



---

# Fosfaatklassen voor fosfaatgebruiksnormen van de Meststoffenwet

Landbouwkundige en milieuhygiënische aspecten in samenhang

Phillip Ehlert, Caroline van der Salm, Saskia Burgers, Jantine van Middelkoop, Wim van Dijk,  
Rien van der Maas, Annette Pronk, Henk van Reuler, Gerwin Koopmans en Wim Chardon



ALTERRA  
WAGENINGEN UR

---



---

# Fosfaatklassen voor fosfaatgebruiksnormen van de Meststoffenwet

Landbouwkundige en milieuhygiënische aspecten in samenhang

Phillip Ehlert<sup>1</sup>, Caroline van der Salm<sup>1</sup>, Saskia Burgers<sup>2</sup>, Jantine van Middelkoop<sup>3</sup>, Wim van Dijk<sup>4</sup>, Rien van der Maas<sup>5</sup>, Annette Pronk<sup>6</sup>, Henk van Reuler<sup>7</sup>, Gerwin Koopmans<sup>1</sup> en Wim Chardon<sup>1</sup>

- 1 Alterra
- 2 Wageningen UR, Livestock Research
- 3 Plant Research International, Biometris
- 4 Praktijkonderzoek, Plant & Omgeving, Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente
- 5 Praktijkonderzoek, Plant & Omgeving Fruit
- 6 Plant Research International, Agrosysteemkunde
- 7 Praktijkonderzoek, Plant & Omgeving Bomen/ Praktijkonderzoek, Plant & Omgeving Bloembollen

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het programma BO-12.12 Mest, Milieu en Klimaat.  
Projectcode BO-12.12.002.006

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, februari 2014

---

Alterra-rapport 2499  
ISSN 1566-7197

---

Phillip Ehlert, Caroline van der Salm, Saskia Burgers, Jantine van Middelkoop, Wim van Dijk, Rien van der Maas, Annette Pronk, Henk van Reuler, Gerwin Koopmans en Wim Chardon, 2014. *Fosfaatklassen voor fosfaatgebruiksnormen van de Meststoffenwet; Landbouwkundige en milieuhygiënische aspecten in samenhang*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2499. 98 blz.; 10 fig.; 57 tab.; 83 ref.

Invoering van het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen in de Meststoffenwet is gebaseerd op een beoordeling van de fosfaattoestand van de bodem. Daarbij worden drie klassen onderscheiden. Bij de invoering van het stelsel is aangegeven of de criteria voor fosfaattoestanden wijziging behoeven. Deze studie rapporteert landbouwkundige en milieukundige effecten van wijziging van criteria voor de fosfaattoestand. De landbouwkundige effecten worden in beeld gebracht door vergelijkingen uit te voeren met de adviesbasis voor bemesting van bouwland. De indeling van de fosfaattoestand van de bodem wordt namelijk ook gehanteerd bij bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten, bloembollen, boomkwekerijgewassen en fruit. Dit onderzoek geeft de onderbouwing van die klassenindeling bij genoemde sectoren, vergelijkt die met die van het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen en kwantificeert het effect van wijziging van een fosfaattoestand. Milieukundige effecten worden in beeld gebracht door het risico op fosfaatuitspoeling te berekenen als functie van de fosfaattoestand en andere bodemkenmerken. Daarbij worden zowel de potentiële uitspoeling uit de bouwvoor berekend als de actuele uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. De landbouwkundige en milieukundige effecten worden in samenhang gebracht met de gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen door de landbouwkundige effecten, de effecten op de plaatsingsruimte van mest en beloop van de fosfaattoestand op langere termijn. Opties voor wijziging van criteria van waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem worden gegeven voor vier mogelijke grondslagen te weten economisch rendement, fysieke opbrengstderving, evenwichtsbemesting en milieukundig verantwoorde fosfaattoestand. Ten slotte worden aanbeveling voor aanpassing van criteria gedaan.

Trefwoorden: Fosfor, fosfaat, bemesting, fosfaatgebruiksnormen, waardering fosfaattoestand, akkerbouw, vollegrondsgroenten, bloembollen, boomkwekerij, fruit, PLEASE, bemestingsadvies.

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra). Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

---

# Inhoud

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Executive summary</b>                                                                                | <b>5</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                                                                                      | <b>13</b> |
| 1.1 Achtergronden en aanleiding                                                                         | 13        |
| 1.2 Deze studie                                                                                         | 16        |
| 1.3 Probleemstelling en doel                                                                            | 19        |
| <b>2 Aanpak en methoden</b>                                                                             | <b>20</b> |
| 2.1 Aanpak                                                                                              | 20        |
| 2.2 Methoden                                                                                            | 21        |
| 2.2.1 Kalibratie van de gewasreactie                                                                    | 21        |
| 2.2.2 Berekening milieukundige gevolgen                                                                 | 26        |
| <b>3 Akkerbouw en vollegrondsgroenten</b>                                                               | <b>27</b> |
| 3.1 Adviezen                                                                                            | 27        |
| 3.2 Systematiek afleiding waarderingsklassen                                                            | 27        |
| 3.3 Conclusies                                                                                          | 30        |
| <b>4 Bloembollen</b>                                                                                    | <b>32</b> |
| 4.1 Inleiding                                                                                           | 32        |
| 4.2 Systematiek waardering fosfaattoestand                                                              | 32        |
| 4.2.1 Het bodemgericht advies                                                                           | 32        |
| 4.2.2 Het gewasgericht advies                                                                           | 32        |
| 4.3 Onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen                                        | 33        |
| 4.3.1 Onderbouwing van het bodemgericht advies                                                          | 34        |
| 4.3.2 Onderbouwing van het gewasgericht advies                                                          | 34        |
| 4.4 Conclusies                                                                                          | 35        |
| <b>5 Boomkwekerij en buitenbloemen</b>                                                                  | <b>36</b> |
| 5.1 Systematiek waardering fosfaattoestand van boomkwekerijgewassen                                     | 36        |
| 5.1.1 Inleiding                                                                                         | 36        |
| 5.1.2 Indeling boomkwekerijgewassen                                                                     | 37        |
| 5.2 Onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen                                        | 37        |
| 5.3 Opties voor indeling van fosfaatklassen van bemestingsadviezen en mogelijkheden tot standaardisatie | 38        |
| 5.3.1 Systematiek van de indeling van fosfaatklassen                                                    | 38        |
| 5.3.2 Beschikbare gegevens voor de boomkwekerij                                                         | 39        |
| 5.3.3 Onderbouwing gewaskarakteristieken totale P-opname en P-opname per dag                            | 40        |
| 5.4 Conclusies indeling boomkwekerijgewassen in gewasgroepen                                            | 44        |
| <b>6 Fruit</b>                                                                                          | <b>45</b> |
| 6.1 Indeling fosfaatklassen                                                                             | 45        |
| 6.2 Onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen                                        | 47        |
| 6.2.1 Fosfaatbemestingsproeven appel                                                                    | 47        |
| 6.2.2 Conclusies over beschikbaarheid van meetgegevens                                                  | 47        |
| 6.2.3 <i>Expert judgement</i> van het huidige advies                                                    | 48        |

|          |                                                                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.3      | Conclusies onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen van bemestingsadviezen voor fruit | 49        |
| 6.3.1    | De huidige praktijk van de fosfaatbemesting (actueel <i>expert judgement</i> )                            | 50        |
| 6.4      | Indeling van fosfaatklassen                                                                               | 51        |
| <b>7</b> | <b>Milieukundige gevolgen van de handhaving van een bepaalde fosfaattoestand</b>                          | <b>53</b> |
| 7.1      | Inleiding en aanpak                                                                                       | 53        |
| 7.2      | Methoden                                                                                                  | 54        |
| 7.2.1    | Berekening van de fosfaatverliezen uit de bouwvoor                                                        | 54        |
| 7.2.2    | Berekening van de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater                                              | 55        |
| 7.3      | Data                                                                                                      | 56        |
| 7.3.1    | Hydrologie                                                                                                | 56        |
| 7.3.2    | Bodemeigenschappen                                                                                        | 56        |
| 7.3.3    | Fosfaatprofiel (Pw-ratio)                                                                                 | 58        |
| 7.4      | Verliezen naar grond- en oppervlaktewater                                                                 | 60        |
| 7.4.1    | Fosfaatprofielen (Pw-ratio)                                                                               | 60        |
| 7.4.2    | Gemiddelde ortho-P concentratie in het uitspoelende water                                                 | 62        |
| 7.5      | Verliezen vanuit de bouwvoor                                                                              | 67        |
| 7.6      | Discussie                                                                                                 | 68        |
| 7.6.1    | Onzekerheden                                                                                              | 68        |
| 7.6.2    | Normen en retentie in het oppervlaktewater                                                                | 68        |
| 7.6.3    | Gt groepen                                                                                                | 69        |
| 7.6.4    | Verliezen uit de bouwvoor                                                                                 | 69        |
| 7.7      | Conclusie                                                                                                 | 69        |
| <b>8</b> | <b>Opties voor afleiding van fosfaatklassen</b>                                                           | <b>71</b> |
| 8.1      | Evaluatie onderbouwing van bemestingsadviezen                                                             | 71        |
| 8.2      | Rendement van bemesting                                                                                   | 73        |
| 8.3      | Fysieke opbrengst                                                                                         | 75        |
| 8.4      | Evenwichtsbemesting                                                                                       | 76        |
| 8.5      | Fosfaattoestand afgestemd op milieucriteria                                                               | 77        |
| 8.6      | Samenvattend overzicht van opties                                                                         | 78        |
| <b>9</b> | <b>Gevolgen van wijziging van huidige wettelijke fosfaatklassen</b>                                       | <b>81</b> |
| 9.1      | Landbouwkundige gevolgen                                                                                  | 81        |
| 9.2      | Plaatsingsruimte                                                                                          | 81        |
| 9.3      | Ontwikkeling fosfaattoestand                                                                              | 83        |
| 9.4      | Evaluatie en aanbevelingen                                                                                | 83        |
|          | <b>Literatuur</b>                                                                                         | <b>85</b> |
|          | <b>Bijlage 1 Citaten Commissie Fruitteelt</b>                                                             | <b>90</b> |
|          | <b>Bijlage 2 Kalibratie gewasreactie aardappel</b>                                                        | <b>93</b> |

# Executive summary

## Samenvatting

### Aanleiding en doelstelling

In het vierde actieprogramma Nitraatrichtlijn zijn Nederlandse landbouwgronden ingedeeld in drie fosfaatklassen: *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*. De grenzen tussen deze wettelijke klassen zijn beleidsmatige vertalingen van de klassen uit de landbouwkundige adviezen. Voor bouwland is de grens tussen de klassen *Laag* en *Neutraal* vastgesteld op Pw-getal  $< 36 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ; voor de grens tussen *Neutraal* en *Hoog* op Pw-getal  $> 55 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ . In het kader van het vijfde actieprogramma Nitraatrichtlijn kan de grens tussen de klasse *Laag* en *Neutraal* op een ander - lager - niveau worden vastgesteld. De landbouwkundige en milieukundige gevolgen van wijziging van de grenswaarden voor het areaal, mestplaatsingsruimte en ontwikkeling van de fosfaattoestand zijn onvoldoende bekend. Het ministerie van Economische Zaken (EZ) heeft daarom opdracht gegeven om vast te stellen wat de landbouwkundige en milieukundige gevolgen zijn van wijziging van criteria voor indelingsklassen van de fosfaattoestand voor bouwland. Er is ook gevraagd in beeld te brengen wat de landbouwkundige gevolgen zijn bij wijziging van criteria voor waarderingsklassen van de fosfaattoestand van de bodem, de plaatsingsruimte voor dierlijke mest en de ontwikkeling van de fosfaattoestand van de bodem. De opdracht heeft geleid tot een studie die gemeenschappelijk uitgevoerd werd door deskundigen op het gebied van bodem en bemesting van Alterra, PRI, PPO-agv en PPO-bbf. Deze rapportage is het resultaat van deze studie.

Het stelsel van naar fosfaattoestand gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen is geënt op vigerende adviesbases voor openteelten, zij het dat criteria voor de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatgebruiksnormen het resultaat zijn van beleidsafwegingen. Daarom is de onderbouwing van de criteria voor de fosfaattoestand van de bodem van adviesbases voor de verschillende sectoren van opengrondsteelten op bouwland betrokken bij dit advies. De landbouwkundige gevolgen zijn afgemeten aan veranderingen in economische of fysieke opbrengst, milieukundige gevolgen zijn afgemeten aan effecten op het risico op uitspoeling van fosfaat.

### Onderzoek landbouwkundige gevolgen

In Nederland worden zeven bemestingsadviezen gehanteerd die op basis van een meting van de fosfaat-toestand van de bodem een fosfaatgift adviseren. In dit onderzoek is de onderbouwing onderzocht van de adviezen die voor akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten, bloembollen, boomkwekerijgewassen en fruit die in 2012 gehanteerd werden. Elk van deze adviezen kent een rubricering van de fosfaattoestand van de bodem in waarderingsklassen. Bij fruitgewassen kent het advies ook een rubricering van het fosfaatgehalte van het blad. Deze studie focust echter volledig op de waardering en rubricering van de fosfaattoestand van de bodem.

De onderbouwing van deze waardering en rubricering is voor akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en bloembollen te traceren. Voor boomkwekerijgewassen is de feitelijke onderbouwing niet getraceerd maar berust waarschijnlijk op een afspiegeling van een inmiddels vervallen advies voor intensieve vollegrondsgroententeelt. Bij fruit is wel enig zicht op de onderbouwing van het advies in klassen verkregen maar het feitelijke advies heeft geen raakvlak meer met de huidige uitvoeringspraktijk.

De indeling van de fosfaattoestanden van de bodem in klassen bij akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en bloembollen kent eenzelfde grondslag of is op elkaar afgestemd. Deze grondslag berust op het economische rendement van bemesting. Om het principe van het rendement van bemesting te kunnen toepassen moet de gewasreactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand van de bodem bekend zijn. Bij een gegeven kostprijs voor fosfaatmeststof en een gegeven kostprijs voor de opbrengst van het gewas kan dan bij een fosfaattoestand van de bodem afgeleid worden welke fosfaatgift economische rendeert en welke niet. Voor genoemde sectoren blijkt de waardering

van de fosfaatklassen van de fosfaattoestand voor deze sectoren gebaseerd te zijn op de gewasreactie van aardappel. De indeling in klassen berust op veldonderzoek van aardappel en werd uitgevoerd in de jaren zeventig van de vorige eeuw. In de jaren zeventig van de vorige eeuw gold een prijsverhouding van 5 (kostprijs kg fosfaat/kostprijs kg aardappelen). Nu gelden hogere prijsverhoudingen. Fosfaatmeststof is duurder geworden en de prijzen van aardappel zijn lager geworden. De methode van bewerking van de meetgegevens in klassen was afgestemd op toen vigerende inzichten van indeling van fosfaattoestanden in klassen (Van der Paauw et.al., 1972; Ris en Van Luit, 1974). Per klasse was een bewerkingresultaat gegeven. Een integrale bewerking van meetgegevens over alle indelingsklassen ontbrak. Dit belemmerde om effecten van wijzigingen in criteria voor indeling in klassen te kwantificeren. Er is daarom besloten om tot een nieuwe bewerking van veldproefgegevens over te gaan. Daarvoor zijn meetgegevens van de veldproeven met aardappel die de grondslag vormden van de huidige geldende indeling van de fosfaattoestand in waarderingsklassen van de verschillende bemestingsadviezen aangevuld met gegevens van veldproeven van recentere datum. Er zijn ook van veldproeven met snijmaïs betrokken bij dit onderzoek. Beide gewassen worden in bemestingsadviezen aangemerkt als fosfaatbehoefte gewassen (gewasgroep 1) en zijn vertegenwoordigers van grote arealen op bouwland. Snijmaïs werd bij het onderzoek betrokken om te onderzoeken of gewassen die qua fosfaatbehoefte gelijklopend worden geclassificeerd ook gelijklopende resultaten qua opbrengstreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting geven.

De gewasreactie werd beschreven met een exponentieel model. De parameters van het model werden geschat volgens de methode van de grootste aannemelijkheid (*maximum likelyhood*). Omdat in het exponentiële model meerdere variantie-termen voorkomen, kunnen de parameters namelijk niet rechtstreeks worden geschat. Daarom werd de procedure REstricted Maximum Likelihood (REML) toegepast waardoor rekening gehouden wordt met meerdere bronnen van variatie in de data. De statistische bewerking bleek succesvol voor aardappel. Bij snijmaïs werd geen resultaat verkregen, dit wil zeggen dat er geen samenhang was tussen opbrengstreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.

Effecten van bemesting en fosfaattoestand op opbrengst zijn beperkt. Het effect van bemesting is geringer dan die van de fosfaattoestand. In het landbouwkundig relevante traject voor fosfaattoestanden (Pw-getal 30 - 60 mg  $P_2O_5 L^{-1}$ ) zijn deze effecten variabel van 5 - 0,5% van de maximaal te bereiken opbrengst. Wijziging van de indeling van fosfaatklassen naar lagere waarden (in het traject van Pw-getal 30 - 60 mg  $P_2O_5 L^{-1}$ ) leidt daardoor niet tot grote dervingen in opbrengst (maximaal 2%). Hierbij moet nog worden aangegeven dat het hier gaat om aardappel, terwijl in veel bouwplannen ook minder fosfaatbehoefte gewassen worden geteeld. Verdeling van de fosfaatgift over het bouwplan draagt verantwoord bij aan beheersing en verlaging van derving van opbrengst.

### Onderzoek milieukundige gevolgen

Bij de berekening van het risico op de fosfaatverliezen is onderscheid gemaakt naar de potentiële verliezen uit de bouwvoor en de actuele verliezen naar het grond- en oppervlaktewater. De mate waarin fosfaat uitspoelt wordt bepaald door de fosfaattoestand van de bodem. De gemiddelde bodemvoorraad is dusdanig groot, circa 4.500 kg  $P_2O_5 ha^{-1}$ , dat een eenmalige bemesting hier nauwelijks effect heeft op de grootte van de bodemvoorraad en dus ook op de uitspoeling van fosfaat. In de berekeningen is onderscheid gemaakt naar het risico op potentiële uitspoeling en het risico op actuele uitspoeling.

#### Potentiële verliezen, uitspoeling uit de bouwvoor

In de bodem komt het fosfaat voor in de vaste fase en in oplossing. De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing bepaalt het risico op fosfaatuitspoeling. Op basis van deze gegevens werd door Chardon en Van Faassen (1999) is een statistische relatie berekend tussen de fosfaatconcentratie in het bodemvocht en het Pw-getal.

Het potentiële verlies is afhankelijk van de fosfaattoestand (Pw-getal) en wordt bij fosfaattoestanden van 20, 40 en 60 mg  $P_2O_5 L^{-1}$  op basis van bovenstaande statistische relatie geschat op respectievelijk 1,1 kg ortho-P (of 1,6 kg totaal-P), 3,1 kg ortho-P (of 3,9 kg totaal-P) en 5,6 kg ortho-P (of 6,6 kg

totaal-P) per ha per jaar. Voor herleiding naar kg fosfaat worden deze waarden met een factor 2,29 vermenigvuldigd.

#### *Actuele verliezen, uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater*

Voor de berekening van de actuele verliezen, de uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater, is gebruik gemaakt van het PLEASE-model (Van der Salm et al., 2011; Schoumans et al., 2012). In dit model is naast informatie over de fosfaattoestand van de bouwvoor in de vorm van Pw-getal nog informatie nodig over de hydrologie en de fosfaattoestand (Pw-getal) van de ondergrond. Uit de fosfaattoestand (Pw-getal) van de bouwvoor en de ondergrond kan de fosfaatconcentratie (ortho-P) in het bodemvocht worden berekend. De concentraties van totaal-P worden in het model uit de ortho-P concentraties berekend met een empirische formule (Chardon et al., 2007). Door het verloop van de fosfaatconcentraties met de diepte in het bodemprofiel en het verloop van de (laterale) uitspoelingsfluxen met de diepte met elkaar te vermenigvuldigen kan uiteindelijk de fosfaatbelasting van zowel totaal-P als ortho-P naar het grond- en oppervlaktewater worden bepaald. Het model berekent ook de fluxgewogen concentraties van totaal-P en ortho-P. De fluxgewogen concentratie wordt berekend door de fosforflux te delen door de waterflux.

De verdeling van fosfaat tussen bouwvoor en ondergrond verschilt tussen de sectoren. Bij bloembollen, boomkwekerij en fruit is eerder sprake van een verrijking van ondergrond dan bij akkerbouw en vollegrondsgroenten. Bij vollegrondsgroenten komen situaties voor waarbij de ondergrond sterker verrijkt is dan bij andere sectoren.

Naarmate de bodem natter is, neemt het risico op verhoogde fosfaatconcentraties in uitspoelend bodemvocht toe. De ernst van dit risico is afhankelijk van de grondsoort en de fosfaattoestand van de ondergrond. Naar mate de fosfaattoestand van de bouwvoor en die van de ondergrond overeenkomen, neemt het risico toe, dat de fosforconcentratie van het uitspoelend bodemvocht hoger is dan de natuurlijke achtergrondswaarde van de bodem. Dit risico is beperkt bij bodems met fosfaattoestanden van 10 - 30 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> en bij fosfaattoestanden in de ondergrond die meer dan de helft lager zijn dan die van de bouwvoor. Op natte gronden kunnen echter ook bij een lage fosfaattoestand in de ondergrond problemen verwacht worden indien de Pw waarden in de bouwvoor boven een waarde van 30-50 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> ligt. Op matig droge gronden ligt deze grens bij Pw-getallen tussen 50 en 90 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>.

Het areaal openteelten in 2011 wordt door het CBS voorlopig geraamd op 624.825 ha en het areaal snijmaïs op 227.814 ha. Geraamd wordt dat hier 2,6 miljoen kg P (5,9 kg  $P_2O_5$ ) uitspoelt; per 10 eenheden stijging van het Pw-getal neemt de uitspoeling met één miljoen kg P toe (2,6 miljoen kg  $P_2O_5$ ).

Fosfaatverliezen uit de bouwvoor kunnen op drogere gronden in de ondiepe ondergrond worden gebufferd en vormen op korte termijn geen bedreiging voor de kwaliteit van grond- en of oppervlaktewater. Op nattere gronden kan de huidige fosfaatophoping al leiden tot verliezen naar het grond- en oppervlaktewater. De retentie in het oppervlaktewater kan hierbij betrokken worden.

Deze milieukundige effecten worden in samenhang gebracht met de gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen door de landbouwkundige effecten, de effecten op de plaatsingsruimte van mest en beloop van de fosfaattoestand op langere termijn te beschouwen.

## **Conclusies**

### **Landbouwkundige gevolgen wijziging criteria waarderingsklasse**

Wijziging van de huidige wettelijke fosfaatklassen naar een lagere fosfaattoestand Pw-getal) van 39 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> bij nu geldende prijzen voor kunstmestfosfaat en opbrengst (aardappel) bij een prijsverhouding van 8,3 hoeft niet te leiden tot een financieel lagere opbrengst. De stijging van de prijzen voor kunstmestfosfaat doet bemesting minder renderen.

---

Als de prijs van de fosfaatkunstmest niet betrokken wordt bij de afweging maar uitsluitend het effect van fosfaatbemestingsgift en fosfaattoestand betrokken wordt op de fysieke opbrengst, dan zijn de gevolgen eveneens beperkt. Naar mate de fosfaattoestand hoger wordt, wordt de reactie van het gewas op fosfaattoestand of fosfaatbemesting geringer. Terugval van de fosfaattoestand (Pw-getal) van 55 naar 35 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> bij een fosfaatgift van 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> reduceert de opbrengst met 1% van de maximaal te behalen opbrengst. Bij een fosfaatgift van 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> is dat 0,8%.

De landbouwkundige gevolgen zijn daarmee beperkt, te meer daar het bemestingsplan erop gericht is om fosfaatbemesting aan de meest fosfaatbehoefte gewassen te geven en gewassen van de gewasgroepen 2, 3 en 4 in toenemende mate steeds minder op fosfaatbemesting en -fosfaattoestand reageren. Door bouwplan bemesting uit te voeren kan derving van opbrengst verder beperkt en beheerst worden.

### **Milieukundige gevolgen wijziging criteria waarderingsklasse**

Een criterium voor de fosfaattoestand die stuurt op maximaal toelaatbaar geachte fosforuitspoeling hangt af of de grondslag gevormd wordt door het beheersen van risico op actuele verliezen naar grond- en oppervlaktewater dan wel van het risico op potentieel toelaatbaar geachte verliezen uit de bouwvoor. Bij de bepaling van het risico op actuele verliezen van uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater moeten bodemkenmerken, de oplading van de ondergrond en de grondwatertrap in acht genomen worden. Dat leidt tot meer differentiatie bij indeling van waarderingsklassen voor fosfaat in de bodem. Gegevens voor dalgrond en zeeklei bieden nog geen mogelijkheid voor differentiatie. Voor dekzand zijn de gevolgen beperkt als de klasse Hoog de grenswaarde van 50 krijgt (natte zandgrond). In andere grondsoorten (duinzand en rivierklei) kan de opbrengstderving oplopen tot 2,5% als de grenswaarden voor de fosfaattoestand niet mogen leiden tot een hogere fosforconcentratie bij uitspoeling van 0,15 mg totaal-P L<sup>-1</sup>. Bij de potentiële fosfaatspoeling kan de opbrengstderving oplopen tot 5% als de fosfaattoestand niet mag leiden tot overschrijding van de concentratie van 0,15 mg totaal-P L<sup>-1</sup>.

Bij de bepaling van het risico op het potentiële verlies van fosfaat uit de bouwvoor is de fosfaattoestand een bruikbare indicator.

### **Plaatsingsruimte**

Het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen waarbij de fosfaattoestand van de bodem wordt betrokken, werd in 2010 ingevoerd. Recente overzichten van de fosfaattoestand van de bodem wijzen uit dat 8% in de waarderingsklasse *Laag* vallen. In de klasse *Hoog* valt 74%, maar dit is vermoedelijk het gevolg van het gegeven dat de landbouwpraktijk geen grondonderzoek op fosfaat heeft laten uitvoeren voor een verhoogde fosfaatgebruiksnorm. Resultaten van onderzoek uit 2003 (Schoumans, 2007) wijzen uit dat meer dan de helft van de bodems op bouwland een waardering van de fosfaattoestand van de bodem van *Vrij Hoog* en *Hoog* hadden.

De plaatsingsruimte van mest is afhankelijk van deze fosfaattoestand (en fosfaatgebruiksnorm). Het ontbreken van een actueel beeld van de fosfaattoestand van de Nederlandse bodem (open teelten) belemmert de mogelijkheden om de effecten van wijziging van fosfaatklassegrenzen concreet te kwantificeren naar de effecten voor de plaatsingsruimte. Omdat echter meer dan de helft van de grondmonsters in de waarderings-klassen *Vrij Hoog* en *Hoog* vallen, heeft naar rede een verlaging van de fosfaatklassegrens van 55 naar 50 nauwelijks tot geen effect. Eveneens is de verwachting dat een verschuiving van de fosfaatklassegrens van 36 naar een lagere waarde slechts een beperkt effect op de plaatsingsruimte zal uitoefenen. Gegevens van Schoumans (2007) wijzen eerder op een verlaging van de procentuele verdeling over de klassen *Zeer Laag*, *Laag* en *Voldoende*.

Een verlaging van de fosfaatklassegrens van 55 naar een waarde in de bemestingsadviesklasse Ruim voldoende (31-45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) zal resulteren in een verlaging van de afzetruimte. Als aangenomen wordt dat de verdeling van de fosfaattoestand van open teelten sinds 2003 niet wezenlijk is veranderd en dat de klasse-grens van 55 naar 36 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> wordt verlaagd, dan wordt geraamd dat hiermee ca. 1 kton fosfaat minder geplaatst kan worden. Zeer grote effecten op veranderingen van de criteria voor fosfaatklassen worden daarom niet verwacht.

## Ontwikkeling van de fosfaattoestand

De gevolgen voor de ontwikkeling van de fosfaattoestand zijn afhankelijk van het fosfaatoverschot dat acceptabel geacht wordt. Een statistische analyse van veeljarige veldproeven op bouwland biedt een mogelijkheid om het effect van een fosfaatoverschot te schatten (Ehlert et.al., 1996). Een fosfaatgebruiksnorm van 70 à 75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> leidt op termijn tot een fosfaattoestand van circa 20 à 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>.

## Opties voor aanpassing van criteria voor de fosfaattoestand van de bodem

In het kader van het vijfde actieprogramma Nitraatrichtlijn kan de grens voor de fosfaattoestand van de bodem tussen de klasse *Laag* en *Neutraal* op een ander - lager - niveau worden vastgesteld. Er zijn verschillende opties te geven waarmee andere grenswaarden voor de fosfaattoestand van de bodem van waarderingsklassen kunnen worden afgeleid. Die indeling kan uitgevoerd worden op landbouwkundige grondslag, een milieukundige grondslag of een combinatie daarvan. Deze studie heeft geleid tot een aantal scenario's waarmee deze klasse-indeling op bouwland kan worden vastgesteld:

- Op basis van rendement van bemesting,
- Fysieke opbrengstderving,
- Evenwichtsbemesting,
- Bemesting afgestemd op beheersing van milieu-effecten.

Deze studie heeft uitgewezen dat de duiding van klassegrenzen *Laag* t/m *Hoog* bij bemestingsadvies gebaseerd is op één referentiegewas, namelijk aardappel. De gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting vormt daarmee de maatlat voor de waardering van de fosfaattoestand. Bij het vaststellen van opties voor klassegrenzen wordt deze maatlat gehandhaafd. Vastgesteld is dat het opbrengstverhogend effect van de fosfaattoestand zich nadrukkelijker doet gelden dan het effect van de bemestingsgift met fosfaat.

Resultaten van verschillende scenarioberekeningen worden hier gegeven voor beoogde fosfaatgebruiksnormen voor 2015 op bouwland, dit zijn de klassen *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*, respectievelijk 75, 60 en 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Verandering van de fosfaatgiften naar waarden voor jaren 2013 en 2014 hebben op de hoogte van de fosfaattoestand een klein verhogend effect (2 à 3 Pw-getal-eenheden). Bij het scenario op basis van fysieke opbrengstderving worden percentages van 5%, 2% en 1% aangehouden. Bij het scenario met evenwichtsbemesting worden fosfaatgiften aangehouden van 30, 55 en 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en dervingen van opbrengst van 5%, 2% en 1%. Tenslotte wordt een optie gegeven voor klassegrens *Hoog* voor beheersing van actuele fosfaatuitspoeling. De tabelnummers zijn identiek aan die in hoofdstuk 8 waar achtergronden uitvoeriger worden besproken.

## Optie rendement

Differentiatie van beoogde fosfaatgebruiksnormen op basis van economisch rendement brengt weinig onderscheid aan (tabel 48). De huidige klasse-indeling (< 36, 36-55 en > 55) wordt - ook na herijking - in grote lijnen bevestigd. Doordat het effect van fosfaatbemesting zo beperkt is, is het bereik in fosfaattoestanden smal mede omdat bemesting tegenwoordig minder rendeert dan in de periode dat het bemestingsadvies werd opgesteld (jaren zeventig). Een optie is dan om het bereik te omsluiten van de klassen *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*. Tabel 48 geeft dit als een optie (waarden zijn afgerond). Een verdere detaillering van deze optie betreft het betrekken van gewasreacties op fosfaattoestand en fosfaatbemesting van andere landbouwgewassen. Gewassen van gewasgroep 0 zullen een sterkere respons geven op fosfaattoestand en fosfaatbemesting terwijl gewassen van gewasgroepen 2 en 3 een zwakkere reactie<sup>1</sup> geven, terwijl gewasgroep 4 nauwelijks op fosfaatbemesting of fosfaattoestand

<sup>1</sup> Grasland was in 2011 qua areaal het belangrijkste landbouwgewas (988.262 ha). Snijmaïs met 258.000 ha is het volgende grote areaal (227.800 ha). Akkerbouw omvat een reeks van gewassen die in 2011 535042 ha cultuurland in gebruik namen. Vollegrondsgroenteteelt besloeg 88.552 ha. Van deze gewassen is een beperkt areaal aan te merken aan gewassen die op fosfaatbemesting reageren. Op basis van de indeling van gewassen volgens de Bemestingsadviesbasis voor Akkerbouw- en Vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk en Van Geel, 2012) is zo'n 293.000 ha niet als fosfaatbehoefstig aan te merken (gewasgroepen 2, 3 en 4). Circa 238.000 ha werd in 2011 beteeld met gewassen die op fosfaatbemesting reageren (gewasgroep 0 met 51.000 ha en gewasgroep 1 met 187.000 ha). Gewasgroep 1 domineert

reageert. Gewassen van gewasgroep 0 hebben in het Pw-getal-traject 40-60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> een met gewasgroep 1 vergelijkbare bemestingsbehoefte (= dezelfde adviesgiften). Als klassegrenzen naar areaal landbouwgewas en renderende fosfaatbemesting gewogen worden, zullen daarom gewassen van gewasgroepen 2, 3 en 4 de grenswaarden verlagen. Een verkenning op basis van areaal (zie voetnoot) gewasgroep en huidig bemestingsadvies geeft aan dat bij fosfaatgebruiksnormen de fosfaattoestanden (Pw-getal) dan bij fosfaatgiften van 75, 60 en 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> dan respectievelijk 35, 40 en 43 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> bedragen.

**Tabel 48**

*Optie voor klasse-indeling op basis van economisch rendement op basis van het huidige bemestingsadvies bij een prijsverhouding van 5 en op basis van herkalibratie bij een prijsverhouding van 8,3. Fosfaat wordt breedwerpig toegediend.*

| Klasse          | Fosfaatgift, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand, Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |               | Optie voor klassegrenzen |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|
|                 |                                                                | Bemestingsadvies                                                            | Herkalibratie |                          |
| <i>Laag</i>     | 75                                                             | 43                                                                          | 41            | < 40                     |
| <i>Neutraal</i> | 60                                                             | 48                                                                          | 42            | 40 - 50                  |
| <i>Hoog</i>     | 50                                                             | 51                                                                          | 42            | >50                      |

### Optie fysieke opbrengst

Als de prijsverhouding niet meegewogen wordt en klassegrenzen op basis van fysieke opbrengstdervingen worden vastgesteld waarbij aardappel het referentiegewas is, dan leidt dit tot een grotere differentiatie in fosfaattoestanden. De corrigerende invloed van de kostprijs van bemesting en financiële meeropbrengst door bemesting ontbreekt dan. Tabel 49 geeft indicatieve waarden voor een optie waarbij klassegrenzen voor *Laag* afgestemd zijn op 5% opbrengstderving en 1% opbrengstderving als ondergrens voor *Hoog*. Deze fysieke opbrengstderving geldt voor aardappel. Er is geen rekening gehouden met het bouwplan. De focus ligt daardoor bij gewassen die op fosfaatbemesting reageren. Dit zijn vaak wel de renderende gewassen.

**Tabel 49**

*Optie voor klasse-indeling op basis van fysieke opbrengst. Fosfaat wordt breedwerpig toegediend.*

| Klasse          | Fosfaatgift, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand, Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |      |      | Optie voor klassegrenzen |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------|------|--------------------------|
|                 |                                                                | 95 %                                                                        | 98 % | 99 % |                          |
| <i>Laag</i>     | 75                                                             | 17                                                                          | 41   | 60   | < 20                     |
| <i>Neutraal</i> | 60                                                             | 19                                                                          | 43   | 62   | 20 - 60                  |
| <i>Hoog</i>     | 50                                                             | 21                                                                          | 44   | 64   | >60                      |

### Optie evenwichtsbemesting

Evenwichtsbemesting vormt in andere Europese landen vaak een grondslag voor indeling van fosfaattoestanden in waarderingsklassen in samenhang met criteria voor een acceptabele fysieke opbrengst. Een coëfficiënt voor de mate waarin fosfaatafvoer met oogstproducten gecompenseerd wordt, wordt daarbij gehanteerd. Deze coëfficiënten verschillen enigszins maar waarden van 1,5 maal de fosfaatafvoer bij suboptimale fosfaatvoorziening in de bodem en 0,5 bij hoge fosfaatvoorziening in de bodem worden in internationaal verband breder gedragen. Deze waarden zijn toegepast bij de optie evenwichtsbemesting. Fosfaatgebruiksnormen die afgestemd zijn op evenwichtsbemesting waarbij voor klasse *Laag* 1,5 maal de evenwichtsbemestingsgift gegeven mag worden en bij klasse *Hoog* 0,5 maal deze gift, leveren bij fysieke opbrengstdervingen een vergelijkbaar beeld (tabel 50).

(Ehlert et.al., 2013). Dit is 17% van het areaal met landbouwgewassen reageren sterker op fosfaattoestand en fosfaatbemesting, 55% reageert zwakker of niet op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.

Tabel 50

Optie voor klasse-indeling op basis van evenwichtsbemesting. Fosfaat wordt breedwerpig toegediend.

| Klasse   | Fosfaatgift,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand,<br>Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |     |     | Optie voor klassegrenzen |
|----------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------|
|          |                                                                   | 95%                                                                            | 98% | 99% |                          |
| Laag     | 80                                                                | 16                                                                             | 40  | 60  | < 20                     |
| Neutraal | 55                                                                | 20                                                                             | 44  | 63  | 20 - 65                  |
| Hoog     | 30                                                                | 24                                                                             | 48  | 67  | > 65                     |

### Optie beheersing fosfaatuitspoeling

Een indeling van fosfaattoestanden waarbij het risico op fosfaatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater beheerst wordt, vraagt onderscheid naar grondsoort en Gt-klasse. Naarmate de grondwaterstand ondieper is, zal om fosfaatuitspoeling te beheersen de fosfaattoestand lager moeten zijn (tabel 51 voor meest voorkomende verhouding van de fosfaattoestand in de bouwvoor en in de ondergrond van 0,5). Ophoping van fosfaat boven gegeven waarden in tabel 51 geeft een verhoogd risico op uitspoeling. Juist omdat bodemkenmerken verschillen leidt dit tot onderscheidenlijke klassegrenzen. De belangrijkste arealen worden gevormd door dekzand en zeeklei. De berekeningsresultaten bij dekzand zijn betrouwbaarder dan die bij overige grondsoorten. Afbakening van de fosfaattoestand bij een Pw-getal van 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> is een eerste stap om in generieke zin fosfaatuitspoeling te beheersen.

Tabel 51

Optie voor klassegrens Hoog voor beheersing van fosfaatuitspoeling.

| Grondsoort | Gt-klasse |             |       |
|------------|-----------|-------------|-------|
|            | Nat       | Matig droog | Droog |
| Dekzand    | 50        | 70          | 80    |
| Dalgrond   | 30        | 40          | 50    |
| Duingrond  | 10        | 20          | 10    |
| Löss       | (1)       | (1)         | 50    |
| Rivierklei | 20        | 30          | 60    |
| Zeeklei    | 10        | 10          | 20    |

(1) Geen praktijksituatie.

### Aanbevelingen

- Fosfaat is een noodzakelijk nutriënt voor landbouwgewassen. Fosfaattoestand blijkt meer dan fosfaatgift de opbrengst van landbouwgewassen te sturen. Sturing op de fosfaattoestand verdient aandacht. Aanbevolen wordt om aan de fosfaattoestand een groter belang te hechten dan aan de fosfaatgift.
- Fosfaat wordt - mondiaal - een schaarse grondstof. Diverse initiatieven worden ondernomen om fossiele voorraden fosfaat zo veel mogelijk te sparen ten gunste van het gebruik van herwonnen fosfaten uit afval- en reststoffen. Het streven om fosfaat verantwoord in te zetten betekent dat evenwichtsbemesting op termijn de enige vorm van duurzaam gebruik van fosfaat wordt. Aanbevolen wordt om criteria voor waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem af te stemmen op de afvoer van fosfaat met oogstproducten van landbouwgewassen in samenhang met een acceptabel geachte opbrengst.
- Hoe evenwichtsbemesting in de diverse sectoren van landbouw op bouwland vorm gegeven kan worden, is nog niet duidelijk. Aanpassing van het bouwplan, het bemestingplan vooral daar waar grote waarde gehecht wordt aan het gebruik van vaste organische meststoffen maar ook aan enige risico-beheersing van kwaliteitsverlies (boomteelt, buitenbloemen, fruit) vraagt aandacht. De veelheid van gebruiksvormen van bouwland en de daardoor aanwezige verschillen in afvoer van fosfaat met oogstproducten van landbouwgewassen vragen een verdere differentiatie van criteria voor waardering van de fosfaattoestand van de bodem afgestemd op fosfaatafvoer. Aanbevolen wordt om naar fosfaat-toestand gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen per sector of per landgebruiksvorm onderscheidenlijk criteria voor fosfaattoestanden van de bodem te betrekken.
- Fosfaatbelasting van de bodem kan dus danig hoog zijn dat dit leidt tot uitspoeling uit de bouwvoor naar grond- en oppervlaktewater. De mate van uitspoeling wordt bepaald door bodemsoort, hydrologie en Gt. Aanbevolen wordt om het criterium (of op termijn criteria) voor waarderingsklasse voor de fosfaattoestand Hoog af te stemmen op een beheersing van deze mate van uitspoeling van fosfaat.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergronden en aanleiding

Bescherming van de bodemkwaliteit en van aquatisch en andere ecosystemen heeft geleid tot maatregelen om het gebruik van dierlijke mest en kunstmest te reguleren. In essentie was en is de Nederlandse veestapel zo omvangrijk dat meer plantenvoedingsstoffen als stikstof en fosfaat in Nederland achterblijven dan past bij een verantwoord beheer van de bodemvruchtbaarheid. Deze plantenvoedingsstoffen (nutriënten) zijn voor een aanzienlijk deel afkomstig van veevoeder(grond)-stoffen die geïmporteerd worden. Dierlijke producten (vee, vlees, zuivelproducten, eieren en eiprodukten) worden geëxporteerd, de mest blijft grotendeels in Nederland achter en creëert een mestoverschot. De regulering van dit mestoverschot startte in Nederland in 1987 en kent nu een vijftientwintigjarige ontwikkeling.

De huidige regulering<sup>2</sup> berust op afspraken die de Nederlandse overheid met de Europese Commissie gemaakt heeft in het kader van de actieprogramma's van de richtlijn nr. 91/676/EEG<sup>3</sup> van de Raad van de Europese Gemeenschappen van 12 december 1991 inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen (Nitraatrichtlijn). Daarnaast gelden afspraken over het gebruik van fosfaathoudende meststoffen gemaakt in het kader van de richtlijn nr. 2000/60/EG<sup>4</sup> van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid (Kaderrichtlijn water).

In het kader van de Nitraatrichtlijn worden actieprogramma's opgesteld. Deze actieplannen dienen om de in de Nitraatrichtlijn gestelde milieudoelen te bereiken. Een actieprogramma wordt overeengekomen met de EC. Actieplannen worden om de vier jaar herzien. Onder voorwaarden kan de EC toestaan om meer dierlijke mest te gebruiken dan in beginsel de Nitraatrichtlijn toestaat (derogatiebeschikking). De actieprogramma's scheppen kaders voor het gebruik van dierlijke mest. Hoewel de Nitraatrichtlijn dient om nitraatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater te beheersen, zijn met de Europese Commissie ook afspraken gemaakt over het gebruik van fosfaat. Bij afspraken over de stikstofgebruiksnorm in het kader van de actieprogramma's heeft de EC namelijk de eis gesteld dat Nederland een adequaat fosfaatbeleid voert. Deze eis is gebaseerd op aanpalende EU verordeningen aangaande afval en drinkwater<sup>5</sup> om nadelige gevolgen voor het milieu door de fosfaatcomponent in dierlijke meststoffen te voorkomen<sup>6</sup>. Een verhoogd gebruik van dierlijke mest mag niet leiden tot een milieuprobleem met fosfaat.

Het gebruik van fosfaat van dierlijke mest werd al sinds 1987 gereguleerd met de toen geldende Wet Bodembescherming en Meststoffenwet. Aanvankelijk diende fosfaat van dierlijke mest om het stikstofoverschot te reguleren: door plafonds te stellen aan het gebruik van fosfaat van dierlijke mest werden ook plafonds gesteld aan het gebruik van stikstof. Fosfaat van kunstmest behoorde niet tot de werkingssfeer van de Meststoffenwet. In 1998 werden een mineralenboekhouding (MINAS) ingevoerd waardoor grenzen aan het gebruik van stikstof en fosfaat werden gesteld. Deze mineralenboekhouding werd in 2006 vervangen door gebruiksnormen voor stikstof

---

<sup>2</sup> Dagtekening 9 juli 2012.

<sup>3</sup> PbEG L 375.

<sup>4</sup> PbEG L 327.

<sup>5</sup> Richtlijn nr. 75/440/EEG van de Raad van 16 juni 1975 betreffende de vereiste kwaliteit van het oppervlaktewater dat is bestemd voor productie van drinkwater in de Lid-Staten (PbEG L 194); Richtlijn nr. 75/422/EEG van de Raad van 15 juli 1975 betreffende afvalstoffen (PbEG L 194); beschikking nr. 2000/532/EG van de Commissie van 3 mei 2000; PbEG L 226.

<sup>6</sup> Memorie van Toelichting wijziging Meststoffenwet, 29 930, nr. 3.

en fosfaat (voor achtergronden zie memorie van toelichting voor aanpassing van de Meststoffenwet). De fosfaatgebruiksnorm bepaalt de maximale hoeveelheid fosfaat uit dierlijke mest, kunstmest en alle andere fosfaathoudende mestsoorten die per kalenderjaar per hectare gebruikt mag worden. Een belangrijke wijziging ten opzichte van MINAS is dat fosfaat uit kunstmest vanaf 2006 wel meetelt. Invoering van fosfaatgebruiksnormen is een gevolg van afspraken met de EC in het kader van het derde actieprogramma. Bij invoering van het gebruiksnormenstelsel (Memorie van toelichting, Kamerstukken II 2004/05, 29 930, nr. 3) werd een traject van aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen voorzien, gericht op een verdere daling van de fosfaatbemesting en het bereiken van evenwichtsbemesting in 2015 om milieudoelstellingen te bereiken. In 2015 zou de fosfaatgift gelijk moeten zijn aan de fosfaatonttrekking door het gewas, vermeerderd met het onvermijdbare fosfaatverlies naar het milieu van maximaal 5 kilogram fosfaat per hectare per jaar<sup>7</sup>. Met betrekking tot de wijze waarop de evenwichtsbemesting voor fosfaat in 2015 gerealiseerd zou kunnen worden, is met de Europese Commissie in het kader van het derde actieprogramma Nitraatrichtlijn overeengekomen dat de fosfaatgebruiksnormen gedifferentieerd zouden kunnen worden als dit vanuit landbouwkundig oogpunt of ter realisatie van de gewenste milieudoelen noodzakelijk mocht blijken. De evaluatie van de Meststoffenwet in 2007<sup>8</sup> wees uit dat de fosforconcentratie in oppervlaktewater in de periode 1985-2005 gehalveerd was maar met een gemiddelde van 0,37 mg P L<sup>-1</sup> nog boven het maximaal toelaatbare risico (MTR) uit de vierde Nota op de Waterhuishouding voor fosfor lag (0,15 mg L<sup>-1</sup>). Geconstateerd werd dat de fosfaattoestand van de bodem bleef stijgen omdat er geen sprake was van evenwicht tussen fosfaatgift en gewasopname. Vastgesteld werd dat 32% van het grasland een *Ruim Voldoende* fosfaattoestand (P-Al-getal tussen 27-50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup>) en 22% een hoge fosfaattoestand (afhankelijk van de grondsoort P-Al-getal > 40 tot 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup>). Circa 17% van de percelen met maïsland bevonden zich in de categorie *Vrij Hoog* (Pw-getal 46 tot 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) en ruim 42% in de waarderingsklasse *Hoog* (Pw-getal > 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>). Voor bouwland waren deze percentages voor deze waarderingsklassen respectievelijk circa 21% en 30%. Deze cijfers wijzen uit dat op circa 35% van het areaal geen fosfaatbemesting volgens het vigerende bemestingsadvies nodig was en op circa 30% van het areaal kon een fosfaatgift volstaan die lager was dan de afvoer met het gewas (Memorie van Toelichting bij wijziging Meststoffenwet, 31 945).

