

- Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen. Alterra-rapport 107, Wageningen, 186 pp.
- Schröder, J.J., O. Oenema & S. Pietrzak, 1998.
Nitrogen cycling and nitrogen surpluses in mixed farming systems: what are the determinants? In: H. van Keulen, E.A. Lantinga & H.H. van Laar (Eds.), *Mixed farming systems in Europe*. AP-Minderhoudhoeve reeks nr 2, pp. 121-128.
- Smaling, E.M.A., L.O. Fresco & A. de Jager, 1997.
Classifying, monitoring and improving soil nutrient stocks and flow in African agriculture. *Ambio* 25: 492-496.
- Smaling, E.M.A. & O. Oenema, 1997.
Estimating nutrient balances in agroecosystems at different spatial scales. In: R. Lal *et al.* (Eds.), *Methods for the assessment of soil degradation*. *Advances in Soil Science*, CRC Press, New York, pp. 229-252.
- Van Eck (red.), 1995.
Stikstofverliezen en stikstofoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project Verliesnormen, deelrapport 3. Min. LNV, VROM, V&W, Landbouwschap, Centrale Landbouworganisaties, 115 pp.
- Van Noordwijk, M., 1999.
Nutrient cycling in ecosystems versus nutrient budgets of agricultural systems. In: E.M.A. Smaling, O. Oenema & L.O. Fresco (Eds.), *Nutrient Disequilibria in Agroecosystems*. Concepts and case studies. CABI Publishing, Cambridge, pp. 1-26.
- Willems, W.J., T.V. Vellinga, O. Oenema, J.J. Schröder, H.G. van der Meer, B. Fraters & H.F.M. Aarts, 2000.
Onderbouwing van het Nederlandse derogatieverzoek in het kader van de Europese Nitraatrichtlijn. RIVM-rapport 718201002, Bilthoven, 102 pp.

2.3 Processen op perceelsniveau: P

O.F. Schoumans, C. van der Salm, P.A.I. Ehlert & W.J. Chardon

2.3.1 Fosfaatbinding en fosfaatbeschikbaarheid

2.3.1.1 Inleiding

In de P-desk-studie (Oenema & Van Dijk, 1995) is aangegeven dat relatief veel bekend is omtrent de fosfaatuitspoeling vanuit kalkloze zandgronden naar het grond- en oppervlaktewater. De belangrijkste reden hiervoor was dat deze gronden voorkomen in gebieden met de hoogste mestoverschotten. Voor de kalkloze zandgronden kon dan ook het protocol fosfaatverzadigde gronden worden afgeleid (Van der Zee *et al.*, 1990 a en b), waarna vervolgens een ruimtelijk beeld van de mate van fosfaatverzadiging in de mestoverschotgebieden kon worden geschetst (Reijerink & Breeuwsma, 1992). Desalniettemin werden, en worden er nog steeds, ook in de niet-zandgebieden hoge fosfaatgehalten in het oppervlaktewater aangetroffen, waarbij in een groot aantal gebieden verondersteld wordt dat ook daar de bijdrage vanuit de landbouw groot is.

2.3.1.2 Oorspronkelijke kennishiaten

In de P-desk-studie is dan ook aangegeven dat aandacht besteed moest worden aan de onderbouwing van de beschrijving van het gedrag van fosfaat in de kalkhoudende zandgronden. Naast deze onderbouwing, welke met name was gericht op de verdere onderbouwing van de milieukundige aspecten van fosfaatbemesting van landbouwgronden, werd ook extra aandacht gevraagd voor de voorspelling van

het beloop van de fosfaattoestand van de bodem. De behoefte werd geuit om de beschrijving van het gedrag van fosfaat, gezien vanuit milieukundige invalshoek, af te stemmen met de landbouwkundige inzichten. Tot slot werd in de P-desk aandacht gevraagd voor het kwantificeren van de lange termijn effecten van lage fosfaatverliesnormen op zowel de fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas alsook de uitspoelingsverliezen.

Samenvattend waren de aanbevelingen uit de P-desk-studie, ten aanzien van de beschrijving van het gedrag van fosfaat in de bodem:

- beschrijving van het gedrag van fosfaat in niet-zandgronden en kalkhoudende zandgronden,
- afstemming landbouwkundige en milieukundige inzichten,
- inschatting van de lange-termijn effecten bij lage fosfaatverliesnormen.

2.3.1.3 Nieuwe ontwikkelingen

Beschrijving van het gedrag van fosfaat in niet-zandgronden en kalkhoudende zandgronden

Zowel voor de kalkrijke zandgronden als voor de veengronden is onderzoek uitgevoerd naar de fosfaatbindingsmechanismen van de bodem (Schoumans & Lepelaar, 1995; Schoumans, 1999). Omdat bekend was dat de binding van fosfaat in de bodem zeer complex verloopt en het volledige gedrag (zowel fosfaatsorptie als -desorptie) gekwantificeerd diende te worden, kon in beide projecten slechts een beperkt aantal monsters worden onderzocht. Ondanks dat is er met dit laboratoriumonderzoek wel een belangrijke vooruitgang geboekt, hetgeen kort zal worden aangegeven.

Kalkrijke zandgronden blijken zeer kwetsbaar te zijn voor fosfaatuitspoeling. De maximale fosfaatbindingscapaciteit van de onderzochte monsters ($n = 7$) varieert tussen een kwart en de helft van het fosfaatbindend vermogen van kalkloze zandgronden. Verder blijkt dat het fosfaatbindend vermogen bij deze beperkte dataset niet gerelateerd is met het kalkgehalte. Wel mag verwacht worden dat de fosfaatbindingscapaciteit gerelateerd is met het specifiek oppervlak van de kalkfractie, dat wil zeggen met de verdeling van de grootte van de kalkdeeltjes in het monster (fijn of schelpen). Verder kon worden aangetoond dat onder normale landbouwkundige omstandigheden (P_w -streefgetal van 25) hoge fosfaatconcentraties in de bouwvoor kunnen ontstaan (3 tot 8 mg P per liter).

In veengronden is de binding van fosfaat veel complexer van aard dan in zandgronden. Dit wordt veroorzaakt door het voorkomen van een groot aantal reactieve fracties in de bodem (aluminium en ijzer gebonden aan organische stof, randen van kleimineralen, aluminium en ijzerhydroxiden-polymeren op het oppervlak van kleimineralen, amorfe aluminium- en ijzerhydroxiden). Aannames die in het protocol fosfaatverzadigde (zand)gronden zijn genomen, blijken niet te gelden voor alle lagen in veengronden. Met name bodemlagen die nagenoeg volledig uit organische stof bestaan, fixeren geen fosfaat. Al het gebonden fosfaat wordt in deze lagen uitsluitend reversibel gebonden. Het ontbreken van het langzame fosfaatbindingsmechanisme duidt erop dat het aangetroffen aluminium en ijzer hoofdzakelijk gebonden is aan de organische stof en niet aanwezig is in amorfe/microkristallijne vorm. Een uitgevoerd speciatie-onderzoek ondersteunt deze veronderstelling. Ondanks een aantal verschillen is er ook een aantal belangrijke overeenkomsten met de kalkloze zandgronden. Zo is ook bij veengronden het maximaal fosfaatbindend vermogen gecorreleerd met het oxalaat-extraheerbaar aluminium- en ijzergehalte, hetgeen aanknopingspunten biedt voor het maken van kwetsbaarheidskaarten en de modellering van de fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Omdat in veengronden relatief ondiepe grondwaterstanden worden aangetroffen, is het totale fosfaatbindend vermogen van de bodem tot aan de grondwaterstand laag, waardoor al bij een beperkte ophoping van fosfaten in de bodem een verhoogde fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater zal optreden.

Omdat zowel voor de kalkhoudende gronden als voor de veengronden nog geen grenswaarde voor de fosfaatconcentratie is afgeleid en ook niet de diepte is vastgesteld waarop deze concentratie niet overschreden mag worden, kan nog geen indruk worden verkregen van de maximale acceptabele fosfaat-

verzadigingsgraad in dergelijke grondsoorten (conform het protocol fosfaatverzadigde gronden). Indien hieraan in de toekomst wel behoefte ontstaat, zal een beduidend groter aantal monsters onderzocht moeten worden, teneinde een betrouwbare gemiddelde waarde te kunnen produceren.

