

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.

Daarnaast is gevraagd in het onderzoek meer aandacht te besteden aan de rol van veevoeding bij de benutting van mineralen. Verder is gepleit voor onderzoek dat kan bijdragen aan een beter inzicht in de verschillende termen van de mineralenbalans. Daarbij zijn met name genoemd een correcte inboeking van de netto-mineralisatie (bijvoorbeeld bij het scheuren van grasland), de bijdrage door vlinderbloemigen en de afvoer door gewassen als functie van de bodemvruchtbaarheidstoestand.

2.4.3 Mineralenstromen binnen een bedrijf: algemene schets

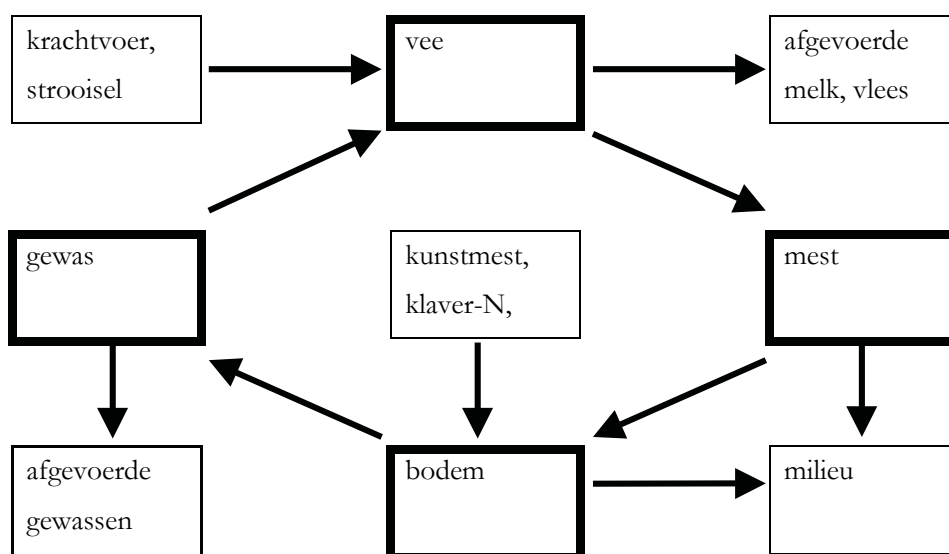
In beginsel kan een landbouwbedrijf worden opgevat als een keten van activiteiten. Intern geproduceerde of van elders aangevoerde meststoffen (meststoffen in engere zin maar ook gewasresten en groenbemesters) worden aan de bodem toegediend, gewassen nemen de meststoffen vanuit de bodem op, gewassen worden meteen na de oogst dan wel na bewerking of verwerking afgevoerd of gevoerd, bijproducten van de bewerking of verwerking worden afgevoerd ofwel opnieuw als meststof aan de bodem toegediend. Figuur 2.4.1 illustreert dit voor een gemengd bedrijf. In de praktijk van gespecialiseerde bedrijven ontbreken schakels van deze keten in meer of mindere mate.

Elk van deze schakels gaat met een groter of kleiner verlies van mineralen gepaard en elk van de schakels biedt dan ook aangrijpingspunten voor een verbetering van de mineralenbenutting. Uitbesteding van activiteiten legt de verantwoordelijkheid voor de benutting elders. Vergelijking van bedrijven die verschillen in hun mate van uitbesteding op basis van kengetallen zoals een mineralenoverschot op bedrijfsniveau, onttrekt de plaats, aard en omvang van verliezen dan ook aan de waarneming (Schröder, *et al.*, 1998a). In het navolgende zullen nieuwe inzichten ter verbetering van de benutting dan ook allereerst op het niveau van afzonderlijke schakels worden gezien.

2.4.4 Onderliggende deelstromen

2.4.4.1 Van mest naar bodem

De beschikbaarheid van mineralen wordt behalve door bodemeigenschappen ook bepaald door de aard van de gebruikte meststoffen en de wijze waarop deze worden toegediend. De wijze van toediening heeft betrekking op zaken als het tijdstip en de plaats van toediening.



Figuur 2.4.1. Vereenvoudigd stofstromenschema van een gemengd bedrijf.

Aard van meststoffen

Organische meststoffen bestaan in de regel uit een minerale fractie (voornamelijk ammonium-N) en uit een organische fractie. Ammonium-N is gevoelig voor vervluchtiging. Om die reden hangt de werkzaamheid van N in organische mest af van de inwerktechniek en wel sterker naarmate de minerale fractie groter is. Als het uitrijden van mest en het inwerken in gescheiden werkgangen plaatsvindt en de capaciteit van de machine waarmee wordt ingewerkt geringer is dan die waarmee wordt uitgereden, is de emissiereductie geringer dan op basis van kleinschalige proeven zou kunnen worden verondersteld. Bij toediening in twee werkgangen luistert de werkorganisatie daarom erg nauw (Huijsmans & De Mol, 1999). Op grasland vinden de toediening en het inwerken per definitie in één werkgang plaats. Toch valt de emissiebeperking ook op grasland in de praktijk lager uit dan resultaten onder onderzoeksomstandigheden destijds aangaven (Huijsmans *et al.*, 1997). Als oorzaken worden genoemd: onvolkomen afstelling en gebruik van werktuigen, ammoniakemissie door gewassen zelf bij dalende achtergrondconcentraties, hogere ammoniumgehalten in mest als gevolg van de langduriger bewaring, verdeling van totale mestgift over meerdere toedieningstijdstippen, en de verschuiving van het uitrijden naar een tijd van het jaar die in beginsel vervluchtiging bevordert (Steenvoorden *et al.*, 1999; Erisman & Monteny, 1999). Voor meer bijzonderheden wordt verwezen naar paragraaf 2.2.3