Naar aanleiding van de evaluatie van de Meststoffenwet heeft de toenmalige Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, mede namens de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat, de Technische Commissie Bodembescherming (TCB<sup>9</sup>) gevraagd advies uit te brengen over de uit bovenvermelde evaluatie gebleken inzichten over landbouwkundige en milieukundige aspecten. Tevens werd de TCB gevraagd advies uit te brengen over de relatie tussen fosfaatverzadiging en uitspoeling naar het oppervlaktewater en over de mogelijkheden om de fosfaatgebruiksnormen af te stemmen op de fosfaattoestand van de bodem. In haar advies<sup>10</sup> stelde de TCB voor om de uitgangspunten van de huidige fosfaatbemestingsadviezen te gebruiken als basis voor gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen omdat zij rekening houden met de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem en de fosfaatbehoefte van en de fosfaatafvoer via het gewas. De TCB stelde een functionele driedeling van Nederlandse landbouwbodems voor op basis van de waarderingsklassen *Laag*, *Voldoende* en *Hoog* conform vigerende bemestingsadviezen. Bij een waardering *Laag* zou de fosfaatgift hoger kunnen zijn dan de afvoer, bij een waardering *Voldoende* zou bemest kunnen worden op basis van evenwichtsbemesting en bij een waardering *Hoog* zou minder dan de afvoer gegeven kunnen worden of bemesting met fosfaat zou zelfs volledig achterwege gelaten kunnen worden.

<sup>7</sup> Memorie van Toelichting bij wijziging Meststoffenwet: 31 945 (differentiatie Fosfaatgebruiksnorm).

<sup>8</sup> MNP, Prognose milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid; Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007, rapport nr. 500124002.

RIVM, Milieukwaliteit en nutriëntenbelasting; Achtergrondrapport milieukwaliteit van de Evaluatie Meststoffenwet 2007, RIVM rapport 680130001/2007.

Alterra, Nutriëntenbelasting van het landsysteem op het oppervlaktewater in relatie tot de oppervlaktewaterkwaliteit in vier stroomgebieden, Alterra-rapport 1477.

Alterra, Trends in de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998–2003, Alterra-rapport 1537.

<sup>9</sup> Thans de Technische Commissie Bodem.

<sup>10</sup> Technische Commissie Bodembescherming, Advies fosfaatverzadiging in landbouwbodems, S35(2007), 17 juli 2007.

Naar aanleiding van de evaluatie van de werking van de Meststoffenwet en het door de TCB uitgebrachte advies werd vast gesteld dat een generieke fosfaatgebruiksnorm niet toereikend was om de bodem afdoende te beschermen tegen ophoping van fosfaat en daardoor verdere fosfaatverzadiging niet werd voorkomen. Om te kunnen voldoen aan een goede toestand of om een goed ecologisch potentieel overeenkomstig bijlage V bij de Kaderrichtlijn water te kunnen realiseren, was gelet op de omvang van de fosfaatproblematiek een beperking van het gebruik van fosfaat nodig. Die beperking is vorm gegeven met een stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen. De differentiatie is gebaseerd op de fosfaattoestand van de bodem. Het advies van de TCB om drie klassen te onderscheiden, is opgevolgd: er werd tot invoering van de klassen *Laag*, *Neutraal* en *Hoog* besloten. Tabellen 1 en 2 geven de klassen met de indelingscriteria en het areaal landbouwgrond.

**Tabel 1**

*Fosfaatklassen bouwland op zand, löss, klei en veen (inclusief maïsland) en hun percentage van het areaal binnen de fosfaatklaas<sup>11</sup>.*

| Fosfaatklaas    | Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Percentage bouwland binnen fosfaatklaas |
|-----------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Laag</i>     | < 36                                                       | circa 29%                               |
| <i>Neutraal</i> | 36 – 55                                                    | circa 31%                               |
| <i>Hoog</i>     | > 55                                                       | circa 40%                               |

**Tabel 2**

*Fosfaatklassen grasland op zand, löss, klei en veen.*

| Fosfaatklaas    | P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | Percentage grasland binnen fosfaatklaas |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Laag</i>     | < 27                                                               | circa 20%                               |
| <i>Neutraal</i> | 27–50                                                              | circa 57%                               |
| <i>Hoog</i>     | > 50                                                               | circa 23%                               |

De indelingscriteria volgen niet exact de indeling van de vigerende adviesbases voor bemesting. Er werd een vereenvoudiging aangebracht om de regelgeving niet te complex te maken en de handhavingslasten en uitvoeringslasten beheersbaar te maken. Grondsoort werd niet onderscheiden. Bij de keuze van de indelingscriteria werd gekozen voor hogere waarden ten opzichte van de indeling van waarderingsklassen van vigerende bemestingsadviezen om ondernemers gelegenheid te geven om zich aan te passen aan het nieuwe stelsel van fosfaatgebruiksnormen en om het fosfaatoverschot niet te groot te doen worden. Een overmatige druk op de mestmarkt werd daardoor voorkomen. Dit berust op een afweging gemaakt tussen te behalen milieuwinst en inpasbaarheid bij bedrijfsvoering. Het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen heeft vorm gekregen bij invulling van het vierde actieprogramma voor de Nitraatrichtlijn.

De memorie van toelichting bij het voorstel voor wetwijziging tot invoering van de fosfaatgebruiksnormen meldt dat met de EC afgesproken is om ‘*de fosfaatklassenindeling in het voor de periode van 2014-2017 op te stellen vijfde actieprogramma opnieuw tegen het licht te houden. Afhankelijk van de dan beschikbare kennis over de belasting van het oppervlaktewater door uit- en afspoeling van fosfaat van landbouwgronden en van de bemestingsadviezen zoals deze voortvloeien uit de dan geldende wetenschappelijke inzichten, zal de regering een wetsvoorstel in procedure brengen dat voorziet in de aanpassing van de fosfaatklassenindeling*’.

<sup>11</sup> Bron: Tabellen 1 en 2 van de memorie van toelichting bij de wijziging van de Meststoffenwet, 31 945 (differentiatie Fosfaatgebruiksnorm).

---

## 1.2 Deze studie

Deze studie dient de onderbouwing van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen in het kader van het vijfde actieplan voor de Nitraatrichtlijn. De studie richt zich op alle open teelten met uitzondering van die voor grasland en voedergewassen. De indelingscriteria voor grasland en voedergewassen worden in een afzonderlijke studie behandeld.

Deze studie richt zich op de indeling en onderbouwing van de fosfaattoestand in klassen. De hoogte van de fosfaatgebruiksnorm hoort niet tot het object van deze studie.

Methoden voor grondonderzoek voor bemestingsadvisering zijn aan verandering onderhevig. In Nederland worden op dit moment op routine-basis voor de bepaling van de fosfaattoestand tenminste negen methoden van chemisch grondonderzoek voorbemestingsadvisering en/of ten behoeve van milieuhygiënisch onderzoek toegepast. Deze methoden zijn:

1. P-totaal
2. P-Al-getal
3. Pw-getal
4. P-CaCl<sub>2</sub> (bij BlggAgroXpertus PPAE genoemd)
5. P-Olsen
6. P-Spurway
7. P-Kinsey (Van Clingel)
8. P-Koch
9. Fosfaatverzadingsgraad op basis van ammoniumoxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat

Deze studie gaat uit van de huidige reguliere methoden voor grondonderzoek die met publicaties uit het publieke domein verantwoord zijn: Pw-getal en P-Al-getal. De Rijksoverheid heeft toegestaan om Pw-getal uit P-CaCl<sub>2</sub> en P-Al-getal te berekenen<sup>12</sup>. De berekening van het Pw-getal uit resultaten verkregen uit andere methoden van chemisch grondonderzoek behoort niet tot het studieobject van dit rapport.

Naast vigerende bemestingsadviezen voor grasland en voedergewassen (snijmaïs, voederbiet etc.) zijn er bemestingsadviezen<sup>13</sup> voor akkerbouw (inclusief akkerbouwmatige teelten van maïs), vollegrondsgroenten, bloembollen, boomkwekerijgewassen, buitenbloemen en fruit. Qua areaal verschillen de sectoren onderling sterk: grasland en akkerbouw bepalen het grootste aandeel van cultuurland, boomkwekerij, fruit en vollegrondsgroenten hebben de kleinste arealen (tabel 3). Als evenwel de brutoproductiewaarde van een sector beschouwd wordt, dan zijn boomkwekerijen (inclusief vaste planten en buitenbloemen), vollegrondsgroente, fruit (pit- en steenvruchten en overig fruit) en bloembollen belangrijke sectoren (tabel 3). Omgerekend is de brutoproductiewaarde per ha dan veruit het grootste (data niet gegeven). Juist vanwege dat economische belang gaan de verschillende sectoren anders om met interpretatie van bemestingsadviezen<sup>14</sup> waaronder de indeling van de fosfaattoestand in waarderingsklassen. Voor het instellen van een verantwoord evenwicht op de mestmarkt zijn rundveehouderij en akkerbouw bepalend wat de aandacht richt op de fosfaattoestand en de methode voor grondonderzoek die hier bij regulier grondonderzoek gebruikelijk zijn. Voor de brutoproductiewaarde van de Nederlandse landbouw zijn overige teelten belangrijk.

---

<sup>12</sup> Regeling van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 15 december 2009, nr. 49983, houdende wijziging van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, Staatscourant 2009 nr. 20342 30 december 2009.

<sup>13</sup> Bemestingsadviezen voor stedelijk groen, sportvelden waaronder golfbanen vallen buiten het object van studie.

<sup>14</sup> Bij economisch sterk renderende teelten speelt de fosfaattoestand geen rol van betekenis. Een teler kiest bewust voor hoge fosfaattoestanden juist om enig risico op groeivertraging of kwaliteitsverlies uit te sluiten hoewel er geen noodzaak is voor het na streven van (zeer) hoge fosfaattoestanden.

Tabel 3

Oppervlakte cultuurgrond naar sector (hoofdbedrijfstype) en bruto productiewaarde voor 2010 (LEI, 2011<sup>15</sup>, De Bont et.al., 2011<sup>16</sup>).

| Sector                                           | Oppervlakte cultuurgrond, ha | Brutoproductiewaarde, miljoen euro |
|--------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Akkerbouw                                        | 542071                       | 2899                               |
| Vollegrondsgroenten                              | 24456                        | 1992                               |
| Bloembollen                                      | 23347                        | 454                                |
| Boomkwekerijen, bloemkwekerijen en vaste planten | 19794                        | 2704                               |
| Pit- en steenvruchten en overig fruit            | 19475                        | 595                                |
| Snijmaïs                                         | 230765                       | 542                                |
| Grasland                                         | 995338                       | 3992                               |

De bemestingsadviezen verschillen in de manier waarop de fosfaattoestand wordt bepaald en wordt ingedeeld in fosfaatklassen. Daarnaast worden grondsoorten op onderscheidenlijke wijze ingedeeld (tabel 4). Zo kennen de bemestingsadviezen voor boomkwekerijen, buitenbloemen en fruit niet de waarderingsklasse *voldoende*, die wel gehanteerd wordt bij bemestingsadviezen voor grasland, akkerbouw en vollegrondsgroenten. Bij bloembollen wordt geen expliciete waardering gehanteerd (Ehlert et.al., 2005). De methoden voor de bepaling van de fosfaattoestand zijn in de tijd gemodificeerd en/of gewijzigd door overgang naar een ander principe van extractie van fosfaat, een andere schudverhouding tussen grond en extractiemiddel, een andere schudduur en schudintensiteit etc. Ook de indeling van de fosfaattoestand in klassen is in de loop der tijd gewijzigd. Oorzaken liggen onder andere in wijziging van de grondslag van advisering, het betrekken van een gewijzigde norm voor de fosfaatafvoer, integratie van bemestingadviesbases en voortschrijdend inzicht in automatisering van bemestingsadviesing. Om criteria voor indeling van fosfaattoestanden in klassen te kunnen duiden, wordt inzicht gevraagd in de onderbouwing van die klassen van vigerende bemestingsadviezen. Deze studie geeft daarom per sector inzicht in de grondslagen van de onderbouwing van de vigerende waarderingsklassen. Vervolgens wordt onderzocht of er een mogelijkheid is tot standaardisatie van uiteenlopende klassen op basis van algemeen gedragen landbouwkundige overwegingen waardoor effecten van fosfaatbemesting en fosfaattoestand op de gewasreactie (opbrengst en kwaliteit) inzichtelijk gemaakt kunnen worden.

De invoering van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen berust op de overweging dat in Nederland beperkingen van het fosfaatgebruik nodig zijn om een goede toestand of een goed ecologisch potentieel in overeenstemming met bijlage V bij de Kaderrichtlijn water te kunnen realiseren. Tevens zijn beperkingen nodig om in gebieden waar op langere termijn en een lagere milieudoelstelling van toepassing is, een verdere achteruitgang van de ecologische toestand te voorkomen (Memorie van toelichting invoering stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen). Om inzicht te geven in de gevolgen van de keuze voor een criterium voor indeling van een fosfaatklasse is inzicht nodig over de milieuhygiënische betekenis van die waarde. In deze studie wordt milieuhygiënische betekenis afgemeten aan de mate waarin de fosfaattoestand bijdraagt aan de mate van fosfaatuitspoeling. Daartoe is het modelinstrument PLEASE ingezet. PLEASE is een metamodel gebaseerd op STONE. STONE is het consensusmodel voor de bodem- en waterkwaliteit en is voor toepassingen op nationale schaal ontwikkeld.

<sup>15</sup> LEI, 2011: Landbouw Economisch Instituut, 2011. Land- en tuinbouwcijfers 2011. LEI-rapport 2011-029.

<sup>16</sup> De Bont et.al., 2001; De Bont, C.J.A.M., W.H. van Everdingen, A. van der Knijff en H.A.B. van der Meulen, 2011. Actuele ontwikkeling van resultaten en inkomens in de land- en tuinbouw in 2011. Landbouw Economisch Instituut, LEI-rapport 2011-063.

Tabel 4

Fosfaattoestanden waar beneden de waardering Laag geldt en fosfaattoestanden waarboven de waardering Voldoende of Goed geldt huidige bemestingsadviezen (Ehlert et.al., 2005).

| Sector                                                      | Grondsoort                                                   | Methode van grondonderzoek <sup>1</sup> | Bovengrens waardering Laag                                   | Ondergrens waardering Voldoende of Goed   |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Akkerbouw en vollegrondsgroententeelt                       | Alle grondsoorten                                            | Pw-getal                                | ≤ 20                                                         | Voldoende: > 21                           |
| Grasland <sup>2</sup>                                       | Zeeklei, veen, zand, dalgrond                                | P-AL-getal                              | 0-5 cm: < 18<br>0-10 cm: < 16                                | Voldoende: 0- 5 cm: > 30<br>0-10 cm: > 27 |
| Grasland <sup>2</sup>                                       | Rivierklei                                                   | P-AL-getal                              | 0-5 cm: < 15<br>0-10 cm: < 14                                | Voldoende: 0- 5 cm: > 25<br>0-10 cm: > 23 |
| Grasland <sup>2</sup>                                       | Löss                                                         | P-AL-getal                              | 0-5 cm: < 13<br>0-10 cm: < 13                                | Voldoende: 0-5 cm: > 20<br>0-10 cm: > 19  |
| Voedergewassen maïs, granen voor GPS, voederbieten, luzerne | Alle grondsoorten                                            | Pw-getal                                | ≤ 20                                                         | Voldoende: > 21                           |
| Bloembollen                                                 | Alle grondsoorten                                            | Pw-getal                                | < 20<br>Geen expliciet criterium.<br>Repareren tot en met 20 | ≥ 21<br>Geen expliciet criterium          |
| Boomkwekerijgewassen                                        | Alle grondsoorten                                            | Pw-getal en/of P-AL-getal               | Afhankelijk van indeling in klasse                           | Goed: afhankelijk van indeling in klasse  |
| Bloemkwekerij-gewassen                                      | Löss, rivierklei, dalgrond, dekzand, duinzand, zeeklei, veen | Pw-getal en P-AL-getal                  | Per grondsoort afhankelijk van indeling in klasse            | Goed, afhankelijk van indeling in klasse  |
| Fruitteelt                                                  | Alle grondsoorten                                            | P-AL-getal                              | ≤ 25                                                         | Goed: > 36                                |

<sup>1</sup> Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>; P-AL-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> Bij grasland gelden onderscheidenlijke waarden voor de bemonsteringsdiepte van de lagen 0-5 of 0-10 cm.

## 1.3 Probleemstelling en doel

### *Probleemstelling*

In het vierde actieprogramma Nitraatrichtlijn zijn Nederlandse landbouwgronden ingedeeld in drie fosfaatklassen, te weten *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*. De grenzen tussen deze wettelijke klassen zijn beleidsmatige vertalingen van de klassen uit de landbouwkundige adviezen. Voor bouwland is de grens tussen de klassen *Laag* en *Neutraal* vastgesteld op Pw-getal  $< 36 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ . In het kader van het vijfde actieprogramma Nitraatrichtlijn kan de grens tussen de klasse *Laag* en *Neutraal* op een lager niveau worden vastgesteld. De landbouwkundige en milieukundige gevolgen van wijziging van de grenswaarden voor het areaal, mestplaatsingsruimte en ontwikkeling van de fosfaattoestand zijn onvoldoende bekend.

### *Doel*

Het doel van deze studie is om vast te stellen wat de landbouwkundige en milieukundige gevolgen zijn van een verschillende indeling van fosfaattoestanden in waarderingsklassen voor de verschillende sectoren op bouwland. Landbouwkundige gevolgen worden afgemeten aan veranderingen in economische en fysieke opbrengst, milieukundige gevolgen worden afgemeten aan effecten op uitspoeling van fosfaat.

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft de aanpak en verantwoordt gehanteerde methoden. Hoofdstuk 3 verantwoordt de bemestingsadviezen voor akkerbouw en vollegrondsgroententeelt, hoofdstuk 4 geeft de achtergronden bij het bemestingsadvies voor bloembollen. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de achtergronden bij de adviezen voor de boomkwekerijgewassen, buitenbloemen en vaste planten. Hoofdstuk 6 is gewijd aan de vigerende bemestingsadviezen voor fruit. De milieuhygiënische gevolgen van de hoogte van de fosfaattoestand worden gegeven in hoofdstuk 7. Tenslotte worden in hoofdstuk 8 de resultaten van voorafgaande hoofdstukken in samenhang met probleemstelling en doel gebracht, vindt evaluatie plaats en worden conclusies getrokken en worden aanbevelingen gegeven.

## 2 Aanpak en methoden

### 2.1 Aanpak

Het onderzoek berust op bureaustudie gebaseerd op bronnenonderzoek en berekeningen op basis van stochastische modellen. Het bronnenonderzoek diende om de onderbouwing van de vigerende bemestingsadviezen te beschrijven. De volgende bemestingsadviezen zijn in het onderzoek betrokken (tabel 5).

Tabel 5

*Beschouwde sectoren met bemestingsadviezen voor fosfaat op basis van grondonderzoek in de vollegrond met referenties.*

| Sector                                   | Referentie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten | Dijk, W. van en W. van Geel (eds.) 2010. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO Publicatie nr. 305. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.<br><a href="http://library.wur.nl/WebQuery/clc/2029373">http://library.wur.nl/WebQuery/clc/2029373</a>                                     |
| Bloembollen                              | Dam, A.M. van, L.J.M. Kater en N.S. Wees, 2004. Adviesbasis voor de bemesting van bloembolgewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Bloembollen. PPO 708.<br><a href="http://library.wur.nl/WebQuery/clc/1743724">http://library.wur.nl/WebQuery/clc/1743724</a>                                                         |
| Boomkwekerijgewassen                     | Aendekerk, Th.G.L., 2000. Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen. Vollegrondsteelt. Proefstation voor de boomkwekerij. Boskoop.<br><a href="http://library.wur.nl/WebQuery/clc/979838">http://library.wur.nl/WebQuery/clc/979838</a>                                                                                    |
| Buitenbloemen                            | Kreij, C. de, 1999. Bemestingsadviesbasis buitenbloemen. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. Naaldwijk.<br><a href="http://library.wur.nl/WebQuery/clc/971211">http://library.wur.nl/WebQuery/clc/971211</a>                                                                                                                 |
| Fruit                                    | Kodde, J., 1994. Adviesbasis voor de bemesting van fruitteeltgewassen in de vollegrond. Grondonderzoek. Bladonderzoek. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Fruitteelt, Wilhelminadorp. Publicatie IKC-FT-09.<br><a href="http://library.wur.nl/WebQuery/clc/398865">http://library.wur.nl/WebQuery/clc/398865</a> |

Eenzelfde structuur bij de analyse van de verantwoording van de criteria voor indeling van de fosfaattoestand in klassen werd gevolgd:

1. Beschrijving van de systematieken waarmee de fosfaattoestand van de Nederlandse cultuurbodem wordt gewaardeerd voor landbouwkundige productie.
2. In Nederland geldende openbare bemestingsadviezen kennen elk een indeling van de fosfaattoestand in klassen. De indeling en onderbouwing verschillen per sector. Dit geldt voor gehanteerde fosfaatparameters (Pw-getal, P-Al-getal, etc.) als de grenswaarden tussen de klassen. Om tot die indeling te komen werden verschillende systematieken gehanteerd. De beschrijving dient het inzicht.
3. Beschrijving van de onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen van bemestingsadviezen.
4. De systematieken onderscheiden zich in methoden van kalibratie van de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting en de vertaalslag naar de landbouwpraktijk. Bij kalibratie worden onderscheidenlijke criteria gehanteerd voor fysieke opbrengstderving, economische opbrengstderving, derving van kwaliteit, behoud van de fosfaattoestand (fosfaatbalans). De systematiek kan uitsluitend gericht zijn op perceelsniveau maar ook kan het bedrijfsniveau in de kalibratie zijn betrokken. Dit onderscheid en de criteria bij kalibratie worden beschreven. Tevens wordt de robuustheid van die onderbouwing in klassen onderzocht. Dit leidt tot inzicht of gehanteerde klasse-indeling berusten om harde meetgegevens en/of een klasse-indeling gebaseerd is op - gedateerde - inzichten meer voorkomend uit *expert judgement* dan gebaseerd om objectieve kalibratie van gewasreactie (inclusief kwaliteit) op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.

5. Beschrijving van opties voor indeling van fosfaatklassen van bemestingsadviezen en mogelijkheden tot standaardisatie.
6. Omdat de systematiek en de onderbouwing van de indeling van fosfaatklassen verschillen, werd onderzocht of er mogelijkheden zijn om voor alle sectoren een uniforme systematiek te hanteren.
7. Bepaling van landbouwkundige gevolgen van wijziging van huidige indeling van wettelijke fosfaatklassen naar andere indelingen.
8. Berekend wordt wat de landbouwkundige gevolgen zijn van wijziging van de huidige wettelijke klasse-indelingen. Deze berekening kan op perceelsniveau gebaseerd zijn dan wel op bedrijfsniveau. Tot het studie-object behoort de akkerbouwmatige teelt van snijmaïs.
9. Bepaling van de milieukundige gevolgen van huidige en beoogde indeling van wettelijke fosfaatklassen.
10. De milieuhygiënische gevolgen van huidige en beoogde indeling van wettelijke fosfaatklassen voor de Nederlandse bodem worden in dit project gelijkgesteld aan de mate waarin fosfaat uit- of afspoelt gegeven de fosfaattoestand. Voor dit doel worden relaties tussen fosfaatbodem-parameters en fosfaatuit- en afspoeling met beschikbare databestanden afgeleid inclusief daaraan verbonden onzekerheden. Onderscheid wordt daarbij aangebracht tussen uitspoeling en afspoeling. Bij uitspoeling speelt de fosfaattoestand een hoofdrol maar dit hoeft niet zo te zijn voor afspoeling. De verantwoordelijke processen worden inzichtelijk gemaakt.
11. Evaluatie en rapportage.

## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Kalibratie van de gewasreactie

Tijdens het bronnenonderzoek werd vastgesteld dat om inzicht te krijgen in de kwantitatieve gevolgen van wijzigingen in fosfaattoestand en fosfaatbemesting op opbrengst en kwaliteit in samenhang met resultaten van milieukundig onderzoek een mathematische beschrijving van de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting nodig is. Deze mathematische beschrijving ontbrak. Daarom werd overgegaan tot een analyse van beschikbare meetgegevens van veldproeven met aardappel en snijmaïs. Beide gewassen worden bij bemestingsadviezen aangemerkt als fosfaatbehoefte gewassen (gewasgroep 1) en zijn vertegenwoordigers van grote arealen op bouwland. Snijmaïs werd bij het onderzoek betrokken om te onderzoeken of gewassen die qua fosfaatbehoefte gelijkwaardig worden geclassificeerd ook gelijkwaardige resultaten qua opbrengstreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting geven.

#### 2.2.1.1 Methode

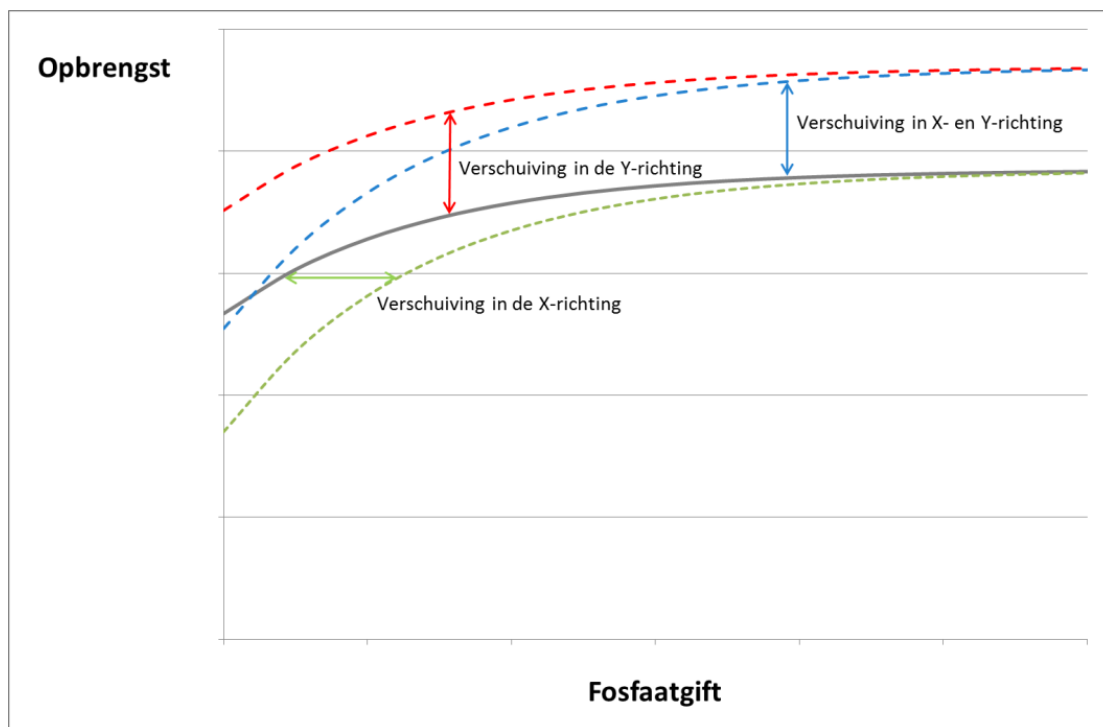
Bij de kalibratie van de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting wordt de hoeveelheid fosfaat bepaald die nodig om een bepaald teeltdoel te bereiken gegeven een waarde voor de fosfaattoestand van de bodem. Fosfaattoestand is hier de hoeveelheid gewasbeschikbaar fosfaat in de bodem, bepaald met een methode van grondonderzoek die routinematig in gebruik is bij het uitbrengen van bemestingsadviezen (i.e. Pw-getal, P-Al-getal)<sup>17</sup>. Bij fosfaatbemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten is het teeltdoel de economisch optimale opbrengst. Een economisch optimale opbrengst wordt bepaald door het omslagpunt waarbij kosten voor meststoffen niet meer opwegen tegen de kosten verkregen door opbrengststijging. Bij overige sectoren wordt naar maximale opbrengst en kwaliteit bemest.

De reactie van een landbouwgewas op fosfaatbemesting gegeven een fosfaattoestand volgt een exponentieel verloop: aanvankelijk wordt een sterke toename van de opbrengst (drogestof of fosfaat-opname) of kwaliteit waargenomen die afneemt bij toename van de fosfaatgift: de curve neemt

<sup>17</sup> Naast Pw-getal en P-Al-getal worden andere parameters op basis van grondonderzoek voor bemestingsadvisering toegepast. De in routinematig onderzoek toegepaste methode op basis van een 1:10 (W/V) extractie met 0,01 M CaCl<sub>2</sub> (P-CaCl<sub>2</sub>) wordt in dit rapport niet behandeld. Een feitelijke kalibratie op basis van P-CaCl<sub>2</sub> heeft (nog) niet plaatsgevonden. Voor de hier beschouwde open teelten wordt uit P-CaCl<sub>2</sub> en P-Al-getal het Pw-getal berekend. Uiteindelijke advisering vindt plaats op basis van het bemestingsadvies gebaseerd op Pw-getal.

exponentieel toe totdat een maximum bereikt is. Bij fosfaat wordt bij gewassen van de betrokken sectoren in het algemeen - in tegenstelling tot stikstof en kalium - bij hoge fosfaatgiften geen daling van de opbrengst of kwaliteit vastgesteld<sup>18</sup> of is niet bekend. Er is geen theoretisch grondslag om de relatie tussen de fosfaatgift, fosfaattoestand en opbrengst en kwaliteit met een functioneel bodemvruchtbaarheidsmodel te beschrijven. Gewaskalibraties van bemestingsadviezen voor fosfaat zijn niet gebaseerd op procesmatige afwegingen. Modelmatige beschrijving vormen niet de grondslag; het zijn empirische-mathematische beschrijvingen (Jordan-Meille et. al., 2012). Diverse empirisch-mathematische beschrijvingen voor deze relatie worden in de literatuur wel gegeven (Colwell, 1994; Ehlert et. al., 1998; Jordan-Meille et al., 2012). In deze studie is gekozen voor een algemeen statistisch bodemvruchtbaarheidsmodel als vorm van integratie van fosfaatbeschikbaarheidsparameters in de bodem en stuurbare teeltmaatregelen. Stuurbare teeltmaatregelen in deze studie zijn bemestingen met stikstof en kalium (kali), ras en teeltdoel (knol, biomassaproductie, zaad, kolf). Een maatregel (variabele, factor) kan op drie manieren effect uitoefenen op de gewasreactie en de vorm van de curve (Ehlert et.al., 1998). Figuur 1 toont hoe deze effecten doorwerken.

1. Een variabele kan bij een gegeven fosfaattoestand de fosfaatgift beïnvloeden maar oefent geen invloed uit op het maximum (verschuiving in de X-richting).
2. Een variabele oefent bij een gegeven fosfaatgift invloed uit op de op het maximum (verschuiving in de Y-richting).
3. Een variabele oefent bij een gegeven fosfaattoestand invloed uit op de fosfaatgift en op het maximum (verschuiving in X- en Y-richting).



**Figuur 1** De richting van de verschuiving heeft invloed op de fosfaatgift die nodig is om de maximale opbrengst te bereiken. Een verschuiving in de X-richting oefent invloed uit, een verschuiving in de Y-richting niet.

Zowel fosfaattoestand als fosfaatgift bepalen de opbrengst. De basisvergelijking voor de beschrijving van de opbrengstcurve is dan:

<sup>18</sup> Onder zeer uitzonderlijke omstandigheden kan bij een overmatige bemesting met fosfaat de beschikbaarheid van zink voor het gewas achteruitgaan en zelfs leiden tot een zinkgebrek. Onder Nederlandse gebruiksvormen van bodem en bemesting is een dergelijk door fosfaat geïnduceerd zinkgebrek niet bekend.

$$Y = a + b * \text{EXP}^{(c * P\text{-Gift} + d * P\text{-toestand})} + e * P\text{-gift} + f * P\text{-toestand} \quad (1)$$

Met:

Y: responsvariabele (opbrengst)

P-gift: fosfaatgift in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>

P-toestand: fosfaattoestand (Pw-getal, P-Al-getal)

en a, b, c, d, e en f zijn parameterschattingen.

Bij hoge fosfaattoestanden en fosfaatbemestingen worden opbrengststijgingen niet vastgesteld. Opbrengstderivingen door te hoge fosfaattoestanden of fosfaatgiften, zoals die voor kunnen komen bij stikstof en kalium, zijn bij fosfaat voor Nederlandse bodems en hier geteelde gewassen evenmin vastgesteld. Bij hoge fosfaatbemestingen en fosfaattoestanden wordt eenzelfde opbrengstniveau bereikt gegeven overige gelijke condities voor teelt en klimaat (bijvoorbeeld gelijke stikstof- en kaliumgiften). Vergelijking (1) wordt daardoor:

$$Y = a + b * \text{EXP}^{(c * P\text{-Gift} + d * P\text{-toestand})} \quad (2)$$

De uiteindelijke vorm van de opbrengstcurve wordt bepaald door de resultante van (micro)klimaat (licht, temperatuur, vocht), nutriëntenhuishouding van de bodem, fysische en biologische eigenschappen van de bodem en nutriëntenvoorziening (bemesting), gewaseigenschappen (groeiduur, biomassaproductie, dagelijkse vraag naar fosfaat, totale fosfaatopname, architectuur van wortelstel) en teeltdoel. Bij een empirisch-mathematisch model kan rekening houden met opbrengstbepalende factoren en variabelen mits verantwoorde gegevens beschikbaar zijn. De beschikbaarheid van gegevens bepaalt de uiteindelijk empirisch-wiskundige vergelijking.

### 2.2.1.2 Data

#### *Aardappel*

Bij deze studie is gebruik gemaakt van meetgegevens waarop het huidige bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen berust. Het referentiegewas van dit advies is aardappel (zie ook paragraaf 3.2). De gegevens van het bemestingsadvies werden uit TAGA verzameld. TAGA is het archief van het voormalige Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren (Groningen) en omvat meetgegevens met monstermateriaal (vooral grondmonsters) van landbouwkundig onderzoek in het landelijk gebied. De informatie die in TAGA aanwezig is, is beschreven door Ehlert et. al. (2002). Uit TAGA zijn de veldproeven verzameld die het bemestingsadvies voor aardappel hebben onderbouwd (zie hoofdstuk 3.1). Deze veldproeven hebben allen een vergelijkbare opzet. Het betreffen eenjarige veldproeven met één fosfaatmeststof toegediend in vijf trappen. Het aantal herhalingen varieerde van 2 tot 4. Een beschrijving van dit proefveldmateriaal is gegeven door Van der Paauw et. al. (1972). Ris en Van Luit (1974) beschrijven de bewerking van dit proefveldmateriaal. Van het oorspronkelijke materiaal bestaande uit 196 veldproeven werden 163 ontsloten. Gegevens van deze veldproeven zijn gekoppeld aan gegevens van dertien één- en veeljarige veldproeven met aardappel uit de database van het PPO-agv te Lelystad. Veldproeven in deze database dienden verschillende onderzoeksdoelen (vergelijking van de effectiviteit van fosfaatmeststoffen, effect van plaatsing van fosfaatmeststof in de rij, onderzoek naar het effect van stikstofbemesting op de effectiviteit van fosfaatbemesting etc.). Tenslotte zijn gegevens van drie veeljarige veldproeven<sup>19</sup> met fosfaat op bouwland van proefjaren met aardappel toegevoegd aan de selectie. Verzamelde gegevens werden in één database opgenomen. Deze database omvatte gegevens van 176 veldproeven op vijf grondsoorten (zeeklei (inclusief zeezand), dekzand, rivierklei, löss en dalgrond) afkomstig van 33 proefjaren. Tabel 6 geeft een samenvatting van de verzamelde gegevens voor bemesting, grondonderzoek en opbrengst. Een standaardisatie van data was nodig om een verantwoorde statistische analyse te kunnen uitvoeren.

<sup>19</sup> Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop, C. van der Salm en P.H.M. Dekker, 2008. Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op lange termijn. Stand van zaken 2007. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1665.

Gegevens afkomstig van veldproeven waarbij dierlijke mest was toegepast, rijenbemesting of fosfaatmeststoffen met een afwijkende efficiëntie t.o.v. superfosfaat of tripelsuperfosfaat werden uiteindelijk niet gebruikt. Bij een aantal veldproeven konden de gegevens van stikstof- en kalibemesting niet snel ontsloten worden. Ook dit leidde tot een reductie van het aantal waarnemingen dat gebruikt kon worden tot 2437.

**Tabel 6**

*Gegevens van aardappel. Totaal aantal gegevens bedraagt 3359.*

| Aard                     | Parameter                     | Eenheid                                                | Gemiddelde | Minimum | Maximum | Aantal ontbrekende gegevens |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|---------|---------|-----------------------------|
| Algemeen grond-onderzoek | Organische stof               | %                                                      | 4,9        | 1,2     | 26,7    | 0                           |
|                          | CaCO <sub>3</sub>             | %                                                      | 3,2        | 0,0     | 15,6    | 2191                        |
|                          | Afslibbaar (<16 µm)           | %                                                      | 28,7       | 5,0     | 62,0    | 2149                        |
|                          | Lutum (< 2 µm)                | %                                                      | 9,2        | 2,0     | 41,5    | 272                         |
|                          | pH-KCl                        |                                                        | 5,7        | 3,8     | 7,6     | 456                         |
| Fosfaat-toestand         | Pw-getal                      | mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>       | 29,3       | 1,7     | 153,0   | 25                          |
|                          | P-Al-getal                    | mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | 32,9       | 3,0     | 93,0    | 507                         |
| Bemesting                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>      | 105,9      | 0       | 500     | 0                           |
|                          | N                             | Kg N ha <sup>-1</sup>                                  | 147,6      | 0       | 300     | 0                           |
|                          | K <sub>2</sub> O              | Kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>                   | 207,0      | 0       | 660     | 713                         |
| Opbrengst                | Netto knolopbrengst           | ton ha <sup>-1</sup>                                   | 43,5       | 1,5     | 111     | 37                          |

#### *Snijmaïs*

Een database met gegevens van veldproeven van snijmaïs van Livestock Research vormt de basis. De database bevat gegevens van veldproeven van het PAGV (nu PPO-agv) aangevuld met veldproefgegevens van ASG (nu Livestock Research). Deze database is gebruikt bij een verkennende analyse uitgevoerd door Holshof e.a. (2008). De database omvat 37 veldproeven waarvan elf veeljarige veldproeven. Het totaal aantal proefjaren in deze database is 102. Deze database werd uitgebreid met data van 21 veldproeven uit TAGA waaronder één veeljarige veldproef. Daardoor waren 1749 meetreeksen beschikbaar voor analyse uit veertig verschillende proefjaren op negen onderscheidenlijke grondsoorten. Tabel 7 geeft een overzicht van verzamelde gegevens. De veldproeven dienden onderscheidenlijke onderzoeksdoelen. Daardoor is er geen sprake van enige samenhang in proefopzet. Een aantal, met name veeljarige veldproeven, hadden behandelingen met hoge giften aan varkensdrijfmest. Dit leidde tot zeer hoge stikstof- en fosfaatgiften die onderling verstrengeld waren en door het veeljarige karakter van het onderzoek ook verstrengeld waren met hoge fosfaattoestanden. Daarnaast waren meetgegevens aanwezig van uitsluitend kolf of korrel. De analyse vroeg een standaardisatie van meetgegevens naar een verantwoorde landbouwpraktijk (GLP).

Een standaardisatie naar gegevens van GLP werd daarom uitgevoerd. Gegevens afkomstig van behandelingen met meer dan 100 ton runderdrijfmest per ha en meer dan 300 kg effectieve stikstof per ha werden niet gebruikt. De hoeveelheid effectieve stikstof gegeven met dierlijke mest werd berekend conform het vigerende bemestingsadvies voor grasland en voedergrassen (Commissie grasland en voedergrassen, 2012). Daardoor vervielen gegevens en omvatte de geselecteerde database veldproeven waarbij de fosfaatgift niet varieerde. Daarnaast was fosfaatkunstmest op verschillende wijze toegediend: breedwerpig of in de rij geplaatst. De database bevat veldproeven waarbij de N-P- interactie werd onderzocht. Ongeveer de helft van de datapunten betrof een suboptimale stikstofgift. Stikstofgift is daarom zowel in het lineaire als in het exponentiële deel opgenomen. De analyses werden uiteindelijk uitgevoerd met 1048 datapunten.

Tabel 7

Gegevens van snijmaïs. Totaal aantal gegevens bedraagt 1749.

| Aard                    | Parameter                                             | Eenheid                                                | Gemiddelde | Minimum | Maximum | Aantal ontbrekende gegevens |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|---------|---------|-----------------------------|
| Algemeen grondonderzoek | Organische stof                                       | %                                                      | 4,7        | 0,9     | 23,5    | 589                         |
|                         | pH                                                    |                                                        | 5,4        | 3,7     | 7,7     | 577                         |
| Fosfaattoestand         | Pw-getal                                              | mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>       | 55         | 6       | 153     | 497                         |
|                         | P-Al-getal                                            | mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | 38         | 14      | 99      | 1108                        |
| Bemesting               | Kunstmest N                                           | Kg N ha <sup>-1</sup>                                  | 82         | 0       | 400     | 0                           |
|                         | Kunstmest N + werkzame N van dierlijke mest           | Kg N ha <sup>-1</sup>                                  | 176        | 0       | 996     | 0                           |
|                         | Kunstmest P                                           | Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>      | 53         | 0       | 240     | 0                           |
|                         | Kunstmest P + totale hoeveelheid P van dierlijke mest | Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>      | 131        | 0       | 1015    | 0                           |
| Opbrengst               | drogestof                                             | Kg ha <sup>-1</sup>                                    | 11823      | 691     | 21072   | 0                           |

### 2.2.1.3 Methode van statistische analyse

De parameters van het model werden geschat volgens de methode van de grootste aannemelijkheid (*maximum likelihood*) met behulp van de Genstat procedure FITNONLINEAR. Omdat in het model meerdere variantie-termen voorkomen, kunnen de parameters niet rechtstreeks worden geschat. Daarom werd de procedure REstricted Maximum Likelihood (REML) toegepast waardoor rekening gehouden wordt met meerdere bronnen van variatie in de data. Met FITNONLINEAR werden voorschattingen verkregen voor de parameters. Vervolgens werd REML toegepast door te draaien op een lineaire transformatie van het niet-lineaire deel van het model waardoor een nieuwe set van parameterwaarden werd verkregen. Door REML vervolgens iteratief toe te passen met deze nieuwe set van parameterwaarden totdat de parameters niet meer wijzigen, zijn de uiteindelijke parameterschattingen en bijhorende standaardfouten (se's) verkregen. De analyses zijn uitgevoerd met het statistisch pakket Genstat 14<sup>th</sup> Edition (<http://www.vsn.co.uk/software/genstat>).

#### Aardappel

Vooronderzoek wees het grote effect van stikstofbemesting en van kalibemesting uit op de gewas-reactie. Een enkele uitzondering daargelaten (N x P-interactieproeven) waren gegevens van stikstofbemesting en kalibemesting in veel gevallen bekend op veldproefniveau maar waren niet als variabele opgenomen in de proefopzetten. Dit beperkt de mogelijkheden tot statistische analyse. Beredeneerd kan worden dat zowel stikstof als kalium zowel de kromming als het opbrengstniveau bepalen en dat overmaat leidt tot schade. Vergelijking (1) is voor deze nutriënten eveneens van toepassing. De data lieten niet toe om alle mogelijke effecten van stikstof en kalium op de vorm van de curve te onderzoeken. Op basis van de mogelijkheden van de data en de resultaten van het vooronderzoek is besloten om de lineaire effecten van stikstof en kalium op te nemen in het empirisch-mathematisch model (3). Grondsoort bleek geen significante verklaring te geven van voorkomende variatie in metingen.

$$Y = a + b * \text{EXP}^{(c * P\text{-Gift} + d * P\text{-toestand})} + e * N\text{-gift} + f * K\text{-gift} \quad (3)$$

#### Snijmaïs

Informatie over de kalibemesting was te summier om bij de analyse betrokken te kunnen worden. Gegevens waren in hoofdzaak afkomstig van locaties op zandgrond (~75%). Zowel in vooronderzoek als bij finale analyses bleek grondsoort geen significante verklaring te geven van de variatie. Vooronderzoek wees uit dat residu-effecten van veeljarige veldproeven en het effect van stikstofbemesting grote invloed uitoefenen op het resultaat van analyse. Het effect van stikstof was sterker dan het effect van fosfaat.

Toepassing van vergelijking (3) leidde echter niet tot een stabiel resultaat voor de parameterschatters voor fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Het weglaten van de stikstofgift in de exponent leidde tot een landbouwkundig niet-acceptabel resultaat. De data lieten niet toe het effect van fosfaatbemesting verantwoord te schatten. Zonder stikstofgift in de exponent werd een maximum voor de opbrengst bij

onrealistisch hoge fosfaatgift verkregen, ver buiten het bereik van opgelegde fosfaatgiften. Met stikstofgift in de exponent werden geen stabiele parameterschattingen verkregen voor effecten van fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Op basis van deze bevindingen is besloten geen parameterschattingen voor snijmaïs te rapporteren. Stikstof is een belangrijkere variabele voor de beschrijving van de opbrengst van snijmaïs.

#### 2.2.1.4 Bemestingadvies

Vergelijking (3) is gebruikt als grondslag voor berekeningen van effecten van fosfaatbemesting en fosfaattoestand op opbrengst. De huidige grondslag van het bemestingsadvies voor akkerbouwland en vollegroondsgroententeelt berust op het financieel rendement van bemestingen hanteert een prijsverhouding van 5, d.w.z. dat de prijs van fosfaatmeststof vijf maal hoger is dan de financiële opbrengst van het gewas aardappel. De prijzen voor fosfaatmeststoffen zijn de laatste jaren sterk gestegen terwijl de prijzen voor aardappel fluctueren zonder dat er sprake is van enige trend in stijging. De prijsverhouding is daardoor variabel en sterk gewijzigd. Op basis van gegevens van Binternet van LEI Wageningen UR varieerde deze prijsverhouding in de periode 1990-2012 mei van 2,1 - 20,9 (gemiddeld 8,3). Voor de prijs van kunstmestfosfaat tripelsuperfosfaat is gerekend € 43,50 per 100 kg; er is uitgegaan van 46%  $P_2O_5$ . Bij aardappel is € 10,97 per 100 kg aangenomen. Dit betreft een gemiddelde over 1990-2012 (t/m mei). Dit komt overeen met een prijsverhouding van 8,6.