Afstemming landbouwkundige en milieukundige inzichten

In de P-desk-studie werd de voorspelling van het beloop in bodemvruchtbaarheidstoestand veelal met behulp van regressie-relaties voorspeld. De afgelopen jaren is aangetoond dat de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw-getal en P-AL-getal ook vanuit de chemische beschrijving van de fosfaatbindingsmechanismen in de bodem afgeleid kunnen worden. Dit geldt met name voor het Pw-getal (Schoumans, 1998b; Schoumans & Groenendijk, 2000). De beschrijving van het Pw- en P-AL-getal is inmiddels in ANIMO geïmplementeerd en is reeds ten dele gevalideerd aan de hand van geschikte datasets van proefveldgegevens, te weten Heino, Cranendonk, Waiboerhoeve en Zegveld (grasland; Van der Salm & Schoumans, 2000) en de Marke (maïs en grasland; Schoumans, 1998a). Momenteel wordt nagegaan of de dataset van PAV-Lelystad als akkerbouwlocatie bruikbaar is. Doordat nu zowel de beschrijving van het beloop in bodemvruchtbaarheidstoestand als de beschrijving van de nutriëntuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater gebaseerd is op het bodemchemische gedrag van fosfaat, ontstaat een consistente samenhang in de modellering van het gedrag van P in de bodem. Tevens ontstaan door de modellering van de bodemvruchtbaarheidsdynamiek voldoende aanknopingspunten naar de modellering van de agronomische effecten (gewasgroei; opbrengst) zoals geïmplementeerd in het stofstromenmodel (SSM). Dit is van groot belang voor de voorspelling van de lange-termijn effecten. Opgemerkt wordt dat de zeer-korte-termijn effecten van fosfaatbemesting (dynamiek binnen een deel van het seizoen) op de respons van het gewas met het geïmplementeerde concept slechts globaal beschreven kan worden. De reden hiervoor is dat een dergelijke toepassingen (sterk geënt op het bemestingsadvies) buiten het toepassingsgebied valt waarvoor ANIMO in eerste instantie is ontwikkeld. Voor de voorspelling van de gewasrespons is inmiddels wel een andere model beschikbaar, welke wel sterk toegesneden is op dergelijke ruimtelijke en temporele resoluties (*FUSSIM2*; Heinen & de Willigen, 1999).

Inschatting van de lange-termijn effecten van lage fosfaatverliesnormen

Lange-termijn effecten van lage fosfaatverliesnormen worden bepaald aan de hand van resultaten van potproeven. Bij deze potproeven is gekozen voor het *geheel* achterwege laten van de fosfaatbemesting gedurende een tweetal jaren (sterke negatieve fosfaatverliesnorm, circa -80 kg P₂O₅ per ha). De proef werd in april 2000 beëindigd, waarna alle bodemanalyses worden uitgevoerd. De eerste resultaten zijn tijdens een voordracht gepresenteerd (Koopmans, 1999). Het Pw-getal van de grond nam gedurende de eerste 11 maanden sterk af (van 76 naar 32). De door het gewas opgenomen hoeveelheid P was ruim zes maal groter dan de hoeveelheid fosfaat die in de 'labiele pool' bij de aanvang van de proef aanwezig was (geschat via de zgn. Pi-methode). Dit wijst op een sterke nalevering vanuit de meer stabiele pool. De uitgemijnde grondmonsters volgden niet meer het gemiddelde verband tussen verzadigingsgraad en het Pw-getal dat in het verleden is afgeleid voor een groot aantal zandgronden, hetgeen in overeenstemming is met de theoretische beschrijving van het gedrag van fosfaat in de bodem ('hysterese-effect'). Nadat alle bodem- en gewasanalyses (gras) zijn uitgevoerd, zal nagegaan worden of de sterke daling in het Pw-getal ook qua orde van grootte door het ANIMO-model(concept) verklaard kan worden.

2.3.1.4 Conclusies

In de oorspronkelijke P-desk-studie zijn de aanbevelingen naar voren zijn gekomen, om onderzoek uit te voeren naar :

- beschrijving van het gedrag van fosfaat in niet-zandgronden,
- wijze waarop landbouwkundige en milieukundige inzichten op elkaar kunnen worden afgestemd,
- het kwantificeren van de lange-termijn effecten bij lage fosfaatverliesnormen is voortvarend van start gegaan, zij het dat slechts een gering aantal monsters in het onderzoek kon worden betrokken.

De huidige resultaten geven aan dat ook buiten de mestoverschotgebieden de kans op fosfaatverliezen vanuit landbouwgronden groot is. Dit wordt veroorzaakt doordat de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem zowel in kalkrijke zandgebieden (bollengebied) als in veengebieden laag is. Hierdoor zal bij een beperkte fosfaatophoping in de bodem al kans op fosfaatuitspoeling bestaan.

De procesmatige beschrijving van de bodemchemische reacties van fosfaat in de bodem kan gebruikt worden om ook de bodemvruchtbaarheidstoestand van de bodem in termen van Pw-getal (bouwland) te beschrijven. Ook voor het P-AL-getal (grasland) is dit beperkt mogelijk.

Resultaten van potproeven geven aan dat de landbouwkundige effecten van lage fosfaatverliesnormen gering zijn (qua opbrengst; agronomisch), terwijl juist het wateroplosbare (uitspoelbare) fosfaat snel afneemt (het Pw-getal daalt snel). Dit duidt er op dat het uitmijnen van de bodem met een intensief diep wortellend gewas hoogstwaarschijnlijk perspectief biedt, indien over de gehele bewortelbare diepte fosfaat wordt opgenomen.

2.3.1.5 Resterende onderzoeksvragen

- Op basis van de ontwikkelde meetmethodiek voor veengronden dienen voor een groot aantal veenmonsters de karakteristieke sorptie- en desorptieparameters vastgelegd te worden, teneinde vertaling naar percelen, kaartvlakken en regio's betrouwbaar mogelijk te maken.
- De beschrijving van de fosfaatsorptie en -desorptie in veengronden zoals deze (via een beperkt aantal monsters) in het laboratorium zijn afgeleid, dient nog getoetst te worden in een (groot) aantal praktijksituaties.
- De beschrijving van het gedrag in kleigronden dient nog afgeleid en getoetst te worden.
- Voor een groot aantal verschillende karakteristieke veen-, klei- en kalkrijke zandprofielen dient de grootte van het landbouwkundige P-verliezen, dat door fosfaatfixatie veroorzaakt wordt, vastgesteld te worden (bijv. met behulp van gevalideerde modellen), dit om de juiste bandbreedte in landbouwkundige en milieukundige P-verliezen aan te kunnen geven.
- Met name voor kalkrijke zandgronden alsook veengronden en kleigronden is het van evident belang dat streef- of MTR-waarden worden opgesteld, zodat de maximaal toelaatbare fosfaatverzadigingsgraad kan worden vastgesteld
- Omdat de fosfaatuitspoeling vanuit kalkrijke zandgronden waarop bollen worden geteeld zeer hoog is, dient nagegaan te worden hoe deze fosfaatverliezen geminimaliseerd kunnen worden (bijv. gerichte nutriëntenmanagement), en wel zodanig dat de milieukundige randvoorwaarden (streef- of MTR-waarde) uiteindelijk worden gerealiseerd.
- Verdere onderbouwing (met behulp van datasets) van de lange-termijn effecten van verschillende (lage) fosfaatverliesnormen, zowel qua bodemvruchtbaarheidstoestand (Pw- en P-AL-getal) als qua gewasrespons.

Literatuur

- Ehlert, P.A.I., P. de Willigen, G. Brouwer, & O. Oenema, 1998.
Improvement of the phosphate fertiliser recommendations for flower bulbs. In: R.H. Foy & R. Dils (Eds.), Proc. of the OECD-workshop on practical and innovative measures for the control of agricultural losses to water, pp. 68-79.
- Ehlert, P.A.I. & P de Willigen, 1999.
De relatie tussen de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroenten en de fosfaattoestand in de bodem. In: P.H.M. Dekker (red.), Naar maatwerk in bemesting. Themadag van het Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, Hoofdstuk 3.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 1998.
FUSSIM2: a two-dimensional simulation model for water flow, solute transport, and root uptake

of water and nutrients in partly unsaturated porous media. Quantitative approaches in systems analysis no. 20, Wageningen, AB-DLO, 140 pp.

Koopmans, G., 1999.

Depletion of an overfertilized soil in a pot experiment. AB-DLO - INRA Bordeaux meeting. Modelling P uptake: a link between soil chemistry and plant growth, 18 and 19 November, Wageningen.

Oenema, O. & T. van Dijk (red.), 1995.

Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project Verliesnormen, deelrapport 1. Min. LNV, VROM, V&W, Landbouwschap, Centrale Landbouworganisaties, 102 pp.

Reijerink, J.G.A. & A. Breeuwsma, 1992.

Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden. Wageningen, Staring Centrum, rapport 222.

Schoumans, O.F., 1998a.

Gevolgen van lagere verliesnormen op het verloop van de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, O.F. Schoumans & F.C. van der Schans (red.), Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. De Marke verslag 22, pp. 47-63.

Schoumans, O.F., 1998b.

