentratie in het drainagewater (rechts) als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot, voor 5 combinaties van bodemtype en -hydrologie op grasland bij een initiële P<sub>w</sub> van 45. Het cumulatieve fosfaatoverschot varieerde van -1400 kg (netto onttrekking) tot +1400 (netto ophoping) kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha over een periode van 35 jaar.

In Tabel 8 is de berekende fosfaatuitspoeling weergegeven als functie van het initiële P<sub>w</sub>-getal voor alle combinaties van bodemtype, hydrologie en landgebruik. De fosfaatuitspoeling is sterk afhankelijk van de hydrologie: bij P<sub>w</sub> 30 is de fosfaatuitspoeling bij de natte bodemtypes gemiddeld 0,71 kg per ha per jaar, voor matig droge combinaties 0,38 kg, en voor droge combinaties 0,14 kg P per ha per jaar. De

oorzaak hiervan is dat naarmate een perceel natter is er meer water stroomt door fosfaatrijke bodemlagen bovenin het profiel naar het oppervlaktewater.

Tabel 8: Gemiddelde fosfaatuitspoeling als functie van de fosfaattoestand van de bovengrond ( $P_w$ -getal, 30, 45 en 60) voor 15 combinaties van bodemtype, hydrologie en landgebruik, en de relatieve toename in fosfaatuitspoeling bij  $P_w$  45 en  $P_w$  60 ten opzichte van die bij  $P_w = 30$  (in procent).

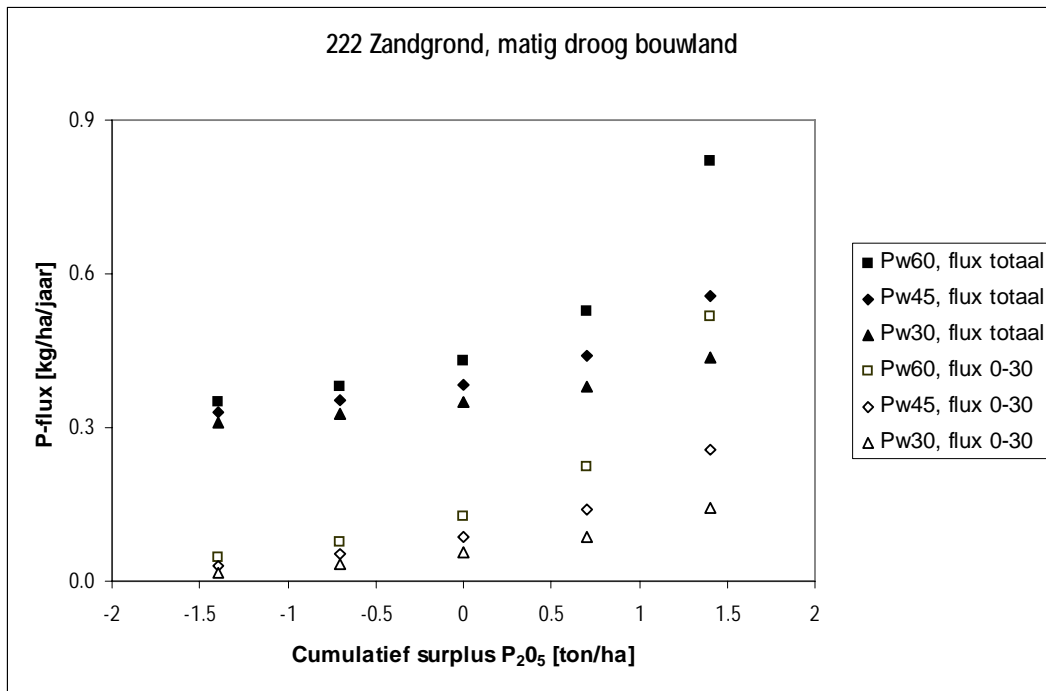
Combinatie- nummer	Fosfaatuitspoeling				
	kg P per ha per jaar			% van die bij $P_w=30$	
	$P_w = 30$	$P_w = 45$	$P_w = 60$	$P_w=45$	$P_w = 60$
111	0,85	1,00	1,15	18	36
211	0,57	0,67	0,78	18	39
212	0,69	0,81	0,95	18	38
221	0,32	0,35	0,38	10	21
222	0,35	0,39	0,43	10	23
231	0,10	0,11	0,12	10	22
232	0,13	0,14	0,15	7	14
241	0,31	0,34	0,37	9	18
251	0,09	0,10	0,12	11	22
252	0,16	0,17	0,19	9	18
311	0,73	0,84	0,96	16	32
321	0,32	0,35	0,38	8	16
322	0,61	0,66	0,71	9	17
331	0,10	0,11	0,12	9	17
332	0,26	0,28	0,30	8	16