De vervluchtiging van ammoniak vanuit mest is geringer naarmate mest zuurder is. Vanuit die optiek zijn de effecten van aanzuren van dunne rundermest met salpeterzuur tot een pH van 4,5 bestudeerd op een aantal proefbedrijven. In twee veldproeven op zand en klei is de stikstofwerking van aangezuurde mest vergeleken met kalkammonsalpeter (KAS), na bovengrondse toediening op grasland (Schils *et al.*, 1999a). De gemiddelde stikstofbenutting was 82% voor zowel aangezuurde mest als KAS. Herhaalde toedieningen van aangezuurde mest gedurende drie jaar bleken geen invloed te hebben op de botanische samenstelling. Alhoewel aangezuurde mest een effectieve stikstofmeststof is op grasland, is de techniek niet toegelaten vanwege verificatieproblemen. Daarnaast zijn er vragen rondom de procesbeheersing in de stal, geuremissie en geschikte toedieningstechnieken (Van Lent, 1995).

Tijdstip van toediening

Eenmaal ingewerkt nitrificeert ammonium-N in de meeste (zuurstofrijke) milieus binnen enkele weken tot nitraat. Nitraat-N is gevoeliger voor uitspoeling dan ammonium-N. Door organische mest al eerder dan pas bij aanvang van het groeiseizoen toe te dienen, is de kans op nitraatuitspoeling en een daardoor geringe N-benutting van organische mest groot. Diverse onderzoekingen geven aan dat de N-benutting van mest die in de herfst wordt toegediend, circa 20% bedraagt (Gorissen *et al.*, 1999). Daarbij zij opgemerkt dat benutting in deze studies is gedefinieerd als de fractie van de mest die in het eerstvolgende hoofdgewas wordt opgenomen. Daarmee is deze fractie het product van het (on)vermogen van de bodem om mest-N effectief naar het volgende voorjaar over te dragen en het (on)vermogen van het hoofdgewas om de overgedragen N op te nemen (Schröder *et al.*, 1997b). Ook als men dit in aanmerking neemt, is de benutting van in de herfst toegediende mest zeer gering. Gorissen *et al.* (1999) concluderen dat minimaal 23% van de mest-N door uit- en afspoeling verloren gaat en dat dit kan toenemen naarmate de verliezen door denitrificatie geringer zijn. Denitrificatie-verliezen kunnen op kleigrond tot maximaal zo'n 40% van de mest-N belopen. De toegestane jaarrond-toediening van mest op kleigrond (bouwland) en de op zandgrond (bouwland en grasland) toegestane toediening aan het einde van de winter (1 februari), kunnen dan ook gepaard gaan met aanmerkelijke N-verliezen en een geringe benutting. De toevoeging van nitrificatieremmers aan mest kan de omzetting van ammonium in nitraat remmen. De werking van nitrificatieremmers is echter te onzeker om de kans op verliezen op bouwland hiermee volledig teniet te doen (e.g. Schröder *et al.*, 1993; Corré, 1994). Bij grasland echter bestaat wel de ervaring dat de benutting van mest die al voor aanvang van het groeiseizoen gegeven wordt, kan worden verbeterd (Van der Meer & Van der Putten, 1995). Ontheffing van het uitrijverbod bij gebruik van nitrificatieremmers zou overigens stuiten op verificatieproblemen.

Hoewel vroegtijdige toediening zoals aangegeven de kans op verliezen verhoogt, is het uitstellen van mesttoediening tot vlak voor het groeiseizoen niet op alle grondsoorten en bij alle gewassen een effec-

tieve methode om de N-benutting te verhogen. Zo kan structuurschade de beoogde verbetering van de benutting door voorjaarstoediening op kleigrond tenietdoen (Van Dongen & Alblas, 1992; Gorissen *et al.*, 1999). Structuurschade stelt gewassen namelijk minder goed in staat om de aangeboden mineralen op te nemen. Om structuurschade als gevolg van voorjaarstoediening tot een minimum te beperken moeten zaai- en poottijden soms worden uitgesteld totdat de bodem voldoende berijdbaar is. Aangepaste toedieningsapparatuur voor voorjaarstoediening van mest op kleigrond zou hieraan ook kunnen bijdragen maar de ontwikkeling van deze apparatuur is nog onvoldoende ter hand genomen. Noch de prijsverhouding van oogstproduct en meststoffen, noch de verliesnormen hebben hiertoe aanleiding gegeven. Het onderzoek dat tot dusver verricht is geeft aan dat voorjaarstoediening van dierlijke mest op kleigrond soms toch tot een hogere N-benutting leidt dan najaarstoediening (Titulaer, 1997; Gorissen *et al.*, 1999). De structuurschade als gevolg van voorjaarstoediening blijkt kennelijk niet altijd tot een slechtere benutting te leiden (Timmer, 1996; Titulaer, 1997).

Overigens zou een verplichte voorjaarstoediening van mest op kleigrond het tijdvenster waarbinnen toediening mogelijk is, sterk beperken. Dit stuit waarschijnlijk op logistieke bezwaren en zal de acceptatie van mest door de akkerbouw op kleigrond kunnen verlagen. Spreiding van de werkzaamheden door mest bij akkerbouwgewassen en groenten voor een deel zelfs na opkomst te geven, verruimt de mogelijkheden maar weinig. Ook dan luistert het toedieningsmoment nauw en is de kans op gewaschade niet denkbeeldig (Timmer, 1996; Schröder, 1999).