#### 2.2.2 Berekening milieukundige gevolgen

De milieukundige gevolgen zijn in deze studie bestudeerd door vast te stellen wat de effecten van fosfaattoestand zijn op zowel de uitspoeling uit de bouwvoor als de uitspoeling naar het oppervlaktewater. Het risico op uitspoeling uit de bouwvoor wordt in deze studie potentiële uitspoeling genoemd; het risico op uitspoeling naar het oppervlaktewater wordt actuele fosfaatuitspoeling genoemd. Bij beide berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de potentiële en actuele risico's op fosfaatuitspoeling onafhankelijk zijn van de huidige mestgift; de fosfaatverliezen worden dan alleen bepaald door de fosfaat-toestand van de bodem. Deze veronderstelling is gebaseerd op de overweging dat de fosfaatvoorraad in de Nederlandse bodem (ruwweg  $4.500 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ ) veel groter is dan de aanvoer bij de huidige fosfaatgebruiksnormen. Verder wordt aangenomen dat fosfaatgebruik plaats vindt in het kader van een goede landbouwkundige praktijk waardoor incidentele verliezen door afspoeling en preferent transport van recentelijk aangevoerde mest voorkomen worden.

##### *Potentiële uitspoeling, uitspoeling uit de bouwvoor*

De potentiële uitspoeling is berekend door de fosforconcentratie<sup>20</sup> te berekenen uit de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal. De berekening berust op een statistische relatie die door Chardon en Van Faasen (1999) werd opgesteld. De vergelijking met onderliggende aannamen worden gegeven in hoofdstuk 7.

##### *Actuele verliezen, uitspoeling naar het oppervlaktewater*

De uitspoeling naar het oppervlaktewater is berekend met het metamodel PLEASE-model (Van der Salm et al., 2011; Schoumans et al., 2012). In dit model is naast informatie over de fosfaattoestand van de bouwvoor in de vorm van Pw-getal nog informatie nodig over de hydrologie en de fosfaattoestand (Pw-getal) van de ondergrond. Uit de fosfaattoestand (Pw-getal) van de bouwvoor en de ondergrond kan de fosfaatconcentratie (ortho-P) in het bodemvocht worden berekend. De concentraties van totaal-P worden in het model uit de ortho-P concentraties berekend met een empirische formule (Chardon et al., 2007). Door het verloop van de fosfaatconcentraties met de diepte in het bodemprofiel en het verloop van de (laterale) uitspoelingsfluxen met de diepte met elkaar te vermenigvuldigen kan uiteindelijk de fosfaatbelasting van zowel totaal-P als ortho-P naar het oppervlaktewater worden bepaald. Het model berekent eveneens de fluxgewogen concentraties van totaal-P en ortho-P. De fluxgewogen concentratie wordt berekend door de fosforflux te delen door de waterflux. De methode met onderliggende aannamen worden gegeven in hoofdstuk 7.

---

<sup>20</sup>  $\times 2,29$  geeft de fosfaatuitspoeling.

# 3 Akkerbouw en vollegrondsgroenten

Phillip Ehlert en Wim van Dijk

## 3.1 Adviezen

Het bemestingsadvies voor akkerbouw en vollegrondsgroenten kent drie vormen van advisering:

1. Een gewasgericht advies dat bij een gegeven waarde voor de fosfaattoestand een fosfaatgift adviseert voor het behalen van het economische optimale rendement.
2. Een bodemgericht advies om een streefgetal voor de fosfaattoestand in stand te houden.
3. Een bodemgericht advies om een fosfaattoestand die lager is dan het streefgetal te repareren.

## 3.2 Systematiek afleiding waarderingsklassen

Het opstellen van een bemestingsadvies volgt in het algemeen drie stappen:

1. Selectie van een methode voor grondonderzoek om de fosfaatbodemfractie die gewasbeschikbaar is te bepalen.
2. Kalibratie van de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting bepaald met de geselecteerde methode.
3. Afleiden van een fosfaatbemestingsadvies op basis van kalibraties. Vaak wordt *expert judgement* toegepast.

Het bemestingsadvies voor akkerbouw en vollegrondsgroenten heeft in het algemeen deze drie stappen doorlopen. Methoden voor grondonderzoek hebben elkaar in de tijd opgevolgd (Reijneveld et.al., 2011). Nu is Pw-getal de methode van grondonderzoek waarmee een bemestingsadvies volgens vigerende richtlijnen wordt opgesteld. Dit Pw-getal kan berekend zijn uit twee analyseresultaten van twee andere methoden van grondonderzoek (P-CaCl<sub>2</sub><sup>21</sup> en P-AL-getal). Een aantal gewassen zijn op Pw-getal gekalibreerd. Met deze meetgegevens zijn adviezen opgesteld en geactualiseerd door diverse opeenvolgende commissies bemesting<sup>22</sup>. Door integratie van bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en bloembollen is er een standaardisatie uitgevoerd qua systematiek voor gewasgerichte bemestingsadviezen. Tabel 12 (hoofdstuk 4) geeft de huidige adviezen voor genoemde sectoren. De gewasgerichte en bodemgerichte bemestingsadvies met tabellen zijn gegeven door Van Dijk en Van Geel (2010). Dit hoofdstuk focust op die onderdelen van uitvoering die geleid hebben tot een rubricering/indeling in waarderingsklassen van de fosfaattoestand in de bodem.

De waardering van de fosfaatklassen op (akker)bouwland wordt verantwoord door Bakker (1968), Paauf en Sissingh (1968) en Bakker en Ris (1971). Aanvullingen daarop worden gegeven in cyclo 7906 van het Rijkslandbouwconsulentschap Bodem en Bemesting uit 1971 (in samenspraak met Rijkslandbouwproefstation TNO/Instituut voor Bodemvruchtbaarheid). Dit betreft de duiding van de waardering van het gewasgerichte bemestingsadvies zoals dat in 1968 (zand- en dalgrond) en 1970 (overige grondsoorten) werd ingevoerd.

<sup>21</sup> Bij Blgg AgroExpertus PPAE (phosphorus plant available element) genoemd.

<sup>22</sup> Nu de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroententeelt  
<http://www.ppo.wur.nl/NL/publicaties/PPO+rapporten/AGV/Adviesbasis+voor+de+bemesting+van+akkerbouw+en+vollegrondsgroentengewassen/default.htm>.

De waardering van de fosfaattoestand gegeven in tabel 8 is gebaseerd op een indeling van de gewasreactie van aardappel (Van der Paauw et.al., 1972; Bakker en Ris, 1971). De gewasreactie is vertaald naar een economisch rendement (5 kg aardappelen per kg fosfaat ( $P_2O_5$ )). Door combinatie met cyclo 7906 kan de opbrengstderving verkregen worden. De feitelijke indeling in klassen is gebaseerd op *expert judgement*. Omdat men het niet praktisch vond om voor elk Pw-getal een andere hoeveelheid fosfaat te adviseren, werd besloten om fosfaattoestanden in klassen in te delen<sup>23</sup>. Het werd geaccepteerd dat het advies daardoor minder nauwkeurig werd (Bakker, 1968). Binnen een klasse krijgt een perceel met een fosfaattoestand van respectievelijk lager en hoger dan het midden van een klasse respectievelijk een te *Laag* en een te hoog advies. Bij het indelen van klassen is gestreefd om praktisch te blijven en de fout ten gevolge van de indeling binnen toelaatbare grenzen te houden (Bakker, 1968). Daarom zijn de klassen bij lage Pw-getallen kleiner genomen dan in het traject met hoge Pw-getallen. Bovendien werd de hoogte van de fosfaatgift niet afgestemd op het midden van de klasse maar op een iets lager Pw-getal. Dit werd gedaan omdat een opbrengstderving ten gevolge van een te laag advies veelal meer financiële schade geeft dan het geven van wat teveel fosfaat (Bakker, 1968). Tenslotte werd de klasse '31-45' en de daarbij te geven giften fosfaat voor de verschillende gewasgroepen zo gekozen dat bij opvolging van het bemestingsadvies iets meer fosfaat werd gegeven dan gemiddeld aan de grond wordt onttrokken (tabel 8). De indeling van de fosfaattoestanden in de klassen is na invoering in 1968 niet meer gewijzigd. Wel is de benaming van een klasse gewijzigd. In 1968 werd gesproken van *Zeer Laag*, *Laag*, *Vrij Laag*, *Goed*, *Vrij Hoog* en *Hoog*. Vanaf 1983 worden de benamingen *Zeer Laag*, *Laag*, *Voldoende*, *Ruim Voldoende*, *Vrij Hoog* en *Hoog* gebruikt. Reden hiervoor is de invoering van het bodemgerichte bemestingsadvies en het inzicht dat de fosfaatafvoer (gemiddelde rotatie akkerbouw) door toename van de landbouwkundige productie was toegenomen. De wijziging diende mede bewustwording om in het bemestingsplan ook op de fosfaatafvoer te letten.

**Tabel 8**

*Waarderingsklassen fosfaattoestand bij akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen (Van Dijk en Van Geel, 2010).*

| Waardering            | Pw-getal,<br>mg $P_2O_5$ L <sup>-1</sup> |
|-----------------------|------------------------------------------|
| <i>Zeer Laag</i>      | < 11                                     |
| <i>Laag</i>           | 11-20                                    |
| <i>Voldoende</i>      | 21-30                                    |
| <i>Ruim Voldoende</i> | 31-45                                    |
| <i>Vrij Hoog</i>      | 46-60                                    |
| <i>Hoog</i>           | >60                                      |

Het bodemgerichte bemestingsadvies werd in 1984 ingevoerd en bestaat uit een advies voor een na te streven fosfaattoestand, het zogenoemde streefgetal (Pw-getal 25 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> voor kleigrond en Pw-getal 30 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> voor dekzand en overige gronden) en uit een streeftraject voor het handhaven van het streefgetal. Dit streeftraject is 25-45 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> voor kleigrond en 30-45 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> voor dekzand en overige grondsoorten). De streefgetallen met bijhorend streeftraject gelden voor bouwplannen met aardappelen en andere fosfaatbehoefteige gewassen maar gelden niet voor bouwplannen met minder dan 25% hakvruchten. De verantwoording van het advies is gegeven door Henkens (1984) en berust op het feit dat bij aardappelen is gevonden dat ondanks een hoge fosfaatbemesting bij een lage fosfaattoestand niet die opbrengst wordt gerealiseerd als bij een hogere fosfaattoestand. De keuze voor de waarden van de streefgetallen is vooral op *expert judgement* gebaseerd.

Er is geen integrale analyse uitgevoerd van gewasgerichte bemestingsadvies en bodemgerichte bemestingsadvies. Wel is een op grafische bewerking berustende opbrengstderving gegeven (Tabel 9).

<sup>23</sup> In de huidige vormen van bemestingsadvisering wordt per stap van 5 Pw-eenheden een advies gegeven (Adviesbasis) dan wel per analyse-uitslag een advies gegeven.

Tabel 9

Opbrengstderving in procent als functie van het Pw-getal bij hoge fosfaatbemesting (250-500 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, suikerbieten 100-500 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>) naar Henkens (1984).

| Gewas                      | Pw-getal, mg $P_2O_5$ L <sup>-1</sup> |    |    |    |     |     |
|----------------------------|---------------------------------------|----|----|----|-----|-----|
|                            | 5                                     | 10 | 15 | 20 | 25  | 30  |
| Aardappel, zeeklei         | 15                                    | 8  | 5  | 3  | 1   | 0,5 |
| Aardappel, overige gronden | -                                     | 9  | 6  | 4  | 2,5 | 1,5 |
| Suikerbieten, zeeklei      | 9                                     | 5  | 2  | 1  | 0   | 0   |

Als de fosfaattoestand lager is dan het streefgetal, dan wordt een advies gegeven om die toestand te repareren tot het streefgetal (tabel 10). De afleiding van de fosfaatgiften voor reparatie berust op hetzelfde materiaal waaruit de streefgetallen zijn voortgekomen. De grondslag vormt een grafische bewerking. Ehlert et. al. (1996) hebben op basis van multivariate regressie-analyse van gegevens van veeljarige veldproeven de hoeveelheid fosfaat berekend die nodig is om streefwaarden te bereiken en komen tot dezelfde orden van grootte.

Tabel 10

De hoeveelheid fosfaat (kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>) die bovenop de afvoer nodig is om het Pw-getal te verhogen tot het streefgetal (Van Dijk en Van Geel, 2010; Van Dam et al., 2004).

| Pw-getal, mg $P_2O_5$ L <sup>-1</sup> | Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss | Zeeklei, zee- en duinzand <sup>1</sup> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| 1                                     | 990                                 | 1130                                   |
| 5                                     | 700                                 | 780                                    |
| 10                                    | 440                                 | 490                                    |
| 15                                    | 210                                 | 230                                    |
| 20                                    | 0                                   | 0                                      |

<sup>1</sup> De benodigde giften zijn voor zee- en duinzand (ongeacht het kalkgehalte) aanzienlijk lager omdat deze gronden veel minder fosfaat vastleggen dan de overige gronden. De precieze benodigde giften zijn echter nog niet goed bekend.

Het advies voor reparatie van een te lage fosfaattoestand werd gelijktijdig met het advies voor het streefgetal ingevoerd. De verantwoording is gegeven door Henkens (1984). Een herkalibratie van dit advies werd in 1996 uitgevoerd (Ehlert et.al., 1996).

Ten opzichte van bloembollen (zie hoofdstuk 4) is er een verschil. Duinzand wordt onder zeeklei gerekend bij gewasgerichte bemestingsadviezen voor de akkerbouw en vollegrondsgroententeelt, bij bollenteelt wordt zeezand (wadzand) bij deze gewasgerichte adviezen onder dekzand geplaatst. Bij het advies voor reparatiebemesting worden bij beide adviesbases zeezand (wadzand) onder zeeklei geplaatst. Dit vormt een aandachtspunt omdat zeezand fosfaat slecht buffert (zie hoofdstuk 7).

### **Systematiek afleiding indeling in gewasgroepen gewasgerichte advies**

De gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting heeft de indeling in waarderingsklassen bepaald. Andere gewassen werden in gewasgroepen ingedeeld. Per gewasgroep is een referentiegewas aanwezig dat een vorm van kalibratie toeliet van gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Deze kalibratie was minder omvangrijk en minder gestructureerd uitgevoerd dan die bij aardappel (Van der Paauw et.al., 1972). Vaker werd vergelijking gemaakt tussen gewasreacties van referentiegewas aardappel met behulp van veeljarige fosfaatveldproeven (Ris en Van Luit, 1974). Met *expert judgement* werden gewassen in gewasgroepen geplaatst. De plaatsing van vollegrondsgroenten gewassen vormt hierop een uitzondering. Voor vijf zogenoemde pilotgewassen<sup>24</sup> werd gebruik gemaakt van een combinatie van een op vraag – en – aanbod gebaseerd mechanistisch model en empirisch veldonderzoek om gewassen aan gewasgroepen toe te wijzen. Dit mechanistisch model houdt rekening met de dagelijkse vraag van een gewas om fosfaat, de totale fosfaatopname, de

<sup>24</sup> Voorjaarsteelt kropsla, zomerteelt kropsla, bloemkool, peen, prei en aardappel als referentiegewas

snelheid en leveringsduur van fosfaat uit de bodem, bodemfysische eigenschappen en de bouw van het wortelstelsel (Van Noordwijk en De Willigen, 1986; Van Noordwijk et al., 1999). Toepassing van het model leidde tot een classificatie van gewassen t.o.v. akkerbouwgewassen. Een aantal gewassen (kropsla, peen op zand) reageerden sterker op fosfaatbemesting en fosfaattoestand dan het referentiegewas aardappelen. Het onderzoek is beschreven door Ehlert et al. (2000a, 2000b en 2002). Deze bevindingen verkregen met een combinatie van onderzoek met behulp van een mechanistisch model met empirisch veldonderzoek hebben geleid tot een uitbreiding in 2002 van het aantal gewasgroepen van vier naar vijf. Om geen misvatting te veroorzaken bij gebruikers van het advies werd gekozen voor het handhaven van bestaande indelingen met bestaande gewasgroepnummers (i.e. 1, 2, 3 en 4) door een nieuwe gewasgroep 0 op te nemen. Bij deze wijziging van de gewasgroepen bleven bestaande waarderingsklassen van de fosfaattoestanden ongewijzigd. Tot 2002 bestonden twee onafhankelijke bemestingsadviezen, één voor akkerbouwgewassen en één voor bemesting van intensieve vollegrondsgroententeelt. Het bemestingsadvies voor intensieve vollegrondsgroententeelt werd ingetrokken en op basis van het nieuwe bemestingsonderzoek werd overgegaan tot een geïntegreerd bemestingsadvies van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroententeelt. Bij de vollegrondsgroententeelt werd aangesloten bij de systematiek voor de waardering van de fosfaattoestand van de bodem zoals die ontwikkeld was voor akkerbouwgewassen. Ook het bemestingsadvies voor snijmaïs, zoals dat nu opgenomen is in de adviesbasis voor bemesting van grasland en voedergrassen volgt dezelfde systematiek als die van akkerbouw en vollegrondsgroententeelt.

### 3.3 Conclusies

- De waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem van de bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten zijn gebaseerd op de gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.
- De fysieke gewasreactie van aardappel is daarbij gecombineerd met een berekening van het financieel rendement van bemesting. Hierbij is een prijsverhouding van 5 aangehouden. Gegeven deze prijsverhouding werden voor verschillende fosfaattoestanden van de bodem de fosfaatgiften bepaald waarbij de verhoging van de fosfaatgift gelijks was aan de financiële meeropbrengst door deze bemesting. De zo afgeleide economisch optimale fosfaatgiften werden - per proefjaar - als functie van de fosfaattoestand van de bodem in een grafisch verband weergegeven. Lage fosfaattoestanden leidden tot hogere fosfaatadviesgiften, bij toename van de fosfaattoestand nam de economisch optimale fosfaatadviesgift af. Deze afname volgde een kromlijnig (exponentieel) afname.
- Op basis van *expert judgement* werden vervolgens klassen aangebracht in dit verband. Klassen bij lage fosfaattoestanden zijn smaller genomen om risico op opbrengstderving te beperken, klassen zijn breder genomen bij hogere fosfaattoestanden. Om voorlichtingstechnische redenen is de benaming van de waarderingsklasse van de fosfaattoestand gewijzigd. Nu gelden de volgende waarderingsklassen:

| Waardering     | Fosfaattoestand (Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> ) |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Zeër Laag      | < 11                                                                          |
| Laag           | 11 - 20                                                                       |
| Voldoende      | 21 - 30                                                                       |
| Ruim Voldoende | 31 - 45                                                                       |
| Vrij Hoog      | 46 - 60                                                                       |
| Hoog           | > 60                                                                          |

- Beschikbare mathematische beschrijvingen van de afhankelijkheid van de economisch renderende fosfaatgift bij een prijsverhouding van 5 als functie van de fosfaattoestand zijn per waarderingsklasse beschikbaar. Er is echter geen integrale mathematische beschrijving van de economisch renderende gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting beschikbaar.
- De klassering is gebaseerd op het gewasgerichte bemestingsadvies, nadien is een bemestingsadvies voor het in stand houden van een voor de opbrengst wenselijke fosfaattoestand opgesteld. Het streeftraject is gespiegeld aan de klassenindeling bij het gewasgerichte advies.

- De waardering van de fosfaattoestand in klassen heeft een algemeen gebruik gekregen. De fosfaatadviesgift geldt voor gewasgroep 1. Voor andere gewasgroepen is de adviesgift aangepast aan de gewasbehoefte. Die aanpassing laat de waardering onverlet.

# 4 Bloembollen

Annette Pronk en Henk van Reuler

## 4.1 Inleiding

Het bemestingsadvies voor bloembollen lijkt op het advies voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten. Het bemestingsadvies voor de bloembollen kent voor fosfaat eveneens een bodemgericht advies en een gewasgericht advies (Van Dam et. al., 2004). Het bodemgericht advies streeft naar het realiseren en daarna handhaven van een streeftraject dat als optimaal is vastgesteld voor de teelt van bol- en knolgewassen. Het gewasgericht advies streeft naar een economisch optimale productie gegeven een fosfaattoestand. Voor deze optimale productie is een fosfaatgift nodig, afhankelijk van de P-toestand van de bodem. Ook in het streeftraject zijn voor diverse gewassen fosfaatgiften nodig voor het behalen van een economisch optimale productie. De fosfaattoestand wordt aangegeven met het Pw-getal ( $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ).

## 4.2 Systematiek waardering fosfaattoestand

### 4.2.1 Het bodemgericht advies

Het bodemgericht advies is generiek voor grondsoort (tabel 11). Het advies streeft naar het handhaven van een fosfaattoestand van 20 tot 25  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ , met een minimale streefwaarde van Pw-getal van 20  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ . Om deze toestand te handhaven of om de fosfaattoestand op het gewenste niveau te brengen, zijn er adviesgiften beschikbaar die gelijk zijn aan die welke gelden voor akkerbouw en vollegrondsgroenten (tabel 10). Deze adviesgift is afhankelijk van de grondsoort omdat eigenschappen van bodems kunnen verschillen in het adsorberen van de fosfaatgiften en daarmee ook in de beschikbaarheid van de gift per grondsoort. Deze adviesgift is niet afhankelijk van het gewas en derhalve voor dezelfde grondsoort gestandaardiseerd tussen de verschillende sectoren. Wel zijn de streeftrajecten voor de verschillende landbouwsectoren verschillend.

Tabel 11

*Het gewenste Pw-getal op diverse gronden (Van Dam et.al., 2004).*

| Grondsoort                                                       | Streefgetal<br>(Pw-getal)<br>$\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ | Toestand handhaven<br>(Pw-getal)<br>$\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss, zee- en duinzand en zeeklei | 20                                                                    | 20-25                                                                        |

### 4.2.2 Het gewasgericht advies

Naast het handhaven van de gewenste fosfaattoestand (Pw-getal) van de bodem, is het nodig om het gewas van voldoende fosfaat te voorzien: het gewasgericht advies. Het gewasgericht advies bestaat uit een compensatie voor de fosfaatafvoer met het geoogste product en een gift die nodig is om bij de actuele fosfaattoestand (Pw-getal) een economisch optimale opbrengst te realiseren (tabel 12). Deze tabel is een gestandaardiseerde Tabel voor alle landbouwkundige gewassen. Tot 2002 werden bij het bemestingsadvies voor de akkerbouw vier gewasgroepen onderscheiden verdeeld over twee groepen van grondsoorten. In 2002 zijn vollegrondsgroentengewassen opgenomen in deze systematiek en is gewasgroep 0 toegevoegd. De indeling van de grondsoorten bleef ongewijzigd. In 2004 zijn de bol- en knolgewassen (bloembollen) toegevoegd aan deze systematiek van akkerbouw en

vollegrondsgroenten. Bloembollen werden ingedeeld in gewasgroepen 1, 3 en 4 (tabel 13). Het gewasgericht advies kent, evenals het bodemgericht advies, een indeling naar grondsoort.

**Tabel 12**

*Geadviseerde hoeveelheden fosfaat in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (gewasgroep 0, 2002; overige gewasgroepen, 1992, zie ook hoofdstuk 3), Streeftraject voor bloembollenteelt<sup>25</sup> is vet gedrukt.*

| Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>L <sup>-1</sup> | Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss, zee- en<br>duinzand |     |     |     |     | Zeeklei          |     |     |     |    |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|----|
|                                                                  | Gewasgroepen                                             |     |     |     |     | Gewasgroepen     |     |     |     |    |
|                                                                  | 0                                                        | 1   | 2   | 3   | 4   | 0                | 1   | 2   | 3   | 4  |
| 10                                                               | -                                                        | 185 | 160 | 130 | 100 | -                | 185 | 150 | 110 | 60 |
| 15                                                               | -                                                        | 170 | 145 | 110 | 80  | -                | 170 | 130 | 90  | 40 |
| 20                                                               | -                                                        | 150 | 125 | 95  | 60  | -                | 150 | 115 | 65  | 20 |
| 25                                                               | -                                                        | 135 | 110 | 75  | 40  | 245 <sup>1</sup> | 135 | 95  | 45  | 0  |
| 30                                                               | 235 <sup>1</sup>                                         | 120 | 90  | 55  | 20  | 190 <sup>1</sup> | 120 | 75  | 20  |    |
| 35                                                               | 155 <sup>1</sup>                                         | 105 | 75  | 40  | 0   | 130 <sup>1</sup> | 105 | 55  | 0   |    |
| 40                                                               | 95 <sup>1</sup>                                          | 85  | 55  | 20  |     | 85 <sup>2</sup>  | 85  | 40  |     |    |
| 45                                                               | 70                                                       | 70  | 40  | 0   |     | 70 <sup>2</sup>  | 70  | 20  |     |    |
| 50                                                               | 55                                                       | 55  | 20  |     |     | 55 <sup>2</sup>  | 55  | 0   |     |    |
| 55                                                               | 35                                                       | 35  | 0   |     |     | 35 <sup>2</sup>  | 35  |     |     |    |
| 60                                                               | 20                                                       | 20  |     |     |     | 20 <sup>2</sup>  | 20  |     |     |    |
| 65                                                               |                                                          |     |     |     |     |                  |     |     |     |    |

<sup>1</sup> Gift plaatsen d.w.z. ondiep in het zaaibed of op plantdiepte toedienen of als rijenbemesting toedienen.

**Tabel 13**

*Indeling in gewasgroepen (Ehlert et al., 2004; Pasterkamp en Dam 2003).*

| Gewasgroep <sup>2</sup> | Zand                                                           | Zavel en klei                                                            |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 0                       |                                                                |                                                                          |
| 1                       | dahlia                                                         | dahlia                                                                   |
| 2                       |                                                                |                                                                          |
| 3                       | gladiool, hyacint, krokus <sup>1</sup>                         | hyacint, krokus                                                          |
| 4                       | tulp, lelie, iris, zantedeschia en alle overige<br>bloembollen | gladiool, tulp, lelie, iris, zantedeschia en alle<br>overige bloembollen |

<sup>1</sup> De adviezen voor dahlia, hyacint en krokus vragen nadere onderbouwing.

<sup>2</sup> De gewasgroepen en bemestingsgiften per groep zijn hetzelfde als in de akkerbouw en de vollegrondsgroententeelt. Bloembollen vallen in gewasgroep 1, 3 en 4.

## 4.3 Onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen

Gedurende de periode 1996-2002 zijn de fosfaatbemestingsadviezen voor de bloembollen onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn in diverse publicaties beschreven. Het rapport 'Fosfaatbehoefte van bloembollen. Onderbouwing van de fosfaatbemestingsadviezen' van Ehlert et al. (2004) vormt de belangrijkste basis voor de huidige fosfaatbemestingsadviezen. De aanpak van het onderzoek berust op een combinatie van toepassing van een mechanistisch concept dat de vraag van het gewas naar fosfaat koppelt aan de levering van fosfaat uit de bodem samen met veldonderzoek. De aanpak was identiek aan die welke bij de ontwikkeling van bemestingsadviezen voor intensief geteelde vollegrondsgroenten werd toegepast (zie hoofdstuk 3).

Na een eerste verkenning met drie voorbeeldgewassen (tulp, lelie en gladiool) op drie locaties, is de studie opgestart met diverse veldproeven (tabel 14). In de studie is voor verschillende bolgewassen

<sup>25</sup> Streeftraject (Pw-getal) voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten is 25-45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> voor zeeklei; voor dekzand, dalgrond, rivierklei en löss is het streeftraject 30-45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>

op zand en zavel het effect van fosfaatbemesting op de gewasontwikkeling, de opbrengst en de wortelontwikkeling onderzocht. Veldproeven werden uitgevoerd op bodems met fosfaattoestanden die als *Laag* (Pw-getal 15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) of als *voldoende* (Pw-getal 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>) werden gewaardeerd waardoor verwacht werd dat een meetbare response (gewasreactie) op de fosfaatbemesting het resultaat zou zijn. De waarderingsklassen *Laag* en *Voldoende* berustten op spiegeling aan de waarderingsklassen voor aardappel. Daarnaast zijn voor een aantal gewassen oriëntaties uitgevoerd om de gewassen een plaats te geven relatief ten opzichte van de voorbeeldgewassen. De meetgegevens werden gebruikt bij modelberekeningen met het mechanistisch concept. Ook werden gegevens uit het verleden betrokken in de studie voor het bij de indeling van de gewassen in de diverse gewasgroepen (periode 1984-1999). Als laatste is de benodigde fosfaattoestand van de bodem voor de optimale gewasproductie van het desbetreffende bloembollengewas, gerelateerd aan de benodigde fosfaattoestand van aardappel, een fosfaatbehoefstig akkerbouwgewas ingedeeld in gewasgroep 1 (Van Dijk en Van Geel, 2010).

**Tabel 14**

*Overzicht van de proeven uitgevoerd in het project: Fosfaatbehoefte van bloembollen. Onderbouwing van de fosfaatbemestingsadviezen (Ehlert et al., 2004).*

| Locatie              | Grond-soort | Jaar      |           |           |           |           |               |
|----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|                      |             | 1996 / 97 | 1997 / 98 | 1998 / 99 | 1999 / 00 | 2000 / 01 | 2001 / 02     |
| Lisse Proeftuin      | duinzand    | tulp      | tulp      | tulp      | krokus    | hyacint   |               |
|                      |             | lelie     | lelie     |           | hyacint   |           | zante-deschia |
|                      |             | gladiool  | gladiool  | gladiool  | dahlia    |           |               |
| Oostwaardhoeve       | zavel       | tulp      |           |           |           |           |               |
|                      |             | lelie     |           |           |           |           |               |
|                      |             | gladiool  |           |           |           |           |               |
| Dr. H.J. Lovinkhoeve | zavel       |           | tulp      | tulp      | tulp      |           |               |
|                      |             |           | lelie     |           |           |           |               |
|                      |             |           | gladiool  | gladiool  |           |           |               |

#### 4.3.1 Onderbouwing van het bodemgericht advies

Het streeftraject voor het bodemgericht advies is gebaseerd op de gewasreactie bij lage fosfaattoestanden zoals gevonden door Ehlert et al. (2004). “De reactie van de bol- of knolgewassen op fosfaattoestand en fosfaatbemesting was doorgaans zeer bescheiden”, aldus Ehlert et al. (2004). Van de negen geslaagde proeven werd voor tulp bij drie proeven een significant effect van de fosfaatbemesting vastgesteld, voor lelie en gladiool slechts bij twee van de negen proeven. De reacties werden alleen gevonden op duinzand. De uitgangssituatie voor fosfaat in de proeven was laag, waardoor tot dit relatief lage streeftraject is gekomen (tabel 11).

#### 4.3.2 Onderbouwing van het gewasgericht advies

Bij de indeling van de bol- en knolgewassen in gewasgroepen is een prioritering van de gevonden resultaten uit de studie meegenomen. Het veldonderzoek was de belangrijkste pijler voor het indelen van de bolgewassen in gewasgroepen, gevolgd door de gewassenmerken als fosfaatopname, dagelijkse vraag naar fosfaat en wortel ecologische eigenschappen, en als derde is het resultaat van berekeningen met het mechanistisch concept meegenomen. Op grond van deze afwegingen is tabel 13 tot stand gekomen. Een essentieel verschil tussen het bemestingsadvies voor bloembollen met het bemestingsadvies akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten is dat er geen expliciete klassering van de waardering fosfaattoestand is. Het bemestingsadvies voor bloembollen is wel sterk gespiegeld aan het advies voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten. Er zijn vooralsnog geen nieuwe onderzoeksresultaten beschikbaar die gebruikt zouden kunnen worden voor een herschikking of een verfijning van de indeling.

Er ligt een claim dat gewassen geteeld bij een hogere fosfaattoestand met dezelfde fosfaatgift een economisch hogere productie realiseren. Dit verschijnsel is o.a. bij snijmaïs vastgesteld (Holshof et al. 2008). De proefgegevens van Ehlert et al. (2004) zijn gebruikt om dit voor bloembollen verder uit te werken, maar door de grote spreiding in de gegevens was dit niet mogelijk (Ehlert et al., 2005).

## 4.4 Conclusies

- De systematiek van de fosfaatbemestingsadviezen voor bloembollen, met een gewasgericht advies en een bodemgericht advies en eventuele reparatie daarvan, is identiek aan die van het fosfaatbemestingsadvies van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten.
- Ook de methode van grondonderzoek is identiek (Pw-getal).
- Er is echter geen expliciete waardering van de fosfaattoestand van de bodem in klassen gebaseerd op een gewasgericht bemestingsadvies.
- Op basis van het bodemgerichte advies wordt een streefgetal (Pw-getal) van 20 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> geadviseerd. Tevens wordt geadviseerd om de fosfaattoestand te handhaven in het traject (Pw-getal) van 20 - 25 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>.

## 5 Boomkwekerij en buitenbloemen

Annette Pronk en Henk van Reuler

### 5.1 Systematiek waardering fosfaattoestand van boomkwekerijgewassen

#### 5.1.1 Inleiding

De Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen - Vollegrondsteelt is tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van de Commissie Bemesting in de Boomteelt (Aendekerk, 2000). In deze Commissie waren de volgende organisaties vertegenwoordigd: Blgg, DLV, voormalige Expertisecentrum LNV, Nederlandse Bond van Boomkwekers (nu LTO-vakgroep Boom- en Vaste plantenteelt) en het Boomteeltpraktijkonderzoek (nu Wageningen UR-PPO Bomen). Slechts bij een enkel gewas werd gericht onderzoek uitgevoerd naar de reactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand. De hoeveelheid meetgegevens die ten grondslag liggen aan deze Adviesbasis is dan ook heel beperkt. De adviezen zijn veelal gebaseerd op *expert judgement* van de organisaties die in de Commissie Bemesting in de Boomteelt vertegenwoordigd waren.

Boomkwekerij vindt plaats op zand-, klei-, löss- en veengrond. De optimale textuur, organische stof gehalte en ontwateringsdiepte zijn min of meer bekend. In tabel 15 staat de gebruikte indeling vermeld.

Tabel 25

*Indeling bodems (Aendekerk, 2000).*

| Bodem                    | Lutumgehalte (%) | Organische stofgehalte (%) |
|--------------------------|------------------|----------------------------|
| Alluviaal zand           | < 7              | 0,5 – 3,0                  |
| Diluviaal zand           | < 7              | 2,0 – 5,5                  |
| Jonge zeeklei            | 10 – 40          | 1,0 – 6,5                  |
| Oude zeeklei             | 12 – 35          | 2,0 – 9,5                  |
| Rivierklei               | 7 – 50           | 1,5 – 6,5                  |
| Maasklei                 | 7 – 28           | 3,0 – 7,0                  |
| Dalgrond                 | < 7              | 4,5 – 20                   |
| Kleiig veen en veengrond | 10 – 30          | 20 – 60                    |
| Löss                     | 10 – 20          | 1,5 – 4,0                  |
| IJsselmeergrond          | 3 – 35           | 1,5 – 5,5                  |

In het algemeen wordt in de boomkwekerij in de volle grond een bemonsteringsdiepte van 30 cm aangehouden.

### 5.1.2 Indeling boomkwekerijgewassen

In de boomkwekerij wordt een breed sortiment<sup>26</sup> gewassen geteeld. Het is daarom niet mogelijk om voor ieder gewas afzonderlijk een bemestingsadvies op te stellen. De gewassen zijn daarom ingedeeld in groepen. Voor de stikstofbemesting worden de volgende gewagroepen onderscheiden:

- Bos- en haagplantsoen
- Coniferen
- Ericaceae
- Heesters (bladverliezend en bladhoudend)
- Laan- en parkbomen
- Rozen
- Buxus
- Snijgroen
- Trek- en besheesters
- Vruchtbomen
- Vaste planten
- Zaaibedden bos- en haagplantsoen
- Moerplanten

Hierbij is een indeling gemaakt naar groeikracht (als maatstaf voor de behoefte aan voedingsstoffen), de zoutgevoeligheid en naar de gewenste pH streefwaarden (Aendekerk, 2000).

## 5.2 Onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen

In de Adviesbasis wordt de fosfaattoestand van de bodem gewaardeerd aan de hand van het Pw-getal en P-Al-getal<sup>27</sup> (tabel 16). Pw-getal wordt hierbij als intensiteitsmaatstaf geïnterpreteerd; het P-Al-getal als capaciteitsmaatstaf. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt naar bodemtype. De pH van de grond heeft invloed op de hoeveelheid fosfaat die de plant kan opnemen. Een hoge pH<sup>28</sup> vermindert de beschikbaarheid van fosfaat voor de plant. Dan is een relatief hoger P-Al-getal nodig voor eenzelfde fosfaatopname door het gewas. Bij het bemestingsadvies voor boomkwekerijgewassen wordt de pH als sturingsmaatstaf van de capaciteit (de potentieel beschikbare voorraad gewasbeschikbaar fosfaat) aangehouden.

Tabel 16

Waardering van de fosfaattoestand geldig voor alle grondsoorten.

| Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g grond) <sup>-1</sup> |           |           |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                               | ≤ 15                                                                     | 16 - 25   | 26 - 35   | 36 - 45   | 46 - 61   | ≥ 61      |
| ≤ 15                                                          | Zeer Laag                                                                | Zeer Laag | Laag      | Laag      | Vrij Laag | -         |
| 16 - 25                                                       | Zeer Laag                                                                | Laag      | Laag      | Vrij Laag | Goed      | Goed      |
| 26 - 35                                                       | Laag                                                                     | Laag      | Vrij Laag | Goed      | Goed      | Goed      |
| 36 - 45                                                       | Laag                                                                     | Vrij Laag | Goed      | Goed      | Goed      | Vrij Hoog |
| 46 - 60                                                       | Vrij Laag                                                                | Goed      | Goed      | Goed      | Vrij Hoog | Vrij Hoog |
| ≥ 61                                                          | -                                                                        | Goed      | Goed      | Vrij Hoog | Vrij Hoog | Hoog      |

Het advies voor de fosfaatgift in relatie tot de fosfaatwaardering staat vermeld in tabel 17.

<sup>26</sup> Circa 2000 verschillende gewassen.

<sup>27</sup> P-Al-getal is een 1:20 (w/v) extractie met ammoniumlactaat-azijnzuur bij een gebufferde pH van 3,75 (Egnér e.a., 1964).

<sup>28</sup> Fosfaat wordt slechter voor het gewas beschikbaar als de pH lager wordt dan 4,5 en hoger wordt dan 6,5. Rond de pH 5,5 is fosfaat goed beschikbaar voor het gewas.

Tabel 17

Fosfaatadvies voor alle grondsoorten.

| Waardering        | Fosfaatgift, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| <i>Zeer Laag*</i> | 200                                                            |
| <i>Laag</i>       | 160                                                            |
| <i>Vrij Laag</i>  | 120                                                            |
| <i>Goed</i>       | 80                                                             |
| <i>Vrij Hoog</i>  | 0                                                              |
| <i>Hoog</i>       | 0                                                              |

\* bij een Pw-getal en een P-Al-getal < 10 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup> een extra gift van 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

Aendekerk (2000) geeft aan dat voor planten die permanent blijven staan en voor planten met een groot wortelstelsel in principe met lagere fosfaatgiften kan worden volstaan.

De onderbouwing van het fosfaatbestedingsadvies is beperkt<sup>29</sup>. Dit blijkt onder andere uit het feit dat geen onderscheid naar bodemtype en naar gewasgroep wordt gemaakt.

## 5.3 Opties voor indeling van fosfaatklassen van bemestingsadviezen en mogelijkheden tot standaardisatie

### 5.3.1 Systematiek van de indeling van fosfaatklassen

De fosfaatbestedingsadviezen van de akkerbouw en vollegrondsgroente (Van Dijk en Van Geel, 2010) en bloembollen (Van Dam et al., 2004) bestaan uit een bodemgericht advies en een gewasgericht advies. De onderbouwing van deze adviezen zijn beschreven in hoofdstukken 3 en 4. De systematiek waarmee de bemestingsadviezen voor boomkwekerijgewassen zijn opgesteld, verschilt; er wordt één integraal bodemgericht advies gegeven gedifferentieerd naar een intensiteits- en een capaciteitsmaatstaf zonder echter expliciet onderscheid te maken naar grondsoort<sup>30</sup>. Zowel het empirisch onderzoek waarmee in het verleden de adviezen voor aardappel zijn opgesteld als het gecombineerde onderzoek van toepassing van een mechanistisch concept met voeding door ter zake doende meetgegevens ontbreken. Het advies is vooral gebaseerd op toepassing van *expert judgement*. In deze paragraaf wordt onderzocht of toepassing van *expert judgement* bij boomkwekerijgewassen een aansluiting van het bemestingsadvies aan die van andere openteelten mogelijk maakt. Een aansluiting is mogelijk als eenzelfde grondslag wordt gehanteerd zoals bij vollegrondsgroenten en bloembollen werd toegepast. De vraag is of er voldoende gegevens beschikbaar zijn om deze gekozen systematiek ook voor de boomkwekerij uit te werken om daarmee een standaardisatie te bereiken voor alle teelten in de vollegrond.

<sup>29</sup> Het bemestingsadvies voor boomkwekerijgewassen en dat voor de teelt van buitenbloemen berust op het bemestingsadvies voor intensieve groenteteelt. Dit advies is in 2003 vervallen (hoofdstuk 3). Oorspronkelijk bestond dit advies uit een classificering van de fosfaattoestand op basis van een als intensiteitsmaat geïnterpreteerde Pw-getal en als capaciteitsmaat opgevatte P-AL-getal. Er werden zes grondsoorten onderscheiden (löss (code 70), rivierklei (code 40), dalgrond (code 50), diluviaal zand (code 10), duinzand en zeeklei (respectievelijk code 00 en codes 20, 30 en 80) en veen (code 60)). Het bemestingsadvies voor buitenbloemen heeft laatst genoemde fosfaatbestedingsadvies volledig overgenomen. *Expert judgement* heeft geleid tot plaatsing van buitenbloemen in klassen. Bij het bemestingsadvies voor boomkwekerijgewassen heeft *expert judgement* geleid tot het vervallen van onderscheid naar grondsoort. De indeling van de fosfaattoestand in klassen berust op *expert judgement* gebaseerd op kennis over de fosfaattoestand van de bodem zoals die in de boomkwekerij eind jaren negentig van de vorige eeuw voorkwam en de indeling die met name bij löss en dalgrond bij het bemestingsadvies voor intensieve vollegrondsgroente werd gehanteerd.

<sup>30</sup> Impliciet is er wel een sturing via de zuurgraad (pH) van de bodem (Aendekerk, 2000).

### 5.3.2 Beschikbare gegevens voor de boomkwekerij

#### 5.3.2.1 Proeven met fosfaattrappen

Proeven met fosfaattrappen zijn in Nederland voor boomkwekerijgewassen in de vollegrond nauwelijks uitgevoerd. Er bestaat een studie waarin voor de sierheesters *Ligustrum* en *Hibiscus* op veengrond met een uitgangssituatie voor de fosfaattoestand van Pw-getal 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>, de gewasreactie is onderzocht bij vier bemestingstrappen: 0, 75, 150 en 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Oele, 1995). Een gewasreactie op de fosfaatgiften kon niet worden vastgesteld. De conclusie was dat een Pw-getal hoger dan 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> voldoende is voor de teelt van sierheesters op veengrond. Gewaskarakteristieken zijn niet bepaald en andersoortige berekeningen werden niet uitgevoerd. Deze ene studie vormt geen basis om boomkwekerijgewassen in te delen in gewasgroepen.

Ondanks dat geen trappenproeven beschikbaar zijn voor de evaluatie van fosfaatbemesting op de groei van boomkwekerijgewassen, kunnen uit andere onderzoeken een aantal gewaskarakteristieken verzameld worden waardoor het wellicht mogelijk wordt om tot een indeling van gewassen naar fosfaatbehoefte als functie van de fosfaattoestand op te stellen.

#### 5.3.2.2 Gewaskarakteristieken totale P-opname en P-opname per dag in de lineaire groeifase

De gewaskarakteristiek fosfaatopname (P-opname) aan het einde van een teeltseizoen of teelt, is voor een aantal gewassen bekend. Van een beperkt aantal gewassen zijn P-opname cijfers op verschillende momenten tijdens het groeiseizoen bekend. In tabel 18 geeft beschikbare gegevens.

Indien op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen de P-opname is gemeten kan een P-opname-curve worden berekend. Het lineaire deel van de curve geeft de P opname aan die nodig is om de gemeten opname te realiseren.

De P-opnamesnelheid in de lineaire groeifase (kg ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>) wordt gebruikt om de gewassen in te delen. De criteria voor de indeling staan in tabel 19.

Daarna is gekeken of de voorbeeldgewassen voor de boomkwekerij in de gewasgroepen kunnen worden ingedeeld. In de formule voor de P opname snelheid zijn de beschikbare P opname cijfers ingevoerd.

Tabel 18

Beschikbare P opname gegevens voor verschillende boomkwekerij gewassen.

| Gewasgroep                     | Gewas             | P-opname op verschillende tijdstippen tijdens de teelt | P-opname totaal, einde groeiseizoen | Referenties                                                                          |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Coniferen                      | Thuja             | X                                                      | X                                   | (De Beuze et al., 2004a; De Beuze et al., 2004b; Van Reuler et al. in voorbereiding) |
|                                | Chamaecyparis     |                                                        | X                                   |                                                                                      |
|                                | Taxus             |                                                        | X                                   |                                                                                      |
| Bos- en haagplantsoen (B en H) | Carpinus          | X                                                      |                                     | Horst, (De Beuze et al., 2004a; De Beuze et al., 2004b)                              |
| Sierheesters bladverliezend    | Ligustrum         |                                                        |                                     | (Oele, 1995)                                                                         |
| Sierheesters bladhoudend       | Hibiscus, Prunus  |                                                        |                                     | (Oele, 1995)<br>(Aendekerk, 2002)                                                    |
| Buxus                          |                   |                                                        | X                                   | (Van Reuler et al. in voorbereiding)                                                 |
| Laanbomen, spullen             | Carpinus (B en H) | X                                                      |                                     | (Ehlert et al., 2009; Nouwens, 2004)                                                 |
| Laanbomen, opzetters           | Ulmus, Acer       |                                                        | X                                   |                                                                                      |
| Vaste planten / Zomerbloemen   |                   | X                                                      | X                                   | (Van Reuler, 2009)<br>Horst, (Van de Wiel et al., 2002)                              |
| Vruchtbomen                    |                   |                                                        | X                                   | (Van Reuler en Pronk, 2007)                                                          |
| Rozen                          |                   | X                                                      | X                                   | Horst, (Van Reuler en Pronk, 2008)                                                   |

Tabel 19

Gewaskarakteristieken totale P-opname en P-opname in lineaire groeifase voor de verschillende gewasgroepen. Geen differentiatie naar grondsoort.

| Gewasgroep | Totale P opname, kg P ha <sup>-1</sup> | Dagelijkse P opname, kg P ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> |
|------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 0          | 27,3                                   | 0,9                                                        |
| 1          | 24,5                                   | 0,4                                                        |
| 2          | 9,6                                    | 0,2                                                        |
| 3          | 32,4                                   | 0,3                                                        |
| 4          | 22,9                                   | 0,3                                                        |

Het is duidelijk dat de beperkte hoeveelheid beschikbare gegevens noodzaakt om de indeling in gewasgroepen zoals die voor het N advies gehanteerd worden, sterk te vereenvoudigen.