In Tabel 9 zijn de relatieve veranderingen in fosfaatuitspoeling ten opzichte van evenwichtsbemesting berekend. In alle gevallen is de toename van de fosfaatuitspoeling als gevolg van een positief fosfaatoverschot groter dan de afname van de fosfaatuitspoeling bij een negatief fosfaatoverschot van gelijke grootte. Dit wordt veroorzaakt door het niet-lineaire karakter van de vastlegging van fosfaat in de bodem. Deze niet-lineariteit is goed zichtbaar in Figuur 5.2 voor de matig droge zandgrond met een geringe uitspoeling, maar niet in Figuur 5.3, voor een natte veengrond met een grote uitspoeling (noot: let op het verschil in de schaal van de y-as in Figuren 5.2 en 5.3). De verandering in fosfaatuitspoeling is groter naarmate de fosfaattoestand hoger is. De verschillen in relatieve verandering tussen combinaties van bodemtype en hydrologie zijn groot. Dit wordt veroorzaakt door verschillen in fosfaatbindend vermogen en in de bijdrage van de bovengrond (bouwvoor) aan de totale fosfaatuitspoeling uit de bodem.

Tabel 9: Verandering in fosfaatuitspoeling (in procent) bij een jaarlijks fosfaatoverschot van - 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (cumulatieve onttrekking van 1400 kg in 35 jaar) en +40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar (cumulatieve ophoping 1400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha in 35 jaar) en bij een initiële fosfaattoestand van de bovengrond (P<sub>w</sub>-getal) van 30, 45 en 60, bij 15 combinaties van bodemtype, hydrologie en landgebruik.

Combinatie- nummer	Verandering in fosfaatuitspoeling, in procent					
	P <sub>w</sub> = 30		P <sub>w</sub> = 45		P <sub>w</sub> = 60	
	-40 kg	+40 kg	-40 kg	+40 kg	-40 kg	+40 kg
111	-4	5	-5	6	-5	6
211	-13	18	-14	21	-16	25
212	-13	19	-15	24	-17	30
221	-7	12	-9	17	-12	24
222	-11	25	-14	45	-18	90
231	-8	14	-11	20	-14	27
232	-6	10	-8	14	-10	20
241	-6	9	-7	12	-9	16
251	-9	14	-11	18	-13	25
252	-6	12	-9	18	-11	28
311	-7	9	-8	10	-9	12
321	-3	4	-4	5	-5	6
322	-2	3	-2	3	-3	4
331	-3	3	-3	4	-3	4
332	-3	4	-3	5	-4	7

In Figuur 5.2 en 5.3 is voor twee combinaties zowel de totale fosfaatuitspoeling uit het gehele bodemprofiel als de fosfaatuitspoeling uit de laag 0-30 cm weergegeven. Bij een negatief fosfaatoverschot neemt de fosfaattoestand van de bovengrond af, en daardoor neemt ook de fosfaatuitspoeling sterker af uit de laag 0-30 cm dan uit het gehele bodemprofiel. Dit impliceert dat aanscherping van fosfaatgebruiksnormen vooral effect heeft op de fosfaatuitspoeling uit gronden waar de bijdrage van de bovengrond aan de totale uitspoeling relatief groot is.



Figuur 5.2. Berekende fosfaatuitspoeling uit het gehele bodemprofiel (totale uitspoeling) en uit de bovengrond (laag 0-30 cm) voor combinatie 222 (zandgrond, matig droog bouwland), als functie van het fosfaatoverschot en de initiële fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal).