Overigens valt er aan de najaarstoediening van mest nog wel het een en ander te verbeteren. Daarbij kan gedacht worden aan 'organiseren' van de minerale N-fractie in drijfmest met behulp van stro (in de stal, de vaalt of de bodem) of de tijdelijke vastlegging ervan met behulp van groenbemesters. Daarnaast bestaan er mogelijke perspectieven voor mestscheiding. Daarbij kan de vastere, relatief N-arme fractie met geringe verliesrisico's op kleibouwland in het najaar worden uitgereden terwijl de natte, relatief N-rijke fractie in het voorjaar als snelwerkende meststof kan worden ingezet.

In een aantal sectoren (vollegrondsgroenteteelt, bollenteelt, biologische landbouw) is de wens om organische mest te gebruiken mede ingegeven door de behoefte organische stof aan de bodem toe te voegen. Deze wens kan voortvloeien uit het feit dat met alternatieve bronnen zoals gewasresten onvoldoende gecompenseerd wordt voor de onvermijdelijke jaarlijkse afbraak. Als het bouwplan daarbij bovendien voor een groot deel bestaat uit N-behoeftege gewassen (bijvoorbeeld bij intensieve preiteelt), laten de verliesnormen weinig of geen ruimte voor het gebruik van organische mest. Ook zijn er sectoren die menen dat de organische-stofvoorraad hoe dan ook alleen met verruimde verliesnormen kan worden gehandhaafd. Laatstgenoemde redenering bevat een innerlijke tegenstrijdigheid. Immers, als handhaving van de organische-stofvoorziening alleen met ruime mestgiften mogelijk is, duidt dat op een relatief snelle verbranding van organische stof. Daarbij komen, per definitie, mineralen vrij. Dat laatste rechtvaardigt verrekening van de gemineraliseerde voedingsstoffen bij het vaststellen van (aanvullende kunst-)mestgiften. De stimulus daarvoor zou ontbreken bij hogere verliesnormen. Anderzijds wordt vanuit bijvoorbeeld de bollensector opgemerkt dat deze mineralisatie ontijdig plaatsvindt (te weten na de periode waarin het gewas een hoge N-behoefte heeft). Vanuit de biologische sector wordt aangegeven dat een tijdelijke verhoging van de verliesnorm tijdens de omschakelingsfase nodig kan zijn totdat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld tussen opbouw en afbraak.

N-nawerking van organische mest

De N in de organische fractie komt in de loop van de tijd door mineralisatie beschikbaar. In het algemeen geldt dat minimaal de helft van de N in de eerste twaalf maanden na toediening mineraliseert en het restant in de jaren erna. Bij het inschatten van de werkzaamheid van organische mest wordt doorgaans alleen rekening gehouden met dat deel van de mineralisatie dat effectief vanuit de eerstejaars werking tijdens het groeiseizoen voor het gewas beschikbaar is (Beijer & Westhoek, 1996). Bij herhaald gebruik van organische mest op hetzelfde perceel, dient rekening gehouden te worden met de nawerking van mest die in de jaren ervoor gegeven is (Görlitz *et al.*, 1985; Werner *et al.*, 1985; Dilz *et al.*, 1990;

Whitmore & Schröder, 1996). Per saldo rechtvaardigt dat het hanteren van hogere werkingscoëfficiënten dan thans gebruikelijk is. Tabel 2.4.1 geeft een grootte-orde van dit effect voor een tweetal mestsoorten. Het hanteren van verhoogde werkingscoëfficiënten en een dienovereenkomstige aanpassing van aanvullende N-giften komt de benutting van organische mest ten goede. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de nawerking van eerder gegeven mest impliciet recht kan zijn gedaan in bestaande bemestingsadviezen. Met name de adviezen voor voedergewassen en vollegrondsgroente zijn veelal gebaseerd op proeven die plaatsvonden op percelen die in voorafgaande jaren regelmatig organische mest ontvingen. De verfijning van het N-advies voor snijmaïs op basis van het bemestingsverleden bestaat daarom uit een verhoging van het advies voor percelen zonder regelmatig gebruik van organische mest (Phillipsen, 1998).

Tabel 2.4.1. *Berekende toename van de N-werking van dierlijke mest op de langere termijn (werkzaamheid van Nr) in afhankelijkheid van de lengte van het groeiseizoen en de mestsoort (naar Beijer & Westhoek, 1996 en Schröder & Van der Meer, 2000).*

Groeiseizoen (mnd)	Mestsoort	Toename N-werking:	
		kg N per kg mest-N	kg N per mestgift ¹
6	Rundveedrijfmest	0,13	29
	Mestvarkendrijfmest	0,09	13
9	Rundveedrijfmest	0,20	46
	Mestvarkendrijfmest	0,14	21

¹ *omvang mestgift gesteld op 85 kg P₂O₅ per ha (i.e. circa 45 m³ rundveedrijfmest of 25 m³ mestvarkendrijfmest).*

In zijn algemeenheid lijken in Duitsland hogere werkingscoëfficiënten voor dierlijke mest te worden gehanteerd dan in Nederland. Dit zou verstaan kunnen worden als zou de mest in Nederland te laag gewaardeerd worden. Hierbij moet echter bedacht worden dat controle-behandelingen waaraan de N-werking wordt afgemeten, in Nederland doorgaans wel maar in Duitsland veelal geen aanvulling met P- en K-kunstmest ontvangen. De laatste methode leidt tot een overschatting van de N-werking.