### 5.3.3 Onderbouwing gewaskarakteristieken totale P-opname en P-opname per dag

#### 5.3.3.1 Materiaal en methoden

##### *Sierconiferen, struikrozen en bos- en haagplantsoen*

In de periode van 1998 tot en met 2001 zijn drie tweejarige proeven gedaan waarin de gewasgroei van *Thuja occidentalis* (Pronk, 2004), *Rosa* en *Carpinus betulus* zijn onderzocht bij verschillende irrigatiehoeveelheden. *Thuja* is gekozen als zijnde representatief voor de gewasgroei van sierconiferen, *Rosa* voor de struikrozen en *Carpinus betulus* voor de teelt van bos- en haagplantsoen. In de proef met *Thuja* zijn op verschillende tijdstippen gewasmonsters genomen en daarin is het P-gehalte bepaald.

Bij de andere twee proeven is dit niet gedaan. Om toch iets over de P-opnamecurve te kunnen zeggen zijn P-gehalten gebruikt die afkomstig zijn uit metingen van vergelijkbare teelten op dezelfde grondsoort bij hetzelfde gewas uit het geïntegreerde (GBS) en biologische teeltsysteem in de periode 1999 tot en met 2003. In het GBS en biologische teeltsysteem onderzoek zijn de nutriëntengehalten bij aanvang van de teelt, na één jaar en na het tweede groeiseizoen bepaald (De Beuze et al., 2004a; De Beuze et al., 2004b). De tabellen 20, 21 en 22 geven overzichten van verzamelde gegevens. Met deze gehalten is de P-opnamecurve voor de twee gewassen berekend gedurende het eerste en tweede teeltseizoen.

Met deze gegevens is een logistische<sup>31</sup> opnamecurve berekend met GENSTAT en is de P-opname per dag in de lineaire groeifase berekend.

##### *Vaste planten*

Gegevens van P-opnamecurven van vaste planten zijn niet bekend. Om toch iets over vaste planten te kunnen zeggen is gebruik gemaakt van opnamecurven van zomerbloemen. Zomerbloemen verschillen in aan aantal teeltaspecten van de teelt van vaste planten.

Van de Wiel (2002) heeft drogestof-productiecurven vastgesteld voor vijf buitenbloemen: *Gypsophila*, *Delphinium*, *Aconitum*, *Alchemilla* en *Solidago*. De gewassen zijn in het voorjaar geplant dan wel gezaaid en als buitenbloem voor de snij geteeld. Deze proeven waren bedoeld om het NBS-systeem verder te verfijnen. Er is vijf maal per seizoen een gewasmonster genomen van het bovengrondse gewas en geanalyseerd op N-inhoud. De droge stof productiecijfers zijn gebruikt om productiecurven vast te stellen, uitgedrukt op een tijdschaal van dagen na planten/zaaien. Omdat van de Wiel (2002) geen P-gehalten in het gewas heeft bepaald, zijn die van andere bronnen gebruikt. Voor *Gypsophila* werden geen P-gehalten getraceerd; daardoor vervalt een mogelijkheid om dit gewas bij dit onderzoek te betrekken. De andere P-gehalten zijn afkomstig van onderzoek aan bedrijfssystemen te Horst, waarin ook *Alchemilla* is geteeld (Nouwens et al., 2004) en van onderzoek uitgevoerd op Zwaagdijk in

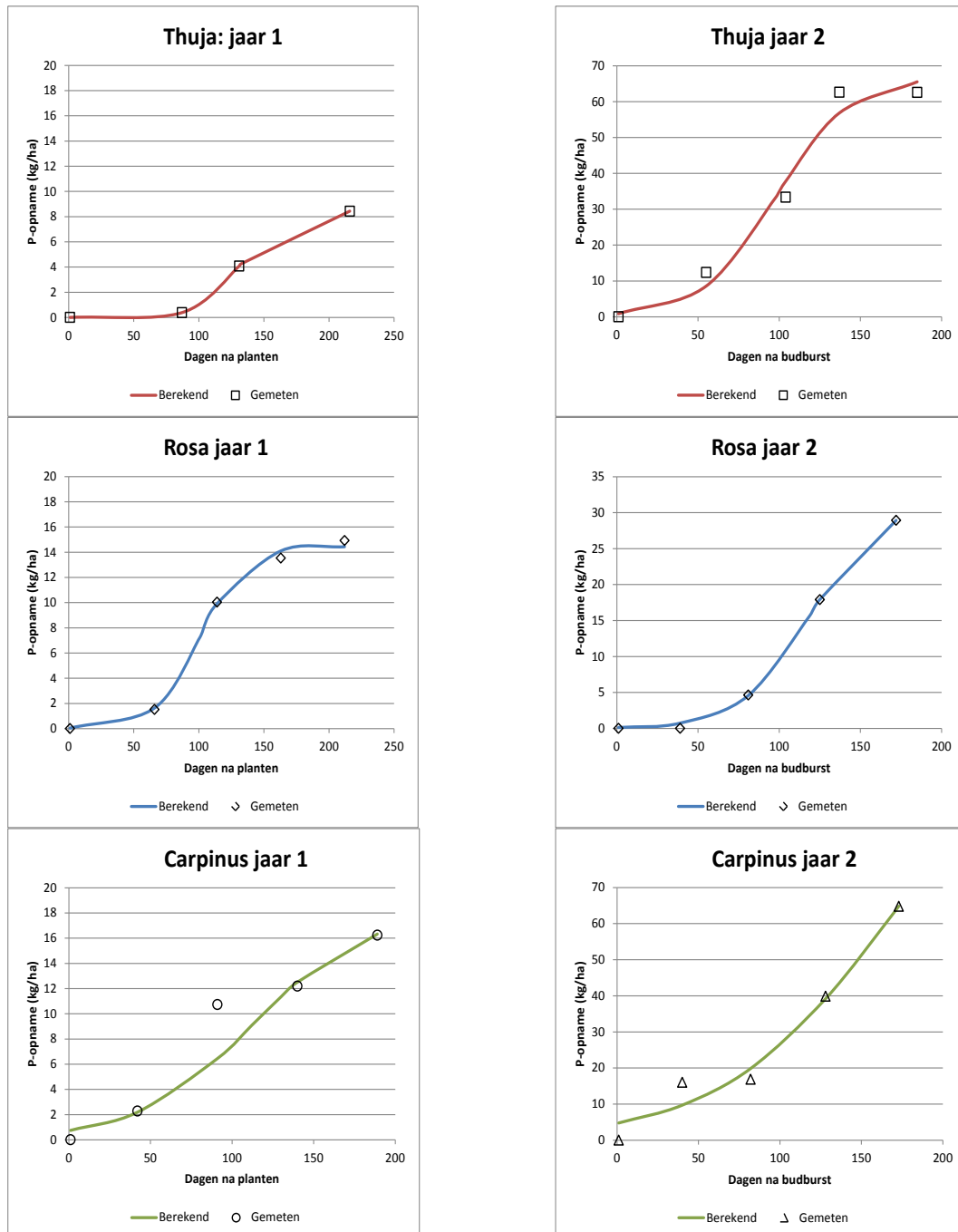
<sup>31</sup> logistisch regressie model.

de periode 2007-2009 (Kuiper et al., 2010). Vaak is alleen een eindwaarneming bekend en deze waarde is constant verondersteld om de P-opnamecurve te berekenen. Met deze gegevens is een opnamecurve berekend met GENSTAT en is de P-opname per dag in de lineaire groeifase berekend.

### 5.3.3.2 Resultaten

*Sierconiferen, struikrozen en bos- en haagplantsoen*

De resultaten van de berekende P-opnamecurve staan in (figuur 2)



**Figuur 2** De P-opnamecurven in  $\text{kg P ha}^{-1}$  voor *Thuja occidentalis*, *Rosa* en *Carpinus betulus* gedurende het eerste en tweede groeiseizoen.

Het lineaire deel van de curve geeft de P-opname aan die per dag nodig is om de gemeten opname te realiseren. De resultaten van deze lineaire opname en de totaal gerealiseerde opname per teeltseizoen, staan in tabel 20.

Tabel 20

De P-opname van de verschillende gewassen, per dag en totaal gedurende het groeiseizoen.

| Gewas                     | P-opname (kg P ha <sup>-1</sup> dag <sup>-1</sup> ) |             | P opname (kg P ha <sup>-1</sup> teeltjaar <sup>-1</sup> ) |             |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------|-------------|
|                           | teeltjaar 1                                         | teeltjaar 2 | teeltjaar 1                                               | teeltjaar 2 |
| <i>Thuja occidentalis</i> | 0,14                                                | 0,74        | 8                                                         | 63          |
| <i>Rosa</i>               | 0,21                                                | 0,37        | 15                                                        | 29          |
| <i>Carpinus betulus</i>   | 0,13                                                | 0,57        | 16                                                        | 65          |

Tabel 21

Gebruikte P-gehalten (%) van *Rosa* en *Carpinus* uit het GBS en het biologische teeltsysteem (De Beuze et al., 2004a; De Beuze et al., 2004b).

| Gewas           | Teeltjaar |                  |                  |
|-----------------|-----------|------------------|------------------|
|                 | Start     | Eind teeltjaar 1 | Eind teeltjaar 2 |
| <i>Carpinus</i> | 0,24      | 0,23             | 0,19             |
| <i>Rosa</i>     | 0,23      | 0,23             | 0,24             |

*Aconitum* neemt de meeste P op in kg ha<sup>-1</sup>, gevolgd door *Alchemilla* in 2001 (tabel 22). De hoogste P-opname per dag in de lineaire groeifase wordt gerealiseerd bij *Aconitum* en *Delphinium* (tabel 22).

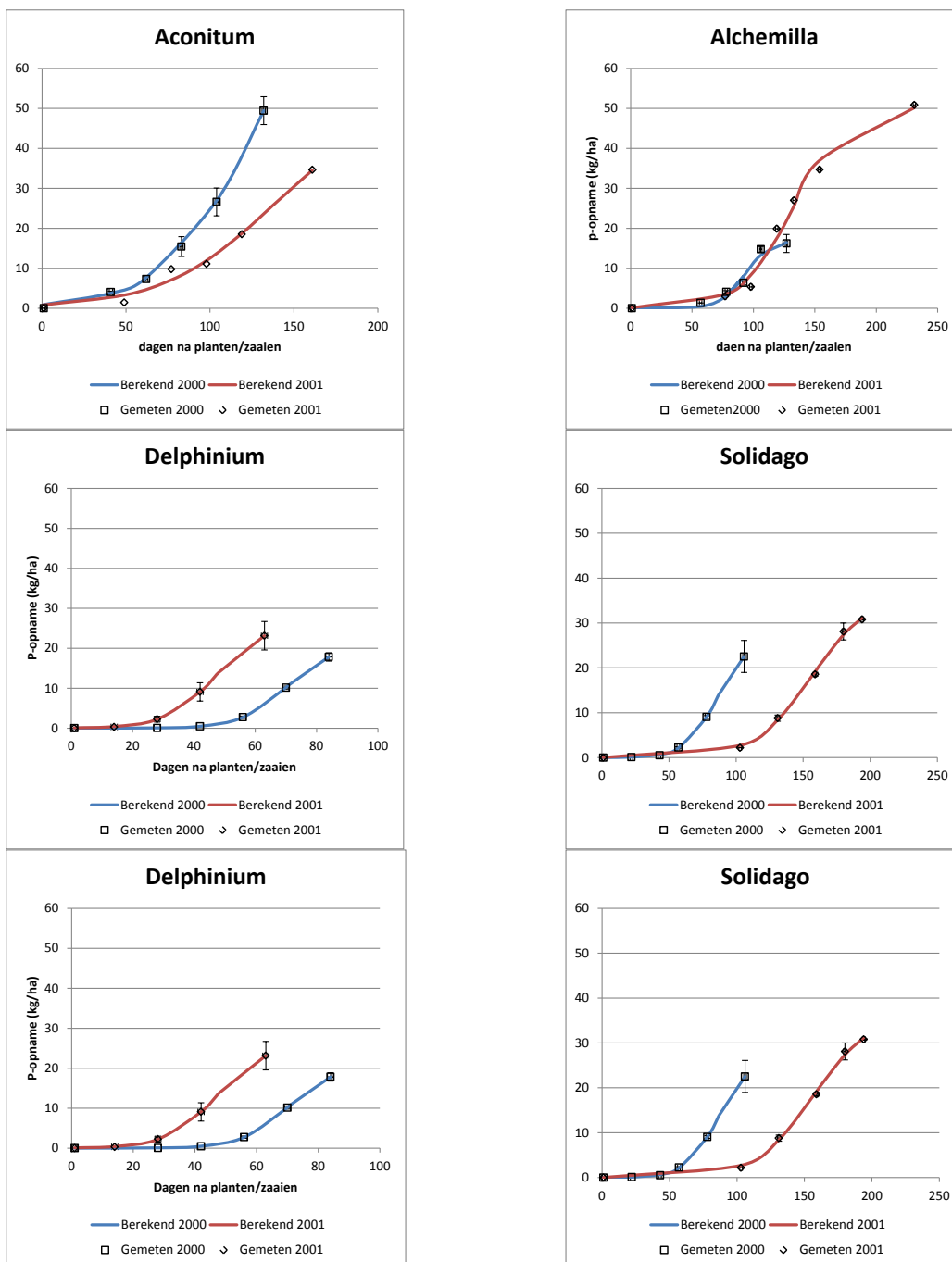
Tabel 22

De P-opname van de verschillende zomerbloemen in kg ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> en in kg ha<sup>-1</sup> aan het einde van de teelt.

| Gewas             | P-opname, kg P ha <sup>-1</sup> dag <sup>-1</sup> |      | P-opname, kg P ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> |      |
|-------------------|---------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------|------|
|                   | 2000                                              | 2001 | 2000                                               | 2001 |
| <i>Delphinium</i> | 0,68                                              | 0,82 | 18                                                 | 23   |
| <i>Aconitum</i>   | 0,86                                              | 0,35 | 54                                                 | 47   |
| <i>Alchemilla</i> | 0,42                                              | 0,50 | 16                                                 | 51   |
| <i>Solidago</i>   | 0,56                                              | 0,38 | 23                                                 | 31   |

#### Vaste planten

In figuur 3 staan de P-opname cijfers van vier buitenbloemen in 2000 en 2001.



**Figuur 3** P-opname curven voor vier buitenbloemen in 2000 en 2001. De lijnen zijn de berekende curven, de open symbolen de gemeten punten.

### 5.3.3.3 Resultaat

Op grond van de beperkte hoeveelheid beschikbare gegevens van de gewaskarakteristieken totale P-opname en de P-opname per dag in de lineaire groeifase, en onder de veronderstelling dat deze teelten voldoende fosfaat ter beschikking hadden voor een optimale groei, zouden de gewassen ingedeeld worden zoals in tabel 23 is weergegeven.

Tabel 23

Plaatsing van de voorbeeldgewassen in gewasgroepen (0 tot en met 4, zie tabel 12) gebaseerd op de gewaskarakteristieken totale P-opname ( $\text{kg P ha}^{-1}$ ; Ptot) en P-opname per dag in de lineaire groeifase ( $\text{kg P ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; PpD).

| Gewas             |                           | Teeltjaar |     |      |     |
|-------------------|---------------------------|-----------|-----|------|-----|
|                   |                           | 1         |     | 2    |     |
|                   |                           | Ptot      | PpD | Ptot | PpD |
| Bomen en Heesters | <i>Thuja occidentalis</i> | 2         | 2   | 0    | 0   |
|                   | <i>Rosa</i>               | 2         | 2   | 1    | 1   |
|                   | <i>Carpinus betulus</i>   | 2         | 2   | 0    | 1   |
| Vaste planten     | <i>Delphinium</i>         | 0         | 0   |      |     |
|                   | <i>Aconitum</i>           | 0/1       | 0/1 |      |     |
|                   | <i>Alchemilla</i>         | 1         | 1   |      |     |
|                   | <i>Solidago</i>           | 1         | 1   |      |     |

## 5.4 Conclusies indeling boomkwekerijgewassen in gewasgroepen

- De adviesbasis voor boomkwekerijgewassen is gebaseerd op de toepassing van twee methoden van grondonderzoek. Dit zijn de intensiteitsparameter Pw-getal en de capaciteitsparameter P-Al-getal.
- De hoeveelheid meetgegevens die ten grondslag liggen aan deze adviesbasis is heel beperkt. De adviezen zijn veelal gebaseerd op *expert judgement* van de organisaties die in de Commissie Bemesting in de Boomteelt vertegenwoordigd waren. Er zijn daardoor geen mathematische verbanden tussen opbrengst (kwaliteit) als functie van meststofgift en fosfaattoestand van de bodem beschikbaar.
- Pw-getal en P-Al-getal worden in waarderingsklassen ingedeeld. De waardering van de fosfaattoestand kent de klassen *Zeer Laag*, *Laag*, *Vrij Laag*, *Goed*, *Vrij Hoog* en *Hoog*. P-Al-getal lager dan  $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ g})^{-1}$  en Pw-getal lager dan  $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  wordt *Zeer Laag* gewaardeerd. P-Al-getal gelijk of hoger dan  $61 \text{ mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ g})^{-1}$  en Pw-getal gelijk of hoger dan  $61 \text{ mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ g})^{-1}$  wordt *Hoog* gewaardeerd. Een P-Al-getal hoger dan  $36 \text{ mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ g})^{-1}$  en een Pw-getal hoger dan  $36 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  wordt *Goed* gewaardeerd. Naarmate de intensiteit hoger is, kan de capaciteit lager zijn om toch eenzelfde waardering te krijgen (tabel 16).
- Het advies voor boomkwekerijgewassen is gebaseerd op een inmiddels vervallen adviesbasis voor intensieve vollegrondsgroententeelt.
- Onderzocht is of de systematiek van de onderbouwing van de adviesbasis van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen toegepast kan worden bij een mogelijke onderbouwing van de adviesbasis van boomkwekerijgewassen. De systematiek zoals deze is uitgewerkt voor de akkerbouwgewassen, vollegrondsgroentegewassen en bol- en knolgewassen voor de indeling van de gewassen in gewasgroepen voor fosfaatbehoefte, kan voor de boomkwekerij echter geen navolging vinden. Er zijn slechts gegevens van één fosfaatbemestingstrappenproef beschikbaar. Deze gegevens vormen onvoldoende basis voor een indeling van fosfaattoestanden van de bodem in klassen te onderbouwen.
- De gegevens van twee gewaskarakteristieken (totale fosfaatopname en dagelijkse vraag naar fosfaat), die beschikbaar zijn voor de indeling van de boomkwekerijgewassen in gewasgroepen voor fosfaatbehoefte, geven aan dat onderzochte gewassen in de gewasgroepen 0, 1 en 2 vallen. Een grond wordt voor de teelt van boomkwekerijgewassen als *goed* beoordeeld, afhankelijk van het P-AL-getal, als het Pw-getal ligt tussen 26 en 35 (tabel 16). Bij deze waardering van de fosfaattoestand hoort een adviesbemesting van  $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  (tabel 17). De adviesgiftten behorende bij dit bereik in Pw-getal zijn voor gewasgroep 0 - 155 tot  $235 \text{ kg ha}^{-1}$ , voor gewasgroep 1 - 105 tot  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  en voor gewasgroep 2 - 75 tot  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  (tabel 17) en daarmee overwegend hoger dan het huidige fosfaatadvies voor de bemesting van boomkwekerijgewassen.
- De teelt van boomkwekerijgewassen, met uitzondering van vaste plantenteelt, staat niet bekend als een teelt waarbij fosfaatbemesting een groot effect heeft op de productie. Dit wordt waarschijnlijk mede veroorzaakt doordat situaties van lage fosfaattoestanden (Pw-getal) bij de teelt van boomkwekerijgewassen in de praktijk weinig voorkomen omdat traditioneel veel organische bemesting wordt gebruikt. Knelpunten in de praktijk en de met knelpunten samengaande vragen uit de praktijk, blijven daardoor tot op heden uit. Het blijft daardoor onduidelijk hoe de gewasreactie van boomkwekerijgewassen is op lagere fosfaattoestanden.

# 6 Fruit

Rien van der Maas

## 6.1 Indeling fosfaatklassen

De bemestingsadviezen voor fruitgewassen worden gegeven op basis van grond- of bladonderzoek (Kodde, 1994). Het advies op basis van grondonderzoek geldt voor de fase vóór en vlak na planten en is opgesteld voor groot- en kleinfruit. Het bemestingsadvies is gebaseerd op het P-Al-getal (Egnér et al., 1960). Onder grootfruit vallen pitvruchten (appel en peer) en steenfruit (pruim en kers). Onder kleinfruit vallen rode bes, zwarte bes, kruisbes, braam, framboos en blauwe bes. Op basis van de uitslag van het grondonderzoek wordt een bemestingsadvies gegeven voor de eerste twee à drie jaar. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen:

- het eenmalig geven van een grote mestgift (kunstmest en/of het werkzame deel van de organische mest) voorafgaande aan het planten om zodoende de mestgift ook onder te kunnen werken; deze mestgift geldt voor de eerste drie jaar (aanbevolen);
- het jaarlijks geven van de mest gedurende de eerste drie jaar zonder het onderwerken daarvan (onderwerken is immers na planten niet meer mogelijk zonder het wortelstelsel te beschadigen).

Het advies op basis van grondonderzoek is ook te gebruiken voor de periode na de eerste 2 à 3 jaar volgend op de aanplant. Bijvoorbeeld in geval van weerbarstige problemen op gebied van plantenvoeding en voor controle van de pH kan ook na 2 à 3 jaar na het planten grondonderzoek nodig zijn. In geval van fertigatie moeten dan het druppelpunt en de zwartstrook apart bemonsterd worden.

In het fosfaatbemestingsadvies op basis van grondanalyse wordt geen onderscheid gemaakt in grondsoort, behalve voor blauw bes. Blauwe bes is namelijk het enige fruitgewas dat ook op veengrond geteeld wordt, voor de andere fruitgewassen is het areaal van de teelt op veengrond verwaarloosbaar. Blijkbaar hadden de deskundigen aanleiding om te veronderstellen dat het advies op veen niet hetzelfde kon zijn dan het advies voor minerale gronden (geen referentie beschikbaar). Vreemd genoeg is voor blauwe bes op veen vervolgens geen advies geformuleerd. De reden hiervoor kon niet worden achterhaald.

In het advies wordt uitgegaan van de methode van breedwerpig uitstrooien van de kunstmest dan wel het geven van organische mest. Wanneer het de periode voorgaande aan planten betreft, wordt de kunstmest of organische mest ondergewerkt. Na planten gebeurt dat niet meer.

Na de periode van twee à drie jaar na planten wordt normaal gesproken overgestapt op bemestingsadvisering op basis van bladonderzoek. Deze adviesbasis geldt alleen voor appel op M.9-onderstam en peer op de diverse<sup>32</sup> kweeonderstammen. In geval van voldoende groei en dracht kan in het tweede jaar een bladmonster genomen worden voor het vaststellen van de bemesting in het derde jaar. Gedurende de rest van de levensduur van de aanplant blijft de bemesting vastgesteld worden op basis van bladonderzoek. De economische levensduur van een appelaanplant is twaalf jaar en van een perenaanplant 25 jaar. Het advies op basis van bladonderzoek is een relatief advies: het geeft aan hoeveel meer of minder mest het volgende jaar gegeven moet worden in vergelijking met het jaar waarin het bladmonster genomen is. Deze adviesbasis is begrensd met een maximum van 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. De wettelijke begrenzing wordt echter bepaald door de fosfaatgebruiksnormen. Omdat deze afhankelijk zijn van de waarde van het Pw-getal nemen fruittelers toch grondmonsters om de

<sup>32</sup> Drie verschillende kwee-rassen.

maximum fosfaatbemesting vast te stellen. Fruitteelt valt hierbij onder de categorie bouwland. Het advies op basis van grondonderzoek vóór aanplant wordt gegeven in tabel 24; het advies in bestaande aanplant wordt gegeven in tabel 25. Het bemestingsadvies voor blauwe bes wordt gegeven in tabel 26. De bemonsteringsdiepte is 25 cm.

**Tabel 24**

*Fosfaatbemestingsadvies groot- en kleinfruit (exclusief blauwe bes) voor alle grondsoorten vóór aanplant<sup>1</sup>.*

| P-Al-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | Waardering | Bemesting, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                       |            | Grootfruit                                                   | Kleinfruit<br>(excl. Blauwe bes) |
| ≤ 25                                                                  | Laag       | 300                                                          | 450                              |
| 26 - 35                                                               | Vrij Laag  | 180                                                          | 300                              |
| 36 - 45                                                               | Goed       | 90                                                           | 150                              |
| 46 - 59                                                               | Vrij Hoog  | 0                                                            | 0                                |
| ≥ 60                                                                  | Hoog       | 0                                                            | 0                                |

<sup>1</sup> Bij aanleg van de boomgaard de totale gift voor 3 jaar als één gift vóór de grondbewerking toedienen.

**Tabel 25**

*Fosfaatbemestingsadvies groot- en kleinfruit (exclusief blauwe bes) voor alle grondsoorten in bestaande aanplant<sup>1</sup>.*

| P-Al-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | Waardering | Bemesting, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                       |            | Grootfruit                                                   | Kleinfruit<br>(excl. Blauwe bes) |
| ≤ 25                                                                  | Laag       | 100                                                          | 150                              |
| 26 - 35                                                               | Vrij Laag  | 60                                                           | 100                              |
| 36 - 45                                                               | Goed       | 30                                                           | 50                               |
| 46 - 59                                                               | Vrij Hoog  | 0                                                            | 0                                |
| ≥ 60                                                                  | Hoog       | 0                                                            | 0                                |

<sup>1</sup> De geadviseerde giften gedurende een periode van 3 jaar elk jaar uitstrooien.

**Tabel 26**

*Fosfaatbemestingsadvies Blauwe bes voor diluviale zandgronden en dalgronden.*

| P-Al-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | Waardering | Bemesting,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|
| ≤ 25                                                                  | Laag       | 100                                                             |
| 26 - 35                                                               | Vrij Laag  | 60                                                              |
| 36 - 45                                                               | Goed       | 30                                                              |
| 46 - 59                                                               | Vrij Hoog  | 0                                                               |
| ≥ 60                                                                  | Hoog       | 0                                                               |

Voor blauwe bes bestaat alleen een advies dat uitgaat van jaarlijkse giften. Voor veengronden wordt voor blauwe bes geen advies gegeven (ook in de eerste uitgave van 1992 niet).

## 6.2 Onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen

### 6.2.1 Fosfaatbestedingsproeven appel

In Nederland zijn, voor zover bekend, voor het gewas appel vier fosfaatbestedingsproeven uitgevoerd onder Nederlandse omstandigheden (voor de andere fruitgewassen zijn geen veldproeven beschikbaar). Het ging hierbij om veldproeven op kalkrijke kleigrond en geheel of gedeeltelijk met moderne M.9 onderstam:

1. Van Dam/Stichting Bodemkartering, Numansdorp, 1951-1960; gedeeltelijk moderne onderstam M.9; proefrassen Jonathan (nu niet meer geteeld), Cox en Golden Delicious; afwijkend ondergroei-beheer (hele boomgaard 'zwart' tot juni, daarna acceptatie ondergroei; vanaf 1956 volledig begroeid in combinatie met maaien) (Dam, 1958; Drijfhout, 1961a, 1961b, 1961c).
2. Oud, proeftuin Kraggenburg, 1960-1971; moderne onderstam M.9; proefras Golden Delicious; moderne grasstroken-cultuur (Boon en Das, 1975).
3. Delver, Proefstation Wilhelminadorp 1965-1971; moderne onderstam M.9; proefras Golden Delicious; moderne grasstroken-cultuur (onderzoek beschreven in: Boon en Das, 1975).
4. Van der Boon en Das, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, locatie Dronten, 1968-1972; moderne onderstam M.9; moderne grasstroken-cultuur; proefras Cox, vertoende Cox-ziekte (geen optimale groei) (Boon en Das, 1975).

In geen van de vier veldproeven leidde fosfaatgiften tot een verhoging van het fosfaatgehalte in het blad, dan wel tot een teeltkundig effect (bijvoorbeeld tot verhoging van productie of vruchtkwaliteit). In twee proeven werden alternatieve toedieningstechnieken uitgeprobeerd via boorgaten, zonder dat het iets opleverde, zowel qua opname als qua teeltkundig effect. Fosfaatfertilisatie of fosfaatbladvoeding werden niet toegepast. De proef van Boon en Das (1975) is voor de huidige beschouwing niet bruikbaar door de Cox-ziekte die optrad.

Verhoging van bodem-fosfaat (Pw-getal, P-Al-getal, P-waarde of P-citroenzuurgetal) werd in alle proeven wel waargenomen, maar beperkte zich voornamelijk tot de eerste 5 cm van de bodem. Omdat in deze laag zich maar 5-10% van de wortels bevinden (persoonlijke waarneming Rien van der Maas) en deze laag vaak te droog is om fosfaatopname mogelijk te maken, is deze verhoging waarschijnlijk van weinig belang voor de verhoging van de fosfaatopname. De gecreëerde bereiken in fosfaattoestanden in de laag 5-20 cm (waar nog steeds maar relatief weinig wortels zitten, nl. 30-35% van het totale wortelstelsel; persoonlijke waarneming Rien van der Maas) zijn te beperkt om als basis te gebruiken voor onderzoek naar opname en productie- en kwaliteitseffecten; het bereik in P-Al-getal in  $\text{mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ g})^{-1}$  voor de diepte 5-20 cm was:

- proef-Van Dam: niet bekend (er werd geen onderscheid gemaakt tussen 0-5 en 5-20 cm)
- proef-Oud: 20-28,
- proef Delver: 48-61.

Opvallend is dat het fosfaatbladgehalte in de laatste twee proeven hetzelfde was, nl. gemiddeld over twee achtereenvolgende jaren 0.17% P op drogestofbasis voor alle behandelingen; het grote verschil in P-Al-getal tussen de twee bodems van deze proeven heeft niet tot verschil in fosfaatbladgehalte geleid.

### 6.2.2 Conclusies over beschikbaarheid van meetgegevens

- Er zijn weinig fosfaatbestedingsproeven gedaan in Nederland. In de vier proeven die wel zijn uitgevoerd lag de nadruk op het vinden van een relatie tussen een breedwerpig fosfaatgift en de reactie van het gewas (productie of kwaliteit). Eén proef is hiervoor niet bruikbaar gebleken door het optreden van een ziekte. Fosfaatbodem- en -gewasmetingen werden alleen incidenteel uitgevoerd.
- In de proeven kon geen relatie vastgesteld worden tussen breedwerpig fosfaatbesteding en fosfaatopname en/of gewasreactie.
- In de proeven gerealiseerde bereik in fosfaattoestanden van de bodem was te beperkt om uitspraken te kunnen doen over de relatie tussen de fosfaattoestand en gewasreactie (opbrengst en

fosfaatgehalte in het blad). Uit de vergelijking van de proeven onderling zou kunnen worden afgeleid dat de relatie tussen bodemfosfaataanbod en fosfaatopname zwak is. Uitgebreider onderzoek is nodig om dit verantwoord vast te kunnen stellen.

- voor de, zelden<sup>33</sup> gebruikte, toepassing van het fosfaatbemestingsadvies voor fruit, waarin op basis van een grondmonster een jaarlijkse breedwerpige, fosfaatmestgift wordt geadviseerd (welke niet wordt ondergewerkt om schade aan het wortelstelsel te voorkomen) is breedwerpige bemesting niet een verantwoorde fosfaatbemestingsmethode (er vindt immers geen aantoonbare verhoging van het fosfaatgehalte in het blad plaats in de diverse proeven) terwijl deze methode wel wordt geadviseerd,
- voor de aanbevolen toepassing van het advies op basis van grondanalyse, namelijk de eenmalige, voor drie jaar geldende, grote gift voorafgaande aan planten die vervolgens ondergewerkt moet worden, zijn geen proeven beschikbaar die het fosfaatbemestingsadvies voor fruit onderbouwen. Anderzijds mag men aan nemen dat het onderwerken van een eenmalige grote breedwerpige gift voorafgaande aan planten niet tot een verhoging van de fosfaatopname leidt; hoge jaarlijkse giften na planten die in bovenstaande proeven over diepten tot 20 cm na een groot aantal jaren tot enige verhoging van Pw-getal of P-Al-getal hebben geleid, hebben namelijk ook niet tot verhoging van het fosfaatgehalte van het blad geleid.

Uit de beschikbare stukken van de diverse commissies en experts die in de periode 1960 tot 1995 zich met het bemestingsadvies voor fruitgewassen hebben bezig gehouden (voor relevante citaten voor zover beschikbaar zie bijlage 1) konden de volgende opmerkingen worden gevonden die de conclusie over de afwezigheid van effectiviteit van breedwerpige fosfaatbemesting in meer of mindere mate ondersteunen:

- Bladanalyse als basis van het bemestingsadvies voor appel en peer; Hoofdpijnen van een werkwijze, 1981, P. Delver. 5.2. Fosfaat. 'In het zeldzame geval dat het fosfaatgehalte in het blad te laag uitvalt, zal een bemesting, het mulchen van gras op de boomstrook of eventueel een bladbespuiting worden geadviseerd'.
- Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, Wageningen, juli 1984. Het fosfaatgehalte van het blad kan door bemesting met fosfaat moeilijk worden beïnvloed. Herstelmaatregelen zullen daarom op een andere wijze teweeg moeten worden gebracht, bijvoorbeeld via stikstofbemesting, bodembehandeling en dergelijke.
- Commissie voor de Bemesting in de Fruitteelt. Uit agenda en verslag van de vergadering op 1 maart 1994, te Wilhelminadorp. N.a.v. verslag vergadering 14 dec 1993: 'Kodde stelt voor de maximale P-gift bij bladanalyse nog lager vast te stellen dan 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Dit vooral gezien de zeer geringe reactie van fruitgewassen op P-toediening. Na enige discussie wordt besloten de maximale gift te houden op 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>.

### 6.2.3 *Expert judgement* van het huidige advies

Het is duidelijk dat de huidige advisering van fosfaatbemesting op basis van grondanalyse in de fruitteelt niet berust op onderzoeksgegevens; het berust geheel op *expert judgement*. Verder zijn er geen documenten gevonden waarin de achterliggende motieven en gedachten van *expert judgement* zijn weergegeven. Vermoedelijk is het een combinatie geweest van kennis van fosfaatbemesting bij akkerbouwgewassen, algemene bemestingsbenaderingen en ervaringen uit de fruitteeltpraktijk.

Uit diverse publicaties in De Fruitteelt in de periode 1967 t/m 1975 blijkt echter hoe tegenstrijdig deze ervaringen of meningen waren: in De Fruitteelt van 1975 op pagina 1103 in de rubriek 'Wat lezers schrijven', en item 'Nog iets over fosfaatbemesting van vruchtbomen' door mevrouw J.H. ter Kuile met een naschrift van Ir. J. van der Boon en ing. A. Das, blijkt dat Ter Kuile op basis van eigen en buitenlands onderzoek aanleiding ziet om te stellen dat fruitgewassen in Nederland een fosfaattekort hebben en dat Van der Boon en Das op basis van hun onderzoek met breedwerpige fosfaatbemesting

<sup>33</sup> De adviesbasis is zo opgezet dat voorafgaande aan planten op basis van een grondmonster in één keer een fosfaatvoorraad voor drie jaar wordt gegeven om onder te werken en dat vervolgens bladmonsters genomen worden voor het bemestingsadvies. Na planten nogmaals een grondmonster nemen voor een jaarlijks advies wordt alleen aanbevolen bij probleemsituaties. Deze probleemsituaties komen niet vaak voor (persoonlijke communicatie Rien van der Maas).

(Van der Boon en Das, 1975) stellen dat fosfaatbemesting niets oplevert en er dus geen fosfaattekort zou zijn. Omdat echter duidelijk is dat breedwerpig fosfaatbemesting niet tot verhoging van de fosfaatopname leidt (dit rapport) konden van der Boon en Das (1975) niet concluderen dat er geen fosfaattekort bij fruitgewassen zou zijn; hiervoor zouden zij immers eerst een bemestingsmethode hebben moeten zoeken die de fosfaatopname wel verhoogde en vervolgens zou hebben moeten blijken dat deze verhoging geen productie- of kwaliteitseffecten had. Het lijkt erop dat J.H. ter Kuile uiteindelijk toch gelijk gaat krijgen over de fosfaattekortkwestie gezien de bevindingen van Nielsen (2008) waarbij de door fosfaatbemesting gerealiseerde verhoging van het fosfaatbladgehalte in het traject boven de Nederlandse streefwaarde tot hogere productie en betere vruchtkwaliteit leidde. Echter ook deze discussie leidde niet tot de vaststelling dat breedwerpig fosfaatbemesting niet efficiënt is in het verhogen van de fosfaatopname en dat eerst naar efficiëntere methoden gezocht moet worden voordat er wat steekhoudends over fosfaatvoeding van fruitbomen onder Nederlandse teelt- en bodemomstandigheden gezegd kan worden. In de diverse bemestingscommissies werd vanaf 1958 t/m 1994 wel vastgesteld dat breedwerpig fosfaatbemesting bij appel met onderstam M.9 niet tot aantoonbare verhoging van de fosfaatopname leidde maar dat heeft ook daar nooit tot consequenties voor de bemestingsmethode in de adviesbasis, of onderzoek daarvoor, geleid (zie bijlage 1). Illustratief is de vraag behandeld in de Commissie voor Bemesting in de Fruitteelt in 1994 of de fosfaatbemesting op basis van bladonderzoek gemaximeerd zou moeten worden op  $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  of dat het maximum nog lager zou moeten liggen. Er werd besloten tot  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , “dit vooral gezien de zeer geringe reactie van fruitgewassen op P-toediening” (zie bijlage 1). De conclusie is dat het *expert judgement* voor het vaststellen van het fosfaatbemestingsadvies op basis van grondanalyse niet op goede argumenten berust en dat de geadviseerde fosfaatbemestingsmethode niet juist is.

### 6.3 Conclusies onderbouwing van de criteria voor indeling in fosfaatklassen van bemestingsadviezen voor fruit

De conclusie is dat, ondanks het oude onderzoek uit de jaren zestig van de vorige eeuw en expert judgement dat ten grondslag ligt aan het advies, niet met enige zekerheid te zeggen is wat goede waarden voor het P-Al-getal of het Pw-getal zijn voor fruitgewassen en met welke strategieën, toedieningsmethoden en hoeveelheden de fosfaatvoeding uitgevoerd moet worden bij eventuele suboptimale fosfaattoestanden.

Het is sowieso nog een vraag in welke mate de fosfaatopname van fruitgewassen bepaald wordt door de hoogte van het P-Al-getal, het Pw-getal of welke andere methode van grondonderzoek op fosfaat dan ook. De verwachting is ieder geval dat, ongeacht de fosfaattoestand, er altijd fosfaattoediening nodig zal zijn om de naar verwachting hoge optimale P-waarden (Nielsen, 2008) in het blad te realiseren.

Breedwerpig bemesting en fertigatie zijn hiervoor niet de geschikte methoden (zie proef-Delver en proef-Oud: groot verschil in P-Al-getal; geen verschil in P-blad; de geëigende bemestingsmethode hiervoor zal hoogstwaarschijnlijk bladvoeding zijn). Op termijn kan bijstelling hiervan relevant zijn als blijkt dat mycorrhiza's de fosfaatopname bij fruitgewassen in de praktijk verhogen en de mycorrhiza-populatie te beïnvloeden is. In onderzoek aan appelonderstammen is ieder geval gebleken dat zelfs in een grond met, volgens de onderzoekers, hoge fosforgehalten, namelijk  $644 \text{ kg P-Bray ha}^{-1}$ , mycorrhiza-inoculatie de fosfaatopname kan verhogen en de groei kan verbeteren (Morin et al., 1994).

Deze oplossingsrichting sluit aan bij een vaak gemaakt opmerking in de diverse bemestingscommissies (zie bijlage 1) dat, naast bladvoeding, de verhoging van de fosfaatopname ook gerealiseerd zou kunnen worden door bodembehandeling (niet nader gespecificeerd), gras mulchen en/of een verbeterd functioneren van het wortelstelsel.

### 6.3.1 De huidige praktijk van de fosfaatbemesting (actueel *expert judgement*)

De adviesbasis van Kodde (Kodde, 1994) voor fosfaatbemesting op basis van grond- of gewasanalyse wordt nog steeds toegepast door de grote gewaslaboratoria. Alleen gespecialiseerde bemestingsvoorlichters in de fruitteelt, zoals die van FruitConsult (FC), wijken (terecht) af van deze adviesbasis als het om fosfaat gaat. FC geeft (terecht) aan dat breedwerpige fosfaatbemesting niet effectief is, fosfaatfertilisatie zou enigszins effectief zijn en bij probleemsituaties, waarbij het bladgehalte is veel lager dan de streefwaarde, wordt geadviseerd te corrigeren met zware fosfaatbladvoeding (totaal maximaal 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> bij acht tot twaalf bespuitingen per jaar). Het advies van FC kan gezien worden als het nieuwe en betere *expert judgement*.

Daarnaast ziet men meer en meer het nut van aanvoer van organische stof in het boomgaardsysteem. Dit geldt zeker voor kleinfruit, maar ook voor grootfruit. De fosfaatgebruiksruimte wordt hier meer en meer voor benut. Voorafgaande aan planten wordt vaak organische mest of compost ondergewerkt. Daarnaast is het gewas peer, vooral in de eerste acht jaar van de levensduur, gebaat bij het afdekken van de onderstam met champost om wintervorstschade te voorkomen. Ook hiervoor wordt de fosfaatgebruiksruimte benut.

#### 6.3.1.1 Fosfaatbemesting op basis van bladanalyse

De huidige streefwaarde voor fosfaat in het blad van appel en peer 0,16% P (Kodde, 1994). De tot voor kort gehanteerde onderbouwing hiervoor was de bevinding in de vier in dit rapport beschreven proeven dat bij 0,16% P geen verhoging van productie en/of vruchtkwaliteit gevonden wordt na breedwerpige fosfaatbemesting. Er is in deze paragraaf al betoogd dat deze onderbouwing niet terecht is. Volgens recente literatuur bij appel zou de streefwaarde hoger moeten liggen dan 0,22% P (Nielsen, 2008).

Het adviesbureau Fruit Consult meldt dat 90 tot 95% van de gemeten fosfaatbladgehalten bij appel en peer in de praktijk tussen de 0,16 en 0,19% P liggen.

#### 6.3.1.2 Toekomstige ontwikkelingen op gebied van fosfaatbemesting

Er zijn op dit moment diverse aanleidingen voor de fruitsector om onderzoek te initiëren naar de fosfaatvoeding bij appel en peer (zie afbeelding):

- de fosfaatgebruiksnorm daalt (voor de Pw-klasse *Neutraal* naar 65 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> in 2013),
- de behoefte aan input van organische stof stijgt waarschijnlijk: de hypothese is dat extra organische stof nodig is om nuttige bodemorganismen te stimuleren en zo onder meer de structuur en het waterafvoerend vermogen te verbeteren,
- de fosfaatbehoefte is hoogstwaarschijnlijk hoger: buitenlands onderzoek bij appel toont aan dat de fosfaatstreefwaarde in blad ongeveer 40% hoger zou moeten liggen: van 0,16 naar 0,22% P of hoger (Nielsen et al., 2008),
- de respectievelijk zeer lage en matige effectiviteit van breedwerpige fosfaatbemesting en van fosfaatfertilisatie.

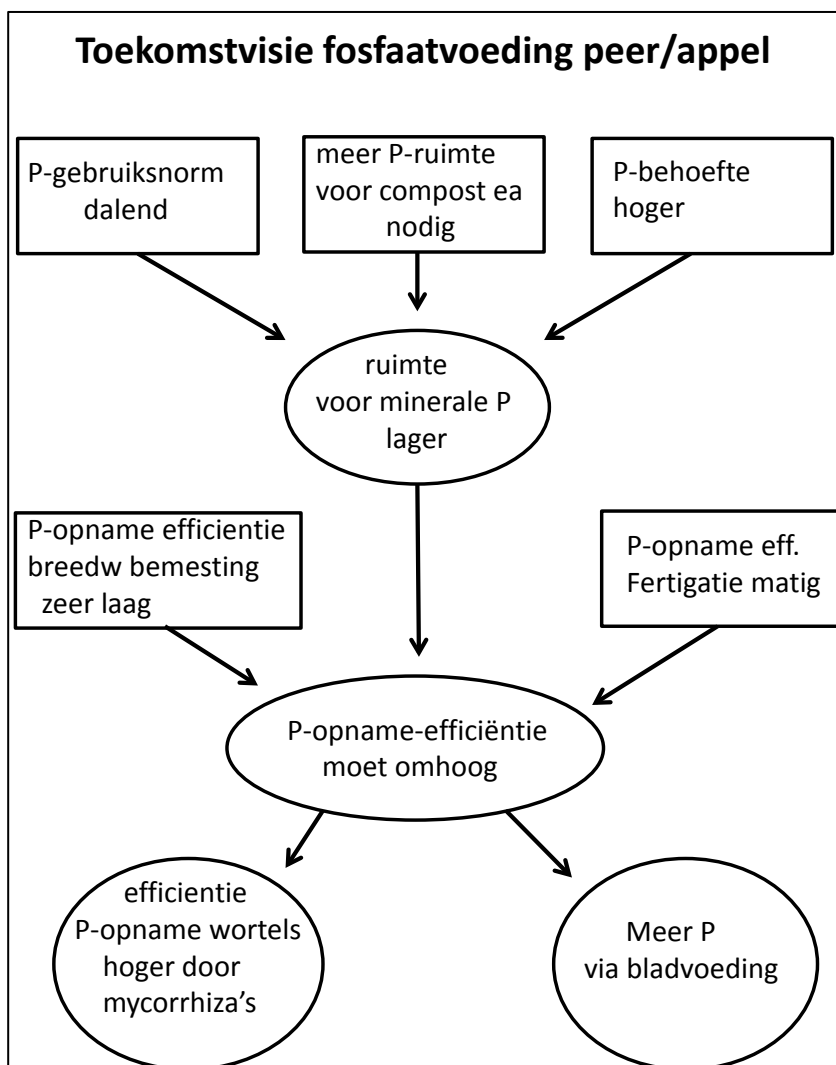
Duidelijk is dat enerzijds de fosfaatgebruiksruimte voor mineraal fosfaat steeds kleiner wordt en anderzijds dat de effectiviteit van de fosfaattoediening omhoog moet. De twee oplossingsrichtingen zijn:

- structureel meer fosfaatbladvoeding (bestaat nu alleen als noodmaatregel),
- verhogen van de fosfaatopname-efficiëntie van de wortels door mycorrhiza's.