Determination of the degree of phosphate saturation by the oxalate extraction method. In: G.M. Pierzynski (Ed.), Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters. Southern Cooperative Series Bulletin No. X; published by SERA-IEG 17.

Schoumans, O.F., 1999.

Beschrijving van het gedrag van anorganisch fosfaat in veengronden. Wageningen, Alterra, Rapport 522.

Schoumans, O.F. & P. Lepelaar, 1995.

Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Procesbeschrijving van het gedrag van anorganisch fosfaat in kalkrijke zandgronden. Wageningen, Alterra, rapport 387.1.

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.

Van der Salm, C. & O.F. Schoumans, 2000.

Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Wageningen, Alterra, Report 083.

Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990a.

Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, Landbouwuniversiteit Wageningen.

Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990a.

Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, Landbouwuniversiteit Wageningen.

2.3.2 Fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater

2.3.2.1 Inleiding

In de P-desk-studie (Oenema & Van Dijk, 1995) is een overzicht gegeven van de toenmalige inzichten omtrent de grootte van de fosfaatafspoeling en -uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater bij verschillende fosfaattoestanden van de bovengronden. De inschatting kwam tot stand op basis van resultaten van laboratoriumonderzoek, het protocol fosfaatverzadigde gronden en modelonderzoek. Een van de belangrijkste conclusies was toen dat de grootte van de landbouwkundige verliezen ook empirisch bepaald moest worden, vooral omdat het verschil tussen geraamd fosfaatoverschot en milieukundig acceptabele fosfaatverliezen aanzienlijk was. Het milieukundig acceptabel fosfaatverlies was gedefi-

nieerd als 1 kg P₂O₅ per ha per jaar. Deze waarde was gebaseerd op een netto neerslagoverschot van 300 mm per jaar en een maximaal toelaatbare fosfaatconcentratie die mocht uit- en afspoelen van 0,15 mg totaal-P per liter (MTR-waarde stagnant oppervlaktewater en tevens ook de gemiddelde fosfaachtergrondconcentratie in zandgronden gemeten in het diepe grondwater; TCB, 1995). Na de P-desk-studie is een aantal studies uitgevoerd en gerapporteerd waarbij getracht is de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden te relateren aan de fosfaattoestand van de bodem en voor zover mogelijk ook te meten. De resultaten van deze studies zullen in deze paragraaf kort worden samengevat.

2.3.2.2 Nieuwe ontwikkelingen

In de afgelopen jaren is in verschillende studies aandacht besteed aan het (beter) kwantificeren van de uitspoelingsverliezen uit de bouwvoor in relatie tot de fosfaattoestand van het perceel. Hiervoor zijn drie methoden gebruikt:

- 1) Veldvochtige bodemmonsters worden gecentrifugeerd om bodemvocht te onttrekken. In het bodemvocht worden de concentraties totaal-P en ortho-P gemeten. Daarnaast wordt van het gedroogde bodemmateriaal het P_w-getal van de monsters bepaald (Blaauw *et al.*, 1988). Op basis van de gemeten fosfaatconcentraties zijn uitspoelingsverliezen berekend met behulp van forfaitaire neerslagoverschotten (300 mm).
- 2) Op basis van gemeten sorptiekarakteristieken van de bodem zijn (ortho-)P-concentraties berekend als functie van de geadsorbeerde hoeveelheid P. Op deze manier kan dus de ortho-P-concentratie in de bouwvoor berekend worden als functie van de P-toestand (P_w-getal). De totale P-concentratie in de bouwvoor wordt geschat op basis van een verhouding ortho-P/totaal-P van 0.67. De geschatte totale fosfaatconcentraties kunnen direct gerelateerd worden aan de milieukwaliteitsdoelstellingen voor grond- en oppervlaktewater of kunnen met behulp van (forfaitaire) neerslagoverschotten omgerekend worden naar uitspoelingsverliezen (Schoumans, 1998; Ehlert & De Willigen, 1999).
- 3) Op basis van monitoring van de fosfaatconcentraties in de bodemoplossing en lokaal gevalideerde hydrologische modellen kan een accurate schatting gemaakt worden van de actuele uitspoelingsverliezen op monitoring-locaties (Hens & Schoumans, 1999; Van der Salm & Schoumans, 2000).

Daarnaast is op een kleilocatie (Andelst) naar een specifiek probleem van uitspoeling gekeken, namelijk naar nutriëntverliezen als gevolg van preferent transport. Deze resultaten worden momenteel verwerkt en samengevat. Uit een eerdere studie, waar alleen onderzoek is verricht naar de gevolgen voor de bromide- en stikstofuitspoeling (zie par. 2.2), is reeds duidelijk geworden dat preferent transport van deze mobiele stoffen een duidelijk effect heeft op de uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Uit een literatuuronderzoek (Chardon & Van Faassen, 1999) blijkt dat in buitenlands onderzoek preferent transport in veel gevallen als verklaring wordt genoemd voor hoge fosfaatgehalten in drainwater, waarbij de ondergrond een hoge vastleggingscapaciteit heeft en nauwelijks uitspoeling verwacht wordt. Omdat het overgrote deel van het toegediende fosfaat relatief sterk door de bodem wordt vastgelegd, is vooralsnog onduidelijk wat de bijdrage van preferentie aan de totale fosfaatuitspoeling zal zijn (zowel naar het grondwater als oppervlaktewater). Wel wordt verwacht dat als gevolg van preferent transport tijdelijk zeer lokaal in een perceel de fosfaatconcentratie in het bovenste grondwater sterk kan toenemen. Voor de uitspoeling naar het oppervlaktewater wordt verwacht dat het effect beduidend lager zal zijn, omdat preferente banen in de met (permanent) waterverzadigde zone ontbreken, waardoor met name anorganisch fosfaat alsnog grotendeels zal worden vastgelegd. De hoeveelheid organische fosfaatuitspoeling kan echter wel toenemen. Daarnaast geldt dat door preferent transport de fosfaatophoping in de ondergrond sneller zal toenemen dan bij uitsluitend 'homogeen fosfaattransport' door de bodem.

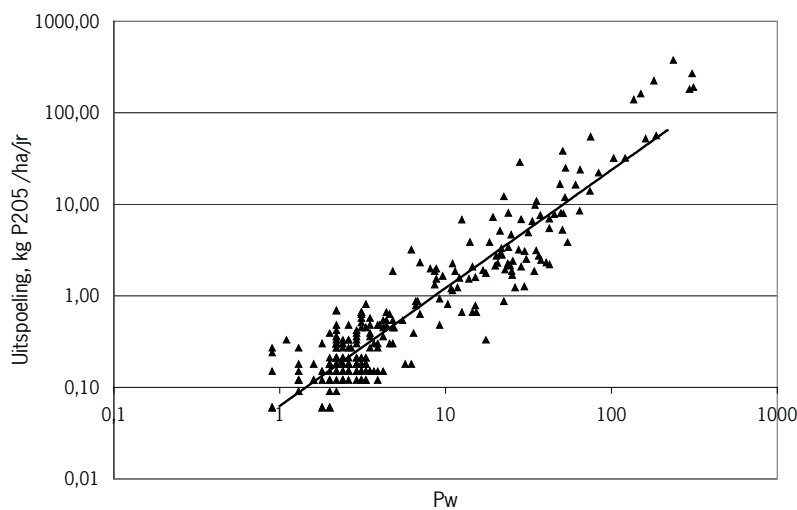
2.3.2.3 Resultaten

De eerste methode is toegepast voor 41 bodemprofielen waarvan zes tot negen bodemlagen werden bemonsterd (Blaauw *et al.* 1988). De profielen lagen op klei-, zand-, löss- en veengrond. In totaal werden hieruit 284 veldvochtige monsters genomen. De tweede methode is gebruikt om de fosfaatuitspoelingsverliezen op het proefbedrijf De Marke (zand) in te schatten (Schoumans, 1998) en om de milieukundig acceptabele Pw waarden te berekenen voor zeven zand- en kleigronden (Van Noordwijk *et al.*, 1990; Ehlert & De Willigen, 1999). De derde methode is gebruikt om de uitspoelingsverliezen op vier (melkvee) proefbedrijven (2 zand, 1 klei en 1 veen) gedurende de periode 1997-1999 te bepalen bij fosfaatoverschotten variërend tussen 0 en 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ (Van der Salm & Schoumans, 2000).

Op basis van de gegevens van de 41 bemonsterde bodemprofielen werd een relatie tussen Pw en de totale P-concentratie vastgesteld (Chardon & Van Faassen, 1999). In Figuur 2.3.2.1 is dit verband weergegeven, waarbij P-totaal in bodemvocht (mg P₂O₅ L⁻¹) is omgerekend naar uitspoeling, uitgedrukt in kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹, bij een neerslagoverschot van 300 mm. Het gemiddelde verband voor deze dataset is:

$$P\text{-uitspoeling} = 0,0623 * Pw^{1,29}$$

Met dit verband wordt voor de Pw-range 21-30 een uitspoeling berekend van 3,2-5,0 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹.