Groenbemesters en wintergewassen

De benutting van N uit meststoffen kan ook verhoogd worden door het gebruik van groenbemesters, zij het niet zonder meer. Daarbij dienen twee situaties onderscheiden te worden, te weten kleigronden waar organische mest in nazomer en herfst toegediend wordt en het groenbemester-nagewas voor de winter wordt omgeploegd, en zandgronden waar organische mest pas in het voorjaar toegediend wordt en het groenbemester-nagewas onbemest blijft en als zogenaamd vanggewas fungeert. Op kleigrond valt aan groenbemesters een driedubbele taak toe: het onderscheppen van N uit de (in diezelfde herfst) toegediende mest, het onderscheppen van minerale N die door het voorgaande hoofdgewas kan zijn achtergelaten (residuele N; overigens gering na graan waarna de meeste mest wordt toegediend) en het onderscheppen van N afkomstig uit mineralisatie, waaronder die als gevolg van de eerdergenoemde nawerking van mest uit eerdere jaren. Als het vermogen van de groenbemester om N op te nemen al overeenstemt met dit aanbod, dan resteert het probleem dat de groenbemesters op kleigrond relatief vroeg worden omgeploegd en vervolgens voortijdig kunnen beginnen te mineraliseren. De verhoging van de werkingscoëfficiënt die met de groenbemester beoogd wordt blijft derhalve beperkt (Postma, 1995; Hengsdijk, 1992; Schröder *et al.*, 1997b) en op grondsoorten die voorjaarstoediening toelaten kunnen meststoffen efficiënter worden gebruikt bij voorjaarstoediening dan bij najaarstoediening met groenbemesters als onzekere tussenstap.

Op zandgrond kunnen groenbemesters voor zover winterhard, veel langer intact blijven en is de kans op een effectieve overdracht van N van herfst naar voorjaar in beginsel groter. Echter, als de vernietiging van de groenbemester te lang wordt uitgesteld, kan de beoogde verhoging van de N-benutting opnieuw tenietgedaan worden door vroegtijdig verbruik van vocht en minerale N of zelfs door immobilisatie van N (Thorup-Kristensen, 1994).

In beide gevallen geldt overigens dat het vermogen van groenbemesters om residuele N, minerale N uit mest, dan wel N afkomstig uit mineralisatie voor vroegtijdige uitspoeling te behoeden, zeer sterk samenhangt met de beschikbare groeikansen na de oogst van het voorgaande hoofdgewas. Na laat geoogste gewassen en bij een koude, sombere herfst zijn de groeikansen nihil (Schröder *et al.*, 1996b). In voorlichtingsadviezen heeft de verhoogde werking van organische mest bij gebruik van groenbemesters overigens reeds impliciet plaatsgevonden omdat adviesgiften gekort worden indien het gewas in kwestie wordt voorafgegaan door een geslaagde groenbemester (Van Dijk, 1999a).

Mest en urine bij beweiding

De N in door het vee uitgescheiden mest en urine komt op een klein deel van het perceel terecht. Doordat de mest en urine op een beperkt deel van het perceel worden geconcentreerd krijgt dit deel een (zeer) hoge N-bemesting die de N-opname, grasgroei en N-verliezen sterk zal beïnvloeden. Echter, naarmate de N-gift stijgt, zal het effect van urine-N minder positief of zelfs negatief worden als gevolg van schade aan de zode. Door middel van proeven met kunsturine is getracht bestaande inzichten in het lot van N in urineplekken te verbeteren (Van der Putten & Vellinga, 1996). Hierbij zijn met name de effecten van de N-concentratie in de urine, het tijdstip van vorming van een urineplek en de interactie met bemesting met kunstmest-N, op de N-recovery door het gewas en verliezen onderzocht. In de proeven werd op veldjes die een verschillend bemestingsniveau hadden (200–450 kg kunstmest-N ha⁻¹ jaar⁻¹) op diverse tijdstippen in het groeiseizoen kunsturine toegediend in concentraties die overeenkwamen met N-giften van 300–800 kg ha⁻¹.

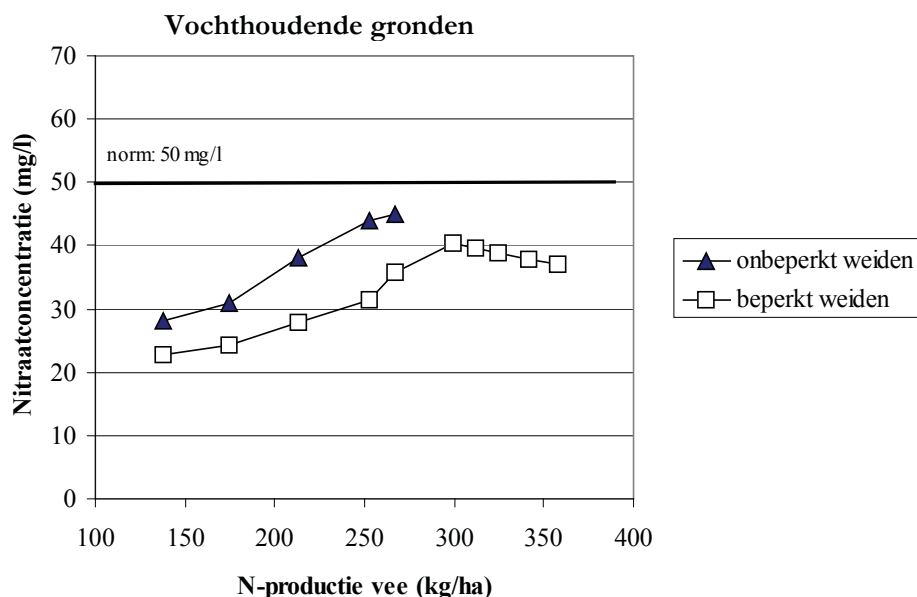
De extra drogestofopbrengst en de extra N-opname als gevolg van de urine waren het hoogst bij de urinetoediening in het vroege voorjaar. De extra opbrengst liep op tot zo'n 5000 kg ds ha⁻¹ en 275 kg N ha⁻¹ bij een lage basisbemesting (ongeveer 200 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹). Bij een hogere basisbemesting met N namen de extra opbrengsten af. De hoeveelheid urine-N die was toegediend speelde geen significante rol bij de hoogte van de extra opbrengsten. Blijkbaar was er in alle gevallen een zodanige overmaat aan N in de plekken dat andere factoren beperkend werden voor maximale gewasproductie. Naarmate de objecten een hogere basisbemesting met N ontvingen of op een later tijdstip in het groeiseizoen behandeld werden nam de extra N-opname en drogestofopbrengst af tot, in enkele gevallen, zelfs negatieve waarden. De (cumulatieve) extra drogestofopbrengst kon voor meer dan 95% worden verklaard door de datum van toediening, de lengte van de periode sinds toediening en het niveau van de basisbemesting met N.