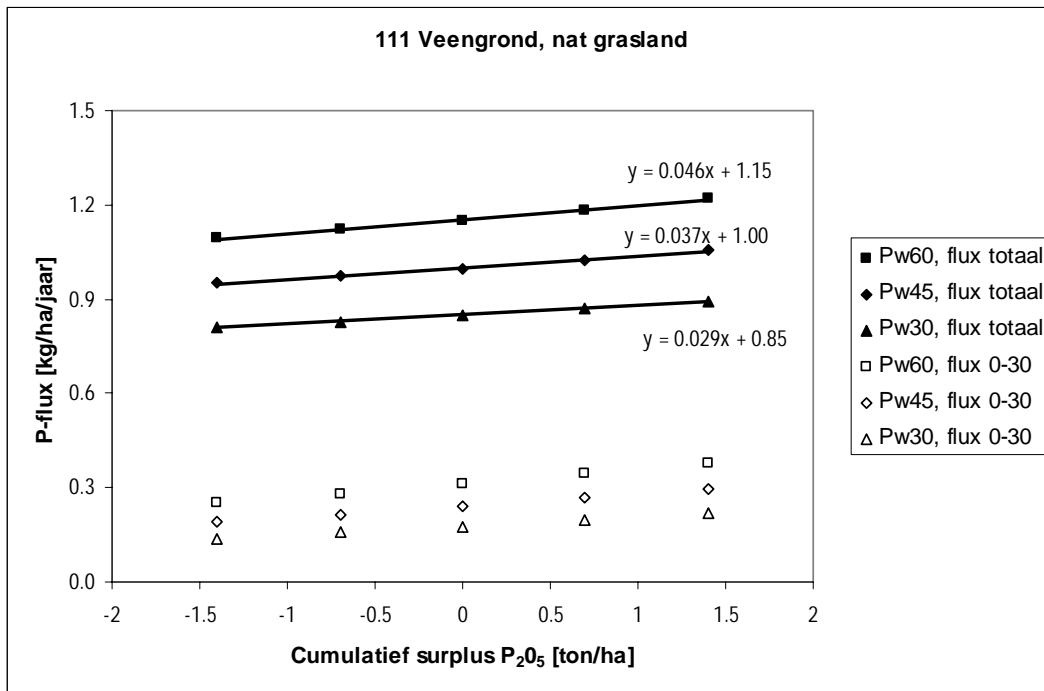
Uit de Figuren 5.2 en 5.3 kan de fosfaatconcentratie in het drainagewater worden geschat met behulp van de totale waterflux vanuit het profiel (tabel 7), volgens:

$$\text{concentratie} = 100 * \text{P-flux} / \text{waterflux}$$

$$[\text{mg/L}] = 100 * [\text{kg/ha/jaar}] / [\text{mm/jaar}]$$

Bij een Pw-getal van 60 is de fosfaatconcentratie in het drainagewater voor de zandgrond ca. 0,15 mg P L<sup>-1</sup>, wat overeenkomt met de zogenoemde MTR-waarde voor eutrofiëringgevoelige, stagnante oppervlaktewateren.

Uit Figuur 5.3 blijkt dat bij de natte veengrond de fosfaatuitspoeling niet sterk wordt beïnvloed door het fosfaatoverschot. Dit wordt veroorzaakt door de relatief grote bijdrage van kwel (kwelflux is 98 mm per jaar) met een hoge fosfaatconcentratie (0,4 mg P per liter), waardoor een verandering van de fosfaattoestand in de laag 0-30 cm door aanscherping en/of differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen relatief weinig invloed heeft.



Figuur 5.3 Berekende fosfaatuitspoeling uit het gehele bodemprofiel (totale uitspoeling) en uit de bovengrond (laag 0-30 cm) voor combinatie 111 (veengrond, nat grasland) als functie van het fosfaatoverschot en de initiële fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal).

In Tabel 10 is het relatieve belang van de uitspoeling vanuit de laag 0-30 cm weergegeven in procent van de totale uitspoeling vanuit het bodemprofiel, bij een Pw-getal van 30. Gemiddeld is de bijdrage 17%, met een variatie tussen de combinaties van 6 tot 35%. Dit suggereert dat de ondergrond gemiddeld 83% bijdraagt (variatie 65-93%). Bij een Pw van 45 en een Pw van 60 bedraagt de gemiddelde bijdrage van de laag 0-30 cm respectievelijk 22 en 26%.