Figuur 2.3.2.1. Verband tussen Pw en P-uitspoeling voor monsters van 41 bodemprofielen.

Een overzicht van de geschatte uitspoelingsverliezen vanuit de bouwvoor op zeven bouwlandpercelen en op de vier monitoring-locaties op grasland wordt gegeven in Tabel 2.3.2.1. De uitspoelingsverliezen varieerden tussen 0,9 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op kleigrond met een lage gemiddelde Pw van de bouwvoor tot 13,5 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op een kleigrond met een hoge Pw. Uit de dataset van de monitoring-locaties blijkt dat de uitspoelingsverliezen gedurende de drie meetjaren nauwelijks beïnvloed worden door de actuele fosfaatoverschotten (zie ook Figuur 2.3.3.1) maar vooral afhankelijk zijn van de fosfaattoestand in de diepere lagen (20-30 cm) van de bouwvoor. De gemiddelde fosfaatuitspoeling, gedurende de periode 1997-1999, kon dan ook beschreven worden middels de volgende regressievergelijking ($R^2_{adj} = 0,68$):

$$P_{uitsp} = -0,04 + 0,25Pw \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1} P_2O_5 \quad (1)$$

waarbij P_{uitsp} de gemiddelde fosfaat-uitspoelingflux ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$) is en Pw de gemiddelde Pw-getal van de bodemlaag van 20–30 cm. De Pw in deze laag varieerde tussen 2 en 30; een toepassing van de bovengenoemde relatie op gronden met een veel hogere Pw is niet aan te bevelen. Door sterke verschillen in de fosfaatverdeling over de bouwvoor (0-30 cm) op de onderzochte locaties was de fosfaat-uitspoeling veel minder goed gecorreleerd met de gemiddelde Pw van de bouwvoor ($R_{adj}^2 = 0,22$) zoals gegeven in Tabel 2.3.2.1. Verder blijkt dat de bijdrage van organisch-P tot de totale P-uitspoeling sterk kan fluctueren en dat uit de dataset nog niet blijkt door welke factoren dit wordt verklaard (niet hier weergegeven).

De hieronder gepresenteerde P-verliezen geven een inschatting van de potentiële verliezen naar grond- en oppervlaktewater bij de gegeven P-toestand. Bij de berekeningen is namelijk geen rekening gehouden met de eventuele vastlegging van fosfaat in de bodem tussen bouwvoor en (het gemiddeld hoogste) grondwaterniveau. Hierdoor zal in de meeste gevallen de huidige belasting van grond- en oppervlaktewater lager zijn. Daarnaast is bij methoden 1 en 2 geen rekening gehouden met de verdeling van fosfaat over de bouwvoor. Een sterke afname van het fosfaatgehalte met de diepte zal in natte systemen leiden tot een hogere P-uitspoeling en in droge systemen tot een lagere P-uitspoeling dan aangegeven in Tabel 2.3.2.1.

Tabel 2.3.2.1. *Huidige uitspoelingsverliezen op een aantal bouwland- en graspercelen*

Locatie	Landgebruik	Grondsoort	Pw-getal ¹ ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$)	Uitspoeling	Neerslag- overschot ²	Gem. tot. P. conc.
				($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$)	(mm)	(mg l^{-1})
De Marke ³	Bouwland	Zand	38	2,7	300	0,40
Horst ⁴	Bouwland	Zand	35	2,3	300	0,40
Lelystad ⁴	Bouwland	Klei	18	1,9	300	0,50
	Bouwland	Klei	92	13,5	300	2,94
Meterikse Veld ⁴	Bouwland	Zand	70	10,5	300	2,28
Valthermond ⁴	Bouwland	Dalgrond	61	6,9	300	1,51
Westmaas ⁴	Bouwland	Klei	27	2,1	300	0,46
Zwaagdijk ⁴	Bouwland	Klei	21	1,4	300	0,30
Cranendock ⁵	Gras	Zand	28	5,8	207	1,23
Heino ⁵	Gras	Zand	29	8,4	161	2,27
Waaiboer-hoeve ⁵	Gras	Klei	20	0,9	187	0,21
Zegveld ⁵	Gras	Veen	13	4,8	266	0,78

¹ Gemiddelde Pw van de bouwvoor (20 cm voor De Marke en 30 cm voor de overige locaties).

² Forfaitaire neerslagoverschot voor De Marke en gesimuleerde neerslagoverschotten voor de overige locaties.

³ Schoumans, 1995.

⁴ Ehlert & De Willigen., 1999.

⁵ Van der Salm & Schoumans, 2000.

Op basis van de sorptiekarakteristieken (methode 2) of op basis van de op de monitoring-locaties verkregen regressierelatie (vgl. 1) kunnen eveneens schattingen worden gemaakt van de kritische waarde van de fosfaattoestand van de bouwvoor waarbij de milieukwaliteitsdoelstellingen ook op lange termijn niet zullen worden overschreden (Tabel 2.3.2.2)

Uit Tabel 2.3.2.2 blijkt dat bij een voldoende fosfaattoestand (Pw: 21-30) de meeste zandgronden kunnen voldoen aan de milieudoelstellingen voor het bovenste grondwater; aan de milieudoelstellingen voor het oppervlaktewater kan echter meestal pas voldaan worden bij een zeer lage fosfaattoestand.

Tabel 2.3.2.2. Kritische waarde voor de fosfaattoestand (Pw-getal).

Locatie	Grondsoort	Milieudoelstellingen (mg P/l)		
		0,15 ¹	0,4 ²	3,0 ³
De Marke ⁴	Zand	11	38	
Horst ⁵	Zand	15	38	
Lelystad ⁵	Klei	5	14	72
Meterikse Veld ⁵	Zand	8	18	
Valthermond ⁵	Dalgrond	6	20	
Westmaas ⁵	Klei	10	28	114
Zwaagdijk ⁵	Klei	12	30	105
Cranendonck ⁶	Zand	8	10	-
Heino ⁶	Zand	8	9	-
Waaiboerhoeve ⁶	Klei	8	10	40
Zegveld ⁶	Veen	9	11	-

¹ Norm voor oppervlaktewater en norm die gehanteerd is in het protocol fosfaatverzadigde zandgronden: 0,15 mg totaal P/l

² Norm voor bovenste grondwater in zandgebieden: 0,4 mg totaal P/l

³ Norm voor bovenste grondwater in kleigebieden: 3,0 mg totaal P/l

⁴ Schoumans, 1995

⁵ Ehlert & De Willigen, 1999

⁶ Van der Salm & Schoumans, 2000

2.3.2.4 Conclusies

Uit een recent opgestart oriënterend onderzoek naar het kwantificeren van de fosfaatuitspoelingsverliezen uit de bouwvoor op een viertal onderzoekslocaties (1 kleigrond, 1 veengronden en 2 zandgronden) blijkt dat het beoogde maximaal toelaatbare (acceptabele) fosfaatverlies van 1 kg P₂O₅ per ha per jaar niet gerealiseerd kan worden bij een landbouwkundig voldoende fosfaattoestand van de bouwvoor. Deze resultaten komen overeen met de resultaten die verkregen worden met methoden waarbij de bodemvruchtbaarheidstoestand van de bodem voor fosfaat (Pw-getal) zijn gerelateerd met de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing en de daaruit berekende verliezen. Verwacht wordt dat de uitspoelingsverliezen van fosfaat uit de bouwvoor in de meeste gevallen lager zijn dan 6 kg P₂O₅ per ha per jaar uitgaande van een fosfaattoestand van voldoende (Pw-getal variërend van 21 tot 30).

2.3.2.5 Resterende onderzoeksvragen

- Monitoring van de lange-termijn effecten van verschillende fosfaatverliesnormen op bodemvruchtbaarheid, de verliezen uit de bouwvoor en de actuele belasting van grond- en oppervlaktewater.
- Aanleggen van extra onderzoekslocaties waar middels extensieve metingen trends- en verschuivingen in P-toestand en P-uitspoeling kunnen worden gemonitord.
- Vergroten van het inzicht in het gedrag van organisch P en de verhouding ortho-P/organisch P in de bodemoplossing.
- Vaststellen van de lange-termijn effecten van veranderingen in bemestingstrategie (meer dierlijke mest minder kunstmest) op de bodemtoestand, de vastlegging van fosfaat en de daaruit voortvloeiende verliezen.