Onder veldjes waaraan vóór augustus urine was toegediend werd aan het einde van het groeiseizoen nauwelijks méér N_{min} in het profiel aangetroffen dan onder veldjes die niet met urine waren behandeld. Urinetoediening na 1 augustus leidde, naarmate de veldjes later in het groeiseizoen waren behandeld, in toenemende mate tot een grotere hoeveelheid N_{min} in de laag 0–60 cm aan het einde van het groeiseizoen. De hierboven genoemde relaties zijn vervolgens ingebouwd in een model (Nitraat Uitspoelings Reductie Planner, NURP) waarmee de nitraatuitspoeling op zandgronden ingeschat kan worden (Vellinga *et al.*, 1997).

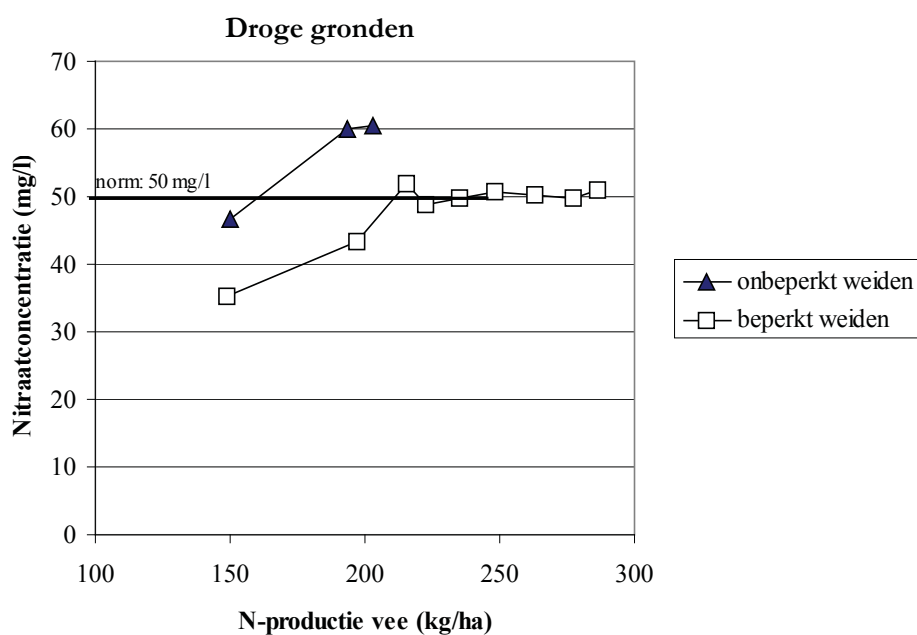
De resultaten van veldwaarnemingen op proefbedrijf De Marke bevestigen bovenstaande bevindingen. Hierbij bleek dat hoge piekconcentraties worden veroorzaakt door urineplekken, die ontstaan in september of later (Hack-ten Broeke *et al.*, 1996). Urinetoediening gedurende het groeiseizoen leidde ook hier niet tot verhoogde nitraatconcentraties. Op een perceel met een gemiddelde nitraat-N-concentratie op 1 m –mv. van 7 à 8 mg/l waren de door urineplekken veroorzaakte piekconcentraties 20 à 30 mg/l nitraat-N. Op een perceel met een gemiddelde nitraat-N-concentratie in het bovenste grond-

water van 25 à 35 mg/l bedroegen de door urineplekken veroorzaakte piekconcentraties maar liefst 50 à 80 mg/l nitraat-N (i.e. 220 à 350 mg/l nitraat).

Dat beweiding en de onregelmatige verdeling van mineralen als gevolg daarvan uitspoelingsverliezen doet toenemen, is een centraal thema in het derogatierapport (Willems *et al.*, 2000). Op basis van modelverkenningen wordt daarbij becijferd dat niet zozeer beperking van de gebruiksnorm tot 170 kg N per ha per jaar, als beoogd door de EU, bepalend is voor de uitspoeling onder grasland, alswel de gebruikswijze (Figuren 2.4.2 en 2.4.3).



Figuur 2.4.2. Berekende nitraatconcentratie van het bovenste grondwater bij graasdierbedrijven op vochthoudende gronden (Gt IV) als functie van de stikstofproductie met dierlijke mest bij verschillende vormen van beweiding. Bron: Willems *et al.*, 2000.



Figuur 2.4.3. Berekende nitraatconcentratie van het bovenste grondwater bij graasdierbedrijven op droge gronden (Gt VII) als functie van de stikstofproductie met dierlijke mest bij verschillende vormen van beweiding. Bron: Willems *et al.*, 2000.