Het Productschap Tuinbouw heeft een PPO-projectvoorstel gehonoreerd waarin de noodzaak van en de mogelijkheden voor verhoging van de fosfaatstreefwaarde in blad van peer onder Nederlandse omstandigheden onderzocht wordt. Fosfaatbladvoeding staat hierin centraal als toedieningsmethode (onderzocht worden de giften 27,5 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, dat gezien wordt als lage en veilige gift, en 55 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, dat gezien wordt als hoge gift die misschien wel nodig is om de gewenste verhoging in het P-bladgehalte van bijvoorbeeld 0,16 naar 0,24% P te realiseren). In potentie is deze methode heel efficiënt in het verhogen van het fosfaatbladgehalte. Anderzijds moet nog blijken of het een effectieve methode is, oftewel of dezelfde fysiologische effecten gevonden worden als door Nielsen (2008).

Tenslotte moet nog blijken of intensieve fosfaatbladvoeding uitgevoerd kan worden zonder schade aan blad en vruchten.

Het bovenstaande fosfaatproject maakt deel uit van een groter project over duurzaam bodembeheer in de perenteelt dat sinds 2012 onderdeel uitmaakt van het BO - EZ-programma Duurzame en Gezonde Bodem. Daarin wordt ook onderzoek gedaan naar mycorrhiza's, eventuele systeemdrempels daarvoor en indien nodig systeemaanpassingen in dat verband.



## 6.4 Indeling van fosfaatklassen

### *Stand van zaken*

Op basis van het voorgaande is duidelijk dat het voor fruit niet mogelijk is om over indeling van fosfaattoestanden in klassen en wijzigingen ten opzichte van de indeling van het stelsel van gebruiksnormen iets concreets te zeggen. In hoofdlijnen wordt fosfaat bemest op basis van blad-onderzoek. Als bekend zou zijn of er al of niet een correlatie zou zijn tussen P-gehalte in het blad en de fosfaattoestand van de bodem (bijvoorbeeld op basis van praktijkcijfers) dan kan hier meer over gezegd kunnen worden.

### *Landbouwkundige gevolgen van wijziging naar andere indelingen van fosfaatklassen*

Duidelijk moet worden hoeveel  $P_2O_5$  per ha, via bladvoeding gegeven, nodig is om de benodigde verhogingen van het P-gehalte van het blad in de praktijk te realiseren (dit staat gedeeltelijk los van de eventuele verhoging van de streefwaarde voor het P-blad-gehalte; ook zonder deze verhoging komen suboptimale P-blad-gehalten voor in de praktijk). In het onderzoek wordt er vooralsnog vanuit gegaan dat een jaarlijkse bladvoedingsgift van  $55 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ , gegeven via acht bespuitingen, nodig

kan zijn bij een grote gewenste stijging van het P-blad-gehalte. Tenslotte moet nog onderzocht worden of de benodigde fosfaatbladvoedingsgift afhankelijk is van het Pw-getal of P-Al-getal (de verwachting is dat deze afhankelijkheid er niet of nauwelijks is).

Daarnaast kunnen wijzigingen in de huidige indeling effect hebben op de ruimte om de gewenste organische mest of compost toe te passen in de fruitteelt. De belangrijkste toepassing in dit verband is het jaarlijks afdekken van de onderstammen van perenbomen met champost om wintervorstschade te voorkomen.

#### *Milieukundige gevolgen van huidige en beoogde indeling van wettelijke fosfaatklassen*

##### De milieueffecten van fosfaatfertilisatie

Fosfaatfertilisatie is (iets) effectiever in het verhogen van de fosfaatopname dan breedwerpig fosfaatbemesting. Dit betekent niet dat de fosfaatemissie naar het milieu automatisch lager is. Er zijn twee redenen<sup>34</sup> waarom de fosfaatuitspoeling bij fosfaatfertilisatie hoger zou kunnen zijn dan bij breedwerpig bemesting:

1. In het druppelpunt is de verzuring bij fertilisatie, als gevolg van een verzurende balans bij opname van nutriënten door fruit, sterker dan buiten het druppelpunt. Dit maakt het fosfaat – op pH neutrale tot kalkrijke bodems - beter beschikbaar maar ook gevoeliger voor uitspoeling (geldt vooral voor kalkloze gronden).
2. Bij fertilisatie wordt de mest met het water mee gegeven. Door de neerwaartse waterstroming kan, afhankelijk van de grootte van de waterflux, de oplosbaarheid van de fosfaten en de snelheid van de chemische processen (oplossen, sorptie en neerslaan van zouten), meer fosfaat naar diepere lagen in de bodem en het grond- en oppervlakte water transporteren dan bij breedwerpig bemesting het geval is.

Als bovenstaande aspecten kwantitatief van belang zouden zijn dan is het van belang om:

- de pH van het druppelpunt met enige regelmaat te controleren en te corrigeren,
- water te geven met behulp van een adviesstelsel om te voorkomen dat onnodig veel water gegeven wordt (bijvoorbeeld door water te geven terwijl de druppelkegel al waterverzadigd is).

---

<sup>34</sup> Dit zijn kwalitatieve opmerkingen. In hoeverre dit kwantitatief van belang is niet bekend. Monitoring op praktijkpercelen kan in dit verband informatie aanleveren hoe relevant dit is. Daarnaast zouden verzurende effecten van opnameprocessen in en buiten de rhizosfeer berekend kunnen worden met modellen.

# 7 Milieukundige gevolgen van de handhaving van een bepaalde fosfaattoestand

*Caroline van der Salm, Wim Chardon en Gerwin Koopmans*

## 7.1 Inleiding en aanpak

Verliezen van fosfaat van de bodem naar het milieu zijn afhankelijk van de fosfaattoestand, de bodemeigenschappen en de hydrologische condities. Fosfaatverliezen uit de bouwvoor kunnen op drogere gronden in de ondiepe ondergrond worden gebufferd en vormen op korte termijn geen bedreiging voor de kwaliteit van grond- en of oppervlaktewater. Op nattere gronden kan de huidige fosfaatophoping al leiden tot verliezen naar het oppervlaktewater. Een hoog fosfaatoverschot leidt op termijn tot een stijging van de fosfaattoestand van de bodem en tot grotere fosfaatverliezen naar de ondergrond en naar grond- en oppervlaktewater. Een laag of negatief overschot leidt tot een daling van de fosfaattoestand van de bodem en de hieraan verbonden verliezen.

Bij het in beeld brengen van de milieukundige gevolgen hebben wij onderscheid gemaakt in het actuele en potentiële risico. Het actuele risico wordt gevormd door de verliezen die, gezien de fosfaattoestand van de bodem, op dit moment optreden in de richting van grond- en oppervlaktewater. Het actuele risico op fosfaatsuitleiding is niet alleen afhankelijk van de fosfaattoestand van de bouwvoor maar wordt sterk bepaald door de fosfaattoestand in die bodemlagen waaruit water wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. De totale hoeveelheid fosfaat in de bodem en de wijze waarop deze verdeeld is over de bodemlagen is dus sterk bepalend voor de actuele fosfaatsuitleiding. Die opbouw en verdeling is het resultaat van de historische belasting van de bodem met fosfaat.

Als potentieel risico beschouwen wij het verlies van fosfaat uit de bouwvoor naar de ondergrond. Dit verlies is bij een lage fosfaattoestand gering van omvang en kan opgeslagen worden in de ondergrond en hoeft daardoor niet direct te leiden tot een aantasting van de oppervlaktewaterkwaliteit. Echter, langdurige blootstelling aan verliezen van beperkte omvang leidt tot verhoging van de fosfaattoestand van de ondergrond en zal als nog leiden tot uitleiding naar grond- en oppervlaktewater. Bovendien gaat door (een te hoge) uitleiding van fosfaat naar de ondergrond een schaarse grondstof verloren.

Het potentiële risico kan gerelateerd worden aan de fosfaattoestand van de bouwvoor. Dit gebeurt door gebruik te maken van diverse methoden die de bodemvruchtbaarheid (Pw-getal) sec (Chardon en Van Faassen, 1999) of de bodemvruchtbaarheid in combinatie met een aantal bodemeigenschappen zoals o.a. fosfaatbindingsconstanten (Langmuirparameters), desorptieconstanten en bulkdichtheid koppelen aan de fosfaatconcentratie in het bodemvocht in de bouwvoor (Schoumans en Groenendijk, 2000). Hiermee berekenen we de fosfaatsuitleidingsconcentratie en bij een bepaald netto neerslagoverschot het fosfaatverlies. Dit leidt tot een tabel waarin de potentiële fosfaatverliezen en/of fosfaatsuitleidingsconcentraties staan als functie van het Pw-getal. Bij de methode van Schoumans en Groenendijk (2000) maakt men nog onderscheid naar bodemtype, omdat de gegevens voor verschillende bodemtypen bekend en beschikbaar zijn (Koopmans en Van der Salm, 2011).

Om de risico's van fosfaatsuitleiding in beeld te brengen zijn verschillende instrumenten beschikbaar. Voor beleidsonderzoek wordt vaak gebruik gemaakt van het nationale emissiemodel STONE. Gebruik van STONE vergt berekening met veel detail. Voor deze studie is dat detail niet nodig. Daarom is gebruik gemaakt van het eenvoudige model PLEASE (Schoumans et al., 2008, 2012) dat op de proces formulering van STONE is gebaseerd. PLEASE vraagt aanzienlijk minder invoergegevens dan STONE.

De ernst van de optredende fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater kan worden ingeschat door de concentraties te vergelijken met normen voor het oppervlaktewater. In deze studie is gebruik gemaakt van de MTR waarde voor ortho-P. De verliezen uit de bouwvoor zijn niet direct te relateren aan een norm. Hoge verliezen zijn echter ongewenst vanwege de schaarste van fosfaat als grondstof en mogelijke milieurisico's die verbonden zijn aan de opslag van fosfaat in de ondergrond. In de discussie zal uitgebreider op normen en risico's worden ingegaan.

## 7.2 Methoden

Bij de hieronder beschreven aanpak gaan wij er vanuit dat zowel de actuele als de potentiële risico's onafhankelijk zijn van de huidige mestgift; de fosfaatverliezen worden dan alleen bepaald door de fosfaattoestand. Deze veronderstelling is gebaseerd op de overweging dat de fosfaatvoorraad (ruwweg  $4500 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) veel groter is dan de aanvoer bij de heersende fosfaatgebruiksnormen. Wij gaan er dus van uit dat er sprake is van een goede landbouwkundige praktijk en opvolging van door de Meststoffenwet gereguleerd fosfaatgebruik zodat incidentele verliezen door afspoeling en preferent transport van recentelijk aangevoerde mest voorkomen worden. In situaties zonder uitspoelingsverliezen zal het fosfaatoverschot dus in de bodem ophopen. De huidige fosfaatgebruiksnormen zijn nog wat hoger dan de feitelijke fosfaatafvoer. Er is nog geen sprake van strikte fosfaatevenwichtsbemesting. Het verschil is echter beperkt ( $0\text{-}15 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ). Met de huidige gebruiksnormen voor fosfaat is daardoor de ophoping van fosfaat gering ten opzichte van de hoeveelheid fosfaat die al in de bodem aanwezig is en zal de mestgift zelf dus weinig invloed hebben op de actuele en potentiële verliezen. In bepaalde situaties zal deze aanname niet volledig opgaan, bijv. op verdichte en sterk hellende percelen en percelen met een zeer zware textuur of landbouwpercelen die sterk fosfaatverzadigd zijn (Van der Salm et al., 2012).

### 7.2.1 Berekening van de fosfaatverliezen uit de bouwvoor

In de bodem komt het fosfaat voor in de vaste fase en in oplossing. De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing bepaalt het risico op fosfaatuitspoeling. De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing is gerelateerd aan de hoeveelheid fosfaat in de vaste fase. Deze relatie kan beschreven worden met verschillende relaties die volledig empirisch of meer mechanistisch zijn door bijvoorbeeld gebruik te maken van de sorptiekaracteristieken van de bodem. Op basis van deze gegevens werd door Chardon en Van Faassen (1999) een statistische relatie berekend tussen de fosfaatconcentratie in het bodemvocht en het Pw-getal. Deze statistische relatie wordt gegeven met vergelijking (4):

$$C_{\text{bodemvocht}} = a \times Pw^b \quad (4)$$

Waarbij  $C_{\text{bodemvocht}}$  de fosfaatconcentratie is in  $\text{mg P L}^{-1}$ , Pw is Pw-getal, uitgedrukt in  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  grond en a en b zijn fittingsparameters. De parameters a en b werden afgeleid uit veldproeven die werden bemonsterd door Blaauw en Sissingh (Blaauw et al., 1988). In 1976 werden monsters genomen van 41 bodemprofielen (6 tot 9 lagen), verdeeld over tien proefvelden (Blaauw et al., 1988). De proefvelden lagen op zandgrond (117 monsters), löss ( $n=36$ ), dalgrond ( $n=30$ ) of zeeklei ( $n=101$ ). Van de bodemmonsters werden onder meer het Pw-getal bepaald, en in door centrifugeren verkregen bodemvocht de concentratie van ortho-P en P-totaal. Doordat er op sommige proefvelden fosfaattrappen waren aangelegd met soms zeer hoge giften (tot  $2000 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ) werden daar hoge waarden voor het Pw-getal bereikt.

De waarden van a en b zijn volgens Chardon en Van Faassen (1999) voor P-totaal respectievelijk 0,0091 en 1,29. Voor ortho-fosfaat geldt:  $a = 0,00375$  en  $b = 16,04$ . Voor het toepassen van deze relatie om de fosfaatconcentratie in het bodemvocht in de bouwvoor te schatten is alleen het Pw-getal van de bouwvoor nodig en, voor de berekening van de fosfaatverliezen, het netto neerslagoverschot.

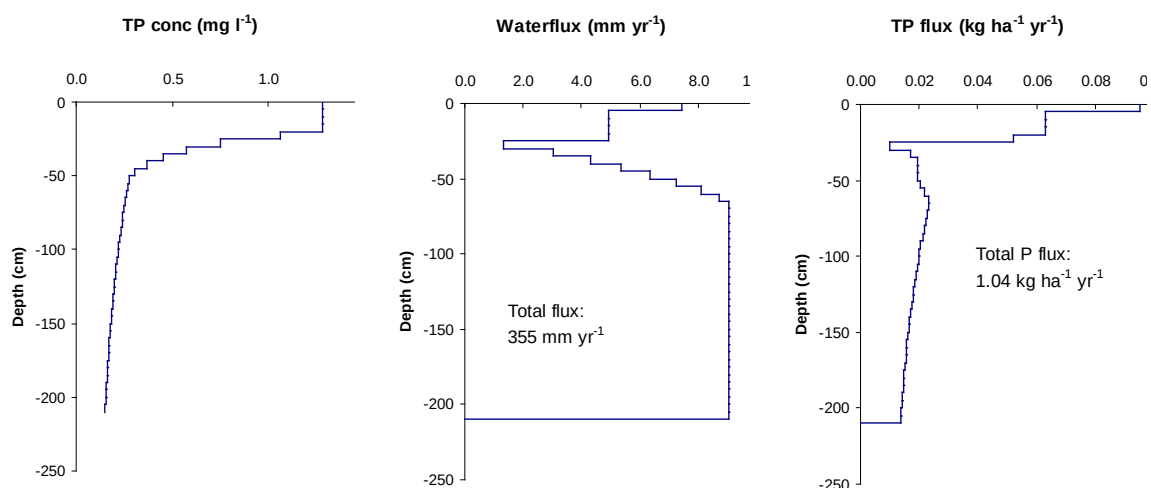
Een andere methode, gebaseerd op de procesbeschrijving van fosfaatsorptie, die gebruikt kan worden om de fosfaatconcentratie in het bodemvocht te schatten, is die van Schoumans en Groenendijk (2000); bij deze methode zijn het Pw-getal en een aantal bodemeigenschappen (onder andere fosfaatbindingsconstanten, desorptieconstante en bulkdichtheid) nodig om de ortho-

fosfaatconcentratie in de bodemoplossing te berekenen. Met deze methode kan onderscheid van de potentiële risico's worden gemaakt naar bodemtype. Voor de fosfaatbindingsconstanten kunnen de Langmuirparameters worden gebruikt die recentelijk zijn samengevat door Koopmans en Van der Salm (2011).

Op basis van de bovenstaande methoden kan voor iedere fosfaattoestand (Pw-getal) de fosfaatconcentratie in het bodemvocht worden bepaald. Op basis van het netto neerslagoverschot (tabel 28) kunnen vervolgens de fosfaatverliezen vanuit de bouwvoor worden berekend.

### 7.2.2 Berekening van de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater

Voor het in beeld brengen van de actuele fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater kan gebruik worden gemaakt van het PLEASE-model (Van der Salm et al., 2011; Schoumans et al., 2012). In dit model is naast informatie over de fosfaattoestand van de bouwvoor in de vorm van Pw-getal nog informatie nodig over de hydrologie en de fosfaattoestand (Pw-getal) van de ondergrond. Uit de fosfaattoestand (Pw-getal) van de bouwvoor en de ondergrond kan de fosfaatconcentratie (ortho-P) in het bodemvocht worden berekend. De concentraties van totaal-P worden in het model uit de ortho-P concentraties berekend met een empirische formule (Chardon et al., 2007). Door het verloop van de fosfaatconcentraties met de diepte in het bodemprofiel en het verloop van de (laterale) uitspoelingsfluxen met de diepte met elkaar te vermenigvuldigen kan uiteindelijk de fosfaatbelasting van zowel totaal-P als ortho-P naar het oppervlaktewater worden bepaald (figuur 4). Het model berekent eveneens de fluxgewogen concentraties van totaal-P en ortho-P. De fluxgewogen concentratie wordt berekend door de fosforflux te delen door de waterflux.



**Figuur 4** Verloop van de fosfaatconcentraties, waterfluxen en totale uitspoelingsflux met de diepte (naar Schoumans et al., 2012).

Idealiter wordt de fosfaattoestand (Pw-getal) onder de bouwvoor bepaald op basis van aanvullend grondonderzoek van de ondiepe ondergrond en voor de hydrologie wordt idealiter gebruik gemaakt van lokale gegevens over het voorkomen van kwel en de wijze van drainage van een bepaald perceel. Als alternatief kan gebruik gemaakt worden van generieke profielen van het verloop van de fosfaattoestand (Pw-getal) over bodemlagen (Pw-profielen) voor bepaalde gewas-bodem combinaties. Zulke Pw-profielen kunnen afgeleid worden uit grote landelijke databestanden zoals de Landelijke Steekproef Kaartenheden (LSK). De noodzakelijke hydrologische informatie kan gebaseerd worden op de Gt (bodemkaart). Per Gt kunnen dan voor elk bodemtype (zand, veen en klei) generieke condities (kwel, drainage e.d.) worden gekozen. De bandbreedte van de berekeningen met betrekking tot de geschatte actuele fosfaatbelasting die ontstaat door bestaande variatie in chemische en hydrologische condities kan dan in beeld worden gebracht. Het geheel resulteert dan tenslotte in een Tabel per bodemtype waarin de actuele fosfaatverliezen en/of fosfaatuitspoelingsconcentraties worden gegeven als functie van de fosfaattoestand (Pw-getal) en Gt-klasse. Voor deze studie zijn de PLEASE

berekeningen geaggregeerd naar drie ontwateringsklassen nat, matig droog en droog. Nat omvat Gt I t/m V, met uitzondering van IV, matig droog omvat Gt IV en VI en droog omvat de Gt's VII en VIII. Voor de aggregatie is gebruik gemaakt van het ruimtelijk areaal van de verschillen teelten, per bodemtype en Gt. Dit areaal is bepaald door middel van een *overlay* van de bodemkaart (1:50.000) en de landgebruikskaart (LGN 5).

In deze studie is verder gekozen om de modelresultaten van ortho-P te gebruiken en niet de resultaten van totaal-P. Deze keuze is gemaakt omdat de onzekerheid in de totaal-P berekeningen aanzienlijk hoger is dan in de ortho-P-berekeningen doordat de totaal-P concentraties berekend worden met een empirische formule met een aanzienlijke onzekerheid.

## 7.3 Data

### 7.3.1 Hydrologie

Voor zowel het berekenen van de fosfaatverliezen uit de bouwvoor als de fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater is informatie nodig over het netto neerslagoverschot. Voor het berekenen van de verliezen naar het oppervlaktewater moet daarnaast ook de kwelflux worden geschat. Dit water wordt namelijk ook door de bodem of de drains afgevoerd naar het oppervlaktewater en beïnvloedt dus mede de fosfaatafvoer. De noodzakelijke hydrologische informatie, zoals netto neerslagoverschot en kwel, is gebaseerd op bodemtype en Gt (bodemkaart). Deze informatie is weergegeven in tabel 27. De hydrologische data zijn afgeleid uit de nationale STONE berekeningen (Van Bakel et al., 2007). De uitkomsten van de STONE-berekeningen zijn gegroepeerd naar de vier gewasgroepen die in STONE worden onderscheiden (gras, akkerbouw, mais, bos en natuur) en naar vier hoofdbodemtypen (zand, veen, klei en löss). Deze gegevens zijn areaal gewogen gemiddeld voor de verschillende combinaties van bodemtype en Gt. Voor löss zijn geen waarden afgeleid voor de categorie nat en matig droge gezien het geringe areaal (minder dan 5% van het areaal akkerbouw op löss). De grondwaterstanden zijn gebaseerd op de gemiddelde grondwaterstanden voor de verschillende Gt-klassen.

**Tabel 27**

*Netto neerslagoverschot en kwelflux in mm jaar<sup>-1</sup> voor de akkerbouw als functie van bodemtype en grondwaterstand, gebaseerd op STONE (Van Bakel et al., 2007).*

| Grondwatertrap<br>(GT)   | Klei |      | Löss |      | Veen |      | Zand |      | Alle<br>grondsoorten |      |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|------|
|                          | NN   | Kwel | NN   | kwel | NN   | kwel | NN   | Kwel | NN                   | Kwel |
| Nat <sup>1</sup>         | 395  | -40  | *    | *    | 421  | -166 | 365  | -13  | 394                  | -86  |
| Matig droog <sup>1</sup> | 365  | 26   | *    | *    | 388  | -202 | 368  | -107 | 367                  | -16  |
| Droog <sup>1</sup>       | 363  | -42  | 336  | -302 | 421  | -299 | 379  | -303 | 368                  | -146 |
| Alle Gt's                | 365  | -6   | 335  | -245 | 410  | -192 | 374  | -203 | 369                  | -81  |

<sup>1</sup> Nat = Gt I, II, II\*, III, III\*, V, V\*, matig droog = Gt IV en VI en droog = Gt VII en VIII.

### 7.3.2 Bodemeigenschappen

In het PLEASE-model is informatie nodig over de fosfaattoestand (Pw-getal), Al<sub>ox</sub>- en Fe<sub>ox</sub>-gehalten, de bulkdichtheid en de fosfaatbindingsconstanten (Langmuirparameters) van de bouwvoor en van de ondergrond; uit deze informatie kan de fosfaatconcentratie in het bodemvocht worden berekend.

De Al<sub>ox</sub>- en Fe<sub>ox</sub>-gehalten en de bulkdichtheid van de bodem zijn afhankelijk van het bodemtype. De gemiddelde waarden voor de verschillende bodemtypen (tabel 28) zijn afgeleid uit STONE (Kroon et al., 2001).

Tabel 28

*Al<sub>ox</sub>- en Fe<sub>ox</sub>-gehalten en bulkdichtheid voor bouwvoor, ondiepe en diepe ondergrond.*

| Bodemtype  | Al <sub>ox</sub> +Fe <sub>ox</sub> , mmol kg <sup>-1</sup> |          |        | Bulkdichtheid, kg m <sup>-3</sup> |          |        |
|------------|------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------------------------|----------|--------|
|            | 0-25 cm                                                    | 25-50 cm | >50 cm | 0-25 cm                           | 25-50 cm | >50 cm |
| Dekzand    | 75                                                         | 73       | 98     | 1348                              | 1478     | 1563   |
| Duinzand   | 32                                                         | 40       | 116    | 1455                              | 1551     | 1396   |
| Zeeklei    | 115                                                        | 106      | 167    | 1351                              | 1399     | 1265   |
| Rivierklei | 158                                                        | 139      | 227    | 1308                              | 1354     | 1437   |
| Dalgrond   | 106                                                        | 93       | 121    | 634                               | 357      | 1177   |
| Löss       | 94                                                         | 82       | 115    | 1449                              | 1485     | 1592   |
| Veen       | 296                                                        | 233      | 156    | 591                               | 247      | 703    |

Voor de fosfaatbindingsconstanten kan worden aangehaakt bij het protocol fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee et al., 1990, 1992) of kan gebruik worden gemaakt van de recente studie van Koopmans en Van der Salm (2012) waarbij een overzicht is gemaakt van de Langmuirparameters van verschillende bodemtypen. Voor dekzand, dalgrond en löss zijn de constanten uit het protocol fosfaatverzadigde gronden gebruikt, voor de klei, veen en duingronden zijn de waarden gebaseerd op Koopmans en Van der Salm (2012). Tabel 29 geeft een overzicht van de gebruikte waarden.

Tabel 29

*Langmuirparameterwaarden voor de verschillende grondsoorten.*

| Bodemtype  | K (mmol kg <sup>-1</sup> ) | B (-) | k <sub>d</sub> (d <sup>-1</sup> ) |
|------------|----------------------------|-------|-----------------------------------|
| Dekzand    | 35,0                       | 0,17  | 0,20                              |
| Duinzand   | 10,7                       | 0,10  | 0,11                              |
| Zeeklei    | 10,8                       | 0,15  | 0,10                              |
| Rivierklei | 10,8                       | 0,15  | 0,10                              |
| Dalgrond   | 35,0                       | 0,17  | 0,20                              |
| Löss       | 35,0                       | 0,17  | 0,20                              |
| Veen       | 4,1                        | 0,08  | 0,11                              |

Voor de verschillende gronden is een breed scala aan fosfaatprofielen doorgerekend zodat de invloed van de indringing van het fosfaatfront op de fosfaatverliezen kan worden weergegeven. De fosfaatprofielen zijn gekarakteriseerd aan de hand van het Pw-getal voor de laag van 0-25 cm (bouwvoor) en de Pw-ratio van de ondergrond. Deze ratio is gedefinieerd als het quotiënt van het Pw-getal in de laag van 20-50 cm en het Pw-getal in de laag van 0-25 cm (Pw<sub>25-50</sub>/Pw<sub>0-25</sub>). De berekeningen zijn uitgevoerd voor Pw-getallen van 10-200 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> en een Pw-ratio die varieert van 0,1 - 1,0.

Naast de fosfaattoestand van bouwvoor en ondergrond is ook informatie nodig over de fosforachtergrondconcentratie. De informatie over waarden voor de concentratie is gebaseerd op waarnemingen in het diepere grondwater (Rozemeijer et al., 2005). Tabel 30 geeft een overzicht van de waarden voor de verschillende grondsoorten die gebruikt zijn.

Tabel 30

*Fosfor (Ortho-P)-achtergrondconcentraties.*

| Bodemtype  | P, mg L <sup>-1</sup> |
|------------|-----------------------|
| Dekzand    | 0,013                 |
| Duinzand   | 0,44                  |
| Zeeklei    | 0,11                  |
| Rivierklei | 0,036                 |
| Dalgrond   | 0,013                 |
| Löss       | 0,013                 |
| Veen       | 0,40                  |

### 7.3.3 Fosfaatprofiel (Pw-ratio)

De fosfaattoestand (Pw-getal) van de bouwvoor en van de ondergrond is in sterke mate afhankelijk van de historische belasting met fosfor en naar de huidige beeldvorming in sterke mate gerelateerd aan de combinatie van grondgebruik en bodemtype; data over de fosfaatophoping van deze combinaties kunnen uit bestaande datasets worden gehaald. Binnen deze datasets dient dus onderscheid gemaakt te worden tussen de data van het Pw-getal op basis van combinaties van grondgebruik en bodemtype. De actuele fosfaatverliezen zullen worden berekend als functie van de fosfaattoestand (Pw-getal) van de bouwvoor en de ondergrond. Bij de berekeningen is een breed bereik aan fosfaatprofielen doorgerekend. Om de gebruiker houvast te bieden in de keuze van het meest aannemelijke fosfaatprofiel zijn beschikbare data over de fosfaatopbouw in het bodemprofiel geanalyseerd. Bij deze analyse is de Pw-ratio, dat wil zeggen de verhouding tussen het Pw-getal van de ondergrond en het Pw-getal van de bouwvoor bepaald. De bouwvoor wordt hierbij gedefinieerd als de laag van 0-25 cm minus maaiveld, terwijl met de ondergrond de laag van 25-50 cm minus maaiveld wordt bedoeld.

Voor het bepalen van de fosfaattoestand (Pw-getal) van de ondergrond is gebruik gemaakt van het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS), zoals beschreven door de Vries et al. (2009). Uit het BIS zijn profielen verzameld waarvan minimaal het Pw-getal van de bovenste 25 cm bekend is. De verzamelde data omvatten o.a. de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK, zoals beschreven door Finke et al. (2001), data van fosfaatonderzoek in het stroomgebied van de Schuitenbeek (Breeuwsma et al., 1989), de Drentse Aa, de Krimpenerwaard en Quarles van Ufford (Walvoort et al., 2009). In tabel 31 zijn de verzamelde datasets in het kort beschreven.

**Tabel 31**

*Bestanden met data over het Pw-getal op verschillende diepten in de bodem.*

| Databron                                   | Aantal profielen |
|--------------------------------------------|------------------|
| LSK (Finke et al., 2001)                   | 1516             |
| Drentse Aa (Walvoort et al., 2009)         | 69               |
| Krimpenerwaard (Walvoort et al., 2009)     | 64               |
| Quarles van Ufford (Walvoort et al., 2009) | 70               |
| Schuitenbeek (Breeuwsma et al, 1989)       | 214              |
| Vredepeel                                  | 1                |
| Meterik                                    | 1                |
| Profielboringen BIS                        | 135              |
| Bollenonderzoek                            | 7                |

Idealiter is het Pw-getal in de verschillende datasets zowel gemeten in de 0-25 cm laag als in de 25-50 cm laag. Dit is voor het grootste databestand (LSK) echter niet geval: het Pw-getal van de ondergrond ontbreekt voor veel monsters. Omdat hierdoor veel data weg dreigden te vervallen, is het Pw-getal van de ondergrond in dergelijke situaties geschat. Dit kan worden gedaan volgens twee methoden, namelijk:

- een empirische relatie tussen het Pw-getal en de Phosphorus Sorption Index (PSI) (Chardon, 1994) en
- de verhouding tussen het te schatten Pw-getal van de ondergrond en het gemeten Pw-getal van de bouwvoor en de verhouding van de gemeten PSI van de ondergrond en de gemeten PSI van de bouwvoor. De empirische relatie van Chardon (1994) wordt gegeven in vergelijking (5):

$$Pw = a \times PSI^b \quad (5)$$

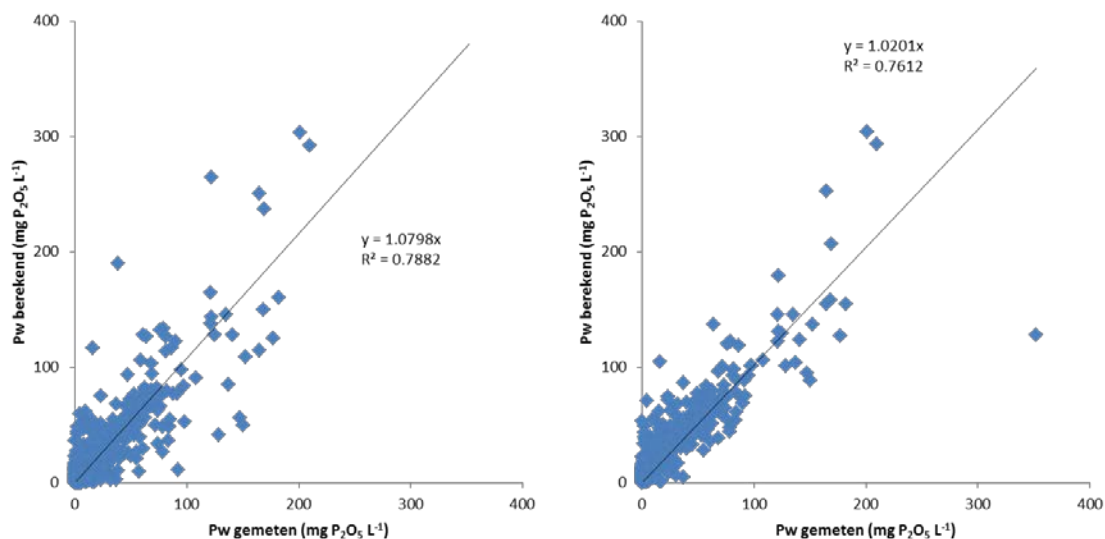
Waarbij het Pw-getal (Pw-getal) is uitgedrukt in  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  grond, de PSI is molaire verhouding tussen het  $\text{P}_{\text{ox}}$ -gehalte en het  $[\text{Al}+\text{Fe}]_{\text{ox}}$ -gehalte en a en b zijn fittingsparameters. De waarden van a en b zijn volgens Chardon (1994) respectievelijk  $481 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  en 1,433 [dimensieloos].

De tweede methode bestaat uit het afleiden van het Pw-getal van de ondergrond uit de verhouding tussen het Pw-getal van ondergrond en van de bouwvoor en de verhouding tussen de PSI van de ondergrond en van de bouwvoor, zoals is weergegeven in vergelijking (6).

$$\frac{Pw_{25-50}}{Pw_{0-25}} = \frac{PSI_{25-50}}{PSI_{0-25}} \quad (6)$$

Waarbij de  $Pw_{25-50}$  en de  $Pw_{0-25}$  ( $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ) en de  $PSI_{25-50}$  en de  $PSI_{0-25}$  (molaire verhouding tussen  $P_{\text{ox}}$  en  $[\text{Al}+\text{Fe}]_{\text{ox}}$ ) het Pw-getal en de PSI zijn van respectievelijk de 25-50 en 0-25 cm laag. Als de  $Pw_{0-25}$  en de  $PSI_{25-50}$  en  $PSI_{0-25}$  zijn gemeten, kan de  $Pw_{25-50}$  op eenvoudige wijze worden geschat. Bij het toepassen van deze methode wordt een lineaire relatie tussen het Pw-getal en PSI aangenomen. Bij een lage belading van de bodem met fosfaat zal dit inderdaad het geval zijn; bij een toenemende fosfaatbelading zal het Pw-getal op niet-lineaire wijze toenemen met een toename van de PSI (Chardon, 1994; Koopmans et al., 2001) en kan vergelijking (6) niet zonder meer worden toegepast. Dit omslagpunt verschilt tussen de verschillende bodemtypen.

De methode die het meest geschikt is om het ontbrekende Pw-getal van de ondergrond te schatten is geselecteerd op basis van een validatie; bij deze validatie is gebruikt gemaakt van datasets waarbij het Pw-getal van de bouwvoor en van de ondergrond is gemeten, evenals de PSI van beide lagen. Met beide methoden, die zijn weergegeven in vergelijking (5) en in vergelijking (6), is het Pw-getal van de ondergrond berekend. Vergelijking (5), die is afgeleid door Chardon (1994), is als volgt toegepast: omdat de fittingsparameters a en b per definitie onzeker zijn, is besloten om de parameter b opnieuw af te leiden voor elk profiel op basis van het grondmonster uit de bouwvoor. Bij deze herfitting van de parameter b is gebruik gemaakt van het gemeten Pw-getal en PSI van de bouwvoor en wordt de parameter a verondersteld een constante waarde te hebben, namelijk 481. De opnieuw gefitte parameter b is in vergelijking (5) toegepast om uit de gemeten waarde van de PSI van de ondergrond het Pw-getal van de ondergrond te berekenen. Het Pw-getal in de datasets die voor de validatie zijn gebruikt is niet persé gemeten in de 0-25 cm of 25-50 cm laag; alle gemeten waarden van het Pw-getal zijn daarom teruggerekend naar deze lagen op basis van het diepte gewogen gemiddelde van de gemeten Pw-getallen. In figuur 5 staat het resultaat van beide methoden. De methode waarbij het Pw-getal is berekend uit de verhouding tussen het Pw-getal van de ondergrond en van de bouwvoor en de verhouding tussen de PSI van de ondergrond en van de bouwvoor (vergelijking [6]) lijkt een iets beter resultaat op te leveren dan de methode van Chardon (1994) (vergelijking [5]); de hellingshoek van het regressiemodel van de eerstgenoemde methode wat door de oorsprong is gefit ligt net iets dicht bij de waarde 1. Bovendien is de *Root Mean Square Residual* (RMSR) net iets kleiner dan de RMSR van de methode van Chardon (1994) (vergelijking (5)), namelijk 13,9 versus 15,1. Het verschil is echter bijzonder klein en daarom is gekozen om de empirische vergelijking van Chardon (1994) te gebruiken voor het schatten van het Pw-getal van de ondergrond in de LSK dataset, omdat deze aanpak procesmatig gezien juist is dan de andere methode.



**Figuur 5** Het volgens vergelijking (5) volgens Chardon (1994) berekende Pw-getal (linker figuur) en de volgens vergelijking (6) berekende Pw-getal (rechter figuur) geplot tegen het gemeten Pw-getal.

## 7.4 Verliezen naar grond- en oppervlaktewater

### 7.4.1 Fosfaatprofielen (Pw-ratio)

Op basis van de in tabel 28 aangegeven datasets zijn verhoudingen (Pw-ratio's) afgeleid tussen het Pw-getal in de laag van 25-50 cm en het Pw-getal in laag van 0-25 cm. De gemiddelde verhoudingen varieerden tussen 0,40 voor akkerbouw op veen tot 0,80 voor fruitteelt op rivierklei. Een verhouding van 0,40 betekent dus het volgende: bij een Pw-getal van 40 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> in de bouwvoor, bedraagt het Pw-getal in de 25-50 cm laag onder de bouwvoor gemiddeld 16 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>. Voor de fruitteelt op rivierklei betekent een verhouding van 0,80 het volgende: bij een Pw-getal van 40 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> in de laag van 0-25 cm, is het gemiddelde Pw-getal in de 25-50 cm laag 32 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>.

De gemiddelde Pw-ratio is voor akkerbouw wat lager dan voor de andere teelten (tabel 32). De hoogste gemiddelde Pw-ratio's zijn gevonden voor fruitteelt en bollen. De Pw-ratio's variëren sterk en zijn bij alle teelten scheef verdeeld (tabel 33). De mediane waarden ligt 12-14% lager dan het gemiddelde met uitzondering van de groenteteelt waar de mediaan ruim 30% lager is dan het gemiddelde. De 75<sup>e</sup>- en 99<sup>e</sup>-percentiele waarden voor akkerbouw zijn relatief laag ten opzichte van de andere teelten (tabel 34). Bij de fruit- en groenteteelt komen de hoogste 95% waarden voor. Bij alle teelten zijn de 95% waarden rond boven de 1,0, hetgeen aangeeft dat meer dan 5% van de onderzochte locaties het Pw-getal onder de bouwvoor hoger is dan de huidige fosfaattoestand (Pw-getal) in de bouwvoor. Een ratio boven de 1,0, waarbij dus de P-toestand onder de bouwvoor hoger is dan in de bouwvoor, kan veroorzaakt zijn door diepe grondbewerking, hoge uitspoelingsverliezen en/of zeer hoge historische bemesting.

**Tabel 32**

Gemiddelde verhouding tussen  $Pw_{25-50}$  en  $Pw_{0-25}$  met tussen haakjes het aantal profielen.

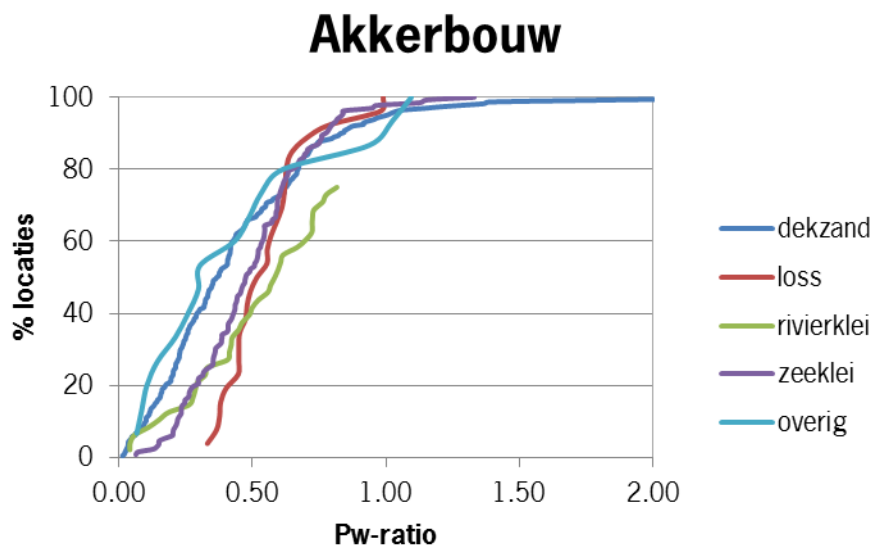
| Bodemtype  | Akkerbouw  | Boomteelt | Fruitteelt | Groententeelt | Bollen   |
|------------|------------|-----------|------------|---------------|----------|
| Dekzand    | 0,48 (226) | 0,54 (5)  | 0,41 (6)   | 0,50 (27)     |          |
| Duinzand   |            |           |            |               |          |
| Zeeklei    | 0,49 (132) |           | 0,75 (12)  | 0,59 (25)     |          |
| Rivierklei | 0,66 (48)  |           | 0,80 (5)   | 0,60 (34)     |          |
| Dalgrond   | 0,48 (8)   |           |            |               |          |
| Löss       | 0,56 (26)  |           |            |               |          |
| Veen       | 0,40 (7)   |           |            | 0,64 (50)     |          |
| gem.       | 0,50 (447) | 0,58 (9)  | 0,64 (27)  | 0,60 (140)    | 0,64 (7) |

**Tabel 33**

De 25<sup>e</sup>-, 50<sup>e</sup>-, 75<sup>e</sup>- en 95<sup>e</sup> percentielwaarden voor de verhouding tussen  $Pw_{25-50}$  en  $Pw_{0-25}$ .

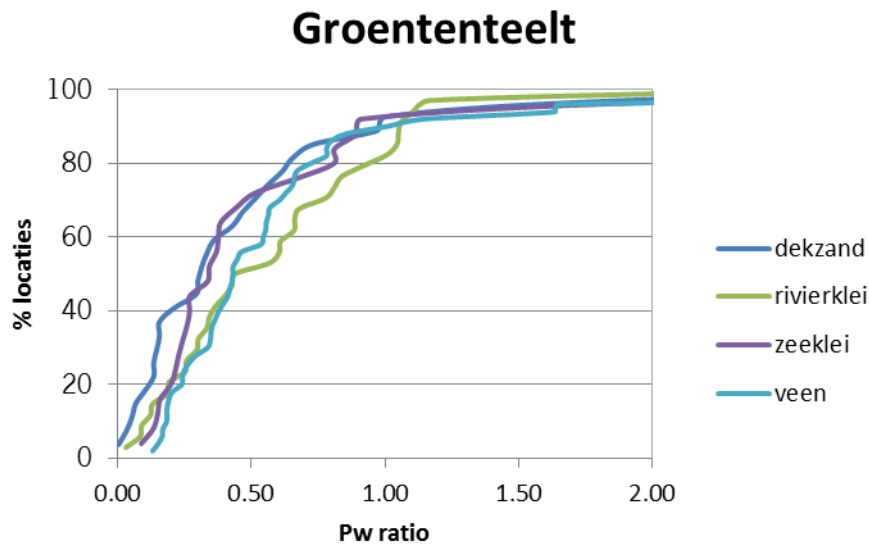
| Sector                   | Percentielwaarden |                 |                 |                 |
|--------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                          | 25 <sup>e</sup>   | 50 <sup>e</sup> | 75 <sup>e</sup> | 95 <sup>e</sup> |
| Akkerbouw                | 0,26              | 0,44            | 0,63            | 0,99            |
| Bloembollen              | 0,41              | 0,50            | 0,89            | 1,00            |
| Boomteelt                | 0,38              | 0,55            | 0,84            | 1,12            |
| Fruitteelt               | 0,44              | 0,56            | 0,69            | 1,42            |
| Vollegrondsgroententeelt | 0,24              | 0,42            | 0,73            | 1,64            |

De meeste  $Pw$ -ratio's waren beschikbaar voor akkerbouw en groenteteelt. Voor deze teelten is gekeken naar de verschillen in frequentieverdeling tussen de grondsoorten (figuur 6).



**Figuur 6** Cumulatieve frequentieverdeling van de  $Pw$ -ratio bij akkerbouw.

Bij akkerbouw werden duidelijk hogere  $Pw$ -ratio's aangetroffen op zeeklei, rivierklei en löss (figuur 6). Bij de vollegrondsgroententeelt worden op rivierklei hogere  $Pw$ -ratio's aangetroffen evenals op veengronden. De verschillen tussen dekzand en zeeklei zijn bij de vollegrondsgroententeelt echter gering (figuur 7).



**Figuur 7** Cumulatieve frequentieverdeling van de Pw-ratio bij groenteteelt.

De hierboven gepresenteerde verhoudingen kunnen gebruikt worden om voor de verschillende teelten een Pw-ratio te kiezen die past bij de gewenste beschermingsdoelstellingen (d.w.z. gebruik van gemiddelde waarden als gemiddeld geen uitspoeling mag optreden, gebruik van 95% als het gewenst is om uitspoeling zoveel mogelijk te voorkomen).

#### 7.4.2 Gemiddelde ortho-P concentratie in het uitspoelende water

##### **Dekzand**

De berekende (fluxgewogen) veeljarige gemiddelde uitspoelingsconcentratie van ortho-P op dekzandgronden onder akkerbouw varieert van 0,01 mg P L<sup>-1</sup> op droge gronden (bij een Pw-getal van 10 en een Pw-ratio van 0,1) tot 0,4 mg P L<sup>-1</sup> op natte gronden (met een Pw-getal van 100 en een Pw-ratio van 1,0; tabel 34). Voor dekzand is een grenswaarde gehanteerd van 0,1 mg L<sup>-1</sup> (zie discussie). Op natte gronden stijgt de uitspoelingsconcentratie boven deze grenswaarde bij een fosfaattoestand van de bodem (Pw-getal) in de bovengrond tussen 10 en 70 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Het exacte Pw-getal waarbij de grenswaarde wordt overschreden is afhankelijk van Pw-ratio in de ondergrond (tabel 34). Naarmate deze hoger is, zal bij een lagere Pw-getal in de bovengrond al overschrijding van de grenswaarde plaats vinden. Bij matig droge gronden ligt de bovengrens voor het Pw-getal tussen 40 en 90 en bij droge gronden tussen 60 en 100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>.

Voor andere teelten wordt voor de verschillende Gt-klassen vrijwel dezelfde veeljarige gemiddelde uitspoeling concentraties gevonden bij dezelfde Pw ratio's als bij akkerbouw.