Literatuur

- Blaauw, D., H.A. Sissingh & W.J. Chardon, 1988.
Verdeling van fosfaat in bodemprofielen in Nederland. IB intern rapport, 25 pp.
- Chardon, W.J. & H.G. van Faassen, 1999.
Soil indicators for critical source areas of phosphorus leaching. Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek Deel 22, Wageningen.
- Ehlert, P.A.I. & P. de Willigen, 1999.
De relatie tussen de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroenten en de fosfaattoestand in de bodem. In: P.H.M. Dekker (red.) Naar maatwerk in bemesting. Themadag van het Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, Hoofdstuk 3.
- Hens, M. & O.F. Schoumans, 1999.
Cost technical report. COST 832: Methodologies for estimating the agricultural contribution to eutrophication. Working Group 2: Phosphorus Losses at Field Scale. Topic 1: The role of Soil Processes. Synthesis of Actions.
- Oenema, O. & T. van Dijk (red.), 1995.
Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project Verliesnormen, deelrapport 1. Min. LNV, VROM, V&W, Landbouwschap, Centrale Landbouworganisaties. 102 pp.
- Schoumans, O.F., 1998a.
Gevolgen van lagere verliesnormen op het verloop van de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, O.F. Schoumans & F.C. van der Schans (red.), Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. De Marke verslag 22, pp. 47-63.
- Van der Salm, C. & O.F. Schoumans, 2000.
Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Alterra report 83. In prep.
- Van Noordwijk, M., P. de Willigen, P.A.I. Ehlert & W.J. Chardon, 1990.
A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. Netherlands Journal of Agricultural Science 38: 317-332.

2.3.3 Fosfaatbalans in landbouwgronden

2.3.3.1 Inleiding

In het kader van de toenmalige P-desk-studie (Oenema & Van Dijk, 1995) zijn onvermijdbare landbouwkundige verliezen berekend met behulp van statistische technieken en simulatiemodellen. Uit verkenningen in de praktijk en uit statistische analyse van beschikbare gegevens op bedrijfsniveau kwam toen naar voren dat voor het handhaven van een landbouwkundig gewenste fosfaattoestand fosfaatoverschotten van 35-70 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ noodzakelijk zijn. Analyse van perceelsgegevens en (voorlopige) modelberekeningen leidden tot iets lagere overschotten (25-50 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹). Tussen de bovengenoemde landbouwkundig onvermijdbare verliezen en de milieukundig acceptabele verliezen (circa 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹) bestaat een grote kloof. Sinds de P-desk-studie is dan ook extra aandacht besteed aan het sluitend krijgen van de fosfaatbalans op perceelsschaal. Naast het analyseren van de P-aan- en -afvoer-cijfers en de P-omzettingen in de bodemvoorraden is specifieke aandacht besteed aan (i) het beter onderbouwen van de landbouwkundig onvermijdbare verliezen en (ii) het analyseren van de effecten van lagere P-overschotten op verschuivingen in deze P-balans.

2.3.3.2 Fosfaatbalans

Het deel van de fosfaatgift dat niet door het gewas wordt opgenomen (en afgevoerd) blijft achter in de bouwvoor. Over het algemeen zal een beperkt deel hiervan uitspoelen, terwijl het overgrote deel zal worden vastgelegd:

$$P_{overschot} = P_{gift} - P_{afvoer} = P_{uit/afspoeling} + P_{vastlegging} \quad (1)$$

Fosfaat kan in de bodem worden vastgelegd door adsorptie (vastlegging in een voor de plant beschikbare fosfaatvorm), fixatie van fosfaat (vastlegging in een zeer slecht beschikbare vorm, bijv. diffusieprecipitatie of zeer slecht oplosbare precipitatievormen) en netto immobilisatie van P (vastlegging in zeer slecht afbreekbare organische vorm).

$$P_{vastlegging} = P_{adsorptie} + P_{fixatie} + P_{immobilisatie} \quad (2)$$

Hieruit blijkt dat ten alle tijde een fosfaatoverschot noodzakelijk is om de fosfaattoestand van de bodem op peil te houden. Zelfs als er geen adsorptie, fixatie of netto-immobilisatie optreedt (steady state in de bodem) zal de hoeveelheid fosfaat die uitspoelt gecompenseerd moeten worden (zie vgl. 1).

Met het *landbouwkundig onvermijdbare fosfaatverlies* wordt het fosfaatoverschot bedoeld dat noodzakelijk is om de fosfaatvastlegging van de bouwvoor én de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor te compenseren (bij een bepaalde fosfaattoestand van de bouwvoor). Dit P-overschot staat in feite links van het = teken in vgl. 1.

In de vorige paragraaf is reeds aangegeven welke relaties er bestaan tussen de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor. In deze paragraaf zal dan ook het accent worden gelegd op het kwantificeren van de landbouwkundige fosfaatverliezen, zijnde het fosfaatoverschot op perceelsniveau en de grootte van de P-vastlegging in de bodem.

2.3.3.3 Landbouwkundig onvermijdbare fosfaatverliezen

In de afgelopen jaren is in verschillende studies aandacht besteed aan het (beter) kwantificeren van de landbouwkundig onvermijdbare fosfaatverliezen in relatie tot de fosfaattoestand van het perceel. Hiervoor zijn twee methoden gebruikt, namelijk een regressie-analyse tussen gemeten P-overschotten en gemeten veranderingen in het Pw-getal (Schoumans, 1998; Ehlert & De Willigen, 1996) of op basis van modelvalidatie op beschikbare gedetailleerde datasets (Van der Salm & Schoumans, 2000).

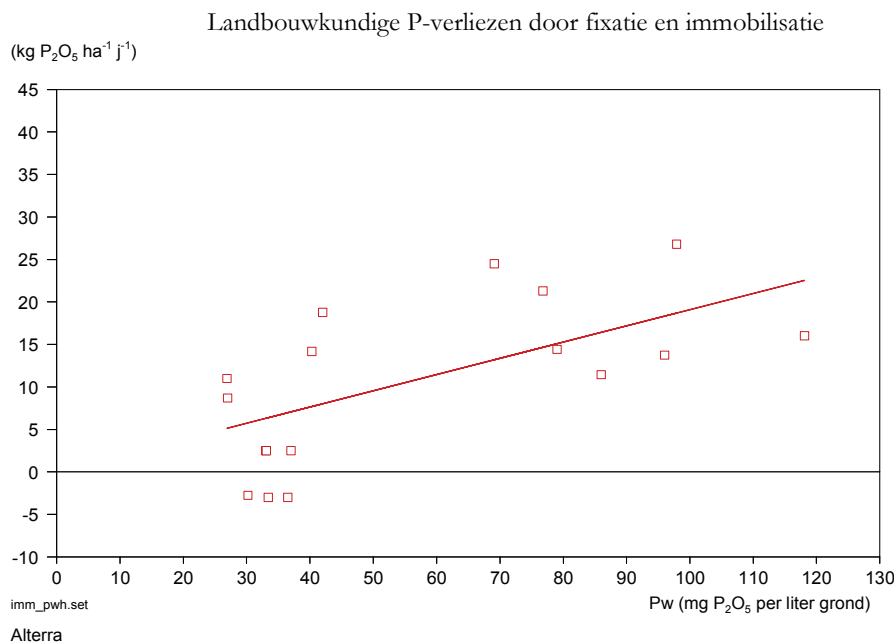
Uit de analyse van het verloop van het Pw- en P-AL-getal op De Marke over de periode 1989 tot en met 1997 (5 meetjaren 1989, 1994-1997) blijkt dat deze fosfaatparameters in de loop van de tijd sterk kunnen fluctueren (Schoumans, 1998a). Na de aanleg van het proefbedrijf in 1989 wordt in 1994 een sterke daling van de fosfaattoestand waargenomen. Daarna is jaarlijks bemonsterd en is het verloop in P-toestand nog maar gering. Om de vrij scherpe daling vanaf 1989 naar het niveau van 1994 goed te voorspellen moeten voor sommige percelen/proefblokken aanzienlijke landbouwkundige verliezen aangenomen worden. Het fosfaatverlies door fixatie en immobilisatie tezamen varieert van 4,8 tot 26,8 kg P₂O₅ per ha per jaar (-2,1 tot 11,7 kg P per ha per jaar). De hoogte van de verliezen wordt sterk bepaald door de bodemvruchtbaarheidstoestand (gemeten Pw-traject 30-123 en PAL-traject 50-121) en de gewasrotatie van het perceel (permanent grasland of wisselbouw). De berekende resultaten van de fosfaatvastlegging van de bouwvoor op percelen of blokken met wisselteelt zijn weergegeven in Figuur 2.3.3.1.

De schatting van de uitspoelingsverliezen uit de bouwvoor van deze percelen op De Marke varieert van 0,9 tot 22,3 kg P₂O₅ per ha per jaar (0,4 tot 10 kg P per ha; bij resp. een lage tot een zeer hoge P-

toestand), zodat de landbouwkundig onvermijdbare fosfaatverliezen ruwweg variëren van -2,6 tot 50,4 kg P₂O₅ per ha per jaar (-2 tot 22 kg P per ha per jaar; fosfaatvastlegging en uitspoeling tezamen).