Plaatsing van meststoffen

Om te kunnen worden opgenomen door planten, moeten mineralen het worteloppervlak bereiken. De aanvoer naar de wortels komt tot stand door de transpiratiestroom, door diffusie en door de onderschepping van nieuwe bodemvoorraden door het groeiende wortelstelsel. Bij eenjarige gewassen is aanvankelijk slechts een deel van de bodem doorwortelt. Transpiratiestroom en diffusie schieten soms tekort als de concentraties in het bodemvocht door bemesting niet flink verhoogd zijn (Ehlert & De Willigen, 1999). Dit transportprobleem tijdens de jeugdfase van gewassen kan worden beperkt door meststoffen nabij het wortelstelsel aan te bieden in de vorm van een rijenbemesting. De gunstige ervaringen hiermee met P-meststoffen bestaan al langer. Gedurende de afgelopen jaren is evenwel aangetoond dat een rijengewas als maïs eveneens gunstig reageert op de plaatsing van N. Indien N als rijenbemesting gegeven wordt, zijn besparingen van circa 20% mogelijk (Van Dijk & Brouwer, 1998; Schröder *et al.*, 1996a). Organische meststoffen zijn vanuit een technisch oogpunt lastiger in te zetten als rijenbemesting. Onderzoek toont evenwel aan dat van een rijenbemesting met kunstmest-P, een gebruikelijke verzekeringsgift bij de teelt van maïs, kan worden afgezien als de organische mest niet volvelds maar als rijenbemesting nabij de voorziene maïsrij wordt gegeven (Schröder *et al.*, 1997a; Van der Schoot, 2000). Overigens bestaan niet bij alle gewassen gunstige ervaringen met N-rijenbemesting. Onderzoek naar het effect van rijenbemesting met stikstof op opbrengst en kwaliteit van bloemkool en witte kool heeft uitgewezen dat met rijenbemesting geen hogere opbrengsten of betere kwaliteit worden behaald. Het is ook niet mogelijk gebleken met een lagere stikstofgift toegediend naast de rij, dezelfde opbrengsten of kwaliteit te behalen als bij breedwerpige bemesting. Bij broccoli wordt bij de optimale stikstofgift met rijenbemesting een beperkt hogere opbrengst behaald. De reden waarom bij dit gewas wel een positief effect van rijenbemesting met stikstof wordt gevonden en bij bloemkool en witte kool niet, is waarschijnlijk gelegen in de kortere groeiduur van broccoli, waardoor bij dit gewas zeer hoge opnamesnelheden van stikstof moeten worden gerealiseerd. Een betere beschikbaarheid door rijenbemesting draagt hier mogelijk positief aan bij (Everaarts, 1993a, 1993b; Everaarts & De Moel, 1995; Everaarts *et al.*, 1996; Everaarts & De Moel, 1998; Everaarts & De Willigen, 1999a, 1999b; Everaarts & Booi, 2000). Wellicht speelt in proeven waarin geen positief (of zelfs een negatief) effect van N-rijenbemesting waargenomen wordt, het voornamelijk hoge bodemvruchtbaarheidsniveau een rol (Van Geel, 1999).

Omwille van een vlotte benutbaarheid dienen meststoffen niet te diep te worden toegediend. Met name bij organische meststoffen bestaat dit gevaar als ze oppervlakkig worden toegediend voorafgaand aan een kerende grondbewerking. Toediening op enige diepte (door injectie of inwerken voorafgaand aan grondbewerking) beperkt het gevaar van een te diepe plaatsing. In dat geval blijken er dan ook geen overwegende voordelen te kleven aan het bewust uitstellen van de toediening van organische mest tot na kerende grondbewerking (Schröder & Ehlert, 1998).

Een bijzondere vorm van 'mismatch' in termen van plaatsing ontstaat door de onnauwkeurigheid waarmee de mest verdeeld wordt door de toedieningsapparatuur. Onder onnauwkeurigheid wordt hier verstaan een ongelijkmatige verdeling (zowel in de lengte als breedte) door de toedieningsapparatuur en afwijkingen van de gewenste dosering per hectare. Onderzoeken aan toedieningsapparatuur geven aan dat een nauwkeurige dosering en verdeling van vloeibare dierlijke (organische) mest binnen bereik liggen (Huijsmans, 1998; Huijsmans *et al.*, 1998), maar dat dit nog onvoldoende geïmplementeerd is. Een nauwkeurige dosering en verdeling van vaste organische mest is op dit moment nog moeilijk uitvoerbaar en zal de komende tijd nog veel aandacht vragen.

In het voorgaande lag het accent op onderzoek naar toedieningswijzen die de kans op een tijdige onderschepping door plantenwortels vergroten of een heterogene verdeling van meststoffen voorkomen. Afstemming van aanbod en behoeften is evenwel ook gebaat bij toedieningswijzen die juist inspelen op een aanwezige heterogene verdeling van bodemvruchtbaarheid. De gebruikelijke bemestingsadviezen op basis van perceelseigenschappen zijn hiervan een goed voorbeeld (zie elders in deze paragraaf). Percelen zelf zijn echter evenmin homogeen. Dit geldt in het bijzonder voor graslandpercelen. De grasopbrengst en dus ook de gewenste bemesting is niet over het gehele perceel gelijk. Verschillen in grondsoorten, maar ook slootkanten, perceelsranden en greppels zorgen voor aanwijsbare heterogeniteit bin-