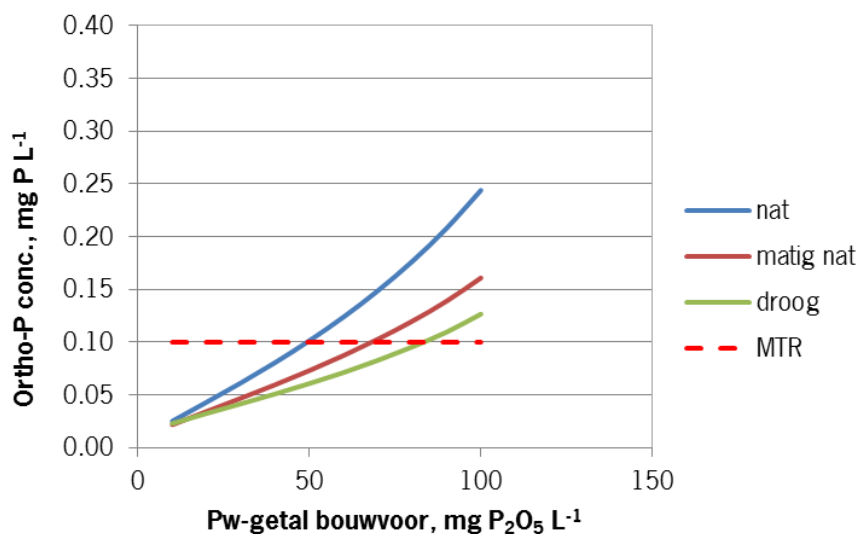
Tabel 34

Ortho-P concentratie ( $\text{mg P L}^{-1}$ ) in het uitspoelende water bij akkerbouw op dekzand. Rood gearceerde cellen hebben een uitspoelingsconcentratie boven een grenswaarde van  $0,1 \text{ mg P L}^{-1}$ .

| Gt klasse   | Pw-getal,<br>$\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ | Pw-ratio ondergrond |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|             |                                                       | 0,1                 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    |
| nat         | 10                                                    | 0,01                | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| nat         | 20                                                    | 0,02                | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,08 |
| nat         | 30                                                    | 0,03                | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,11 |
| nat         | 40                                                    | 0,05                | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,14 |
| nat         | 50                                                    | 0,06                | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,18 |
| nat         | 60                                                    | 0,08                | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,21 |
| nat         | 70                                                    | 0,10                | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,25 |
| nat         | 80                                                    | 0,12                | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,24 | 0,29 |
| nat         | 90                                                    | 0,14                | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,28 | 0,34 |
| nat         | 100                                                   | 0,17                | 0,20 | 0,22 | 0,24 | 0,27 | 0,32 | 0,40 |
| matig droog | 10                                                    | 0,01                | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| matig droog | 20                                                    | 0,01                | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| matig droog | 30                                                    | 0,02                | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,09 |
| matig droog | 40                                                    | 0,03                | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,11 |
| matig droog | 50                                                    | 0,04                | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,13 |
| matig droog | 60                                                    | 0,05                | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,15 |
| matig droog | 70                                                    | 0,06                | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,18 |
| matig droog | 80                                                    | 0,07                | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,21 |
| matig droog | 90                                                    | 0,08                | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,24 |
| matig droog | 100                                                   | 0,10                | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,22 | 0,27 |
| droog       | 10                                                    | 0,01                | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| droog       | 20                                                    | 0,02                | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| droog       | 30                                                    | 0,02                | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| droog       | 40                                                    | 0,03                | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| droog       | 50                                                    | 0,03                | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| droog       | 60                                                    | 0,04                | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,11 |
| droog       | 70                                                    | 0,05                | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,13 |
| droog       | 80                                                    | 0,06                | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,14 |
| droog       | 90                                                    | 0,07                | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |
| droog       | 100                                                   | 0,09                | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,19 |

Op akkerbouw op dekzand bedraagt de gemiddelde Pw-ratio 0,48. Bij deze Pw-ratio wordt de MTR-waarde overschreden bij een Pw-getal in de bouwvoor van 50 op natte gronden en 80 op droge gronden (figuur 8). De bovengenoemde getallen gelden voor een gemiddelde situatie met de in tabellen 29, 30 en 32 aangegeven karakteristieken. Lagere waarden voor het Al- en Fe-gehalten, de bulkdichtheid of sorptiekarakteristieken leiden tot aanzienlijk hogere uitspoelingsconcentraties.

## Dekzand



**Figuur 8** Ortho-P concentraties in het uitspoelende water als functie van het Pw-getal van de bouwvoor bij een Pw-ratio van 0,5.

### Dalgrond

De berekende ortho-P concentraties op dalgrond zijn aanzienlijk hoger dan bij dekzand (tabel 35), hetgeen vooral veroorzaakt wordt door een lagere bulkdichtheid. Op dalgrond wordt de grenswaarde op natte gronden overschreden bij een Pw-getal tussen 20 en 50, op matig droge gronden tussen 20 en 70 en op droge gronden bij een Pw-getal tussen 30 en 80. Bij een Pw-ratio van 0,5 liggen de kritische Pw-getalswaarden voor natte, matig droge en droge gronden op een Pw-getal van respectievelijk 30, 40 en 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>.

### Duinzand

De ortho-P concentraties in het uitspoelende water op duinzand zijn bijna altijd hoger dan de grenswaarde van 0,1 mg L<sup>-1</sup> (tabel 36). Dit wordt veroorzaakt door de hoge achtergrondconcentratie van 0,44 mg L<sup>-1</sup>. Als we deze achtergrondconcentratie als grenswaarde hanteren voor de aanvaardbare ortho-P concentratie dan wordt deze waarde overschreden bij een Pw-getal tussen 20 en 40 op natte gronden, 20 en 60 op matig droge gronden en 20 en 50 op droge gronden. Bij een Pw-ratio van 0,5 liggen de kritische Pw-getalswaarden tussen de 20 en 30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Voor bollen op duinzand verschillen de waarden nauwelijks van die voor akkerbouw. De mediane P-ratio bedraagt echter 0,64. Bij deze Pw-ratio liggen de kritische Pw-getalswaarden tussen 10 en 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Deze orde van grootte voor kritische Pw-getalswaarden zijn ook in het kader van het Telen met Toekomst-onderzoek vastgesteld (Ehlert en Koopmans, 2002).

Tabel 35

Ortho-P concentratie (mg P L<sup>-1</sup>) in het uitspoelende water bij akkerbouw op dalgrond. Rood gearceerde cellen hebben een uitspoelingsconcentratie boven een grenswaarde van 0,1 mg P L<sup>-1</sup>.

| Gt klasse   | Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Pw-ratio ondergrond |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|             |                                                               | 0,1                 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    |
| nat         | 10                                                            | 0,02                | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,07 |
| nat         | 20                                                            | 0,03                | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,14 |
| nat         | 30                                                            | 0,05                | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,21 |
| nat         | 40                                                            | 0,08                | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,30 |
| nat         | 50                                                            | 0,11                | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,21 | 0,29 | 0,42 |
| nat         | 60                                                            | 0,15                | 0,19 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,37 | 0,60 |
| nat         | 70                                                            | 0,21                | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,36 | 0,49 | 0,92 |
| nat         | 80                                                            | 0,28                | 0,33 | 0,36 | 0,41 | 0,46 | 0,63 | 2,19 |
| nat         | 90                                                            | 0,39                | 0,45 | 0,49 | 0,54 | 0,60 | 0,83 | 2,41 |
| nat         | 100                                                           | 0,55                | 0,61 | 0,66 | 0,72 | 0,79 | 1,08 | 3,41 |
| matig droog | 10                                                            | 0,01                | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| matig droog | 20                                                            | 0,02                | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,11 |
| matig droog | 30                                                            | 0,03                | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,15 |
| matig droog | 40                                                            | 0,04                | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,21 |
| matig droog | 50                                                            | 0,06                | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,20 | 0,28 |
| matig droog | 60                                                            | 0,08                | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,26 | 0,38 |
| matig droog | 70                                                            | 0,11                | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,24 | 0,33 | 0,53 |
| matig droog | 80                                                            | 0,16                | 0,20 | 0,23 | 0,26 | 0,30 | 0,41 | 0,99 |
| matig droog | 90                                                            | 0,22                | 0,27 | 0,30 | 0,34 | 0,39 | 0,53 | 1,11 |
| matig droog | 100                                                           | 0,30                | 0,36 | 0,40 | 0,44 | 0,50 | 0,68 | 1,50 |
| droog       | 10                                                            | 0,01                | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| droog       | 20                                                            | 0,02                | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,08 |
| droog       | 30                                                            | 0,03                | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,11 |
| droog       | 40                                                            | 0,04                | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,14 |
| droog       | 50                                                            | 0,06                | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,19 |
| droog       | 60                                                            | 0,08                | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,18 | 0,25 |
| droog       | 70                                                            | 0,10                | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,22 | 0,35 |
| droog       | 80                                                            | 0,14                | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,22 | 0,28 | 0,67 |
| droog       | 90                                                            | 0,19                | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,28 | 0,35 | 0,75 |
| droog       | 100                                                           | 0,26                | 0,29 | 0,31 | 0,34 | 0,36 | 0,45 | 1,03 |

Tabel 36

*Ortho-P concentratie (mg P L<sup>-1</sup>) in het uitspoelende water bij akkerbouw op duingrond. Rood gearceerde cellen hebben een uitspoelingsconcentratie boven een grenswaarde van 0,44 mg P L<sup>-1</sup>.*

| Gt klasse   | Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | P ratio ondergrond |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------------------------------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
|             |                                                            | 0,1                | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    |
| nat         | 10                                                         | 0,13               | 0,20 | 0,24 | 0,28 | 0,33 | 0,42 | 0,52 |
| nat         | 20                                                         | 0,28               | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,58 | 0,74 | 0,92 |
| nat         | 30                                                         | 0,47               | 0,61 | 0,70 | 0,79 | 0,90 | 1,13 | 1,40 |
| nat         | 40                                                         | 0,70               | 0,88 | 1,00 | 1,13 | 1,27 | 1,58 | 1,94 |
| nat         | 50                                                         | 0,95               | 1,19 | 1,34 | 1,49 | 1,67 | 2,07 | 2,52 |
| nat         | 60                                                         | 1,23               | 1,51 | 1,70 | 1,89 | 2,11 | 2,59 | 3,13 |
| nat         | 70                                                         | 1,51               | 1,86 | 2,08 | 2,31 | 2,57 | 3,13 | 3,74 |
| nat         | 80                                                         | 1,81               | 2,22 | 2,47 | 2,75 | 3,04 | 3,67 | 4,35 |
| nat         | 90                                                         | 2,11               | 2,58 | 2,88 | 3,19 | 3,52 | 4,22 | 4,96 |
| nat         | 100                                                        | 2,42               | 2,96 | 3,29 | 3,64 | 4,01 | 4,76 | 5,56 |
| matig droog | 10                                                         | 0,09               | 0,17 | 0,22 | 0,26 | 0,31 | 0,39 | 0,49 |
| matig droog | 20                                                         | 0,17               | 0,29 | 0,35 | 0,42 | 0,49 | 0,63 | 0,78 |
| matig droog | 30                                                         | 0,27               | 0,43 | 0,51 | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 1,11 |
| matig droog | 40                                                         | 0,39               | 0,59 | 0,70 | 0,82 | 0,94 | 1,19 | 1,45 |
| matig droog | 50                                                         | 0,53               | 0,77 | 0,91 | 1,05 | 1,20 | 1,50 | 1,81 |
| matig droog | 60                                                         | 0,67               | 0,97 | 1,13 | 1,30 | 1,47 | 1,81 | 2,15 |
| matig droog | 70                                                         | 0,83               | 1,17 | 1,36 | 1,56 | 1,75 | 2,13 | 2,50 |
| matig droog | 80                                                         | 0,99               | 1,38 | 1,59 | 1,81 | 2,03 | 2,45 | 2,84 |
| matig droog | 90                                                         | 1,14               | 1,59 | 1,83 | 2,07 | 2,31 | 2,75 | 3,15 |
| matig droog | 100                                                        | 1,32               | 1,82 | 2,08 | 2,34 | 2,59 | 3,05 | 3,46 |
| droog       | 10                                                         | 0,11               | 0,20 | 0,24 | 0,29 | 0,33 | 0,41 | 0,48 |
| droog       | 20                                                         | 0,21               | 0,33 | 0,39 | 0,45 | 0,51 | 0,63 | 0,76 |
| droog       | 30                                                         | 0,34               | 0,49 | 0,57 | 0,65 | 0,73 | 0,89 | 1,06 |
| droog       | 40                                                         | 0,49               | 0,68 | 0,78 | 0,87 | 0,97 | 1,17 | 1,38 |
| droog       | 50                                                         | 0,66               | 0,88 | 1,00 | 1,11 | 1,23 | 1,47 | 1,72 |
| droog       | 60                                                         | 0,84               | 1,10 | 1,24 | 1,38 | 1,51 | 1,78 | 2,06 |
| droog       | 70                                                         | 1,02               | 1,33 | 1,48 | 1,64 | 1,79 | 2,10 | 2,40 |
| droog       | 80                                                         | 1,22               | 1,56 | 1,74 | 1,91 | 2,08 | 2,41 | 2,74 |
| droog       | 90                                                         | 1,42               | 1,80 | 2,00 | 2,19 | 2,37 | 2,72 | 3,07 |
| droog       | 100                                                        | 1,63               | 2,05 | 2,26 | 2,46 | 2,66 | 3,04 | 3,40 |

### Löss

De berekende ortho-P concentraties in het uitspoelende water liggen tussen 0,02 en 0,29 mg P L<sup>-1</sup> (tabel 37). De berekeningen zijn uitsluitend uitgevoerd voor droge lössgronden omdat akkerbouw op natte en matig natte zeer zeldzaam is. Op de lössgronden worden de grenswaarde van 0,1 mg L<sup>-1</sup> overschreden bij Pw-getalswaarden tussen 30 en 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Bij een P-profiel met een Pw-ratio van 0,5 zullen de grenswaarden voor het Pw-getal in de bouwvoor op ongeveer 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> liggen.

Tabel 37

*Ortho-P concentratie (mg P L<sup>-1</sup>) in het uitspoelende water bij akkerbouw op lössgrond. Rood gearceerde cellen hebben een uitspoelingsconcentratie boven een grenswaarde van 0,1 mg P L<sup>-1</sup>.*

| Gt klasse | Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Pw-ratio ondergrond |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|           |                                                            | 0,1                 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    |
| droog     | 10                                                         | 0,02                | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| droog     | 20                                                         | 0,03                | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| droog     | 30                                                         | 0,04                | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| droog     | 40                                                         | 0,05                | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,11 |
| droog     | 50                                                         | 0,07                | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,14 |
| droog     | 60                                                         | 0,08                | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |
| droog     | 70                                                         | 0,10                | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,19 |
| droog     | 80                                                         | 0,12                | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,19 | 0,22 |
| droog     | 90                                                         | 0,14                | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,22 | 0,25 |
| droog     | 100                                                        | 0,16                | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,25 | 0,29 |

### Rivierklei

Op rivierkleigronden variëren de P-concentraties in het uitspoelende water tussen 0,01 en 1,04 mg P L<sup>-1</sup> (tabel 38). De relatief hoge concentraties worden veroorzaakt door de lage K-waarden en de wat hogere achtergrondconcentraties (0,036 mg P L<sup>-1</sup>).

Tabel 38

*Ortho-P concentratie (mg P L<sup>-1</sup>) in het uitspoelende water bij akkerbouw op rivierkleigrond. Rood gearceerde cellen hebben een uitspoelingsconcentratie boven een grenswaarde van 0,1 mg L<sup>-1</sup>).*

| Gt klasse   | Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Pw ratio ondergrond |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|             |                                                               | 0,1                 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    |
| nat         | 10                                                            | 0,03                | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,11 |
| nat         | 20                                                            | 0,05                | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,19 |
| nat         | 30                                                            | 0,08                | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,22 | 0,27 |
| nat         | 40                                                            | 0,11                | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,28 | 0,35 |
| nat         | 50                                                            | 0,14                | 0,18 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,35 | 0,44 |
| nat         | 60                                                            | 0,18                | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,33 | 0,43 | 0,54 |
| nat         | 70                                                            | 0,23                | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,40 | 0,51 | 0,65 |
| nat         | 80                                                            | 0,28                | 0,34 | 0,38 | 0,42 | 0,48 | 0,60 | 0,76 |
| nat         | 90                                                            | 0,34                | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,56 | 0,70 | 0,89 |
| nat         | 100                                                           | 0,41                | 0,48 | 0,53 | 0,59 | 0,65 | 0,81 | 1,04 |
| matig droog | 10                                                            | 0,02                | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,09 |
| matig droog | 20                                                            | 0,03                | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,14 |
| matig droog | 30                                                            | 0,03                | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,18 |
| matig droog | 40                                                            | 0,05                | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,18 | 0,23 |
| matig droog | 50                                                            | 0,06                | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,21 | 0,27 |
| matig droog | 60                                                            | 0,07                | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0,25 | 0,32 |
| matig droog | 70                                                            | 0,09                | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,29 | 0,38 |
| matig droog | 80                                                            | 0,10                | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,25 | 0,34 | 0,43 |
| matig droog | 90                                                            | 0,13                | 0,18 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,38 | 0,49 |
| matig droog | 100                                                           | 0,15                | 0,21 | 0,24 | 0,28 | 0,33 | 0,43 | 0,56 |
| droog       | 10                                                            | 0,01                | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| droog       | 20                                                            | 0,01                | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,10 |
| droog       | 30                                                            | 0,02                | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,12 |
| droog       | 40                                                            | 0,02                | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,15 |
| droog       | 50                                                            | 0,03                | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,14 | 0,17 |
| droog       | 60                                                            | 0,03                | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,19 |
| droog       | 70                                                            | 0,04                | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,21 |
| droog       | 80                                                            | 0,04                | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,18 | 0,23 |
| droog       | 90                                                            | 0,05                | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,25 |
| droog       | 100                                                           | 0,06                | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,22 | 0,27 |

De waarde van 0,10 mg P L<sup>-1</sup> wordt bij de natte gronden overschreden bij een Pw-getal in de bovengrond tussen de 20 en 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> en bij de matige droge gronden bij een Pw-getal tussen 20 en 80 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Op de droge gronden ligt de grens bij een Pw-getal tussen 20 en 100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Op rivierklei ligt de Pw-ratio vaak wat hoger dan op zandgronden (gem. 0,64) bij deze Pw-ratio wordt de P concentratie van 0,10 mg P L<sup>-1</sup> overschreden tussen een waarde voor de fosfaattoestand (Pw-getal) van 20 en 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>.

### Zeeklei

Op zeekleigronden variëren de gemiddelde P concentraties in het uitspoelende water tussen 0,02 en 1,60 mg P L<sup>-1</sup> (tabel 39). De wat hogere concentraties worden deels veroorzaakt door de hoge achtergrondconcentratie op zeekleigronden (0,11 mg P L<sup>-1</sup>). In de onderstaande beschouwing is daarom rekening gehouden met deze hoge achtergrondconcentraties en een grenswaarde van 0,11 mg P L<sup>-1</sup> voor P in het uitspoelende water gehanteerd. De grenswaarde wordt op natte gronden overschreden bij een Pw-getal in de bouwvoor tussen 10 en 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>, bij de matig droge gronden bij waarden tussen 10 en 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> en bij droge gronden bij waarden tussen 10 en 100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Bij een Pw-ratio van 0,5 ligt de kritische Pw-getal voor de natte en matig droge gronden op 20 en voor de droge gronden op 30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>. Als de GEP voor sloten wordt gebruikt (0,22 mg P L<sup>-1</sup>, 0,15 mg ortho-P L<sup>-1</sup>) ligt de kritische Pw-getalwaarde tussen de 20 en de 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>.

Tabel 39

*Ortho-P concentratie (mg P L<sup>-1</sup>) in het uitspoelende water bij akkerbouw op zeelei. Rood gearceerde cellen hebben een uitspoelingsconcentratie boven een grenswaarde van 0,11 mg L<sup>-1</sup>.*

| Gt klasse   | Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Pw-ratio ondergrond |      |      |      |      |      |      |
|-------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|             |                                                               | 0,1                 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1    |
| nat         | 10                                                            | 0,04                | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,15 | 0,18 |
| nat         | 20                                                            | 0,07                | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,18 | 0,24 | 0,30 |
| nat         | 30                                                            | 0,11                | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,25 | 0,33 | 0,42 |
| nat         | 40                                                            | 0,15                | 0,20 | 0,24 | 0,28 | 0,33 | 0,42 | 0,54 |
| nat         | 50                                                            | 0,20                | 0,26 | 0,31 | 0,35 | 0,41 | 0,53 | 0,67 |
| nat         | 60                                                            | 0,25                | 0,33 | 0,38 | 0,43 | 0,50 | 0,64 | 0,82 |
| nat         | 70                                                            | 0,32                | 0,41 | 0,46 | 0,53 | 0,60 | 0,77 | 0,98 |
| nat         | 80                                                            | 0,40                | 0,50 | 0,56 | 0,63 | 0,71 | 0,91 | 1,17 |
| nat         | 90                                                            | 0,50                | 0,60 | 0,67 | 0,75 | 0,85 | 1,07 | 1,37 |
| nat         | 100                                                           | 0,61                | 0,73 | 0,81 | 0,89 | 1,00 | 1,26 | 1,60 |
| matig droog | 10                                                            | 0,03                | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,16 |
| matig droog | 20                                                            | 0,05                | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,19 | 0,24 |
| matig droog | 30                                                            | 0,06                | 0,10 | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0,25 | 0,31 |
| matig droog | 40                                                            | 0,07                | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0,23 | 0,30 | 0,38 |
| matig droog | 50                                                            | 0,09                | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,27 | 0,36 | 0,46 |
| matig droog | 60                                                            | 0,11                | 0,18 | 0,22 | 0,27 | 0,31 | 0,42 | 0,54 |
| matig droog | 70                                                            | 0,13                | 0,21 | 0,26 | 0,31 | 0,36 | 0,48 | 0,62 |
| matig droog | 80                                                            | 0,16                | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,41 | 0,55 | 0,71 |
| matig droog | 90                                                            | 0,20                | 0,29 | 0,35 | 0,41 | 0,47 | 0,62 | 0,81 |
| matig droog | 100                                                           | 0,23                | 0,34 | 0,40 | 0,47 | 0,54 | 0,71 | 0,92 |
| droog       | 10                                                            | 0,02                | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,15 |
| droog       | 20                                                            | 0,03                | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,20 |
| droog       | 30                                                            | 0,03                | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,20 | 0,25 |
| droog       | 40                                                            | 0,04                | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,28 |
| droog       | 50                                                            | 0,05                | 0,11 | 0,14 | 0,17 | 0,20 | 0,26 | 0,32 |
| droog       | 60                                                            | 0,05                | 0,12 | 0,16 | 0,19 | 0,23 | 0,29 | 0,36 |
| droog       | 70                                                            | 0,06                | 0,14 | 0,18 | 0,21 | 0,25 | 0,32 | 0,39 |
| droog       | 80                                                            | 0,07                | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,27 | 0,35 | 0,43 |
| droog       | 90                                                            | 0,09                | 0,17 | 0,21 | 0,26 | 0,30 | 0,38 | 0,46 |
| droog       | 100                                                           | 0,10                | 0,19 | 0,24 | 0,28 | 0,33 | 0,41 | 0,50 |

## 7.5 Verliezen vanuit de bouwvoor

De verliezen vanuit de bouwvoor zijn berekend op basis van een verband tussen Pw-getal en P in bodemvocht (Chardon en Van Faassen, 1999). Bij deze methode is geen onderscheid gemaakt naar grondsoort. De resultaten van deze methode zijn opgenomen in onderstaande tabel 40. Hierin staan zowel de berekende concentraties (mg P L<sup>-1</sup>) als de verliezen (kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) berekend voor een netto neerslagoverschot van 369 mm jaar<sup>-1</sup> (tabel 40).

Tabel 40

*Fosfaatconcentraties in, en fosfaatverliezen vanuit de bouwvoor (kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>), berekend met behulp van statistisch verband [1] tussen Pw-getal en P in bodemvocht, gemeten als ortho-P of als totaal P.*

| Pw-getal | Conc. ortho-P,<br>mg P L <sup>-1</sup> | Conc. totaal P, mg P<br>L <sup>-1</sup> | Verlies ortho-P,<br>kg P ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> | Verlies totaal,<br>kg P ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> |
|----------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 10       | 0,11                                   | 0,18                                    | 0,4                                                          | 0,7                                                         |
| 20       | 0,30                                   | 0,43                                    | 1,1                                                          | 1,6                                                         |
| 30       | 0,55                                   | 0,73                                    | 2,0                                                          | 2,7                                                         |
| 40       | 0,84                                   | 1,05                                    | 3,1                                                          | 3,9                                                         |
| 50       | 1,16                                   | 1,40                                    | 4,3                                                          | 5,2                                                         |
| 60       | 1,52                                   | 1,78                                    | 5,6                                                          | 6,6                                                         |
| 70       | 1,90                                   | 2,17                                    | 7,0                                                          | 8,0                                                         |
| 80       | 2,31                                   | 2,57                                    | 8,5                                                          | 9,5                                                         |
| 90       | 2,75                                   | 2,99                                    | 10,1                                                         | 11,0                                                        |
| 100      | 3,20                                   | 3,43                                    | 11,8                                                         | 12,7                                                        |

De berekende verliezen vanuit de bouwvoor lopen op van 0,4 kg ortho-P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> bij Pw-getal 10 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> tot 11,8 kg ortho-P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> bij Pw-getal 100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> (tabel 41). In het landbouwkundig meest relevante traject (Pw-getal 20-40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> grond) ligt het berekende verlies tussen 1,1 en 3,1 kg ortho-P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (1,6 en 3,9 kg totaal-P).

## 7.6 Discussie

### 7.6.1 Onzekerheden

Voor de verliezen vanuit de bouwvoor is gewerkt met een gemiddeld verband tussen Pw-getal en P in bodemvocht voor zand-, klei, dal- en lössgrond. Door Chardon en Van Faassen (1999) werd opgemerkt dat een gemiddeld verband voor dalgrond waarschijnlijk tot een onderschatting van de P-uitspoeling uit de bouwvoor leidt, en voor kleigrond tot een overschatting. Ook de berekeningen met PLEASE geven aan dat er verschillen zijn tussen grondsoorten. De hier gepresenteerde berekeningsresultaten vragen bij dalgrond en zeeklei nadere aandacht en uitwerking.

### 7.6.2 Normen en retentie in het oppervlaktewater

Voor de introductie van de Kader Richtlijn Water (KRW) werd als norm voor de fosforconcentraties in het oppervlaktewater gebruik gemaakt van het maximaal toelaatbaar risico van 0,15 mg P L<sup>-1</sup> (0,1 mg ortho-P L<sup>-1</sup>). Deze normen golden voor meren en plassen. Voor de KRW zijn grenswaarden opgesteld voor natuurlijke wateren (Molen en Van der Pol, 2007) en voor sterk veranderde of kunstmatige wateren (Evers en Knoben, 2007). Deze grenswaarde geeft bij natuurlijke wateren de grens aan tussen een matig en goede ecologische toestand (GET) of voor kunstmatige wateren het goed ecologisch potentieel (GEP). Een samenvatting van de belangrijkste grenswaarden staat in tabel 41 (Van Puijenbroek et al., 2010).

**Tabel 41**

*Grenswaarden tussen het oordeel 'goed' en 'matig' voor de waterkwaliteit van natuurlijke wateren kunstmatige waterlichamen overeenkomend met de klasse 'goed en hoger' van de KRW (Van Puijenbroek et al, 2010).*

| KRW watertype            | KRW code              | Totaal, mg P L <sup>-1</sup> |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Sloten                   | M1, M2, M18           | 0,22                         |
| Beken                    | R3-6, R9-15, R17, R18 | 0,14                         |
| Kanalen en vaarten       | M3, M4, M6, M7, M10   | 0,15                         |
| Ondiep gebufferde meren  | M11, M14              | 0,09                         |
| Ondiepe laagveen plassen | M25, M27              | 0,09                         |
| Diepe gebufferde meren   | M16                   | 0,07                         |
| Grote diepe meren        | M21                   | 0,07                         |
| Matig grote diepe meren  | M20                   | 0,03                         |
| Brakke meren             | M30, M31              | 0,11                         |
| Grote rivieren           | R7, R8, R16           | 0,14                         |

Voor de meeste oppervlaktewateren liggen de grenswaarden onder de MTR waarde van 0,15 mg P L<sup>-1</sup>, met uitzondering van sloten waar de grenswaarde iets hoger ligt dan de MTR waarde.

Een deel van het fosfaat dat via de bodem uitspoelt wordt opgenomen door waterplanten of kan vastgelegd worden in het sediment waardoor retentie van fosfaat in het oppervlaktewatersysteem plaatsvindt. De uitspoeling van fosfaat uit de bodem kan mogelijk daardoor wat hoger liggen dan de bovengenoemde normen voor het oppervlaktewater. De omvang van de retentie hangt af van de verblijftijd van het water, de nutriëntenbelasting, de sorptie-eigenschappen van de waterbodem en de aanwezigheid van waterplanten. Retentie is lastig te meten en schattingen van de retentie lopen sterk uiteen. In het project monitoring stroomgebieden werden percentages gevonden tussen 23 en 59% (Gerven et al., 2011; Roelsma et al., 2011a en 2011b; Siderius et al., 2011). De Klein en Koelmans (2011) vonden voor dertien West-Europese laaglandrivieren percentages tussen de 39 en 75%.

In deze studie hebben we gebruik gemaakt van een grenswaarde van 0,15 mg L<sup>-1</sup> voor totaal P (0,1 mg L<sup>-1</sup> voor ortho-P). Deze waarde ligt in de buurt van de grenswaarden zoals die in tabel 41 gegeven worden voor sloten, beken, kanalen en grote rivieren. De waarde is aanzienlijk hoger dan de waarde voor meren en plassen. Wij zijn er echter van uit gegaan dat door retentie in het watersysteem ook deze waarden op deze meeste plaatsen gerealiseerd moeten kunnen worden als de uitspoeling vanuit de bodem niet hoger is dan 0,15 mg L<sup>-1</sup>.

In enkele doorgerekende systemen (duingrond, zeeklei) is de achtergrondsconcentratie hoger dan de hierboven genoemde grenswaarde van 0,1 of 0,15 mg L<sup>-1</sup>. In deze gevallen is de gebruikte achtergrondsconcentratie als grenswaarde gebruikt. Om voor dergelijke systemen een goede inschatting van de risico's van fosfaatuitspoeling vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater te maken is inzicht nodig in de relatieve bijdrage (P-fluxen) vanuit de landbouw ten opzichte van andere bronnen.

### 7.6.3 Gt groepen

In verband met de grote lokale variatie in kwel is gebruik gemaakt van vrij brede Gt groepen. Binnen deze groepen bestaat een grote bandbreedte in berekende P-verliezen. Bijvoorbeeld binnen de groep natte gronden zal bij een zelfde P-profiel het P- verlies op een Gt I veel hoger zijn dan op een Gt V. Voor de hier gepresenteerde tabellen is gebruik gemaakt van areaal gewogen gemiddelde concentraties. Hierbij is dus rekening gehouden met het voorkomen van bepaalde gewassen op een bepaalde GT. In de praktijk betekent dit dat de verliezen sterk bepaald worden door de drogere Gt's binnen een klasse doordat zeer natte gronden vaak niet voor akkerbouw gebruikt worden.

### 7.6.4 Verliezen uit de bouwvoor

In het landbouwkundig meest relevante traject (Pw-getal 20-40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> grond) ligt het berekende verlies vanuit de bouwvoor tussen 1,1 en 3,1 kg ortho-P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (1,6 en 3,9 kg totaal-P). Wanneer 3 kg P als (globale) gemiddelde waarde wordt genomen, dan betekent dit voor Nederland (740.000 ha landbouwgrond) dat er jaarlijks ca. 2,2 miljoen kg P (5 miljoen kilo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) uitspoelt uit de bouwvoor. Een deel daarvan verrijkt de ondergrond, een deel spoelt uit en betekent een verlies voor de landbouw. Per 10 eenheden stijging van het Pw-getal neemt dit verlies uit de bouwvoor toe met circa 0,5 - 1,3 miljoen kg P of 1 - 3 miljoen kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> toe.

De schatting voor de verliezen vanuit de bouwvoor van ruim 2 miljoen kg P jaar<sup>-1</sup> voor Nederland kan worden vergeleken met de schatting van het CBS (Statline), die voor het verlies naar het oppervlaktewater uitkomt op 3 miljoen kg P jaar<sup>-1</sup>.

## 7.7 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de verliezen van fosfaat van de bodem naar het milieu onderzocht zoals deze afhankelijk zijn van de fosfaattoestand, de bodemeigenschappen en de hydrologische condities. De studie geeft uitsluitsel over potentiële en actuele verliezen.

Het potentiële verlies is gedefinieerd als 'het verlies van fosfaat uit de bouwvoor naar de ondergrond'. Het actuele verlies is gedefinieerd als 'het verlies van fosfaat door uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater'.

Het potentiële verlies is afhankelijk van de fosfaattoestand (Pw-getal) en wordt bij fosfaattoestanden van 20, 40 en 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> geschat op respectievelijk 1,1 kg ortho-P (of 1,6 kg totaal-P), 3,1 kg ortho-P (of 3,9 kg totaal-P) en 5,6 kg ortho-P (of 6,6 kg totaal-P) per ha per jaar. Voor herleiding naar kg fosfaat dienen deze waarden met een factor 2,29 te worden vermenigvuldigd.

Het actuele verlies wordt bepaald door de fosfaattoestand, de verdeling van het fosfaat over bouwvoor en daaronder liggende bodemlagen, bodemfysische en bodemchemische eigenschappen van de grondsoort. De verdeling van fosfaat tussen bouwvoor en ondergrond verschilt tussen de sectoren. Bij

bloembollen, boomkwekerij en fruit is eerder sprake van een verrijking van ondergrond dan bij akkerbouw en vollegrondsgroenten. Bij vollegrondsgroenten komen situaties voor waarbij de ondergrond sterker verrijkt is dan bij andere sectoren.

Naarmate de bodem natter is, neemt het risico op verhoogde fosforconcentraties in uitspoelend bodemvocht toe. De ernst van dit risico is afhankelijk van de grondsoort en de fosfaattoestand van de ondergrond. Naar mate de fosfaattoestand van de bouwvoor en die van de ondergrond overeenkomen, neemt het risico dat de fosforconcentratie van het uitspoelend bodemvocht hoger is dan de natuurlijke achtergrondswaarde van de bodem toe. Dit risico is beperkt bij bodems met fosfaattoestanden van 10 - 30 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> en bij fosfaattoestanden in de ondergrond die meer dan de helft lager zijn dan die van de bouwvoor. Op natte gronden kunnen echter ook bij een lage fosfaattoestand in de ondergrond problemen verwacht worden als de Pw waarden in de bouwvoor boven een waarde van 30-50 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> ligt. Op matig droge gronden ligt deze grens bij Pw-getallen tussen 50 en 90 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>. Het areaal openteelt in 2011 wordt door het CBS voorlopig geraamd op 624.825 ha en het areaal snijmaïs op 227.814 ha. Geraamd wordt dat hier 2,6 miljoen kg P (5,9 kg  $P_2O_5$ ) uitspoelt; per 10 eenheden stijging van het Pw-getal is dat 1 miljoen kg P of 2,6 miljoen kg  $P_2O_5$ .

Fosfaatverliezen uit de bouwvoor kunnen op drogere gronden in de ondiepe ondergrond worden gebufferd en vormen op korte termijn geen bedreiging voor de kwaliteit van grond- en of oppervlaktewater. Op nattere gronden kan de huidige fosfaatophoping al leiden tot verliezen naar het oppervlaktewater. De retentie in het oppervlaktewater kan hierbij betrokken worden.

## 8 Opties voor afleiding van fosfaatklassen

### 8.1 Evaluatie onderbouwing van bemestingsadviezen

In hoofdstukken 3 t/m 6 zijn de bemestingsadviezen voor open teelten (exclusief grasland) besproken. Vollegrondsteelten van akkerbouwgewassen, snijmaïs, groenten en bloembollen volgen eenzelfde systematiek. Akkerbouwgewassen, snijmaïs en vollegrondsgroenten hanteren een gelijklopende waardering van de fosfaattoestand van de bodem, een expliciete klassering van de fosfaattoestand bij bloembollenteelt ontbreekt maar past wel in eenzelfde stramien.

De waardering van de fosfaattoestand van de bodem bij de teelt van boomkwekerijgewassen, buitenbloemen en fruit wijken af. De onderbouwing van de waarderingsklassen van de fosfaattoestand van de bodem van deze laatst genoemde bemestingsadviezen, is in deze studie niet achterhaald. Evident is dat een kalibratie van de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting bij deze gewassen van deze sectoren door het ontbreken van meetgegevens niet de basis kan zijn voor enige indeling van de fosfaattoestand in klassen en waardering van die fosfaatklassen. De bemestingsadviezen voor boomkwekerij en buitenbloemen zijn gebaseerd op een bemestingsadvies voor intensieve vollegrondsgroententeelt dat vanaf 2003 niet meer wordt toegepast. Met andere woorden, bij de waardering van de fosfaattoestand werd gespiegeld aan de intensieve vollegrondsgroententeelt zonder dat een feitelijke kalibratie bij boomkwekerij en buitenbloemen uitgevoerd werd. Het bemestingsadvies voor fruit heeft geen relatie meer met de huidige uitvoeringspraktijk van fruitteelt. De gehanteerde indeling van de fosfaattoestand in klassen met waarden is daardoor een artefact geworden. Akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en bloembollen zijn daarentegen met voor elke sector kenmerkende (referentie)gewassen voorzien van een gelijklopend, dan wel op elkaar aansluitend (bemestingsadvies bloembollen).

Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten hanteren dezelfde waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem. Uit hoofdstukken 3 t/m 6 wordt afgeleid dat deze indeling van de fosfaattoestand in klassen met onderliggende waardering feitelijk gebaseerd is op de kalibratie van de gewasreactie van het gewas aardappel op fosfaattoestand (Pw-getal) en fosfaatbemesting. Het betreft hier de teelt van consumptieaardappel en zetmeelaardappel op zand- en dalgrond. Maar ook bij de indeling van de fosfaattoestand in klassen werd *expert judgement* toegepast (hoofdstuk 3). Om risico op opbrengstderving te verminderen werden bij lage fosfaattoestanden de klassen smaller genomen dan bij hogere fosfaattoestanden. Om voorlichtingskundige motieven werd de benaming van deze klassen (eenmalig) gewijzigd<sup>35</sup>. Bij andere gewassen is deze indeling in klassen met waarderingstoestanden als uitgangspunt genomen en zijn aanpassingen aangebracht door gewasgroepen te onderscheiden t.o.v. aardappel en per gewasgroep andere fosfaatgiften te adviseren. Per gewasgroep, per grondsoort is daardoor een samenhangend overzicht ontstaan die inzicht geeft van de betekenis van de fosfaattoestand voor de fosfaatbemesting. Daardoor kan direct inzichtelijk gemaakt worden welke fosfaattoestand bij een beoogde fosfaatgebruiksnorm past indien een fosfaatbemestingsadvies wordt gevolgd.

In tabel 42 worden de fosfaatgebruiksnormen voor bouwland gegeven voor 2012-2015 voor de door Meststoffenwet voorgeschreven klassen van fosfaattoestand *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*. Gegeven deze

<sup>35</sup> Reden hiervoor is de invoering van het bodemgerichte bemestingsadvies en het inzicht dat de fosfaatafvoer (gemiddelde rotatie akkerbouw) door toename van de landbouwkundige productie was toegenomen. De wijziging diende mede bewustwording om in het bemestingsplan ook op de fosfaatafvoer te letten.

fosfaatgebruiksnormen kan afgeleid worden welke fosfaattoestand volgens een bemestingsadvies daarbij past. Het resultaat van deze afleiding staat in tabel 43.

Tabel 42

*Fosfaatgebruiksnormen (kg ha<sup>-1</sup>) voor bouwland als functie van fosfaattoestandklasse (Staatscourant nr. 8459, 17 mei 2011).*

| Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Fosfaatklasse   | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|
| <36                                                           | <i>Laag</i>     | 85   | 85   | 80   | 75   |
| 36 – 55                                                       | <i>Neutraal</i> | 70   | 65   | 65   | 60   |
| >55                                                           | <i>Hoog</i>     | 65   | 55   | 55   | 50   |

In tabel 43 wordt door middel van vetdruk en cursief aangegeven of een fosfaatgebruiksnorm te laag is t.o.v. de adviesgift van de adviesbasis van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen en de adviesbasis voor bloembolgewassen. Het gaat hierbij om een combinatie van de fosfaatgebruiksnorm (fosfaatgift) voor de jaren 2012 en 2013 en beoogde fosfaatgebruiksnormen voor 2014 en 2015 en fosfaattoestandklassen van de gebruiksnorm. Vetdruk en cursief geven daarmee aan welke fosfaattoestanden niet passen bij de opgelegde gebruiksnorm.

In beginsel ligt hierin een optie besloten voor een mogelijke aanpassing van het criterium voor de fosfaattoestand van de bodem. Deze optie is dat de fosfaattoestand aangepast wordt aan de adviesbasis opdat fosfaatgebruiksnorm of beoogde fosfaatgebruiksnorm overeenkomen met de adviesgift van de adviesbasis voor bemesting van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen.

Gewasgroepen 0 en 1 vragen hogere fosfaattoestanden dan de fosfaatklasse *Laag* als indelingscriterium nu hanteert (of een hogere gebruiksnorm). Er is geen onderscheid tussen het gebruiksnormenstelsel qua criterium voor de fosfaatklasse *Laag* en vigerende bemestingsadviezen als het criterium afgebakend wordt bij een Pw-getal van 43 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> op basis van gebruiksnormen voor 2012. Omdat de fosfaatgebruiksnormen gefaseerd verlaagd worden, geldt vanaf 2015 dat bij een Pw-getal van 45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> de klasse *Laag* volledig afgestemd is met vigerende bemestingsadviezen. Het onderscheid tussen dekzand, dalgrond, rivierklei en löss ten opzichte van zeeklei en zeezand is gering: laatst genoemde gronden volstaat een fosfaattoestand die 1 Pw-punt lager is.

Fosfaatklassen *Neutraal* en *Hoog* van het gebruiksnormenstelsel voor bouwland staan fosfaatgiften toe die hoger zijn dan die welke vigerende fosfaatbemestingsadviezen voorschrijven. Dit zijn de meest<sup>36</sup> voorkomende fosfaattoestanden op bouwland (Schoumans, 2007; Planbureau voor de Leefomgeving, 2012). Voor gewasgroepen 2, 3 en 4 zijn fosfaatgebruiksnormen altijd hoger dan de fosfaatbemestingsadviezen bij de indelingscriteria voor fosfaattoestand. Voor gewasgroepen 0 en 1 in de klasse *Neutraal* geldt dit voor een deel van het Pw-traject 36 - 55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> (Pw-getal > 40 - 43 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>). Afstemming op vigerende Adviesbasis bemesting betekent voor deze klassen van fosfaattoestanden dat lagere fosfaattoestanden als criterium kunnen gelden zonder dat dit knelt met de adviesgift.

<sup>36</sup> Schoumans (2007) rapporteerde dat 33% van het bouwland in 2003 de waardering *Neutraal* had en 38% de waardering *Hoog*. Het Planbureau voor de Leefomgeving rapporteerde voor 2010 dat 17% van de bouwlandpercelen een fosfaattoestand had die in de klasse *Neutraal* viel en 74% in de klasse *Hoog*. Het hoge percentage van 74% wordt toegeschreven aan het beperkt aantal bedrijven dat grondonderzoek liet uitvoeren waardoor volgens geldende wettelijke bepalingen van de Meststoffenwet de klasse *Hoog* geldt.

Tabel 43

Grenswaarden voor het Pw-getal waaronder volgens de gebruiksnormen van 2012 en beoogde gebruiksnormen 2013-2015 niet meer volgens het gewasgericht advies bemest kan worden.

| Grondsoort                          | Fosfaatklasse<br>Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Jaar | Gebruiksnorm<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Gewasgroep              |           |    |    |    |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|----|----|----|
|                                     |                                                                                |      |                                                                   | 0                       | 1         | 2  | 3  | 4  |
| Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss | <36                                                                            | 2012 | 85                                                                | <b>43<sup>137</sup></b> | <b>40</b> | 31 | 22 | 14 |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 70                                                                | 46                      | 45        | 36 | 26 | 18 |
|                                     | >55                                                                            |      | 65                                                                | 47                      | 46        | 37 | 28 | 19 |
|                                     | <36                                                                            | 2013 | 85                                                                | <b>43</b>               | <b>40</b> | 31 | 22 | 14 |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 65                                                                | 47                      | 46        | 37 | 28 | 19 |
|                                     | >55                                                                            |      | 55                                                                | 49                      | 49        | 40 | 31 | 21 |
|                                     | <36                                                                            | 2014 | 80                                                                | <b>44</b>               | <b>42</b> | 33 | 24 | 15 |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 65                                                                | 47                      | 46        | 37 | 28 | 19 |
|                                     | >55                                                                            |      | 55                                                                | 49                      | 49        | 40 | 31 | 21 |
|                                     | <36                                                                            | 2015 | 75                                                                | <b>45</b>               | <b>43</b> | 34 | 25 | 16 |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 60                                                                | 48                      | 48        | 39 | 29 | 20 |
|                                     | >55                                                                            |      | 50                                                                | 50                      | 51        | 41 | 32 | 23 |
| Zeeklei, zeezand                    | <36                                                                            | 2012 | 85                                                                | <b>42</b>               | <b>40</b> | 27 | 16 | 4  |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 70                                                                | 45                      | 45        | 32 | 19 | 8  |
|                                     | >55                                                                            |      | 65                                                                | 46                      | 46        | 33 | 20 | 9  |
|                                     | <36                                                                            | 2013 | 85                                                                | <b>42</b>               | <b>40</b> | 27 | 16 | 4  |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 65                                                                | 46                      | 46        | 33 | 20 | 9  |
|                                     | >55                                                                            |      | 55                                                                | 49                      | 49        | 36 | 22 | 11 |
|                                     | <36                                                                            | 2014 | 80                                                                | <b>43</b>               | <b>42</b> | 29 | 17 | 5  |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 65                                                                | 46                      | 46        | 33 | 20 | 9  |
|                                     | >55                                                                            |      | 55                                                                | 49                      | 49        | 36 | 22 | 11 |
|                                     | <36                                                                            | 2015 | 75                                                                | <b>44</b>               | <b>43</b> | 30 | 18 | 6  |
|                                     | 36 – 55                                                                        |      | 60                                                                | 48                      | 48        | 34 | 21 | 10 |
|                                     | >55                                                                            |      | 50                                                                | 50                      | 51        | 37 | 23 | 13 |

## 8.2 Rendement van bemesting

De indeling van de fosfaattoestand in klassen berust niet op de fysieke opbrengst van het veldgewas aardappel (knol) maar op de economisch renderende opbrengst. Er wordt niet naar maximale opbrengst bemest, dit rendeert niet bij akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten<sup>38</sup>. Het omslagpunt wordt bepaald door die fosfaatgift waarbij verkregen opbrengstvermeerdering niet meer betaald werd door investering met kunstmestfosfaat (superfosfaat of tripelsuperfosfaat). De prijsverhouding waarbij het huidige advies en de indeling van de fosfaattoestand in klassen werd afgeleid, is gebaseerd op een prijsverhouding van 5, dus 5 kg aardappelen is qua prijs gelijk aan 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

De mathematische beschrijving van deze opbrengstreactie en indeling in fosfaatklassen is geven door Ris en Van Luit (1974). Per fosfaatklasse is een wiskundig verband gegeven. De indeling van deze fosfaatklassen komt niet overeen met die van het stelsel van fosfaatgebruiksnormen. Dit belemmerde een kwantificering van landbouwkundige effecten van wijziging van enige indeling in klassen van fosfaattoestand. Er is daarom voor deze studie besloten om deze mathematische beschrijving opnieuw maar integraal af te leiden voor zowel aardappel als snijmaïs. Deze gewassen werden gekozen wegens hun belang bij de onderbouwing van huidige bemestingsadviezen voor grote arealen en hun representativiteit voor fosfaatbehoefte gewassen. De herkalibratie van het gewas aardappel verliep succesvol, die van het gewas snijmaïs niet.