Over het algemeen blijkt dat de landbouwkundige P-verliezen op blijvend grasland beduidend hoger liggen dan voor wisselbouwpercelen wordt berekend. Dit wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt doordat op percelen met permanent grasland een groot deel van de dierlijke mest op slechts een beperkt deel van het perceel terecht komt (5% van het oppervlak komt in aanraking met mestflatten). Bij de berekeningen die zijn uitgevoerd is tevens een homogene bemesting van het gehele perceel verondersteld. Deze aanname kan gemaakt worden indien er sprake is van een groot aantal meetjaren (bemestingseffect middelt zich in de loop van de tijd uit). Bij de Marke is hiervan vooralsnog in beperkte mate sprake. Een tweede (mede) oorzaak kan zijn dat bij de aanleg van de percelen (blokken) met blijvend grasland opnieuw zijn ingezaaid, waardoor de eerste jaren meer fosfaat is geïmmobiliseerd als gevolg van de ontwikkeling van een zeer dicht wortelstelsel. Voor de percelen met de laagste fosfaattoestand (Pw tussen 30 en 40, dat wil zeggen een fosfaattoestand van ruim voldoende) variëren de verliezen door fixatie en immobilisatie nagenoeg altijd van 2,6 tot 9,2 kg P₂O₅ per ha per jaar (-2 tot 4 kg P per ha per jaar). De geschatte fosfaatverliezen uit de bouwvoor als gevolg van uitspoeling naar diepere lagen wordt geschat op circa 4,6 kg P₂O₅ per ha per jaar (2 kg P per ha per jaar) in deze situatie. Op grond hiervan wordt verwacht dat de onvermijdbare fosfaatverliezen beneden de 14 kg P₂O₅ per ha per jaar zullen liggen (6 kg P per ha per jaar). Het is aannemelijk dat deze verliezen lager zullen zijn bij lagere fosfaattoestanden.

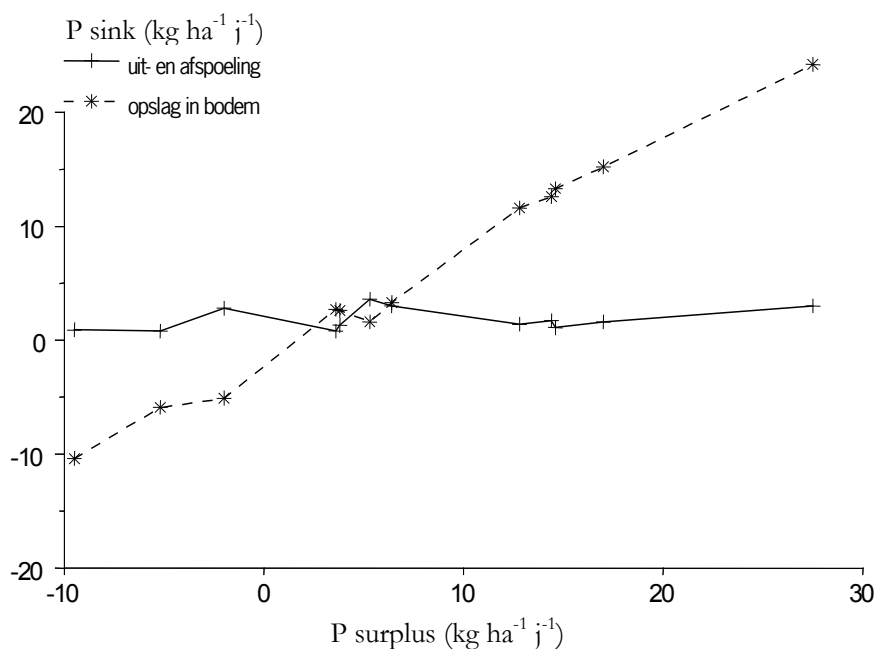
Tot slot wordt opgemerkt dat de onvermijdbare fosfaatverliezen op De Marke beduidend lager uitvallen, indien alleen de laatste 4 jaar in de analyse worden betrokken. In dat geval blijkt het verlies niet gerelateerd te zijn aan de fosfaattoestand van de bodem. Het gemiddelde jaarlijkse verlies door fosfaatvastlegging in de bouwvoor bedraagt dan $0,7 (\pm 14,4)$ kg P₂O₅ ha⁻¹ ($= 0,3 \pm 6,3$ kg P ha⁻¹) voor wisselteelt en $8,7 (\pm 10,5)$ kg P₂O₅ ha⁻¹ ($= 3,8 \pm 4,6$ kg P ha⁻¹) voor permanent grasland.



Figuur 2.3.3.1. Relatie tussen het Pw-getal en de fosfaatvastlegging zoals afgeleid uit de fosfaatmetingen van een aantal percelen met wisselteelt op proefbedrijf De Marke. Bron: Schoumans, 1998.

Voor de vier monitoringlocaties is met behulp van het model ANIMO een eerste verwachte verandering in Pw (geadsorbeerd fosfaat) en opslag van fosfaat door fixatie en immobilisatie berekend. Het voordeel hiervan is dat door deze berekeningen trends in P-toestand eerder kunnen worden gesignaleerd doordat effecten van analyse en meetfouten niet van invloed zijn op de berekende verliezen. De berekeningen zijn gevalideerd op de gemeten uitspoelingsverliezen op de vier (gras)onderzoeklocaties (zie Tabel 2.3.2.1). Hieruit bleek dat het model de verliezen (en dus ook de totale opslag) van fosfaat goed voorspelt, m.u.v. de veenlocatie, waar de gesimuleerde uitspoeling beduidend lager is dan de gemeten verliezen. Het model voorspelt dat met name bij de hogere P-overschotten de hoeveelheid organisch P en gefixeerd P zullen toenemen. Deze gesimuleerde verliezen door fixatie en immobilisatie konden niet worden gevalideerd op metingen op de vier onderzoeklocaties, omdat (nog) geen significante veranderingen in deze pools konden worden vastgesteld. De simulatieresultaten geven aan dat bij een fosfaatoverschot van minder dan $11 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ een daling in de hoeveelheid geadsorbeerd P mag worden verwacht. Bij deze overschotten vindt echter nog wel opslag van fosfaat plaats in met name organische vorm (Figuur 2.3.3.2). Deze cijfers komen redelijk overeen met de geconstateerde verandering in P-AL, waar bij een overschot van meer dan $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ een stijging in P-AL werd gevonden. Bij fosfaatoverschotten van minder dan $4,0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ werd een daling in zowel de geadsorbeerde hoeveelheid P als de hoeveelheid fosfaat in organische vorm berekend.

Uit de studie van Ehlert & De Willigen (1999) blijkt dat de relatie tussen het Pw-getal en de totale hoeveelheid voor het gewas beschikbaar P sterk afhankelijk is van de bodemfysische en bodemchemische eigenschappen van de grond. Zo blijkt dat in het Pw-traject van 0-45 ($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond) een komkleigrond beduidend meer beschikbaar fosfaat bezit dan een duinzandgrond, resp. $275\text{-}1260 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ en $4,6\text{-}412 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Dit kan verklaard worden uit de bodemchemische beschrijving van het Pw-getal (par. 2.3.1), namelijk dat het Pw-getal mede bepaald wordt door de fosfaatbindingscapaciteit van de bodem (bijv. Al- en Fe-gehalte). Ook in deze studie wordt aangegeven dat met name



Figuur 2.3.3.2. Gemiddelde uitspoeling en opslag van P (1997-1998) op de vier graslandlocaties als functie van het P-overschot Bron: Van der Salm en Schoumans, 2000.

de bodemeigenschappen uiteindelijk zullen bepalen wat het lot van een fosfaatgift(overschot) in de bodem zal zijn, gegeven een bepaald Pw-getal. Bij een gelijk Pw-getal zal te allen tijde een komklei meer fosfaat vastleggen dan een duinzandgrond, waardoor ook de fosfaatverliezen die uit de bouwvoor uitspoelen bij een duinzandgrond groter zullen zijn. De vorm waarin het fosfaat in de bodem wordt opge-

slagen is afhankelijk van o.a. de vorm waarin de fosfaatgift plaatsvindt (o.a. verhouding kunstmest-dierlijke mest). Invoering van MINAS heeft geleid tot een gereduceerd gebruik van met name minerale meststoffen. Fosfaat uit organische meststoffen en organische bodemverbeterende middelen vormen de belangrijkste bron. Door het gebruik van deze meststoffen zullen op termijn de chemische en fysische eigenschappen van de bodem veranderen.