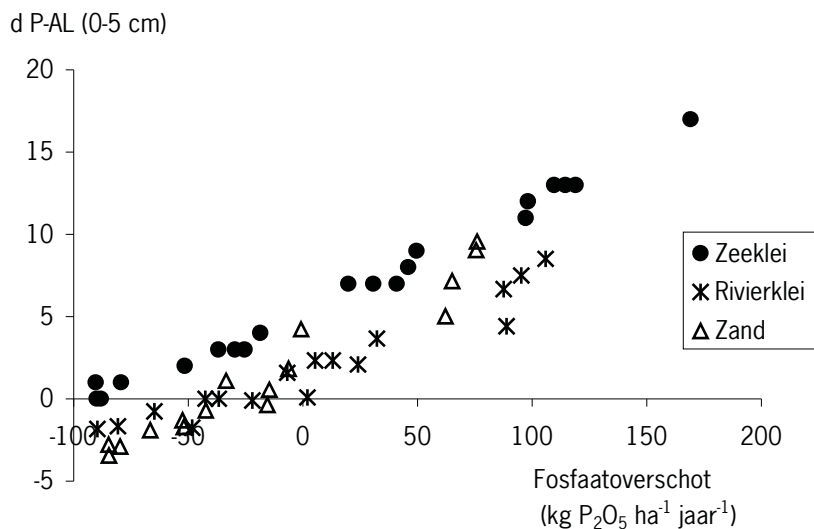
nen percelen. Daarnaast blijken mest- en urineplekken in grasland te zorgen voor de grootste verschillen in bodemvruchtbaarheid binnen percelen.

Gebleken is dat met kunstmeststrooiers een gewenste gift moeilijk gelijkmatig over een perceel verdeeld kan worden. Om daarnaast nog plaatsspecifiek te bemesten is met strooiers onmogelijk. Om deze reden is een precisiebemester ontwikkeld die nauwkeurig de gewenste hoeveelheid meststof op het land legt en waarbij de mogelijkheid bestaat om iedere plaats individueel te bemesten. Een koppeling van deze machine aan een detector van urineplekken moet ervoor gaan zorgen dat deze plaatsen geen meststoffen ontvangen. Bij precisiebemesting in voornoemde zin, moet gebruik gemaakt worden van vloeibare meststoffen. Een discussie die nu wordt gevoerd, en met proefgegevens moet worden ondersteund, is of de werking van vloeibare meststoffen even goed kan zijn als die van korrelmeststoffen. Het is in ieder geval duidelijk dat ureumhoudende vloeibare meststoffen kunnen leiden tot een flink ammoniakverlies (Corré & Hoogerbrugge, 1999). Daarnaast zal het overstappen op vloeibare meststoffen een volledige omschakeling van de industrie vergen.

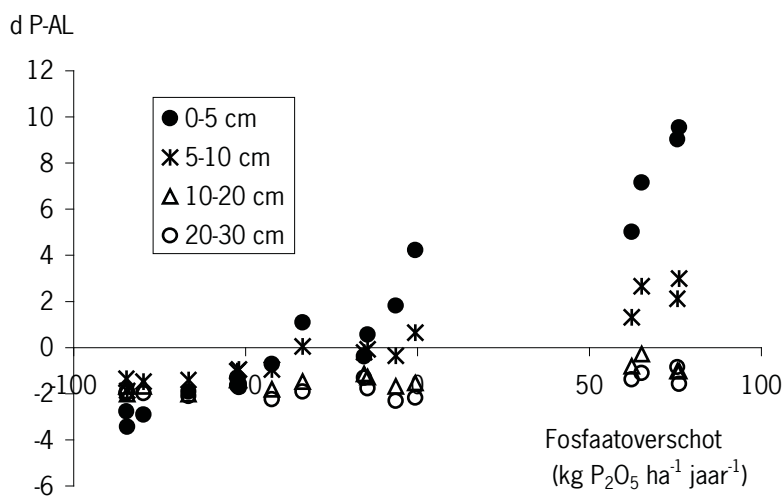
Lange-termijn effecten op bodemvruchtbaarheid

De effecten van alternatieve bemestings- en teelttechnieken kunnen worden gemaskeerd door het hoge bodemvruchtbaarheidsniveau en de nalevering van mineralen die daar het gevolg van is. Zo kunnen de milieukundige en landbouwkundige effecten van terughoudend bemesten (lagere giften, uitgestelde voorwaardelijke giften, beperking van de gift tot lokale toediening) alleen beoordeeld worden met hetzij langlopende proeven, hetzij simulatiemodellen die op dat soort proeven gebaseerd zijn. Ondanks het kortlopende karakter van de huidige onderzoeksprogramma's, krijgen deze lange-termijn effecten toch beperkt aandacht in experimenteel onderzoek waaronder de Lovinkhoeve (kleigrond) en Heino en De Marke (zandgrond). Op die locaties zijn behandelingen namelijk gericht op het versneld afbouwen van bestaande hoge bodemvruchtbaarheidstoestanden. Het bodemvruchtbaarheidsniveau blijkt ook sterk bepalend voor de omvang van het zogenaamde onvermijdelijke verlies. Handhaving van de bodemvruchtbaarheid op een landbouwkundig onnodig hoog niveau vergt een veel grotere jaarlijkse compensatie dan handhaving op lagere niveaus (Oenema & Van Dijk, 1995; Alblas & Van der Schoot, 2000). Onderzoek op De Marke en elders (Habekotté *et al.*, 1998; Schröder & Ehlert, 1998) wijst uit dat de P-toestand van bouwland niet per se onvoldoende wordt bij een P-overschot van 0 kg per ha. Andere studies geven aan dat een fosfaatoverschot van 20 kg P₂O₅ per ha per jaar voldoende is om de toestand 'voldoende' op bouwland te handhaven (Ehlert & De Willigen, 1999; Alblas & Van der Schoot, 2000). Uit het bedrijfssysteemonderzoek van het PAV blijkt eveneens dat van locatie tot locatie sterk verschillende P-overschotten nodig zijn voor handhaving van de P-toestand (1990-1999). Deze verschillen (+37 tot -27 kg P₂O₅ per ha per jaar) kunnen niet steeds verklaard worden vanuit de uitgangstoestand (Kroonen-Backbier, 1998; Rovers, 1998; Zwart-Roodzant, 1998a, 1998b). Zie voor meer informatie ook paragraaf 2.3.3.