In Tabel 10 is ook vermeld hoeveel fosfaat in de uitgangssituatie in de laag 0-30 cm was opgeslagen (als P-ox, in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) en de relatieve verandering van die hoeveelheid bij een cumulatief fosfaatoverschot van 1400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha over een periode van 35 jaar. Voor de geselecteerde combinaties is de gemiddelde hoeveelheid fosfaat in de bovengrond 5000 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, met een variatie van 2200 tot 7500 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Bij een verondersteld maximaal P-overschot of P-tekort van ±40 kg per ha per jaar in de periode tot 2050, is de gemiddelde aanrijking of verarming van de bodem met fosfaat 25%, met een variatie van 23-83%. Deze waarden lopen dus sterk uiteen.



Tabel 10: Relatieve bijdrage van de laag 0-30 cm aan de totale fosfaatuitspoeling uit de bodem naar het oppervlaktewater bij  $P_w=30$ , de hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar fosfaat in deze laag (P-ox), en de relatieve verandering van P-ox bij een cumulatief fosfaatoverschot van 1400 kg  $P_2O_5$  per ha over een periode van 35 jaar.

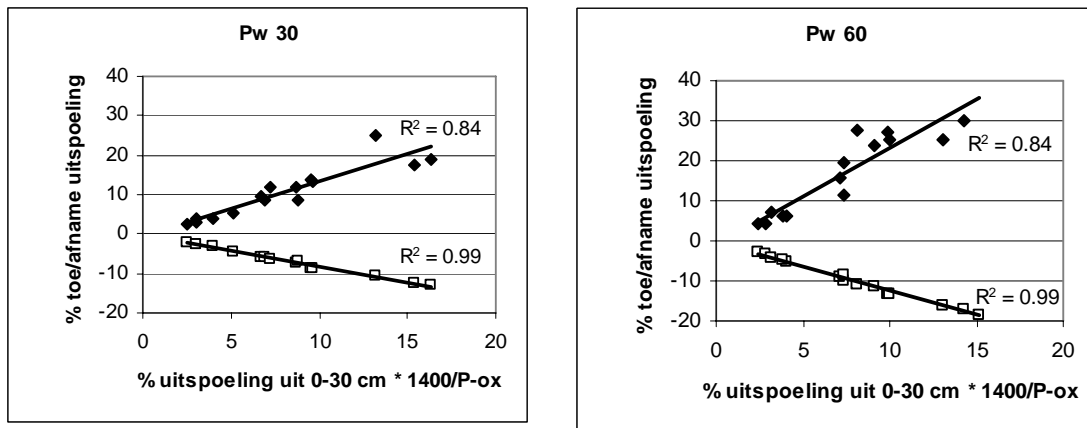
Combinatie-nummer	Bijdrage laag 0-30 cm bij $P_w=30$ , in %	P-ox in laag 0-30 cm, in kg $P_2O_5$ /ha	Verandering P-ox door P-overschot van 1400 kg $P_2O_5$ /ha, in %
111	21	7475	25
211	35	4177	45
212	32	3636	51
221	15	3147	59
222	16	2232	83
231	17	3394	55
232	12	3470	54
241	13	3568	52
251	18	3375	55
252	11	2852	65
311	25	5394	34
321	12	5677	33
322	7	5015	37
331	13	8088	23
332	6	3775	49
<i>gemiddeld</i>	<i>17</i>	<i>5060</i>	<i>25</i>

De relatieve veranderingen in de fosfaatuitspoeling, zoals weergegeven in Tabel 9, blijken sterk gecorreleerd te zijn met de parameters uit Tabel 10:

- de relatieve bijdrage van de bovengrond aan de totale fosfaatuitspoeling;
- de relatieve verandering van de hoeveelheid extraheerbaar fosfaat door het opgelegde fosfaatoverschot.

Voor beide geldt: hoe hoger de waarde, hoe groter het effect van een fosfaatoverschot kan zijn. De correlatie van de verandering in fosfaatuitspoeling met beide parameters blijkt uit Figuur 5.4, waarin de relatieve verandering is weergegeven als functie van het product van beide parameters.