Andere teeltfactoren, vooral de stikstofbemesting, nalevering van stikstof uit de bodem bij ruime giften aan dierlijke mest, verschillen in fosfaatmeststofvormen en het ontbreken van afdoende

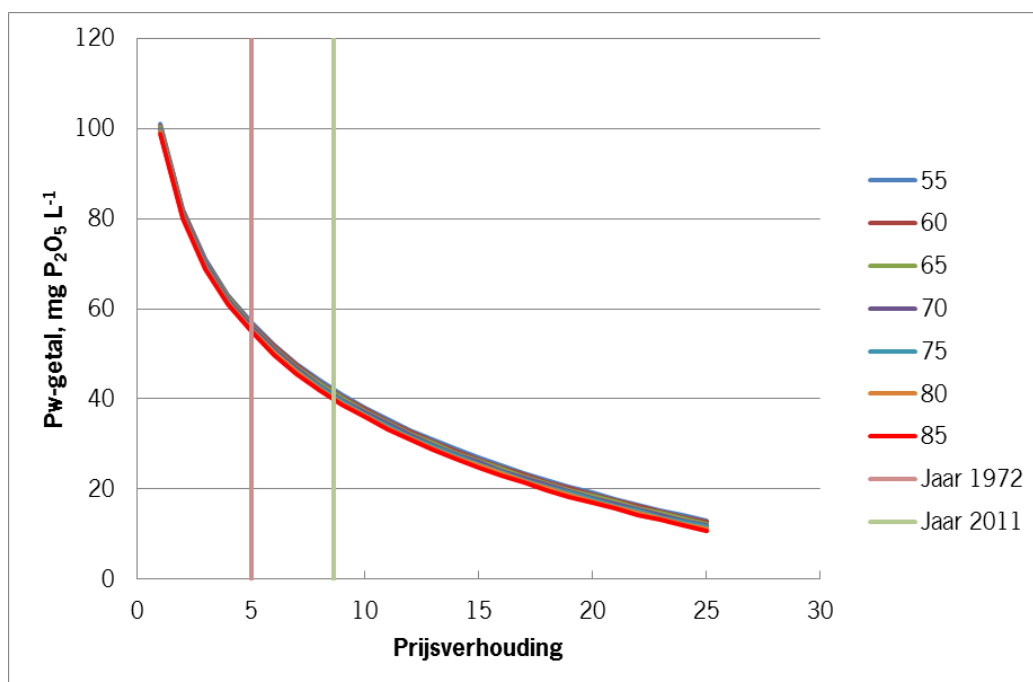
<sup>37</sup> In vetdruk en cursief wordt aangegeven dat de gebruiksnorm lager is dan de fosfaatgift volgens het gewasgerichte bemestingsadvies.

<sup>38</sup> Bemestingskosten drukken (nog) nauwelijks op de teelt van intensieve vollegrondsgroentengewassen, bloembollen, boomkwekerij en buitenbloemen. Bij laatst genoemde sectoren wordt naar maximale opbrengst bemest.

samenhang in de proefopzet worden als oorzaken gezien voor het ontbreken van enig resultaat bij de statistische bewerking van snijmaïs. Bij aardappel was een vergaande en op zich unieke vorm van standaardisatie in proefopzet en uitvoering doorgevoerd (Van der Paauw, 1972). Dit betrof zes series veldproeven met per serie 25 à 30 veldproeven op verschillende grondsoorten. Deze set van gegevens werd aangevuld met recente gegevens van fosfaatbemestingsveldproeven en aardappel als proefgewas van PPO-agv en Alterra. Met deze uitgebreidere set van veldproefgegevens werd een herkalibratie van de gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting uitgevoerd. Bijlage 2 gaat in op de achtergronden en bewerkingsmethoden en geeft de resultaten van statistische bewerking. De resultaten worden hier toegepast.

De herkalibratie geeft een afwijkend beeld t.o.v. het huidige bemestingsadvies qua reactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Het gewas aardappel reageert sterker op fosfaatbemesting en de opbrengstreactie vakt pas bij hogere fosfaattoestanden af. In klassieke terminologie van de bemestingsleer wordt het gewas fosfaatbehoeftiger genoemd dan nu geldt volgens het huidige advies. In de context van dit rapport wordt hieraan geen nadere aandacht gegeven. De overeenkomst bij praktische toepassing van het verkregen resultaat in vergelijking met het huidige bemestingsadvies en fosfaatgebruiksnormen is namelijk groot.

De prijzen voor kunstmestfosfaat en aardappelen zijn variabel. De laatste jaren doet zich hetzij door schaarste hetzij door speculatie een prijsverhoging bij kunstmestfosfaat voor (bijlage figuur B.2.2) terwijl de prijzen van aardappelen schommelen (bijlage figuur B.2.3). De prijsverhoudingen variëren van 2,1-20,9; gemiddeld over de periode 1990-2011 is de prijsverhouding 8,3. Er is daardoor een verschuiving in prijsverhouding opgetreden t.o.v. van de prijsverhouding van 5 welke de grondslag is van de huidige waardering van de fosfaattoestand van het huidige advies. Fosfaatgiften van kunstmest renderen nu minder. In figuur 8 wordt de fosfaattoestand waarbij bemesting niet meer rendeert voor een aantal fosfaatgiften afgestemd op fosfaatgebruiksnormen als functie van prijsverhoudingen gegeven. Bij een prijsverhouding van 5 volgens het huidige advies rendeert een fosfaatgift van 85 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> niet bij een fosfaattoestand (Pw-getal) van 55 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> of hoger. Herkalibratie heeft hier niet geleid tot een ander resultaat dan volgt uit toepassing van het huidige advies. Bij een gemiddelde prijsverhouding van 8,3 en een fosfaatgift van 85 kg  $P_2O_5$  ha rendeert een fosfaattoestand (Pw-getal) van 39 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> niet (figuur 9). Dit geldt voor de situatie dat fosfaatmeststof aangekocht moet worden.



**Figuur 9** Fosfaattoestand (Pw-getal) waarbij fosfaatbemesting bij aardappel niet meer rendeert bij giften van 55 tot 85 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> als functie van de prijsverhouding.

Door de intensieve veehouderij is er een groot aanbod aan dierlijke mest. Met dierlijke mest wordt fosfaat aangevoerd. Het aanbod aan dierlijke mest is hoger dan er landbouwareaal beschikbaar is. De intensieve veehouderij betaalt voor de afzet van mest die niet plaatsbaar is op eigen of gehuurd land. Fosfaat heeft daardoor een negatieve prijs. Het concept van een economisch rendement voor indeling van de fosfaattoestand in klassen past daardoor niet bij de huidige landbouwpraktijk: bij zeer lage prijsverhoudingen horen zeer hoge fosfaattoestanden. Feitelijk betreft dit een extrapolatie buiten het bereik van de metingen en bemestingsgiften van de veldproeven waarop vergelijking (3) werd afgeleid. De basis om enig uitsluitsel te geven over het effect van de prijsverhouding op de fosfaattoestand ontbreekt daardoor.

## 8.3 Fysieke opbrengst

Een prijsafhankelijke maatstaf is de fysieke opbrengst bepaald door effecten van fosfaatbemesting en fosfaattoestand ten opzichte van de maximaal bereikbare opbrengst. In tabel 44 wordt de fosfaattoestand (Pw-getal) gegeven als bij 95% en 99% van de maximale opbrengst voor zowel het huidige bemestingsadvies als het resultaat na herbewerking van veldproefgegevens (herkalibratie, zie bijlage 2). De waarden bij afleiding op basis van huidige gegevens berust op datamontage van figuren en tabellen zonder een wiskundige grondslag. De gegevens van herbewerking berusten op de herkalibratie van de gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand van de bodem en fosfaatbemesting. Deze herbewerking (herkalibratie) berust op dezelfde gegevens van veldproeven die de basis hebben gelegd voor het huidige bemestingsadvies voor aardappel van de adviesbasis van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Daaraan zijn gegevens van recentere veldproeven met aardappel toegevoegd. Vergelijking van gegevens van het huidige bemestingsadvies en het resultaat van herkalibratie wijst op een scherpere reactie van het gewas aardappel waardoor pas bij een hogere fosfaattoestand eenzelfde opbrengstreactie wordt bereikt. Dit leidt tot hogere verschillen bij vergelijking van de opbrengstdervingen van 5% en 1%.

Tabel 44

*Fosfaattoestand bij verschillende gebruiksnormen waarbij 95% of 99% van de maximale opbrengst bij aardappelen wordt gerealiseerd.*

| Fosfaatgebruiksnorm<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |      | Herkalibratie |      |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------|---------------|------|
|                                                                          | Huidig advies                                              |      | 95 %          | 99 % |
| 85                                                                       | 14,4                                                       | 42,0 | 14,6          | 58,5 |
| 80                                                                       | 15,2                                                       | 43,5 | 15,4          | 59,4 |
| 75                                                                       | 15,9                                                       | 44,3 | 16,2          | 60,0 |
| 70                                                                       | 16,6                                                       | 45,7 | 17,0          | 60,4 |
| 65                                                                       | 17,2                                                       | 46,4 | 17,8          | 60,9 |
| 60                                                                       | 17,8                                                       | 47,2 | 18,5          | 61,7 |
| 55                                                                       | 18,5                                                       | 47,8 | 19,3          | 62,5 |
| 50                                                                       | 19,2                                                       | 48,4 | 20,1          | 64,0 |

Een percentage van 95% van de maximale opbrengst wordt gerealiseerd bij fosfaattoestanden (Pw-getal) van 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> en lager. Een percentage van 99% wordt gerealiseerd bij een fosfaattoestand kleiner dan 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> (huidig advies) of kleiner of gelijk aan 64 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> (herkalibratie).

Een complementaire wijze van presentatie is door de opbrengstderving in beeld te brengen voor verschillende fosfaatgiften bij twee fosfaattoestanden (Pw-getal) van respectievelijk 25, 35, 45 en 55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> (Tabel 45).

Tabellen 44 en 45 brengen een ander aspect in beeld. Berekend wordt op basis van gegevens van herkalibratie dat 99% van de maximale opbrengst gerealiseerd wordt bij een fosfaatgift van 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> bij een fosfaattoestand (Pw-getal) van 64 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> (Tabel 44). Door een wat lagere

fosfaattoestand van 55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> te kiezen wordt bij eenzelfde fosfaatgift een opbrengstderving van 1,4% berekend. De gewasreactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is in het bereik van het traject van fosfaatgebruiksnormen en het traject van fosfaattoestanden zwak. In dit opzicht wijkt de reactie van gewassen af van die op stikstof. Bij stikstof is in het algemeen sprake van een sterke en robuuste opbrengstreactie op bemesting en minerale stikstofvoorraad in de bodem. Een sterke opbrengstverhoging op fosfaatbemesting wordt alleen bij fosfaatbehoefte gewassen vastgesteld als de fosfaattoestand *Laag* is (< 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>).

Tabel 45

*Opbrengstderving van aardappel in procent van maximale opbrengst bij twee fosfaattoestanden en waarden voor fosfaatgebruiksnormen in procent van maximale opbrengst.*

| Fosfaatgebruiksnorm,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup><br>Huidig advies |     |     |     | Herkalibratie |     |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|
|                                                                           | 25                                                                          | 35  | 45  | 55  | 25            | 35  | 45  | 55  |
| 50                                                                        | 4,2                                                                         | 2,3 | 1,7 | 0,8 | 4,2           | 2,9 | 2,0 | 1,4 |
| 55                                                                        | 4,0                                                                         | 2,2 | 1,6 | 0,8 | 4,1           | 2,8 | 2,0 | 1,4 |
| 60                                                                        | 3,8                                                                         | 2,0 | 1,5 | 0,7 | 3,9           | 2,7 | 1,9 | 1,3 |
| 65                                                                        | 3,6                                                                         | 2,0 | 1,4 | 0,6 | 3,8           | 2,7 | 1,8 | 1,3 |
| 70                                                                        | 3,4                                                                         | 1,9 | 1,3 | 0,6 | 3,7           | 2,6 | 1,8 | 1,2 |
| 75                                                                        | 3,2                                                                         | 1,8 | 1,2 | 0,5 | 3,6           | 2,5 | 1,7 | 1,2 |
| 80                                                                        | 3,0                                                                         | 1,6 | 1,1 | 0,5 | 3,5           | 2,4 | 1,7 | 1,2 |
| 85                                                                        | 2,9                                                                         | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 3,4           | 2,4 | 1,6 | 1,1 |

## 8.4 Evenwichtsbemesting

Juist omdat de gewasreactie op fosfaatbemesting in het algemeen zwak is, wordt de waardering van de fosfaattoestand in andere Europese landen gericht op een balansmethode (Jordan et al., 2012). De hoeveelheid fosfaat die afgevoerd wordt, wordt gecompenseerd door bemesting. Dit is een vorm van evenwichtsbemesting. De klasse *Zeer Laag* wordt daarbij gedefinieerd als die fosfaattoestand waarbij 2 à 1,5 maal de hoeveelheid fosfaat nodig is om de fosfaatafvoer te compenseren om een bepaalde opbrengst te bereiken. Dat teeltdoel kan 95%, 98% of 99% van de maximaal te bereiken opbrengst zijn. De klasse *Laag* kent een gift die 1,25 maal de afvoer is. Hoog wordt gedefinieerd voor fosfaattoestanden bij giften van 0,5 maal de afvoer. Zeer hoge fosfaattoestanden krijgen geen fosfaatbemesting. Dergelijke bemestingssystemen worden bijvoorbeeld gehanteerd in Oostenrijk, Vlaanderen, Republiek Tsjechië, Denemarken, Verenigd Koninkrijk en Polen. De coëfficiënten voor vermenigvuldiging van de afvoer bij de klasse *Laag* verschillen (1,5 tot 3,7) en evenals bij de klasse *Hoog* (0 – 0,75). De onderbouwing van de bemestingsadviezen in Europa verschillen sterk in onderbouwing en afleiding; er is daardoor geen gemeenschappelijk gedragen wetenschappelijke grondslag of onderbouwing en er is geen mogelijkheid tot Europese synchronisatie (Jordan et al, 2012).

Deze systematiek voor het bepalen van fosfaatklassen kan, als uitwerking van paragraaf 8.3, nu gegeven worden op basis van de gegevens van herkalibratie. De fosfaatafvoer is afhankelijk van gewas, bodem en teeltmaatregelen zoals die resulteren in het behaalde opbrengstniveau. De afvoer op bedrijfsniveau is weer afhankelijk van de gewasrotatie. Daarbij zijn er verschillen tussen regio's. Gestandaardiseerd naar een voldoende fosfaattoestand met een daarbij passende bemesting kan een (zeer) globale raming opgesteld worden voor de hoeveelheid fosfaat die gemiddeld in Nederland past bij huidige teelten<sup>39</sup>. De raming is gebaseerd op het areaal, de opbrengst en de daardoor gerealiseerde fosfaatafvoer. De raming houdt geen rekening met bedrijfssystemen (rotaties),

<sup>39</sup> De raming is gebaseerd op gemiddelde arealen akkerbouwgewassen, vollegrondsgroentengewassen en bloembollen over de periode 2000-2012 en opbrengsten (CBS-stateline). Ingeval arealen en/of opbrengsten duidelijk toenemen in deze periode is gerekend met een gemiddelde over de laatste vier jaar (2008-2012). Fosfaatgehalten zijn afkomstig van Ehler et al., 2010. Bij bloembollen is de fosfaatafvoer afkomstig van Van Dam et al, 2010.

grondsoort effecten en regionale verschillen. Het algemeen gemiddelde onder deze condities is 53,1 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. Bij coëfficiënten voor vermenigvuldiging van 1,5 en 0,5 leidt dat (afgerond) tot bemestingsgiften van 80 en 30 kg  $P_2O_5$ /ha. De opbrengstderving als functie van de fosfaattoestand (Pw-getal) wordt gegeven in tabel 46. De predicties van de opbrengstderving en hun betrouwbaarheidsinterval worden gegeven in bijlage 2 (tabel B.2.3). De onzekerheid neemt bij hogere fosfaattoestanden (> 50 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>) in relatieve zin toe (bijlage 2, tabel B.2.3).

**Tabel 46**

*Opbrengstderving in procent van de maximale opbrengst bij giften van 30 en 80 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> en verschillende fosfaattoestanden. De fosfaatmeststof is breedwerpig toegediend.*

| Gift,<br>kg $P_2O_5$ ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand (Pw-getal), mg $P_2O_5$ L <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | 5                                                       | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  | 45  | 50  | 55  | 60  | 65  | 70  |
| 30                                    | 9,7                                                     | 8,1 | 6,7 | 5,6 | 4,7 | 3,9 | 3,2 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 0,9 |
| 80                                    | 7,3                                                     | 6,1 | 5,1 | 4,2 | 3,5 | 2,9 | 2,4 | 2,0 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 |

Aansluiting bij andere in Europa gehanteerde systematieken voor rubricering van de fosfaattoestand leidt bij een gift van 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> tot een opbrengstderving van 2% bij een fosfaattoestand van 48 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> en bij een gift van 80 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> en eenzelfde opbrengstderving van 40 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>. Bij een opbrengstderving van 1% zijn de fosfaattoestanden (Pw-getal) respectievelijk fosfaattoestanden van 67 en 60 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> en bij een opbrengstderving van 5% respectievelijk 24 en 16 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>. Ook hier werkt de zwakke reactie van het gewas op fosfaatbemesting en fosfaattoestand door.

## 8.5 Fosfaattoestand afgestemd op milieucriteria

Hoofdstuk 7 maakt onderscheid naar potentiële en actuele fosfaatuitspoeling respectievelijk een verlies uit de bouwvoor naar de ondergrond en het uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Er is nog geen algemeen geaccepteerd criterium of set van criteria voor de mate voor fosfaatuitspoeling. Afleiding van criteria heeft aandacht. In discussies wordt een uitspoeling van 1 kg fosfaat ( $P_2O_5$ ) ha<sup>-1</sup> (0,44 kg P ha<sup>-1</sup>) vaak gebruikt om de ernst van fosfaatuitspoeling te duiden. Deze mate van uitspoeling leidt tot een concentratie van 0,15 mg totaal-P (of 0,1 mg ortho-P) L<sup>-1</sup>.

Milieucriteria kunnen generiek toegepast worden bij afleiding van fosfaatklassen. Om uitspoeling te beheersen zouden klasse-indelingen zo afgestemd kunnen worden dat een bepaalde doelstelling niet wordt overschreden. Beheersing van potentiële verliezen vragen lagere fosfaattoestanden dan beheersing van actuele verliezen. Bij beheersing van de actuele fosfaatuitspoeling is kennis nodig van de bodem, de grondwatertrap en de oplading van de bodem, ook de fosfaattoestand in de ondergrond is dan relevant.

Bij fosfaattoestanden (Pw-getal) van 36 en 55 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup> wordt de potentiële totale fosforuitspoeling (kg P ha<sup>-1</sup>) geraamd op 3,5 (8 kg  $P_2O_5$ ) respectievelijk 5,9 kg P ha<sup>-1</sup> (13,5 kg  $P_2O_5$ ). Om deze potentiële fosforuitspoeling te beheersen zijn lage fosfaattoestanden nodig (~10-15 mg  $P_2O_5$  L<sup>-1</sup>).

De berekening van de actuele fosfaatuitspoeling houdt rekening met de bodem en de vochthuishouding en kent daardoor een grotere mate van detail (hoofdstuk 7). Sectoren verschillen in de mate waarin de bodemlagen onder de bouwvoor verrijkt zijn met fosfaat. Bodemeigenschappen en vochthuishouding leiden tot onderscheidenlijke fosfaattoestanden waarbij de uitspoeling een uitspoelingscriterium (hier 0,15 mg P L<sup>-1</sup>) niet overschrijdt. Tabel 47 vat de resultaten van hoofdstuk 7 samen.

Tabel 47

Berekende maximale fosfaattoestand (Pw-getal, in  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ) waarbij de actuele fosforuitspoeling niet hoger is dan  $0,15 \text{ mg P L}^{-1}$  bij twee Pw-ratio's (Pw-getal ondergrond/Pw-getal bouwvoor). De waarde van 0,5 is representatief voor de akkerbouw. De waarden voor bloembollen en fruit (0,5 of 1,0) zijn onzeker door het beperkt aantal waarnemingen evenals de resultaten voor dalgrond en zeeklei. Deze waarden vragen nader onderzoek en worden daarom onder voorbehoud gegeven.

| Grondsoort | Gt klasse   | Verhouding P-toestand van bovengrond en ondergrond |        |
|------------|-------------|----------------------------------------------------|--------|
|            |             | 0,5                                                | 1      |
| Dekzand    | nat         | 50                                                 | 20     |
|            | matig droog | 70                                                 | 30     |
|            | droog       | 80                                                 | 50     |
| Dalgrond   | nat         | 30                                                 | 10     |
|            | matig droog | 40                                                 | 10     |
|            | droog       | 50                                                 | 20     |
| Duingrond  | nat         | 10                                                 | 10 (1) |
|            | matig droog | 20                                                 | 10     |
|            | droog       | 10                                                 | 10     |
| Löss       | droog       | 50                                                 | 30     |
| Rivierklei | nat         | 20                                                 | 10     |
|            | matig droog | 30                                                 | 10     |
|            | droog       | 60                                                 | 20     |
| Zeeklei    | nat         | 10                                                 | 10     |
|            | matig droog | 10                                                 | 10     |
|            | droog       | 20                                                 | 20     |

(1) Rood gemarkeerde cellen geven fosfaattoestanden waarbij het opgelegde criterium voor fosforconcentratie wordt overschreden.

## 8.6 Samenvattend overzicht van opties

De aanleiding van deze studie is dat in het vierde actieprogramma Nitraatrichtlijn fosfaatgebruiksnormen gedifferentieerd zijn naar fosfaattoestanden. Daarbij zijn Nederlandse landbouwgronden ingedeeld in drie fosfaatklassen, te weten *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*. De grenzen tussen deze wettelijke klassen zijn beleidsmatige vertalingen van de klassen uit de landbouwkundige adviezen. Voor bouwland is de grens tussen de klassen *Laag* en *Neutraal* vastgesteld op Pw-getal  $< 36 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  om ondernemers de tijd te geven hun bedrijfsvoering aan te passen aan het nieuwe beleid. In het kader van het vijfde actieprogramma Nitraatrichtlijn kan de grens tussen de klasse *Laag* en *Neutraal* op een lager niveau worden vastgesteld. In dit hoofdstuk zijn verschillende opties gegeven waarmee grenswaarden voor klasse-indeling kunnen worden aangebracht. Die indeling kan uitgevoerd worden op landbouwkundige grondslag, een milieukundige grondslag of een combinatie daarvan. Deze studie heeft geleid tot een aantal grondslagen waarmee deze klasse-indeling op bouwland kan worden vastgesteld:

- Op basis van rendement van bemesting
- Fysieke opbrengstderving
- Evenwichtsbemesting
- Bemesting afgestemd op beheersing van milieu-effecten

De studie heeft uitgewezen dat de duiding van klassegrenzen *Laag* t/m *Hoog* bij bemestingsadvisering gebaseerd is op het referentiegewas aardappel. De gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting vormt de maatlat waarlangs de bodemvruchtbaarheidstatus voor fosfaat aan afgemeten werd. Bij het vaststellen van opties voor klassegrenzen wordt deze maatlat gehandhaafd. Vastgesteld is dat het opbrengstverhogend effect van de fosfaattoestand zich nadrukkelijker doet gelden dan het effect van de bemestingsgift met fosfaat.

In deze paragraaf worden de resultaten van de verschillende scenarioberekeningen samengevat uitgaande van de beoogde fosfaatgebruiksnormen in 2015 op bouwland te weten bij de klassen *Laag*, *Neutraal* en *Hoog* respectievelijk 75, 60 en  $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ . Verandering van de fosfaatgiften naar

waarden voor de jaren 2013 en 2014 hebben op de hoogte van de fosfaattoestand een klein verhogend effect (2 à 3 Pw-getal-eenheden). Bij het scenario op basis van fysieke opbrengstderving worden percentages van 5%, 2% en 1% aangehouden gegeven beoogde fosfaatgebruiksnormen in 2015. Bij het scenario met evenwichtsbemesting worden fosfaat giften aangehouden van 30, 55 en 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en een derving van opbrengst van 5%, 2% en 1%. Tenslotte wordt een optie gegeven voor de klassegrenzen *Hoog* ten behoeve van beheersing van fosfaatuitspoeling.

Differentiatie van beoogde fosfaatgebruiksnormen op basis van economisch rendement (hetzij op basis van het huidige bemestingsadvies met een prijsverhouding van 5 hetzij op basis van een meer actuele prijsverhouding van 8,3) brengt weinig onderscheid aan (tabel 48). De huidige klasse-indeling (< 36, 36 - 55 en > 55) wordt - ook na herijking - in grote lijnen bevestigd. Doordat het effect van fosfaatbemesting zo beperkt is, is het bereik in fosfaattoestanden smal mede omdat tegenwoordig bemesting minder rendeert. Een optie is dan om dit bereik te omsluiten van de klassen *Laag*, *Neutraal* en *Hoog*. Tabel 48 geeft dit als een optie (waarden zijn afgerond). Een verdere detaillering van deze optie betreft het betrekken van gewasreacties op fosfaattoestand en fosfaatbemesting van andere landbouwgewassen. Gewassen van gewasgroep 0 zullen een sterkere respons geven op fosfaat-toestand en fosfaatbemesting dan gewassen van gewasgroepen 2 en 3<sup>40</sup> terwijl gewasgroep 4 nauwelijks op fosfaatbemesting of fosfaattoestand reageert. Gewassen van gewasgroep 0 hebben in het Pw-getal-traject 40-60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> een met gewasgroep 1 vergelijkbare bemestingsbehoefte (= dezelfde adviesgiften). Indien klassegrenzen naar areaal landbouwgewas en renderende fosfaatbemesting gewogen worden, zullen daarom gewassen van gewasgroepen 2, 3 en 4 de grenswaarden verlagen. Een verkenning op basis van areaal (zie voetnoot) gewasgroep en huidig bemestingsadvies geeft aan dat bij fosfaatgebruiksnormen de fosfaattoestanden (Pw-getal) bij fosfaatgiften van 75, 60 en 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> dan respectievelijk 35, 40 en 43 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> bedragen.

**Tabel 48**

*Optie voor klasse-indeling op basis van economisch rendement op basis van het huidige bemestingsadvies bij een prijsverhouding van 5 en op basis van herkalibratie bij een prijsverhouding van 8,3. Fosfaat wordt breedwerpig toegediend.*

| Klasse          | Fosfaatgift,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand,<br>Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |               | Optie voor klassegrenzen |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|
|                 |                                                                   | Bemestingsadvies                                                               | Herkalibratie |                          |
| <i>Laag</i>     | 75                                                                | 43                                                                             | 41            | < 40                     |
| <i>Neutraal</i> | 60                                                                | 48                                                                             | 42            | 40 - 50                  |
| <i>Hoog</i>     | 50                                                                | 51                                                                             | 42            | > 50                     |

Indien de prijsverhouding niet meegewogen wordt en klassegrenzen op basis van fysieke opbrengstdervingen worden vastgesteld waarbij aardappel het referentiegewas is, dan leidt dit tot een grotere differentiatie in fosfaattoestanden. De corrigerende invloed van de kostprijs van bemesting en financiële meeropbrengst door bemesting ontbreekt dan. Tabel 49 geeft indicatieve waarden voor een optie waarbij klassegrenzen voor *Laag* afgestemd zijn op 5% opbrengstderving en 1% opbrengstderving als ondergrens voor *Hoog*. Deze fysieke opbrengstderving geldt voor aardappel. Er is geen rekening gehouden met het bouwplan. De focus ligt daardoor bij gewassen die op fosfaatbemesting reageren. Dit zijn vaak wel de renderende gewassen.

<sup>40</sup> Grasland was in 2011 qua areaal het belangrijkste landbouwgewas (988.262 ha). Snijmaïs met 258.000 ha is het volgende grote areaal (227.800 ha). Akkerbouw omvat een reeks van gewassen die in 2011 535042 ha cultuurland in gebruik namen. Vollegrondsgroenteteelt besloeg 88.552 ha. Van deze gewassen is een beperkt areaal aan te merken aan gewassen die op fosfaatbemesting reageren. Op basis van de indeling van gewassen volgens de Bemestingsadviesbasis voor Akkerbouw- en Vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk en Van Geel, 2012) is zo'n 293.000 ha niet als fosfaatbehoefte aan te merken (gewasgroepen 2, 3 en 4). Circa 238.000 ha werd in 2011 beteeld met gewassen die op fosfaatbemesting reageren (gewasgroep 0 met 51.000 ha en gewasgroep 1 met 187.000 ha). Gewasgroep 1 domineert (Ehlert et al., 2013). Dit is 17% van het areaal met landbouwgewassen reageren sterker op fosfaattoestand en fosfaatbemesting, 55% reageert zwakker of niet op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.

Tabel 49

Optie voor klasse-indeling op basis van fysieke opbrengst. Fosfaat wordt breedwerpig toegediend.

| Klasse          | Fosfaatgift,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand,<br>Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |      |      | Optie voor klassegrenzen |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|--------------------------|
|                 |                                                                   | 95 %                                                                           | 98 % | 99 % |                          |
| <i>Laag</i>     | 75                                                                | 17                                                                             | 41   | 60   | < 20                     |
| <i>Neutraal</i> | 60                                                                | 19                                                                             | 43   | 62   | 20 - 60                  |
| <i>Hoog</i>     | 50                                                                | 21                                                                             | 44   | 64   | >60                      |

Fosfaatgebruiksnormen die afgestemd zijn op evenwichtsbemesting waarbij voor klasse *Laag* 1,5 maal de evenwichtsbemestingsgift gegeven mag worden en bij klasse *Hoog* 0,5 maal deze gift, leveren bij fysieke opbrengstdervingen een vergelijkbaar beeld (tabel 50).

Tabel 50

Optie voor klasse-indeling op basis van evenwichtsbemesting. Fosfaat wordt breedwerpig toegediend.

| Klasse          | Fosfaatgift,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaattoestand,<br>Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> |      |      | Optie voor klassegrenzen |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|--------------------------|
|                 |                                                                   | 95 %                                                                           | 98 % | 99 % |                          |
| <i>Laag</i>     | 80                                                                | 16                                                                             | 40   | 60   | < 20                     |
| <i>Neutraal</i> | 55                                                                | 20                                                                             | 44   | 63   | 20 - 65                  |
| <i>Hoog</i>     | 30                                                                | 24                                                                             | 48   | 67   | >65                      |

Een indeling van fosfaattoestanden waarbij fosfaatuitspoeling beheerst wordt, vraagt onderscheid naar grondsoort en Gt-klasse. Naarmate de grondwaterstand ondieper is, zal om fosfaatuitspoeling te beheersen de fosfaattoestand lager moeten zijn (tabel 47 vereenvoudigd tot tabel 51 voor meest voorkomende ratio van 0,5). Ophoping van fosfaat boven de gegeven waarden in tabel 51 geeft een verhoogd risico op uitspoeling. Omdat bodemkenmerken verschillen, zal toepassing van deze optie leiden tot verschillende klassegrenzen. De belangrijkste arealen worden gevormd door dekzand en zeeklei. De berekeningsresultaten bij dekzand zijn betrouwbaarder dan die bij overige grondsoorten. Afbakening van de fosfaattoestand bij een Pw-getal van 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> is een eerste stap om in generieke zin fosfaatuitspoeling te beheersen.

Tabel 51

Optie voor klasse-grens *Hoog* voor beheersing van fosfaatuitspoeling.

| Grondsoort | Gt-klasse |             |       |
|------------|-----------|-------------|-------|
|            | Nat       | Matig droog | Droog |
| Dekzand    | 50        | 70          | 80    |
| Dalgrond   | 30        | 40          | 50    |
| Duingrond  | 10        | 20          | 10    |
| Löss       | (1)       | (1)         | 50    |
| Rivierklei | 20        | 30          | 60    |
| Zeeklei    | 10        | 10          | 20    |

(1) Geen praktijksituatie.

## 9 Gevolgen van wijziging van huidige wettelijke fosfaatklassen

### 9.1 Landbouwkundige gevolgen

De reactie van gewassen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is zwak. Pas bij zeer lage fosfaattoestanden ( $< 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ) kunnen forse opbrengstdervingen (10-20%) waargenomen worden bij gewassen uit gewasgroep 0 en gewasgroep 1. Bij fosfaattoestanden van de huidige wettelijke fosfaatklassen zijn de effecten van bemesting gering (figuur 8).

Wijziging van de huidige wettelijke fosfaatklassen naar een lagere fosfaattoestand van  $39 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  bij nu geldende prijzen voor kunstmestfosfaat en opbrengst (aardappel) bij een prijsverhouding van 8,3 behoeft niet te leiden tot een financieel lagere opbrengst. De stijging van de prijzen voor kunstmestfosfaat doet bemesting minder renderen.

Als de prijs van de fosfaatkunstmest niet betrokken wordt bij de afweging maar uitsluitend het effect van fosfaatbemestingsgift en fosfaattoestand betrokken wordt op de fysieke opbrengst, dan zijn de gevolgen eveneens beperkt. Naar mate de fosfaattoestand hoger wordt, wordt de reactie van het gewas op fosfaattoestand of fosfaatbemesting geringer. Terugval van de fosfaattoestand (Pw-getal) van 55 naar  $35 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  bij een fosfaatgift van  $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  reduceert de opbrengst met 1% van de maximaal te behalen opbrengst. Bij een fosfaatgift van  $80 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  is dat 0,8%.

De landbouwkundige gevolgen zijn daarmee beperkt te meer daar het bemestingsplan gericht is om fosfaatbemesting aan de meest fosfaatbehoefte gewassen te geven en gewassen van de gewasgroepen 2, 3 en 4 in toenemende mate steeds minder op fosfaatbemesting en -fosfaattoestand reageren. Door bouwplan-bemesting uit te voeren kan derving van opbrengst beperkt worden.

De kwantificering van de effecten van wijziging van het criterium voor de fosfaattoestand dat afgestemd is op beheersing van fosfaatuitspoeling hangt af of de grondslag gevormd wordt voor afleiding van de actuele verliezen dan wel van de potentieel toelaatbaar geachte verliezen. Bij actuele verliezen dienen bodemkenmerken, de oplading van de ondergrond en de grondwatertrap in acht genomen te worden. Dat leidt tot meer differentiatie. Gegevens voor dalgrond en zeeklei bieden nog geen mogelijkheid voor differentiatie. Voor dekzand zijn de gevolgen beperkt als de klasse *Hoog* de grenswaarde van 50 krijgt (natte zandgrond). In andere grondsoorten (duinzand en rivierklei) kan de opbrengstderving oplopen tot 2,5% indien de grenswaarden voor de fosfaattoestand niet mogen leiden tot een hogere fosforconcentratie bij uitspoeling dan  $0,15 \text{ mg totaal-P L}^{-1}$ . Bij beheersing van het risico op potentiële fosfaatuitspoeling kan de opbrengstderving oplopen tot 5% indien de fosfaattoestand niet mag leiden tot overschrijding van de concentratie van  $0,15 \text{ mg totaal-P L}^{-1}$ .

### 9.2 Plaatsingsruimte

De plaatsingsruimte van mest is afhankelijk van de fosfaattoestand en fosfaatgebruiksnorm. Door wijziging bij commerciële laboratoria voor grondonderzoek naar andere methoden van grondonderzoek dan Pw-getal ontbreekt een actueel overzicht van de verdeling van de fosfaattoestand (Pw-getal) bij open teelten (bouwland inclusief snijmaïs) in Nederland. Bij de evaluatie van de Meststoffenwet (PBL, 2012) werd vastgesteld dat 74% van de bedrijven die in aanmerking wilden komen voor derogatie in de klasse *Hoog* vielen, 8% viel in de klasse *Laag*. Deze rapportage reikt daarmee wel een handvat aan om te komen tot een raming van de plaatsingsruimte van dierlijke mest naast eerder gerapporteerde gegevens (Schoumans, 2007).

Tabel 52 geeft aan dat in de periode 1998-2003 38% van de grondmonsters van het Blgg<sup>41</sup> een fosfaattoestand (Pw-getal) hoger dan 55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> heeft; vrijwillige bemonstering voor het eerste jaar na introductie van de gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen geeft aan dat 74% van de monsters aan dit criterium voldeed. Er is hier geen sprake van een representatief beeld omdat alleen bedrijven die in aanmerking wilde komen voor derogatie de analyse op fosfaattoestand heeft uitgevoerd (PBL, 2012). Deze uitslag heeft geleid tot een verlaging van de fosfaatafzetruimte in 2010 t.o.v. 2009 met 6 tot 9 kton fosfaat (PBL, 2012).

**Tabel 52**

*Percentage landbouwgrond met bijhorende fosfaattoestand in de periode 1998-2004 (gemeten) en in het jaar 2010 (berekend), PBL (2012).*

| Klasse          | 1998-2003(1) | 2010 |
|-----------------|--------------|------|
| <i>Laag</i>     | 29           | 8    |
| <i>Neutraal</i> | 33           | 17   |
| <i>Hoog</i>     | 38           | 74   |

(1) Gebaseerd op Schoumans, 2007. Schoumans bewerkte gegevens van het Blgg te Oosterbeek.

Schoumans (2007) hanteerde de fosfaatklasses van het bemestingsadvies (tabel 53). In de periode 1998-2003 werd bij snijmaïs geen wezenlijke verandering in de verdeling van de fosfaattoestand vastgesteld. Bij bouwland verschoof de verdeling naar hogere waarderingsklassen. Interpretatie van trends wordt beperkt doordat in deze periode het aantal geanalyseerde monsters daalde. De ruwe gegevens van deze studie zijn niet beschikbaar in publiek toegankelijke databestanden.

Het ontbreken van een actueel beeld van de fosfaattoestand van de Nederlandse bodem (open teelten) belemmert de mogelijkheden om de effecten van wijziging van fosfaatklasssegrenzen concreet te kwantificeren naar de effecten daarvan op de plaatsingsruimte. Omdat meer dan de helft van de grondmonsters in de waarderings-klassen *Vrij Hoog* en *Hoog* vallen, heeft naar rede een verlaging van de fosfaatklasssegrens (Pw-getal) van 55 naar 50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup> nauwelijks tot geen effect. Eveneens is de verwachting dat een verschuiving van de fosfaatklasssegrens van 36 naar een lagere waarde slechts een beperkt effect op de plaatsingsruimte zal uitoefenen. Gegevens van Schoumans (2007) wijzen eerder op een verlaging van de procentuele verdeling over de klassen *Zeet Laag*, *Laag* en *Voldoende*.

Een verlaging van de fosfaatklasssegrens van 55 naar een waarde in de bemestingsadviesklasse *Ruim Voldoende* zal resulteren in een verlaging van de afzetruimte. Als aangenomen wordt dat de verdeling van de fosfaattoestand van open teelten sinds 2003 niet wezenlijk is veranderd en dat klassegrens van 55 naar 36 wordt verlaagd, dan wordt geraamd dat hiermee ca. 1 kton fosfaat minder geplaatst kan worden. Zeer grote effecten op wijzigingen van de criteria voor fosfaatklassen worden daarom niet verwacht.

**Tabel 53**

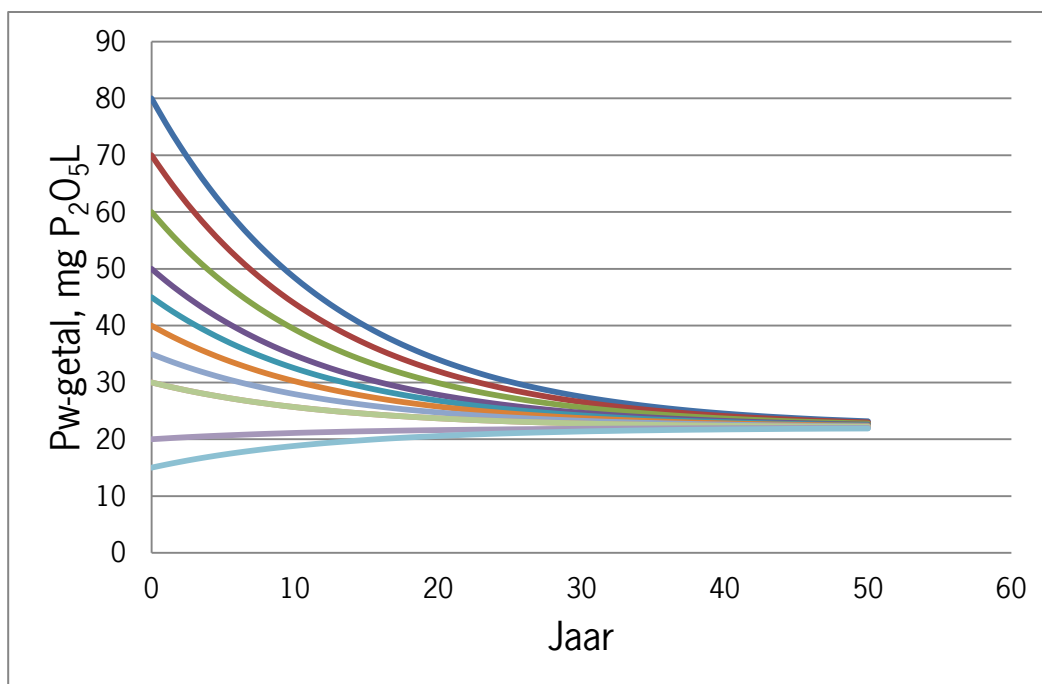
*Percentage landbouwgrond met bijhorende fosfaattoestand (Pw-getal) in 2003 (Schoumans, 2007).*

| Waardering            | Bereik (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> ) | Bouwland | Snijmaïs |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|----------|----------|
| <i>Zeet Laag</i>      | < 11                                                       | 1,0      | 1,6      |
| <i>Laag</i>           | 11-20                                                      | 4,6      | 9,1      |
| <i>Voldoende</i>      | 21-30                                                      | 12,2     | 13,3     |
| <i>Ruim Voldoende</i> | 31-45                                                      | 26,0     | 19,7     |
| <i>Vrij Hoog</i>      | 46-60                                                      | 23,0     | 16,8     |
| <i>Hoog</i>           | >60                                                        | 33,1     | 39,5     |

<sup>41</sup> Later overgegaan in Blgg AgroXpertus.

## 9.3 Ontwikkeling fosfaattoestand

De gevolgen voor de ontwikkeling van de fosfaattoestand zijn afhankelijk van het fosfaatoverschot dat acceptabel geacht wordt. Een statistische analyse van veeljarige veldproeven op bouwland biedt een mogelijkheid om het effect van een fosfaatoverschot te schatten (Ehlert et al., 1996). Afhankelijk van het overschot stelt zich op de lange termijn een evenwicht in tussen dit overschot en de fosfaatvoorraad die gewasbeschikbaar is. Voor de fosfaattoestand bepaald als Pw-getal geeft figuur 10 dit verband weer bij een overschot van  $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ . Een fosfaatgebruiksnorm van  $70 \text{ à } 75 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  leidt op termijn tot een fosfaattoestand van circa  $20 \text{ à } 25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ .



**Figuur 10** Beloop van de fosfaattoestand bij verschillende uitgangstoestanden bij een overschot van  $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ . Op termijn wordt bij dit overschot een evenwicht ingesteld bij Pw-getal  $23 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ .

## 9.4 Evaluatie en aanbevelingen

### Evaluatie

De indeling van de fosfaatklassen van de gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen volgt een indeling die bij vigerende bemestingsadviezen voor akkerbouw en vollegrondsgroentengewassen wordt gehanteerd. Dit onderzoek geeft inzicht in de wordingsgeschiedenis van deze klasse-indeling bij bemestingsadviezen voor de vollegrond voor akkerbouwgewassen, voedergewassen (snijmaïs), bloembollen, boomkwekerijgewassen en fruitteelt. De achtergronden en onderbouwingen van de klasse-indeling bij akkerbouwgewassen, voedergewassen en bloembollen is op hoofdlijnen goed bekend. Die van boomkwekerijgewassen en fruitteelt zijn niet achterhaald, bij fruitteelt is het advies niet meer passend bij de huidige uitvoeringspraktijk.

De waarderingsklassen berusten op een bewerking van de gewasreactie van aardappel op fosfaattoestand van de bodem en bemesting waarbij het economisch rendement is betrokken. Andere gewassen werden qua behoefte aan fosfaat gerelateerd aan de gewasreactie van aardappel gegeven een fosfaattoestand. De indeling in klassen berust op een indeling naar economisch rendement zoals dat gold voor de 70-er jaren 70 van de vorige eeuw. Zouden de huidige prijsverhoudingen betrokken worden bij de afleiding, dan wordt de klasse *Hoog* bij een lagere waarde - Pw-getal  $40 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$  - vastgesteld. Bij andere waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem zouden dan eveneens lagere waarden vastgesteld worden.

Door het grote aanbod van fosfaat van dierlijke mest, verliest een afleiding van fosfaatwaarderingsklassen op basis van economisch rendement betekenis. Negatieve prijzen komen voor: de akkerbouwer wordt door de veehouder, veelal een varkenshouder, betaald voor de afname van mest. In deze context heeft de afleiding van fosfaatwaarderingsklassen op basis van economisch rendement op bedrijfsniveau geen perspectief (maar weer wel op regionaal of nationaal niveau<sup>42</sup>).

Een afleiding op fysiek effect op opbrengst wint daardoor aan betekenis. Die afleiding kan gefocust worden op fosfaatafvoer: de klasseindeling onderscheidt fosfaattoestanden waar opbouw van de fosfaattoestand nodig is om een bepaalde opbrengst te bereiken of waar de fosfaattoestand zonder wezenlijk verlies aan opbrengst kan dalen.

De gewasreactie van landbouwgewassen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is zwak. Alleen bij zeer lage fosfaattoestanden ( $< 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ) is er sprake van een fors verlies aan opbrengst. In het traject dat landbouwkundig relevant is (Pw-getal  $30\text{-}60 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ ), zijn de effecten van fosfaatbemesting te kwantificeren met enkele procenten. De gewasreactie ijlt echter zeer lang na bij hoge fosfaatgiften en hoge fosfaattoestanden maar de onzekerheid in de vaststelling van deze opbrengstreactie is aanzienlijk (bijlage 2).

In veel Europese landen wordt de fosfaatafvoer gebruikt om criteria voor waarderingsklassen voor de fosfaattoestand vast te leggen met bijhorende fosfaatgift. Daarbij wordt een keuze gemaakt ten aanzien van het opbrengstniveau. Voor intensieve (renderende) teelten wordt 99% van de maximaal te bereiken opbrengst aangehouden, voor andere teelten variëren deze percentages van 95% tot 98%. Fosfaatgiften worden afgeleid door bij de klasse *Laag* 1,5 maal de afvoer aan te houden en bij de klasse *Hoog* bij 0,5 maal de afvoer. Ongebreideld gebruik van fosfaat leidt tot negatieve effecten doordat de uitspoeling hoger wordt en het milieu kan belasten. Deze studie wijst uit dat de grenswaarden voor fosfaatklassen lager moeten worden om de mate van uitspoeling (potentieel of actueel) te verlagen.