2.3.3.4 Conclusies

Uit het verloop van het Pw- en P-AL-getal van percelen en de berekende fosfaatoverschotten van de betreffende percelen kan een indruk verkregen worden van het fosfaatoverschot dat noodzakelijk is om de onvermijdbare fosfaatverliezen te compenseren, zodat de bodemvruchtbaarheidstoestand van het perceel op peil blijft. Uit de analyse van de fosfaatcijfers van de verschillende percelen van bedrijf De Marke blijkt dat, ongeacht de fosfaattoestand van de bouwvoor, ruwweg $0,7 (\pm 14,4) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ voor wisselteelt en $8,7 (\pm 10,5) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ voor permanent grasland nodig is om de fosfaattoestand in de periode 1994-1997 (vier meetjaren) op peil te houden als gevolg van fosfaatvastlegging in de bodem (dus excl. uitspoelingsverliezen). Indien ook het eerste meetjaar (1989; data vlak na inrichting van De Marke) in beschouwing wordt genomen (tussenliggende jaren ontbreken), dan blijkt dat het overschot om de fosfaatvastlegging te compenseren hoger is naarmate de bodemvruchtbaarheidstoestand hoger is. Bij een fosfaattoestand van ruim voldoende wordt een fosfaatvastlegging berekend van $14 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ per ha per jaar. Bij de fosfaattoestand 'voldoende' zullen deze verliezen dus lager liggen. Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat veeljarige meetreeksen nodig zijn, voor een goede onderbouwing van het fosfaatoverschot voor verschillende teelten.

Uit recent gestart monitoringsonderzoek op vier graslandlocaties (1 kleigrond, 1 veengrond en 2 zandgronden) worden P overschotten van $11 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ per ha noodzakelijk geacht om de P-vastlegging en uitspoelingsverliezen te compenseren. Door de grote hoeveelheden fosfaat die in de verschillende fosfaatpools (organisch, geadsorbeerd, gefixeerd) van de bodem aanwezig zijn, kon nog niet worden vastgesteld in welke fosfaatpool het fosfaat grotendeels verdwijnt (te geringe verschillen). Het is van groot belang om dergelijk meetreeksen te verlengen teneinde in de praktijk vast te stellen in welke vorm het fosfaat wordt vastgelegd. Dit omdat uiteindelijk het lange-termijn effect van de beoogde fosfaatverliesnorm hierdoor sterk wordt beïnvloed.

2.3.3.5 Resterende onderzoeksvragen

- In detail monitoren van de lange-termijn effecten van verschillende fosfaatverliesnormen op het verloop van de fosfaatpools in de bodem en de beschikbaarheid voor het gewas. Het betreft hier het continueren van lopend onderzoek met als belangrijkste doel vast te stellen in welke vorm het fosfaat op termijn wordt vastgelegd (organische vastlegging in humus of anorganisch chemische fosfaatfixatie).
- Het jaarlijks meten van de relevante fosfaatpools (uitspoelbaar P, beschikbaar P, geadsorbeerd P, gefixeerd P, organisch P) op een groot aantal locaties (verschillende combinaties van grondsoorten en rotaties), waaruit trends kunnen worden afgeleid zodat op basis daarvan voor een groot aantal situaties (grondsoort/gewas) de hoogte van de fosfaatverliesnorm kan worden vastgesteld. Dit om de bandbreedte van de uitspraken en betrouwbaarheid ten aanzien van onvermijdbare landbouwkundige en milieukundige fosfaatverliezen te kunnen vergroten.
- Kwantificering van effecten van - gewijzigd - fosfaatgebruik en -vorm op de beschikbaarheid van fosfaat in verschillende grondsoorten voor het gewas (zoals bloembollen, vollegrondsgroenteteelt, akkerbouwgewassen).

Literatuur

Ehlert, P.A.I. & P. de Willigen, 1999.

De relatie tussen de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroenten en de fosfaattoestand in de bodem. In: P.H.M. Dekker (red.). Naar maatwerk in bemesting. Themadag van het Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, Hoofdstuk 3.

Ehlert, P.A.I., S.L.G.E. Burgers & J.W. Steenhuizen, 1996.

Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in grond onder invloed van bemesting. Observatieel statistisch onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. AB-DLO Rapport 51, AB-DLO, Wageningen/Haren.

Oenema, O. & T. van Dijk (red.), 1995.

Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project Verliesnormen, deelrapport 1. Min. LNV, VROM, V&W, Landbouwschap, Centrale Landbouworganisaties, 102 pp.

Schoumans, O.F., 1998.

Gevolgen van lagere verliesnormen op het verloop van de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, O.F. Schoumans & F.C. van der Schans (red.), Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. De Marke verslag 22, pp. 47-63.

Van der Salm, C. & O.F. Schoumans, 2000.

Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Alterra report. In prep.

Van Noordwijk, M., P. de Willigen, P.A.I. Ehlert & W.J. Chardon, 1990.

A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. Netherlands Journal of Agricultural Science 38: 317-332.

Schils, R.L.M. & J. van Middelkoop, 2000.

Fosfaatevenwichtsbemesting op grasland; na twee jaar nog geen effect. Praktijkonderzoek 13-1.

2.3.4 Fosfaatverzadigde gronden

2.3.4.1 Inleiding

Het onderzoek dat in het verleden is uitgevoerd aan fosfaatverzadigde gronden heeft belangrijke inzichten opgeleverd in het risico van voortdurende belasting van de bodem met fosfaat. Het bereiken van de kritische grens van 25% van de totale vastleggingscapaciteit van de bodem, waarbij deze 'fosfaatverzadigd' wordt genoemd, is bedoeld om risico's op lange termijn van fosfaatuitspoeling uit te sluiten (kans op verhoogde fosfaatuitspoeling). In het TCB-advies (1990) aan de minister werd voorgesteld om op fosfaatverzadigde gronden de aanvoer niet groter te laten zijn dan de afvoer. Berekeningen uitgevoerd door het voormalige Staring Centrum (Reijerink & Breeuwsma, 1992) gaven aan dat alleen al in het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied, het areaal dat fosfaatverzadigd is circa 400.000 ha omvat, en opvolgen van het genoemde TCB-advies zou hebben geleid tot een zeer groot landelijk mestoverschot. Mede om deze reden is voor fosfaatverzadigde gronden geen aparte regelgeving ingevoerd.

Een belangrijk aandachtspunt is het feit dat vooralsnog de gehele problematiek van fosfaatverzadigde gronden gericht is op de zandgronden in de mestoverschotgebieden. Zoals reeds eerder is aangegeven, is er geen kritische fosfaatverzadigingsgraad vastgesteld voor de overige grondsoorten in Nederland, terwijl inmiddels duidelijk is dat overal problemen verwacht kunnen worden. Alvorens dan ook generiek beleid kan worden ontwikkeld op basis van fosfaatverzadigingsgraad, dient duidelijkheid verkregen te worden omtrent de hoogte van de kritische fosfaatverzadigingsgraad voor de overige grondsoorten die in Nederland voorkomen. Alleen dan kan langs deze weg gericht worden gestuurd op fosfaat om die reductiedoelstellingen te bereiken die verwacht worden.

De huidige MINAS-regelgeving is gebaseerd op: toegestane bemesting = onttrekking plus (grond-onafhankelijk) onvermijdbaar verlies. Dit impliceert dat ook aan percelen waar bemesting geen landbouwkundige betekenis meer heeft (P-toestand ruim voldoende of hoog), of waar reeds aantoonbaar P-uitspoeling optreedt, meer mag worden toegediend dan de netto fosfaatonttrekking door het gewas. Dit houdt in dat op termijn de situatie verder zal verergeren. Vanuit een milieukundig oogpunt is het dan ook wenselijk dat toekomstige regelgeving op dit punt zal worden aangepast. De aanpassing zou kunnen inhouden dat voor fosfaatverzadigde percelen een lagere, mogelijk zelfs negatieve, verliesnorm wordt ingevoerd. Dit komt in de praktijk in veel gevallen neer op het daadwerkelijk aanhouden van het bemestingsadvies, zijnde het sterk verminderen, tot zelfs achterwege laten, van de fosfaatgiften bij een hogere fosfaattoestand van de bodem.

Voor het aanwijzen van dergelijke percelen zou het hanteren van het begrip 'fosfaatverzadiging' en de daarvoor voorgestelde methode praktische bezwaren kunnen hebben. Dit vanwege het feit dat de definitie van een fosfaatverzadigde grond, in verband met het uitspoelingsvraagstuk, gerelateerd is aan de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, welke in veel gevallen niet perceelsgebonden bekend is, maar ruwweg ingeschat moet worden aan de hand van kaartbladen. Daarbij komt dat de bepaling relatief kostbaar is en de definitie van een fosfaatverzadigde grond uitsluitend voor kalkloze zandgronden (dekzanden) is vastgesteld (Van der Zee *et al.*, 1990 a en b). Een laatste niet onbelangrijk argument is dat de fosfaatverzadigingswaarde van een perceel een agrariër feitelijk niet veel zegt, waardoor de acceptatiegraad in de praktijk ook beperkt zal zijn. Juist om deze laatste reden is reeds in 1991 getracht de relatie te leggen tussen de definitie van een fosfaatverzadigde grond en de bodemvruchtbaarheidsparameters die de agrariër voor fosfaat voor het bemestingsadvies gebruikt (Schoumans *et al.*, 1991).