Bij netto fosfaatonttrekking is de relatieve afname van de fosfaatuitspoeling sterker gecorreleerd met het product ( $r^2=0.99$ ) dan bij een netto fosfaatophoping en dus toename van de fosfaatuitspoeling ( $r^2=0.84$ ). Figuur 5.4 geeft aan dat de correlaties voor  $P_w$  30 en 60 even goed zijn; de relatieve verandering in fosfaatuitspoeling is groter bij  $P_w60$  dan bij  $P_w$  30 (zie ook Tabel 9).



Figuur 5.4. Procentuele verandering in fosfaatuitspoeling door cumulatief fosfaatoverschot (gesloten symbolen, bovenste lijnen) en een cumulatieve fosfaatonttrekking aan de bodem (open symbolen, onderste lijnen) van 1400 kg  $P_2O_5$  per ha surplus, bij initiële Pw van 30 (links) en Pw van 60 (rechts), als functie van het product van het aandeel van de laag 0-30 cm in de totale uitspoeling en het fosfaatoverschot als fractie van de hoeveelheid P-ox in de laag 0-30 cm (zie Tabel 10 en tekst).

## 5.2 Bodemvruchtbaarheid

In Tabel 11 zijn de berekende veranderingen in Pw-getal weergegeven als functie van een opgelegd fosfaatoverschot van -40 en +40 kg  $P_2O_5$  /ha/jaar gedurende een periode van 35 jaar. Bij een beginwaarde van het Pw-getal van 30 daalt het Pw-getal met gemiddeld 19 eenheden als er over een periode van 35 jaar netto in totaal 1400 kg  $P_2O_5$  per ha wordt onttrokken. Bij een cumulatief fosfaatoverschot van 1400 kg  $P_2O_5$  per ha is de toename 26 Pw-eenheden (Tabel 11). De stijging in Pw-getal bij een fosfaatoverschot is dus groter dan de daling bij een vergelijkbare grootte van de fosfaatonttrekking. De verschillen tussen combinaties van bodemtype, hydrologie en landgebruik zijn groot; veranderingen zijn gemiddelde genomen groter bij de zandgronden dan bij de kleigronden en de veengrond.

Voor bepaalde combinaties van bodemtype en hydrologie wordt een zeer grote daling in Pw-getal berekend (met grijs gearceerd in Tabel 11). Deze waarden worden echter als niet plausibel beoordeeld. Het model neemt aan dat de netto-onttrekking constant blijft gedurende de gehele periode van 35 jaar, ook als het Pw-getal tot heel lage waarden is gedaald. Dat is niet juist; bij een forse afname van de fosfaattoestand zal de onttrekking ook dalen doordat de gewasgroei en/of het fosfaatgehalte in het gewas afnemen. De getallen vermeld in Tabel 11 moeten dus met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd; ze geven niet meer dan een indicatie, en een richting aan van wat op lange termijn gebeurt.

Tabel 11: Berekende veranderingen in Pw-getal van de laag 0-20 cm, als functie van een initieel Pw-getal van 30 en 60 en een opgelegd fosfaatoverschot van -40 en +40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar gedurende een periode van 35 jaar, voor 15 combinaties van bodemtype, hydrologie en landgebruik. De gearceerde getallen geven theoretisch maximale daling weer (zie tekst).

Combinatie- nummer	Verandering in Pw-getal			
	Pw = 30		Pw = 60	
	-40 kg	+40 kg	-40 kg	+40 kg
111	-10	11	-12	13
211	-19	24	-25	29
212	-21	28	-28	33
221	-24	32	-32	38
222	-29	46	-41	53
231	-23	30	-30	36
232	-22	30	-30	35
241	-21	28	-28	33
251	-22	29	-29	35
252	-25	36	-35	42
311	-15	18	-19	21
321	-14	17	-18	20
322	-16	19	-21	23
331	-10	11	-12	13
332	-20	26	-27	31
<i>Gemiddeld</i>	<i>-19</i>	<i>26</i>	<i>-26</i>	<i>30</i>

## 6 Discussie en conclusies

In deze studie is een verkenning uitgevoerd naar de veranderingen in de uitspoeling van fosfaat door de voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha/jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha/jaar voor grasland tussen 2006 en 2015. De verkenning is gebaseerd op een analyse van een beperkte maar representatieve selectie van in Nederland voorkomende bodemtypes en hydrologie. Omdat op het moment van de studie niet bekend was of, en zo ja hoe, de fosfaatgebruiksnormen voor bouwland en grasland gedifferentieerd worden naar de fosfaattoestand van de bodem, en/of de fosfaatbehoefte van het gewas, en/of de fosfaatonttrekking door het gewas, heeft de studie het karakter van een scenario-analyse.