#### Aanbevelingen

- Fosfaat is een noodzakelijk nutriënt voor landbouwgewassen. Fosfaattoestand blijkt meer dan fosfaatgift de opbrengst van landbouwgewassen te sturen. Aanbevolen wordt om aan de fosfaattoestand een groter belang te hechten dan aan de fosfaatgift.
- Fosfaat wordt - mondiaal - een schaarse grondstof. Diverse initiatieven worden ondernomen om fossiele voorraden fosfaat zo veel mogelijk te sparen ten gunste van het gebruik van herwonnen fosfaten uit afval- en reststoffen. Het streven om fosfaat verantwoord in te zetten betekent dat evenwichtsbemesting op termijn de enige vorm van duurzaam gebruik van fosfaat wordt. Aanbevolen wordt om criteria voor waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem af te stemmen op de afvoer van fosfaat met oogstproducten van landbouwgewassen.
- Hoe evenwichtsbemesting in de diverse sectoren van landbouw op bouwland vorm gegeven kan worden, is nog niet duidelijk. Aanpassing van het bouwplan, het bemestingplan met name daar waar grote waarde gehecht wordt aan het gebruik van vaste organische meststoffen maar ook aan enige risico beheersing van kwaliteitsverlies (boomteelt, buitenbloemen, fruit) vraagt aandacht. De veelheid van gebruiksvormen van bouwland en de daardoor aanwezige verschillen in afvoer van fosfaat met oogstproducten van landbouwgewassen vragen een verdere differentiatie van criteria voor waardering van de fosfaattoestand van de bodem afgestemd op fosfaatafvoer. Aanbevolen wordt om naar fosfaattoestand gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen per sector of per landgebruiksvorm onderscheidenlijk criteria voor fosfaattoestanden van de bodem te betrekken.
- Fosfaatbelasting van de bodem kan dus danig hoog zijn dat dit leidt tot uitspoeling uit de bouwvoor naar grond- en oppervlaktewater. De mate van uitspoeling wordt bepaald door bodemsoort, hydrologie en Gt. Aanbevolen wordt om het criterium (of op termijn criteria) voor waarderingsklasse voor de fosfaattoestand *Hoog* af te stemmen op een beheersing van deze mate van uitspoeling van fosfaat.

<sup>42</sup> Deze studie focust op fosfaat. Meststoffen die fosfaat bevatten zoals dierlijke mest en compost dienen echter niet alleen de voeding van het gewas met fosfaat en het instand houden van een verantwoorde bodemvruchtbaarheid. Deze organische meststoffen dienen ook het instand houden van een noodzakelijke aanvoer met organische stof. Bij fruit dient aanvoer met compost om vorstschade bij peer tegen te gaan. Deze andere gebruiksfuncties worden hier niet verder besproken.

# Literatuur

## *Algemeen*

- Colwell, J.D., 1994. Estimating fertilizer requirements: a quantitative approach. CAB International. Wallingford ISBN-nummer 0851989055.
- Dijk, W., P.H.M. Dekker, H.F.M. ten Berge, A.L. Smit & J.R. van der Schoot, 2007. Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen. Verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., PPO nr. 367.
- Ehlert, P.A.I., S.L.G.E. Burgers, J.W. Steenhuizen, P. van Lune, & H. Loman, 1998. De betekenis van grondonderzoek met 0,01 M calciumchloride als basis voor het kaliumbemestingsadvies van bouwland. Herijking van de kaliumbemestingsadviezen voor akkerbouwland. Dienst Landbouwkundig Onderzoek. Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO). Rapport 87. Haren, Nederland.
- Ehlert, P.A.I., O.F. Schoumans, D.J. Brus, W.J.M. de Groot, R. Visschers en M. Pleijter, 2005. Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm voor fosfaat. Technische uitwerking. Alterra rapport 1201. Alterra, Wageningen.
- Ehlert, P.A.I., P.H.M. Dekker, J.R. van der Schoot, R. Visschers, J.C. van Middelkoop, M.P. van der Maas, A.A. Pronk, A.M. van Dam, 2009. Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen: eindrapportage Alterra-rapport nr. 1773.

## *Hoofdstuk 3. Akkerbouw en vollegrondsgroentengewassen*

- Anonymus, 1971. Motivering van het fosfaatadvies voor bouwland op basis van het Pw-getal. Rijkslandbouwconsulentschap Bodem en Bemesting, Instituut voor bodemvruchtbaarheid. C 7906.
- Bakker, IJ., 1968. Het fosfaatadvies voor bouwland op zand- en dalgrond op basis van het Pw-getal. Landbouwvoorlichting 25 (9): 360-363.
- Bakker, IJ, en J. Ris, 1971. Het fosfaatbemestingsadvies op basis van het Pw-getal voor alle bouwlandgrond. Bedrijfsontwikkeling 2 (2): 29-33.
- Egnér, H., H. Riehm, en W.R. Domingo, 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler 26: 199-215.
- Ehlert, P.A.I., C.A.P. van Wijk & W. van den Berg, 2000. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentengewassen. 1. Bemesting en rendement. Lelystad, Alterra / Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de vollegrondsgroententeelt (PAV), PAV-projectrapport 25.2.32.
- Ehlert, P.A.I. & C.A.P. van Wijk, 2002. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentengewassen, 2. Plaatsing in gewasgroepen, PPO-projectrapportnummer 1125232., PPO-agv, Lelystad.
- Ehlert, P.A.I., O.F. Schoumans, D.J. Brus, W.J.M. de Groot, R. Visschers en M. Pleijter, 2005. Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm voor fosfaat. Technische uitwerking. Alterra rapport 1201. Alterra, Wageningen.
- Henkens, P.L.C.M., 1984. Bemestingsadvies voor het verkrijgen of behouden van de gewenste fosfaat- en kalitoestand van de bodem. Bedrijfsontwikkeling 15 (12): 969-972.
- Kodde, J., 1994. Adviesbasis voor de bemesting van fruitteeltgewassen in de vollegrond. Grondonderzoek. Bladonderzoek. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Fruitteelt, Wilhelminadorp. Publicatie IKC-FT-09.
- Kreij, C. de, 1999. Bemestingsadviesbasis buitenbloemen. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. Naaldwijk.
- Lammers, H.W., 1983. De motivering van de wijzigingen in de adviesbasis voor bemesting van landbouwgewassen. De Buffer 29, 123-134.
- Paauw, F. van der, 1955. Voorlopige mededeling over meerjarige fosfaatproeven (serie 1) t/m 1953. Gestencilde Verslagen van Interprovinciale Proeven nr. 51. Landbouwproefstation en bodemkundig instituut T.N.O., CILO.
- Paauw, F. van der & H.A. Sissingh, 1968. Het Pw-getal, een nieuwe maat voor de beschikbaarheid van fosfaat in de grond. Landbouwvoorlichting 25 (9): 348-359.

- Paauw, F. van der, Sissingh, H.A. & Ris, J., 1971. Een verbeterde methode van fosfaatextractie van grond met water: het Pw-getal. With a summary: An improved method of water extraction for the assessment of availability of soil phosphate: Pw value. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 749.
- Sissingh, H.A., 1971. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. *Plant and Soil* 34: 483-486.

#### Hoofdstuk 4

- Ehlert P.A.I., H.P. Pasterkamp & G. Brouwer, 2004. Fosfaatbehoefte van bloembollen: onderbouwing van de fosfaatbestedingsadviezen. 990, Alterra, Wageningen, 112 pp.
- Ehlert P.A.I., O.F. Schoumans, D.J. Brus, W.J.M. De Groot, R. Visschers & M. Pleijter, 2005. Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm voor fosfaat: technische uitwerking. Alterra-rapport 1201, Alterra, Wageningen.
- Holshof G., J. Van Riel & J.C. Van Middelkoop, 2008. Notitie Fosfaatbestedingsadvies voor snijmaïs, Lelystad, 9 pp.
- Pasterkamp H.P. & A.M. van Dam, 2003. Kwantificering van de fosfaaddynamiek in de bloembollenteelt, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Bloembollen, Lisse, 10 pp.
- Van Dam A.M., L.J.M. Kater & N.S. Van Wees, 2004. Adviesbasis voor de bemesting van bloembollen. PPO-rapport 708, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Sector Bloembollen, Lisse, 50 pp.

#### Hoofdstuk 5

- Aendekerk T.G.L., 2000. Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen: vollegrondsteelt. Boomteeltpraktijkonderzoek, Boskoop. 72 p.
- Aendekerk T.G.L., 2002. Opname van N, P en K door boomkwekerijgewassen. Project 31-5026. PPO Boskoop, Boskoop, 19 pp.
- De Beuze M., R.J. Pittens - v.d. Heijden, A.A. Pronk & H. Van Reuler, 2004a. Geïntegreerde boomteelt. 311307, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. Sector Bomen, Boskoop, 88 pp.
- De Beuze M., R.J. Pittens - v.d. Heijden & H. Van Reuler, 2004b. Biologische boomteelt op zand. 314403, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. Sector Bomen, Boskoop, 58 pp.
- Egnér, H., H. Riehm, en W.R. Domingo, 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199-215.
- Ehlert P.A.I., P.H.M. Dekker, J.R. van der Schoot, R. Visschers, J.C. van Middelkoop, M.P. van der Maas, A.A. Pronk & A.M. van Dam, 2009. Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen: eindrapportage. Alterra-rapport 1773, Alterra, Wageningen, 125 pp.
- Kuiper D., G. Van der Lugt & R. Postma, 2010. N- en P-behoefte van zomerbloemen, Stichting CropEye, Bleiswijk, 32 pp.
- Mulder C. & J. Prummel, 1975. Fosfaataanwendingstijden bij aardappelen en suikerbieten: verslag van de proeven over 1971 t/m 1974. Rapport Nr. 26, Proefstation voor de akkerbouw, Wageningen.
- Nouwens F.H.C., 2004. Vermindering stikstofuitspoeling door vanggewassen in de teelt van laanbomen. PPO 311307, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. sector Bomen/Bollen, Horst, 28 pp.
- Nouwens F.H.C., A.J. Snoek, A. Van der Linden & H. Van Reuler, 2004. Geïntegreerde en biologische teelt van zomerbloemen. 311065/72, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B. V. Sector Bomen, Boskoop, 55 pp.
- Oele C., 1995. De invloed van hoeveelheid P-meststof op groei en opbrengst van Hibiscus en Ligustrum op veengrond, Boomteeltpraktijkonderzoek, Boskoop, intern verslag, 23 pp.
- Pronk A.A., 2004. Irrigation and nitrogen use efficiency of Thuja occidentalis grown on sandy soils. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen. 130 pp.
- Van Dam A.M., L.J.M. Kater & N.S. Van Wees, 2004. Adviesbasis voor de bemesting van bloembollen. PPO-rapport 708, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Sector Bloembollen, Lisse, 50 pp.
- Van de Wiel A.J.M., A.L. Smit, D. Uenk, D.J.G. Krijger & C. De Kreij, 2002. De relatie tussen stikstofopname en gewasreflectie bij vijf buitenbloemen, Plant Research International, Wageningen, 46 pp.

- Van Dijk W. & W.C.A. Van Geel, 2007. Adviesbasis Bemesting Akkerbouw- en Vollegrondsgroentengewassen. Alleen digitale versie beschikbaar op internet ([www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl)). Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.
- Van Reuler H., 2009. Stikstof en fosfaatopname van vaste planten. PPO-projectnummer 32 360313 00, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. sector bloembollen, Boomkwekerij en Fruit, Lisse, 21 pp.
- Van Reuler H. & A.A. Pronk, 2008. Voorstel aanpassing bemestingsadvies voor stikstof van rozen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse, 15 pp.
- Van Reuler H. & A.A. Pronk, 2007. Voorstel aanpassing bemestingsadvies voor stikstof van vruchtbomen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse, 17 pp.
- Van Reuler H., A.A. Pronk & P. Van der Steeg, in voorbereiding. Onderzoek naar het bemestingsadvies van vruchtbomen, coniferen, rozen en Buxus. In voorbereiding, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Bomen, Lisse.
- Van Dijk W. & W.C.A. Van Geel, 2010. Adviesbasis Bemesting Akkerbouw- en Vollegrondsgroentengewassen. Alleen digitale versie beschikbaar op internet ([www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl)). Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.

#### *Hoofdstuk 6*

- Boon, J. van der en A. Das, 1975. Fosfaatbemesting appels. De Fruitteelt 1975, pag. 878-880.
- Dam, J.G.C. van, 1958. Resultaten van het N-P-K-proefveld op het Fruitteelt-proefbedrijf te Numansdorp. De Fruitteelt: 1162-1164.
- Drijfhout, E., 1961a. Resultaten van het permanente bemestingsproefveld bij appels op het fruitteeltproefbedrijf te Numansdorp, I. Invloed van bemesting op de vruchten. De Fruitteelt: 106-108.
- Drijfhout, E., 1961b. Resultaten van het permanente bemestingsproefveld bij appels op het fruitteeltproefbedrijf te Numansdorp, II. Invloed van bemesting op de ontwikkeling van de bomen. De Fruitteelt: 128-130.
- Drijfhout, E., 1961c. Resultaten van het permanente bemestingsproefveld bij appels op het fruitteeltproefbedrijf te Numansdorp, III. Invloed van bemesting op het optreden van gebreksziekten en op de gehalten aan voedingsstoffen in de grond en in het blad. De Fruitteelt: 244-246.
- Egnér, H., H. Riehm, en W.R. Domingo, 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler 26: 199-215.
- Kodde, J., 1994. Adviesbasis voor de bemesting van fruitteeltgewassen in de vollegrond; Grondonderzoek en Bladonderzoek. Ministerie van LNV, IKC AT, afdeling Fruitteelt, 34 blz.
- Nielsen, G.H., D. Nielsen, P. Toivonen & L. Herbert, 2008. Annual Bloom-time Phosphorus Fertigation Affects Soil Phosphorus, Apple Tree Phosphorus Nutrition, Yield, and Fruit Quality. Hort. Science Vol. 43(3) June: 885-890.
- Morin, F., J.A. Fortin, C. Hamal, R.L. Granger & D.L. Smith, 1994. Apple Rootstock Response to Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi in a High Phosphorus Soil. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(3): 578-583.

#### *Hoofdstuk 7*

- Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors & T. Kroon, 2007. Actualisatie Hydrologie voor Stone 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, WOT-rapport 57, Wageningen.
- Blaauw, D., H.A. Sissingh & W.J. Chardon, 1988. Verdeling van fosfaat in bodemprofielen in Nederland. Notitie Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 25 pp.
- Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus & H. van het Loo, 1989. Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Rapport 10, Staring Centrum, Wageningen.
- Chardon, W.J. 1994. Relationship between phosphorus availability and phosphorus saturation index. Rapport 19, AB-DLO, Haren.

- Chardon, W.J. & H.G. van Faassen. 1999. Soil indicators for critical source areas of phosphorus leaching. Rapport Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, vol. 22, Wageningen, ISBN 90-73270-37-5.
- Ehlert, P.A.I. & G.F. Koopmans. 2002. Fosfaattoestanden op de praktijkbedrijven van het project Telen met Toekomst. Een analyse van de situatie bij de start van het project. Plant Research International, Wageningen.
- Ehlert, P.A.I., H.P. Pasterkamp & G. Brouwer, 2004. Fosfaatbehoefte van bloembollen. Onderbouwing van de fosfaatbestedingsadviezen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 990.
- Finke, P.A., J.J. de Gruijter, R. Visschers, 2001, Status 2001 Landelijke Steekproef Kaarteenheden en toepassingen. Gestructureerde bemonstering en karakterisering Nederlandse bodem. Alterra rapport 389.
- Evers, C.H.M. & R.A.E. Knoben, 2007. Omschrijving MEP en maatlatten voor sloten en kanalen voor de Kaderrichtlijn Water, Utrecht: STOWA. Rapport 32b
- Gerven, van L.P.A., B. Van der Grift, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder & T.P. van der Tol-Leenders, 2011. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Krimpenerwaard. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-III, Rapport 2220, Alterra, Wageningen.
- Klein, J.J.M. & A.A. Koelmans, 2011. Quantifying seasonal export and retention of nutrients in West European lowland rivers at catchment scale. *Hydrological Processes* 25: 2102-2111.
- Koopmans, G.F., M.E. van der Zeeuw, P.F.A.M. Römkens, W.J. Chardon & O. Oenema. 2001, Identification and characterization of phosphorus-rich sandy soils. *Netherlands Journal Agricultural Science* 49, 369-384.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.H.M. Dekker, P.F.A.M. Römkens & O.F. Schoumans. 2006. Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. *Soil Science* 171, 103-116.
- Koopmans, G.F. & C. van der Salm. 2011, Binding van ortho-fosfaat aan de bodem: Het parameteriseren van de snelle reversibele bindingsreactie van ortho-fosfaat. Interne notitie, Alterra, Wageningen.
- 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. RIZA rapport 2001,017, Lelystad.
- Molen, D. van der & R. Pot, 2007. Referenties en maatlatten voor Natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water. Rapport 32. STOWA Utrecht.
- Puijenbroek, P.J.T.M. van, P. Cleij & R. Visser, 2010. Nutriënten in het Nederlandse zoete oppervlaktewater: toestand en trends. PBL-rapport 500208001. Planbureau voor de Leefomgeving. Den Haag/Bilthoven.
- Roelsma, J., B. Van der Grift, H.M. Mulder & T.P. van der Tol-Leenders, 2011a. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I, Rapport 2218, Alterra, Wageningen.
- Roelsma, J., B. Van der Grift, H.M. Mulder & T.P. van der Tol-Leenders, 2011a. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitembeek. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II, Rapport 2219, Alterra, Wageningen.
- Salm, C. van der, A. van den Toorn, W.J. Chardon & G.F. Koopmans. 2012 Water and nutrient transport from a heavy clay soil in a fluvial plain in The Netherlands. *Journal of Environmental Quality* 41: 229-241.
- Salm, C. van der, R. Dupas, R. Grant, G. Heckrath, B.W. Iversen, B. Kronvang, C. Levi, G.H. Rubæk & O.F. Schoumans. 2011. Predicting phosphorus losses with the model PLEASE on a local scale in Denmark and the Netherlands *Journal of Environmental Quality*. 40:1617-1626.
- Schoumans, O. F. & P. Groenendijk. 2000. Modelling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. *Journal of Environmental Quality* 29, 111-116.
- Siderius, C., J. Rozemeijer, H.M. Mulder, R. Smit & T.P. van der Tol-Leenders, 2011. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van Quarles van Ufford. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-IV, Rapport 2221, Alterra, Wageningen.

- Vries, F. de, G. Mol, M.J.D. Hack-ten Broeke, G.B.M. Heuvelink & F. Brouwer; Het Bodemkundig Informatie Systeem van Alterra. Overzicht van het gebruik en wensen voor verbetering van de informatie; Alterra rapport 1709.
- Walvoort, D.J.J., D.J. Brus, C. van der Salm, M. Pleijter & T.P. van Tol-Leenders, 2009. Kwantificering van fosfaattoestand in de bodem van vier stroomgebieden. Alterra-Rapport 1958. Alterra, Wageningen.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan. 1990, 1992. Het protocol fosfaatverzadigde gronden, Deel 1, Toelichting (1990). Deel 2. Technische uitwerking (1992), Landbouwuniversiteit Wageningen.

#### Hoofdstuk 8.

- Jordan-Meille, L., G.H. Rubæk, P.A.I. Ehler, V. Genot, G. Hofman, K. Goulding, J. Recknagel, G. Provolto & P. Barraclough, 2012. An overview of fertilizer-P recommendations in Europe: soil testing, calibration and fertilizer recommendations. *Soil Use and Management*, 28 (4) 419-435; doi:10.1111/j.1475-2743.2012.00453.x.
- PBL, 2012. Evaluatie meststoffenwet 2012, Syntheserapport, beleidsstudie. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Schoumans, O., 2007. Trends in de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Alterra rapport 1537.

# Bijlage 1 Citaten Commissie Fruitteelt

Eind negentiger jaren is de Commissie voor Bemesting in de Fruitteelt opgeheven. Het archief van deze commissie is overgedragen aan PPO Fruit/M.P. van der Maas. In het archief werden ook nog enkele stukken van voorlopers van deze commissie gevonden waarin een deel van de discussie die heeft geleid tot de huidige adviesbasis "Grondanalyse en adviesbasis Bladanalyse" is terug gevonden.

Citaten uit diverse stukken (soms is voor de duidelijkheid de eenheid van een grootte toegevoegd):

## Advies op basis van grondanalyse

*Rijkstuinbouwconsulentschap voor Bodemaangelegenheden (Rtc), 17 mrt 1961:* "Verbeterd concept bemestingsadviesbasis fruitteelt in de volle grond. Opmerking 1. Onder fruitteelt wordt verstaan de teelt van appels, peren, pruimen, kersen, zwarte bessen, rode bessen, kruisbessen, frambozen en bramen. Fosfaat. De fosfaatgift hangt af van het P-Al-getal. De waardering hiervan is als volgt (Tabel B1.1).

Tabel B1.1

Waardering fosfaattoestand fruitteelt.

| P-Al-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (100 g) <sup>-1</sup> | Waardering | Fosfaatgift in kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                       |            | Pit- en steenvruchten                                            | Kleinfruit |
| 0-19                                                                  | Laag       | 100                                                              | 120        |
| 20-29                                                                 | Vrij Laag  | 80                                                               | 100        |
| 30-39                                                                 | Voldoende  | 0                                                                | 80         |
| 40-49                                                                 | Goed       | 0                                                                | 60         |
| 50-59                                                                 | Vrij Hoog  | 0                                                                | 0          |
| 60-                                                                   | Hoog       | 0                                                                | 0          |

*Rijkstuinbouwconsulentschap voor Bodemaangelegenheden, Wageningen, 5 november 1968.*

Bijeenkomst van de bodemkundige specialisten uit zand-, löss- en rivierkleigebieden, op 25 oktober 1968 te Wageningen. Op een bijeenkomst op 19 september 1968 van de bodemkundige specialisten van de rivierkleigebieden is overeengekomen om 2. Evenals voor de Rtc's Goes en Barendrecht, bij de waardering go (P-Al-getal 40-49 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup>) geen fosfaat meer te adviseren. Uit verslag bijeenkomst 25 okt 1968: naar aanleiding van de opmerking over de fosfaatbemesting, waar bij de waardering Goed (P-Al-getal 40-49 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup>) geen fosfaat meer wordt geadviseerd, delen de specialisten uit de Rtc's 's Hertogenbosch en Roermond mee, dat ook zij voor de fruitteelt deze norm zullen overnemen. "

*Consulentschap voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, Wageningen: Bijeenkomst van een gespreksgroep bemesting in de fruitteelt op 9 april 1976 te Tiel.* "Fosfaat. Het fosfaatgehalte in het blad blijkt nauw gecorreleerd met het stikstofgehalte van het blad. Bij hoog N-gehalte vindt men een laag fosfaatgehalte in het blad en omgekeerd, onafhankelijk van het fosfaatgehalte in de grond. Voor de fruitteelt kan waarschijnlijk het fosfaatadvies worden verlaagd. Alvorens deze verlaging door te voeren acht de vergadering het nodig dit proefondervindelijk vast te stellen" (later in de vergadering bespreekt men het eventuele belang van overstappen op een advies op basis van bladanalyse; voorgaande opmerking gaat dus waarschijnlijk over het advies op basis van grondanalyse).

### **Advies op basis van bladanalyse/streefwaarden, verhoging opname en maximumgift**

*"Bladanalyse als basis van het bemestingsadvies voor appel en peer; Hoofdpijnen van een werkwijze, 1981, P. Delver. 5.2. Fosfaat. In het zeldzame geval dat het fosfaatgehalte te laag uitvalt, zal een bemesting, het mulchen van gras op de boomstrook of eventueel een bladbespuiting worden geadviseerd. Een hoog gehalte in het blad te samen met een wat laag lijkend stikstofgehalte kan een bevestiging vormen van licht stikstofgebrek. Dit soort situaties zal zich vrij vaak kunnen voordoen."*

*"Consulentschap voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, Wageningen. Aangeboden artikel aan de Fruitteelt voor publicatie op 6 juli 1984 over bemesting op basis van bladanalyse. Fosfaatgehalte. Het fosfaatgehalte van het blad wordt, naast de fosfaattoestand van de grond o.a. beïnvloed door de N-bemesting en de beworteling (Tabel: waardering P-gehalte in blad van appel: 0,16-0,25% P in de drogestof (d.s.) is goed). Het fosfaatgehalte van het blad kan door bemesting met fosfaat moeilijk worden beïnvloed. Herstelmaatregelen zullen daarom op een andere wijze teweeg moeten worden gebracht, bijvoorbeeld via stikstofbemesting, bodembehandeling en dergelijke. Bij de waardering "Te Laag" ( $\leq 0,10\%$ ) zal men meestal te maken hebben met een slechte beworteling van de bomen of met droogte. Bij de waardering "Laag" (0,11-0,15%) soms met een te hoge stikstofbemesting, en bij de waardering "Hoog" ( $> 0,25\%$ ) met slechte groei of stikstoftekort. Beoordeling per plaatse is dan vaak nodig."*

*"Toelichting op de voorlopige bemestingsadviesbasis, gebaseerd op bladonderzoek, voor appel. P. De bemesting met fosfaat zal gebaseerd moeten zijn op 'recent' grondonderzoek. De P-gehalten in het blad geven een inzicht in de gezondheidstoestand van de boom (functioneren van de wortels en N-overmaat)" (Consulentschap voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, Wageningen, 10 juli 1984)"*

*"Concept voor lezing NFO-afdelingen, tevens instructie fruitteeltsectie; 8 november 1985. Korte toelichting per element (na vermelden afvoer- en bemestingscijfers), fosfaat: De afvoer van fosfaat met de oogst van de vruchten is gering, n.l. 7 à 10 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. Daarnaast is er nog wat fosfaat nodig i.v.m. vastlegging- en compensatieverliezen. De gemiddelde jaarlijkse behoefte is 20 à 25 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. Bij een goede structuurtoestand is het fosfaat in de boomstrook als regel vrij goed opneembaar. De grond wordt niet bewerkt en door de toevoer en de vertering van organische stof via blad en gras komt koolzuur vrij. Dit heeft een gunstige invloed op de mobiliteit van het fosfaat. Een te laag P-gehalte in het blad kan wijzen op een minder goed functioneren van het wortelstelsel. Een te hoog gehalte wijst op een te laag N-aanbod. Vóór de aanleg van een boomgaard is grondonderzoek gewenst. De fosfaattoestand kan dan indien nodig op peil worden gebracht. Het streefgetal voor fruitteelt is een P-AI-getal van  $\pm 40$ . Verwerking van de in de periode 1982 t/m 1985 genomen grondmonsters toonde aan dat in Zeeland en West-Brabant op ruim 30% van de percelen een fosfaatbemesting gegeven moest worden. In Zuid-Holland op ruim 20% van de percelen. Een hoge fosfaattoestand is in het algemeen geen bezwaar. Extreem hoge toestanden kunnen in combinatie met veel organische stof kopergebrek in de hand werken. De fosfaatbemesting kan het beste in het voorjaar worden gegeven. Bij een goede fosfaattoestand zal een bemesting die de onttrekking compenseert gemiddeld wel voldoende zijn (handgeschreven:  $\pm 20$  kg ha<sup>-1</sup>)."*

*"CAD voor Bodem, Water- en Bemestingszaken in de Akkerbouw en Tuinbouw te Wageningen; aanpassing van het bemestingsadvies fruitteelt gebaseerd op bladonderzoek, door S. Bommelé (juni 1987)". Fosfaatbemesting. In het seizoen 1987 worden zeer veel percelen "onderin" de fosfaatklasse "Goed" (0,16-0,25%P) gevonden. De betrokken telers kregen het advies "geen fosfaat strooien". Dit acht de commissie niet juist en daarom wordt het schema als volg aangepast (Tabel B1.2).*

Tabel B1.2

*Bemestingsadvies op basis van bladonderzoek.*

| P-gehalte in blad in % van de droge stof | Waardering     | Aanvullende bemesting in kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |
|------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <0,10                                    | <i>Te Laag</i> | 60-80                                                                      |
| 0,11-0,15                                | <i>Laag</i>    | 60-80                                                                      |
| 0,16-0,20                                | <i>Goed</i>    | 30-40                                                                      |
| 0,21-0,25                                | <i>Goed</i>    | 0                                                                          |
| 0,26-0,30                                | <i>Hoog</i>    | 0                                                                          |
| >0,30                                    | <i>Te Hoog</i> | 0                                                                          |

*“Commissie voor de Bemesting in de Fruitteelt. Uit agenda en verslag van de vergadering op 14 december 1993, te Geldermalsen.*

Voorstel voor enkele aanpassingen in de adviesbasis. Maximum in fosfaatadvies bij bladanalyse. De geadviseerde gift bij bladanalyse is een aanvulling op de reeds gegeven bemesting. In die gevallen waarbij na een hoge gift, van bijv. 250 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, nog een te laag bladgehalte wordt gevonden, wordt dan nog een verhoging geadviseerd. Dit lijkt mij (Kodde) niet gewenst. Vaak is er iets anders aan de hand, een vorm van fixatie, structuurproblemen of iets dergelijks. Voorstel: het inbouwen van een maximum P-gift van bijv. 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bij de bladanalyseadvisering. Als men dit jaren doet dan moet men toch uit de problemen kunnen komen. (Verslag/besluit:) Bij bladanalyse P-gift maximaliseren op 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

Discussie fosfaatsnorm in blad. Fosfaat heeft een gunstige invloed op de stevigheid van appels. In de meeste landen wordt voor appel een wat hoger P-gehalte aangehouden dan in Nederland. Voor peren kan het gehalte lager zijn dan voor appels. Voorbeelden: FAST/Engeland (appels *Goed*: 0,20-0,25%P van d.s.; peren *Goed*: 0,15-0,20%P van d.s.), Faust/Duitsland (appels optimum: 0,20-0,25%P van d.s.; peren optimum: 0,14-0,20%P van d.s.), Mengel en Kirkby (appels 0,15-0,30%P van d.s.), Fruit Nutrition (appels 0,19-0,22%P van d.s.), Gorse/België (Jonagold >0,20%P van d.s.; Conference >0,18%P van d.s.), Jan Peeters/FC/Nederland (appels 0,20-0,30%P van d.s.; peren 0,15-0,30%P van d.s.), Quast/Duitsland (appel en peer >0,15%P van d.s.). Voor peren geven deze gegevens geen duidelijke aanleiding om de norm aan te passen. Voor appels staat enige aanpassing ter discussie. (Verslag/besluit:) Fosfaatsnormen bladanalyse blijven gehandhaafd. Er zijn vrij grote verschillen in P-gehalten tussen de rassen.”

*“Commissie voor de Bemesting in de Fruitteelt. Uit agenda en verslag van de vergadering op 1 maart 1994, te Wilhelminadorp. N.a.v. verslag vergadering 14 dec 1993: Kodde stelt voor de maximale P-gift bij bladanalyse nog lager vast te stellen dan 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Dit vooral gezien de zeer geringe reactie van fruitgewassen op P-toediening. Na enige discussie wordt besloten de maximale gift te houden op 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.”*

## Bijlage 2 Kalibratie gewasreactie aardappel

Voor aardappel werden de veldproefgegevens ontsloten die ten grondslag liggen aan het huidige bemestingsadvies (gewasgericht, zie Van der Paauw e.a., 1972; Ris en Van Luit, 1974) en aangevuld met nieuwere gegevens van veldproeven (hoofdstuk 2). In beginsel zijn de opbrengstniveaus van aardappel in de laatste decennia niet wezenlijk gewijzigd, het samenbrengen van veldproefgegevens verkregen over een lange periode werd verantwoord gevonden. Wel bleken stikstof- en kalibemesting het opbrengstniveau sterk te bepalen (verschuiving in Y-richting, zie hoofdstuk 2). Daardoor werd het noodzakelijk om met stikstof- en kalibemesting rekening te houden. Hun effecten bepalen echter niet de opbrengstreactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.

$$Y = a + b * \text{EXP}^{(c * P\text{-Gift} + d * P\text{-toestand})} + e * N\text{-gift} + f * K\text{-gift} \quad (3)$$

Tabel B2.1 geeft de parameterschattingen met standaardafwijkingen.

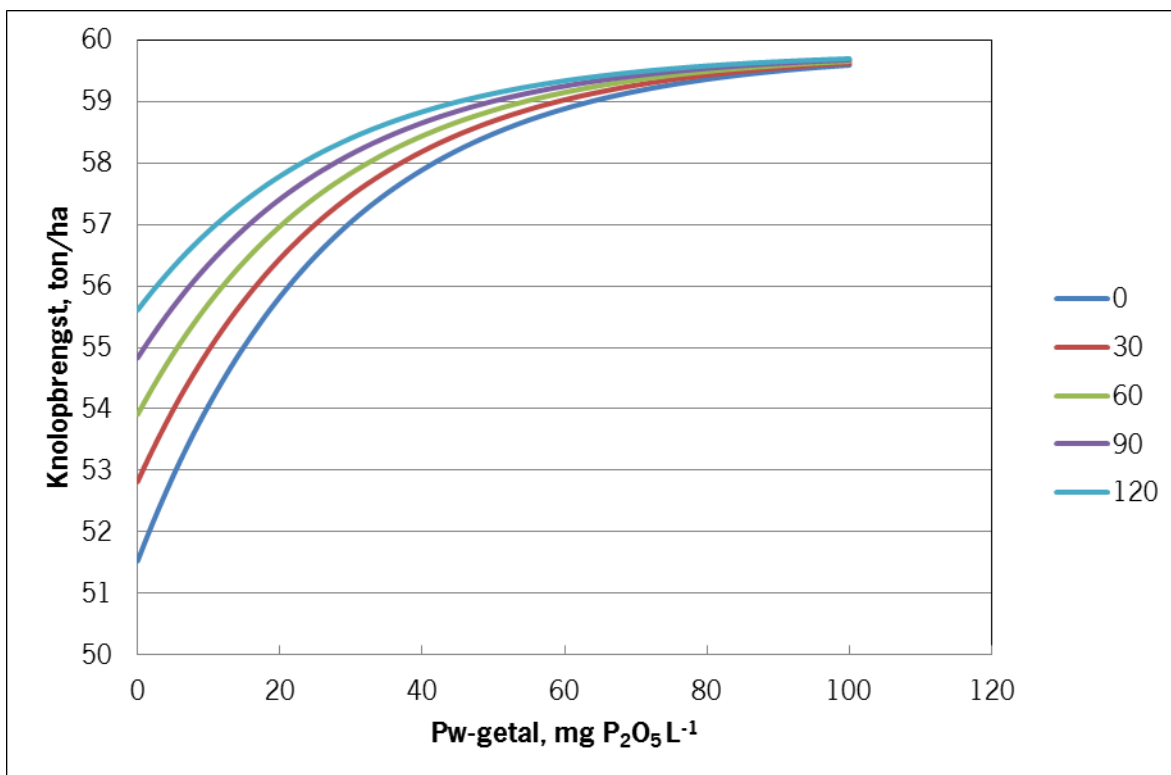
**Tabel B2.1**

*Parameterschattingen en standaardafwijkingen van vergelijking (3).*

| Parameter             | Symbool | Eenheid                                           | Parameterschatting | Standaardafwijking |
|-----------------------|---------|---------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Constante             | a       | ton ha <sup>-1</sup>                              | 26,14              | 2,29               |
| N-gift                | e       | kg N ha <sup>-1</sup>                             | 0,1409             | 0,0028             |
| K-gift                | f       | kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>              | 0,0098             | 0,0024             |
| Voor exponent         | b       |                                                   | -8,275             | 1,860              |
| P-gift                | c       | kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | -0,00566           | 0,00137            |
| P-toestand (Pw-getal) | d       | mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>  | -0,0366            | 0,0096             |

Gegevens uit de parameterschattingen kunnen gebruikt worden om de opbrengstreactie van aardappel te berekenen. Berekeningen buiten het bereik van meetgegevens (Tabel 6) kan leiden tot een onverantwoorde extrapolatie.

Een berekeningsresultaat van de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting wordt gegeven in figuur B2.1. De fysieke opbrengstderving t.o.v. van de maximaal te behalen opbrengst wordt gegeven in Tabel B2.2.



**Figuur B2.1** Berekende reactie van aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting bij een stikstofgift van 225 kg N ha<sup>-1</sup> en een kaligift van 200 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> bij fosfaatgiften van 0 t/m 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

**Tabel B2.2**

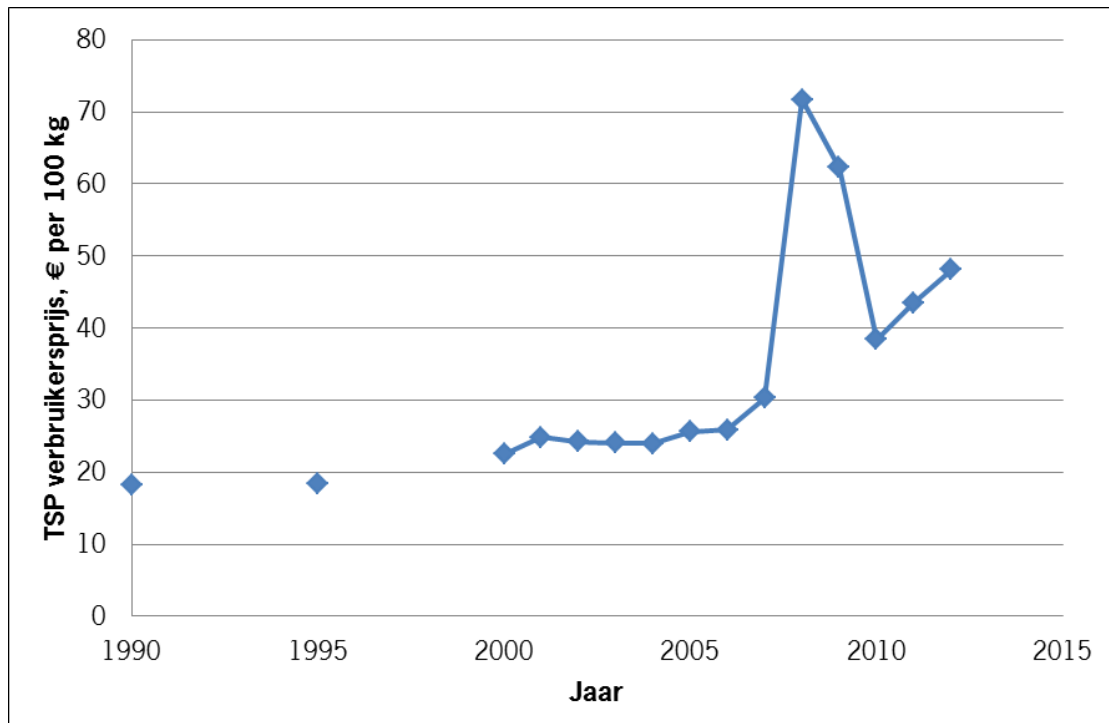
Opbrengstderving t.o.v. de maximaal te bereiken opbrengst in procent bij verschillende fosfaatgiften en fosfaattoestanden (Pw-getal, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> L<sup>-1</sup>).

| Fosfaattoestand<br>Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Fosfaatgift, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                                                  | 50                                                             | 55  | 60  | 65  | 70  | 75  | 80  | 85  |
| 20                                                                               | 5,0                                                            | 4,9 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,2 | 4,1 |
| 25                                                                               | 4,2                                                            | 4,1 | 3,9 | 3,8 | 3,7 | 3,6 | 3,5 | 3,4 |
| 30                                                                               | 3,5                                                            | 3,4 | 3,3 | 3,2 | 3,1 | 3,0 | 2,9 | 2,9 |
| 35                                                                               | 2,9                                                            | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,4 |
| 40                                                                               | 2,4                                                            | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 2,0 |
| 45                                                                               | 2,0                                                            | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 |
| 50                                                                               | 1,7                                                            | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 |
| 55                                                                               | 1,4                                                            | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 |
| 60                                                                               | 1,2                                                            | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 65                                                                               | 1,0                                                            | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

Tabel B2.3

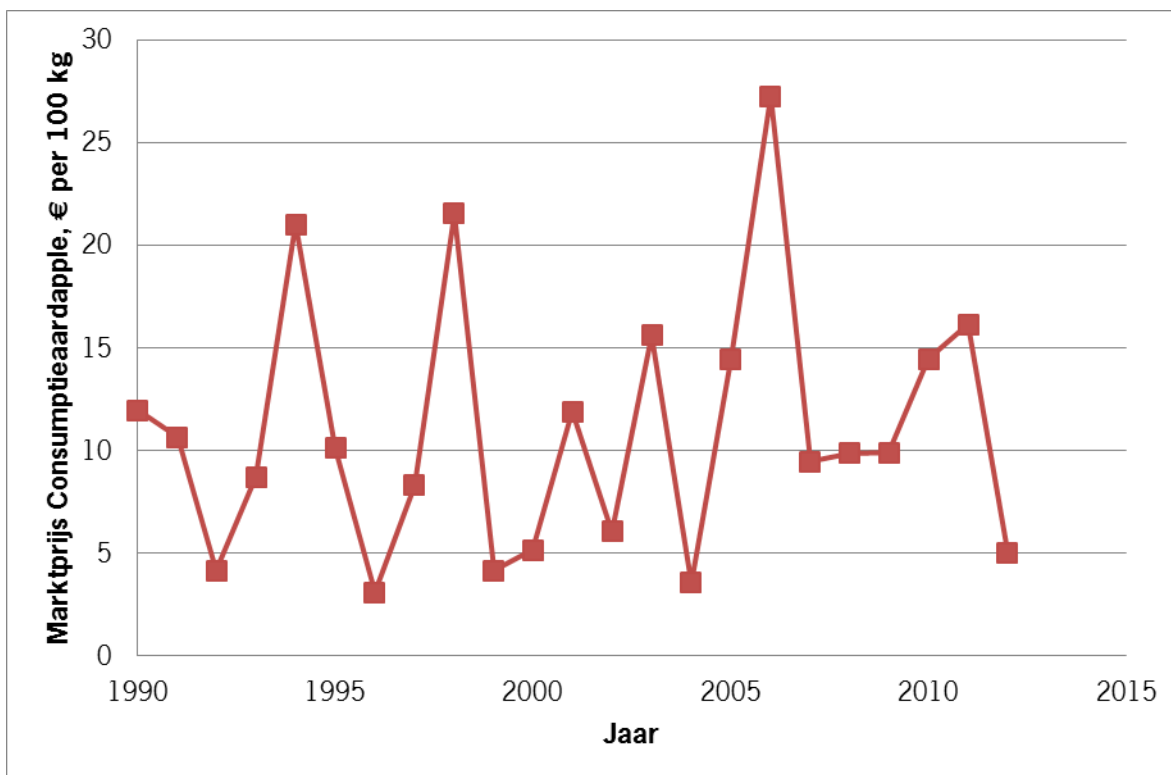
Opbrengst, opbrengstderving en betrouwbaarheidsinterval rond de opbrengstderving voor fosfaatgiften van 30 en 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en een bereik van fosfaattoestanden.

| Fosfaat-gift,<br>kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> | Fosfaat-toestand<br>Pw-getal,<br>mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> | Predicties<br>Opbrengst, ton ha <sup>-1</sup> | Derving, % | Betrouwbaarheidsinterval derving, % |            |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
|                                                                    |                                                                                   |                                               |            | Ondergrens                          | Bovengrens |
| 30                                                                 | 5                                                                                 | 54,0                                          | 9,7        | 5,8                                 | 13,8       |
| 30                                                                 | 10                                                                                | 55,0                                          | 8,1        | 4,8                                 | 10,8       |
| 30                                                                 | 15                                                                                | 55,8                                          | 6,7        | 4,3                                 | 9,0        |
| 30                                                                 | 20                                                                                | 56,4                                          | 5,6        | 3,7                                 | 7,7        |
| 30                                                                 | 25                                                                                | 57,0                                          | 4,7        | 3,0                                 | 6,5        |
| 30                                                                 | 30                                                                                | 57,5                                          | 3,9        | 2,4                                 | 5,7        |
| 30                                                                 | 35                                                                                | 57,9                                          | 3,2        | 2,0                                 | 5,2        |
| 30                                                                 | 40                                                                                | 58,2                                          | 2,7        | 1,5                                 | 4,6        |
| 30                                                                 | 45                                                                                | 58,5                                          | 2,2        | 1,1                                 | 4,1        |
| 30                                                                 | 50                                                                                | 58,7                                          | 1,9        | 0,0                                 | 3,7        |
| 30                                                                 | 55                                                                                | 58,9                                          | 1,6        | 0,0                                 | 3,2        |
| 30                                                                 | 60                                                                                | 59,0                                          | 1,3        | 0,0                                 | 3,0        |
| 30                                                                 | 65                                                                                | 59,2                                          | 1,1        | 0,0                                 | 2,7        |
| 30                                                                 | 70                                                                                | 59,3                                          | 0,9        | 0,0                                 | 2,6        |
| 80                                                                 | 5                                                                                 | 55,4                                          | 7,3        | 4,1                                 | 11,3       |
| 80                                                                 | 10                                                                                | 56,2                                          | 6,1        | 3,5                                 | 9,3        |
| 80                                                                 | 15                                                                                | 56,8                                          | 5,1        | 3,1                                 | 7,6        |
| 80                                                                 | 20                                                                                | 57,3                                          | 4,2        | 2,6                                 | 6,6        |
| 80                                                                 | 25                                                                                | 57,7                                          | 3,5        | 2,1                                 | 5,5        |
| 80                                                                 | 30                                                                                | 58,0                                          | 2,9        | 1,7                                 | 4,7        |
| 80                                                                 | 35                                                                                | 58,3                                          | 2,4        | 1,3                                 | 3,9        |
| 80                                                                 | 40                                                                                | 58,6                                          | 2,0        | 1,1                                 | 3,8        |
| 80                                                                 | 45                                                                                | 58,8                                          | 1,7        | 0,0                                 | 3,3        |
| 80                                                                 | 50                                                                                | 59,0                                          | 1,4        | 0,0                                 | 3,0        |
| 80                                                                 | 55                                                                                | 59,1                                          | 1,2        | 0,0                                 | 2,6        |
| 80                                                                 | 60                                                                                | 59,2                                          | 1,0        | 0,0                                 | 2,5        |
| 80                                                                 | 65                                                                                | 59,3                                          | 0,8        | 0,0                                 | 2,1        |
| 80                                                                 | 70                                                                                | 59,4                                          | 0,7        | 0,0                                 | 2,1        |



**Figuur B2.2** Verbruikersprijs tripelsuperfosfaat (TSP) in de periode 1990-2012; 2012 berust op het gemiddelde van de eerste vijf maanden. Bron: Binternet LEI.

**Figuur B2** Marktprijs consumptieaardappel in de periode 1990-2011. Bron: Binternet LEI.



**Figuur B2.3** Marktprijs consumptieaardappel in de periode 1990-2011. Bron: Binternet LEI.



---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2499  
ISSN 1566-7197



---

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2499  
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