2.3.4.2 Nieuwe ontwikkelingen

In navolging op het werk van Schoumans *et al.* (1991) is ook voor de percelen van het landelijke mestmeetnet nagegaan welke relaties er gevonden worden tussen de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de voor de landbouw gangbare beschikbaarheidsparameters voor fosfaat, namelijk het Pw- en P-AL-getal (Fraters & Boumans, 1997). Uit deze studie bleek dat de beste correlaties worden gevonden voor het Pw-getal. Het Pw-getal geeft tevens een indruk van het makkelijk beschikbare fosfaat voor het gewas, kan volledig beschreven worden uit de bodemchemische reacties en kan ook makkelijk gerelateerd worden met de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing (Schoumans, 1998; Schoumans & Groenendijk, 2000). Om deze redenen is het Pw-getal goed inzetbaar om een indruk te krijgen van de ligging van fosfaatlekkende gronden, waar nu reeds fosfaatverliezen naar het milieu optreden (Chardon & Van Faassen, 1999). Het Pw-getal geeft dus een beeld van het actuele risico, terwijl de verzadigingsgraad een beeld geeft van het risico op lange termijn.

2.3.4.3 Beleidsoptie

Wanneer Pw- en/of P-AL-getal gecombineerd worden met bestaande bemestingsadviezen dan kan een differentiatie in de verliesnorm worden aangebracht. Wanneer de toestand ruim voldoende is dan kan een fosfaatverliesnorm van 0 worden gehanteerd, zodat de toestand door 'fixatie' en/of immobilisatie (zie 2.3.3) terugkeert naar voldoende. Is de toestand hoog tot zeer hoog dan kan een negatieve verliesnorm worden opgelegd, zodat door 'uitputting' op termijn de toestand voldoende kan worden bereikt. Voor sturing in het traject voldoende zal verfijning moeten worden aangebracht op basis van bodemkenmerken zoals fosfaatbindend vermogen en organische-stofgehalte. Via frequente grondbemonstering en analyse op Pw/P-AL-getal (minimaal eens in 4 of 5 jaar) kunnen de ontwikkelingen worden gevolgd, en kan de fosfaatverliesnorm eventueel worden bijgesteld. Verder wordt in de bemestingsadviezen rekening gehouden met de grondsoort, zodat hierin in beginsel wordt voorzien. Om van Pw- en P-AL-getal gebruik te kunnen maken in toekomstige regelgeving moeten genormaliseerde bepalingvoorschriften beschikbaar zijn voor beide parameters. Door het Nederlands Normalisatie Instituut

(werkgroep Bodemkenmerken) is voor P-AL-getal reeds een normvoorschrift ter commentaar rondgezonden, voor Pw-getal is het voorschrift in een afrondende fase.

2.3.4.4 Conclusies

Om de lanbouwkundige en milieukundige effecten van fosfaatoverschotten, zoals deze in MINAS zijn vastgelegd, op lange termijn aan te kunnen geven, is het van groot belang dat de kritische fosfaatverzadigingsgraad voor alle grondsoorten wordt vastgelegd en de relatie met bodemvruchtbaarheidstoestand kan worden gegeven.

Op korte termijn is de aanpak van fosfaatverzadigde en/of fosfaatlekkende gronden mogelijk via grondbemonstering, gebruikmakend van de gangbare bodemparameter Pw-getal, waarbij verliesnormen worden aangepast voor percelen waarvan de toestand ruim voldoende is of hoog.

2.3.4.5 Resterende onderzoeksvragen

Indien de overheid actief beleid wil voeren voor fosfaatverzadigde gronden en/of gronden met een hoge fosfaattoestand dan is het van belang dat,

- I) Voor het inschatten van lange-termijn risico's, alsnog:
- de kritische fosfaatverzadigingsgraad wordt afgeleid voor de niet-zandgronden en de kalkhoudende zandgronden,
 - de natuurlijke fosfaatachtergrondconcentraties in dergelijke gebieden vastgesteld worden (referentiesituatie)
 - voor alle grondsoorten een relatie wordt afgeleid tussen de (kritische) fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatbeschikbaarheidsparameters,
- II) Wanneer het beleid volledig gebaseerd wordt op Pw, dan is het belangrijk dat:
- nieuwe verliesnormen worden afgeleid voor percelen met een hoge Pw toestand en
 - de actuele fosfaatverliezen uit de bouwvoor worden vastgesteld (monitoring) voor verschillende hoge bodemvruchtbaarheidstoestanden van de bodem en de beoogde verliesnorm.

Literatuur

- Chardon, W.J. & H.G. van Faassen, 1999.
Soil indicators for critical source areas of phosphorus leaching. Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, Deel 22, Wageningen.
- Fraters, B. & L.J.M. Boumans, 1997.
Fosfaatverzadigde gronden: een overzicht. Deel 1: Technische achtergronden bij de aanpak van fosfaatverzadigde gronden. RIVM Bilthoven, rapport nr 716601001.
- Reijerink, J.G.A. & A. Breeuwsma, 1992.
Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 222.
- Schoumans, O.F, 1998.
Gevolgen van lagere verliesnormen op het verloop van de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, O.F. Schoumans & F.C. van der Schans (red.). Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. De Marke verslag 22, pp. 47-63.
- 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.

Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse & R. Zwijnen, 1991.

De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 112.

TCB, 1990.

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

Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990a.

Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, Landbouwniversiteit Wageningen.

Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990b.

Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, Landbouwniversiteit Wageningen.

2.4. Effecten van de bedrijfsinrichting en management op perceels- en bedrijfsoverschot

J.J. Schröder, W.J. Corré, M. Smits, F. Verstraten, R. Schils & P.H.M. Dekker

2.4.1 Inleiding en leeswijzer

De navolgende paragrafen gaan in op de effecten van de bedrijfsinrichting en -management op perceels- en bedrijfsoverschot. Het accent ligt daarbij in hoge mate op stikstof (N). Hierbij zal het dagelijkse spraakgebruik waarbij ook N onterecht een mineraal wordt genoemd, worden gevolgd. De volgende paragrafen beginnen met een opsomming van de tekorten aan kennis zoals die in 1995 bij het verschijnen van de toenmalige desk-studies zijn geconstateerd (paragraaf 2.4.2). Daarna wordt een algemene schets gegeven van de mineralenstromen zoals die op een bedrijf plaatsvinden (paragraaf 2.4.3) om vervolgens, redenerend vanuit de onderliggende deelstromen (paragraaf 2.4.4), te inventariseren welke nieuwe inzichten ter verbetering van de mineralenbenutting verkregen zijn. De onderliggende deelstromen hebben betrekking op de omzetting van mineralen van mest naar bodem, van bodem naar gewas en van gewas naar dierproducten dan wel mest. In paragraaf 2.4.5 wordt teruggekeerd naar het bedrijfsniveau in termen van het mineralenoverschot. Tenslotte worden in paragraaf 2.4.6 conclusies getrokken en resterende onderzoeksvragen geïdentificeerd.

2.4.2 Stand van zaken in 1995

Zowel de N-desk-studie (Van Eck, 1995) als de P-desk-studie (Oenema & Van Dijk, 1995) stelden vast dat er een te groot verschil bestaat tussen het milieukundig gewenste mineralenoverschot en het landbouwkundig onvermijdelijk geachte mineralenoverschot. Beide sectoren ('milieu' en 'landbouw') is geadviseerd met aanvullend onderzoek na te gaan hoe dit verschil verkleind kan worden.

Ten aanzien van de landbouw is daarbij met name gedoeld op onderzoek aan maatregelen om adviezen op het gebied van diervoeding en bemesting te verfijnen en de grenzen van hetgeen mogelijk is nadrukkelijker te verkennen. Een dergelijke analyse zou kunnen bijdragen aan een duidelijker benoeming van dat deel van de verliezen dat daadwerkelijk 'onvermijdbaar' is. Daarbij zouden ook de kosten die aan sub-optimaal voeden en bemesten verbonden zijn, moeten worden geëxpliciteerd. Voorts is aanbevolen onderzoek te doen aan maatregelen om met name de benutting van N en P uit dierlijke mest te verbeteren. Daarbij is gedoeld op alternatieve wijzen van mesttoediening, op een betere verrekening van de lange-termijn effecten van (herhaald) mestgebruik en op de rol van plantenveredeling bij de benutting van mineralen.