In de scenarioanalyse zijn meer en minder extreme mogelijkheden en situaties verkend, wat betreft bijvoorbeeld fosfaatoverschot. Er is verondersteld dat het fosfaatoverschot op individuele percelen en bedrijven kan variëren van -40 tot +40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha/jaar. Die variaties is afgeleid uit de resultaten van de studies van Aarts et al. (2007) en Van Dijk et al. (2007). De negatieve en positieve fosfaatoverschotten zijn opgelegd voor perioden van 15 jaar (periode 2015-2030) en 35 jaar (periode 2015-2050), en zijn verondersteld constant te blijven. De resultaten geven aldus meer aan wat in de toekomst zou kunnen plaatsvinden dan dat zij aangeven wat werkelijk zal plaatsvinden. Aangeraden wordt om bij een eventuele differentiatie van de fosfaatgebruiksnormen aanvullende studies en onzekerheidsanalyses uit te voeren.

De berekende fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden en de invloed hierop van de fosfaattoestand van de bovengrond, fosfaatoverschot, bodemtype en hydrologie, komt in grote lijnen overeen met de resultaten van eerdere studies. De berekende fosfaatfluxen zijn echter lager dan voor dezelfde locaties werden berekend m.b.v. STONE, in het kader van de EMW 2007 (Willems et al., 2007). Dit komt doordat de voor onze berekeningen gebruikte waarden voor de P<sub>w</sub> van de bovengrond (voor de lagen 0-20 en 20-30 cm resp. P<sub>w</sub> 60/20, 45/15 en 30/10 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter grond) lager zijn dan voor die locaties binnen STONE zijn gebruikt.

De jaarlijkse uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater is klein (in de orde van grootte van een tiende van een promille) ten opzichte van de in de bodem aanwezige hoeveelheid fosfaat. Ook vergeleken met de hoeveelheid fosfaat die jaarlijks wordt toegediend aan de bodem is de uitspoeling in de orde van grootte van niet meer dan (een tiende van) een procent. Desalniettemin is de bijdrage van landbouwgronden aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater groot. In Nederland dragen landbouwgronden voor 40-60% bij aan de totale fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Door de voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar voor grasland verandert die bijdrage op de korte termijn niet veel, maar dit kan op de langere termijn wel het geval zijn. De revenuen van de aanscherping van fosfaatgebruiksnormen worden dus vooral op termijn duidelijk, zo

blijkt uit de resultaten van deze studies. Fosfaatbeleid heeft daarom een lange adem nodig.

Er is een grote spreiding tussen percelen in de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. Die spreiding wordt veroorzaakt door natuurlijke verschillen tussen bodemtypes (fosfaatbindend vermogen), door verschillen in hydrologische omstandigheden en door verschillen in fosfaattoestand van de bodem en de wijze van fosfaatbemesting. De voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen zal vooral de laatste twee variabelen beïnvloeden. De gemiddelde fosfaatuitspoeling van de onderzochte combinaties van bodemtype en hydrologie was 0,37 kg P/ha/jaar bij een Pw-getal van 30 en 0,47 kg P/ha/jaar bij een Pw-getal van 60. De spreiding tussen combinaties van bodemtype en hydrologie in fosfaatuitspoeling is echter zeer groot, in de orde van grootte van een factor 10. Hoe droger de bodem, hoe kleiner de uitspoeling; hoe natter de bodem, hoe groter de fosfaatuitspoeling.

Door de voorgenomen aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen, naar 60 kg  $P_2O_5$  /ha/jaar voor bouwland en 90 kg  $P_2O_5$  /ha/jaar voor grasland, wordt het fosfaatoverschot verwaarloosbaar klein. Maar omdat de spreiding tussen bedrijven in het fosfaatoverschot groot is, is het mogelijk dat het huidige fosfaatoverschot in de praktijk kan variëren tussen de extremen van -40 en +40 kg  $P_2O_5$  /ha/jaar. Bij een positief fosfaatoverschot zal de fosfaattoestand en daardoor de fosfaatuitspoeling een stijgende tendens vertonen. De relatieve verandering in uitspoeling wordt sterk bepaald door de uitgangswaarde van de fosfaattoestand, de grootte van het fosfaatoverschot (of netto fosfaatonttrekking) en de relatieve bijdrage van de bovengrond aan de totale uitspoeling van fosfaat uit het bodemprofiel.

De relatieve bijdrage van de bovengrond (0-30 cm) aan de totale uitspoeling van fosfaat uit het bodemprofiel wordt sterk bepaald door de grondwatertrap, het fosfaatgehalte in de ondergrond en de aanwezigheid van kwel van fosfaatrijk water uit de ondergrond. In deze studie is de bijdrage van de ondergrond (beneden 30 cm) aan de totale belasting van het oppervlaktewater groot (gemiddeld genomen 83% bij Pw = 30 en 74% bij Pw = 60), vooral doordat in de doorgerekende profielen het meeste water afgevoerd wordt door deze diepere bodemlagen (gem. 92.5 %, range 84-96%). Daarnaast is bijvoorbeeld in de doorgerekende natte veengrond de bijdrage van kwel van fosfaatrijk grondwater hoog. Er is echter een forse onzekerheid in de bijdrage van fosfaatrijke kwel uit de ondergrond aan de totale belasting van het oppervlaktewater, mede omdat het aantal empirische studies beperkt is.

Natte gronden hebben de hoogste fosfaatuitspoeling, hier is de bijdrage van de bovengrond aan de totale fosfaatuitspoeling uit het bodemprofiel gemiddeld genomen ook het hoogst. Dit suggereert dat het effect van aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op de vermindering van de fosfaatbelasting het grootst is bij de natte gronden. De resultaten van onze studie geven aan dat, afhankelijk van de beginwaarde van de fosfaattoestand, de fosfaatuitspoeling van natte zandgronden met 25 tot 90% toeneemt als over een periode van 35 jaar er een gemiddeld fosfaatoverschot is van 40  $P_2O_5$  /ha/jaar. Wanneer daarentegen sprake is van een netto fosfaatonttrekking dan neemt de fosfaatuitspoeling met 11 tot 18% af, afhan-

kelijk van de beginwaarde van de fosfaattoestand en van de bijdrage van de bovengrond aan de totale uitspoeling. De relatieve vermindering van de uitspoeling bij netto fosfaatonttrekking is dus kleiner dan de relatieve toename bij een netto fosfaatoverschot. De resultaten van onze studie bevestigen dus wat eerder ook is gevonden (Koopmans et al., 2002). Het effect van aanscherping van fosfaatverliesnormen is het grootst bij een hoge fosfaattoestand. Hoe hoger de fosfaattoestand, hoe groter de fosfaatuitspoeling, maar ook hoe groter het effect is van aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen.

De berekende afname van de fosfaatuitspoeling moet gezien worden als een indicatie van de verwachte impact van een netto fosfaatonttrekking. De exacte omvang van de effecten voor heel Nederland is met deze studie niet aan te geven, omdat slechts een beperkte selectie aan combinaties van bodem, hydrologie en fosfaattoestanden is doorgerekend.

### **Conclusies**

- Differentiatie van fosfaatgebruiksnormen naar de fosfaattoestand van de bodem en naar hydrologie heeft een relatief groot effect op de uitspoeling van fosfaat uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater.
- Aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen tot 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha/jaar voor bouwland en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha/jaar voor grasland vermindert de totale uitspoeling van fosfaat op termijn met 2 tot 20%.
- De veranderingen in de uitspoeling door aanscherping van de gebruiksnormen zijn sterk gecorreleerd met de relatieve bijdrage van de bovengrond (laag 0-30 cm) aan de totale fosfaatuitspoeling uit de bodem, de hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar fosfaat (P-ox) en aan de mate van aanscherping. Het grootste effect werd gevonden bij profielen met een hoge fosfaattoestand en een grote relatieve bijdrage van de bovengrond.
- Het effect van een fosfaatoverschot van 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha/jaar op de toename in fosfaatuitspoeling is groter dan het effect van een netto fosfaatonttrekking van 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> op de vermindering van de fosfaatuitspoeling.
- Hoe hoger de uitgangswaarde van de fosfaattoestand, hoe groter de absolute en relatieve veranderingen in fosfaatuitspoeling bij aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen.



## Literatuur

Aarts, H.F.M., D.J. den Boer, J.C. van Middelkoop & J. Oenema, 2007. Landbouwkundige gevolgen van het aanscherpen en differentiëren van fosfaatgebruiksnormen voor de melkveehouderij. Wageningen, Plant Research International, Rapport in voorbereiding.

Bakel, P.J.T van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors & T. Kroon. 2007. Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Rapport NMP, in voorbereiding.

Beek, C.L. van, C. van der Salm, A.C.C. Plette & H. van de Weerd. 2007. Nutrient loss pathways from grazed grasslands; experimental results for three soil types. Submitted to: Nutrient Cycling in Agro-ecosystems.

Chardon, W.J. 1994. Relationship between phosphorus availability and phosphorus saturation index. Rapport 19, Inst. voor Agrobiol. en Bodemvruchtbaarheids-onderzoek, Haren.

Csathó, P. & L. Radimsky. 2007. The first 15 years of the Nitrate Directive: Results, failures and urgent tasks in reducing agricultural NP loads to the environment in the European Union. A forum. (In Hungarian). (A Nitrát-direktíva első 15 éve: eredmények, kudarcok, feladatok az Európai Unióban környezet agrár eredetű NP-terhelésének csökkentésében. Fórum). Növénytermelés, 56: 83-110.

Dijk, W. van, P.H.M. Dekker, H.F.M. ten Berge, A.L. Smit., & J.R. van der Schoot, 2007. Landbouwkundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen voor de akker- en tuinbouw. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 367 (in voorbereiding).

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

Koopmans, G.F., R.W. McDowell, W.J. Chardon, O. Oenema & J. Dolfing, 2002. Soil phosphorus quantity-intensity relationships to predict increased soil phosphorus loss to overland and subsurface flow. Chemosphere 48: 679-687.

Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom & A. Beusen. 2001. Redesign STONE: De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. Directoraat Generaal Rijkswaterstaat. Lelystad. RIZA-rapport 2001-017.

Rozemeijer, J., J. Griffioen & H. Passier. 2005. De concentratie van fosfaat in regionaal kwelwater in Nederland. TNO. Utrecht. TNO-rapport 005.105B0710.



Schoumans, O.F. 2004. Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Alterra rapport 730.4, Alterra, Wageningen.

Schoumans, O.F. & P. Groenendijk. 2000. Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. *J. Environ. Qual.* 29: 111-116.

Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm & M. Pleijter. 2007. Methodiek voor het aanwijzen van fosfaatlekkende gronden. Alterra. Wageningen. Alterra-rapport in prep.

Schoumans, O.F., L. Renaud, H. Oosterom & P. Groenendijk. 2004. 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.

Sluijs, P. van der. 1990. Hoofdstuk 11, Grondwatertrappen. In: W.P. Locher en H. de Bakker (red.) *Bodemkunde van Nederland*. Malmberg. Den Bosch.

Vries, F. de. 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. DLO-Staring Centrum, Wageningen. SC-rapport 654.

Vries, F. de, P. Finke & I. Peereboom. 2001. Hoofdstuk 4. Parametrisatie bodemchemie. In: T. Kroon et al. (ed.) *Redesign STONE: De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. Directoraat Generaal Rijkswaterstaat. Lelystad. RIZA-rapport 2001-017.

Werkgroep HELP-tabel. 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige produktie. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176. Utrecht.

Willems, W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud, H.H. Luesink, J.G. Conijn, G.J. van den Born, J.G. Kroes, P. Groenendijk, O.F. Schoumans & H. van de Weerd. 2007. Prognose milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid. Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007. MNP rapport nr. 500124002.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom & A.F. van Holst. 1985. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250.000 ten behoeve van de PAWN-studie. Rapport nr. 2055. Stiboka. Wageningen.