Ook op grasland heeft de afgelopen jaren onderzoek plaatsgevonden naar de relatie tussen het fosfaatoverschot en de verandering van de fosfaattoestand in de bodem. Dit onderzoek is uitgevoerd in zowel maaiproeven als beweidingsproeven. De maaiproeven laten zien dat bij overschot van nul het P-AL-getal in de bovenste laag niet daalt (Figuur 2.4.4). De verschillen tussen de drie locaties zijn echter aanzienlijk. Het fosfaatoverschot waarbij het P-AL-getal gelijk blijft varieerde van -90 kg P₂O₅ ha⁻¹ op zeeklei tot -25 kg P₂O₅ ha⁻¹ op zand en rivierklei. Deze cijfers gelden echter voor 'netjes' beheerde maaiproeven, waarvoor geldt dat bemesting heeft plaatsgevonden met uniform verdeelde kunstmest. Op lange termijn is het uiteraard onmogelijk om met negatieve overschotten de fosfaattoestand op peil te houden. Het is aannemelijk dat het P-AL-getal redelijk op peil blijft door omzetting van stabiel naar labiel fosfaat. Bovendien neemt het gras ook fosfaat op uit de ondergrond, zoals dat geïllustreerd is voor de proef op zand (Figuur 2.4.5). In de dikkere lagen van 10-20 en 20-30 cm is het P-AL-getal afgenomen, zelfs bij de hoogste fosfaatoverschotten. Resultaten van het Management op Duurzame Melkveebedrijven (MDM)-project tonen aan dat bij een lage fosfaattoestand in de ondergrond meer fosfaat nodig is om het P-AL-getal op peil te houden dan bij een fosfaatrijke ondergrond (Den Boer & Middelkoop, 1997).

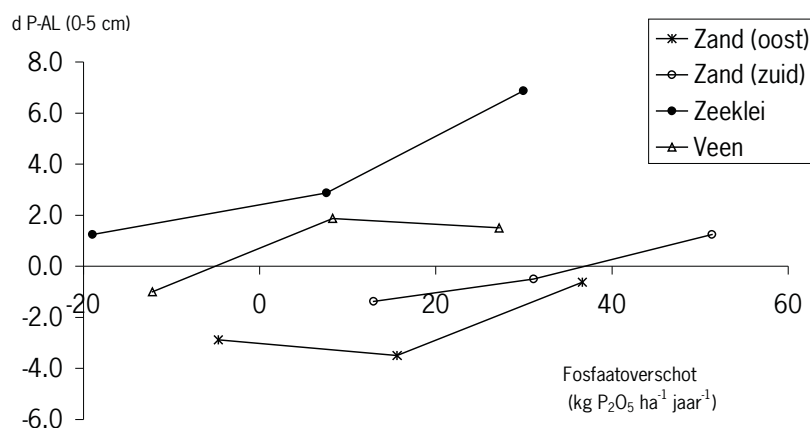


Figuur 2.4.4. Jaarlijkse verandering van het P-AL-getal ('d P-AL', 0-5 cm) als functie van het fosfaatoverschot, voor gemaaid grasland op zeeklei (1994-1998), rivierklei (1996-1999) en zand (1995-1999) (proeven PV Lelystad, Schils et al. (in prep.)).



Figuur 2.4.5. Jaarlijkse verandering van het P-AL-getal ('d P-AL', 0-5 cm) in vier bodemlagen van grasland op zandgrond als functie van het fosfaatoverschot (proeven PV Lelystad, Schils et al. (in prep.)).

De weideproefvelden benaderen de praktijksituatie beter: er is afwisselend gemaaid en geweid en een deel van de bemesting is uitgevoerd met dierlijke mest. De uitgangssituatie van P-AL was op alle proefvelden ruim voldoende tot hoog en daarmee een afspiegeling van de huidige fosfaattoestand onder grasland in de praktijk. In de bovenste 0-5 cm was de P-AL bij aanvang 58, 42, 50 en 40 voor, respectievelijk, de proef op klei, veen, oostelijk zand en zuidelijke zand. In de laag 5-30 cm was de P-AL op klei en veen laag (10-25), terwijl die op zand relatief hoog (30-40) was. Het fosfaatoverschot waarbij het P-AL-getal in de laag van 0-5 cm op peil blijft was gemiddeld net iets lager dan nul, maar varieerde van minder dan -20 kg P₂O₅ ha⁻¹ op zeeklei tot meer dan 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ op oostelijke zandgrond (Figuur 2.4.6).



Figuur 2.4.6. Jaarlijkse verandering van het P-AL-getal ('d P-AL', 0-5 cm) als functie van het fosfaatoverschot, voor beweide grasland op zeeklei, zand en veen (1997-1999) (proeven PV Lehystad, Schils et al. (in prep.)).

Bij een overschot van 0-20 kg P₂O₅ per ha per jaar, bleek P-AL in de bovenste 5 cm met gemiddeld zeven eenheden gedaald in de periode 1996-1998. Bij een overschot van 40 kg P₂O₅ per ha per jaar steeg P-AL met drie eenheden (Schils & van Middelkoop, 2000). Echter, de monitoringstudie op de vier weideproefvelden gaf aan dat bij fosfaatoverschotten van 0, 20 en 40 kg P₂O₅ per ha per jaar in de periode tussen 1996 en 1999 geen significante stijging of daling van het Pw-getal werd gevonden (Van der Salm & Schoumans, 2000). Dit wordt deels veroorzaakt door de grote jaar-tot-jaar variatie in de Pw-waarden, waardoor significante veranderingen niet zijn aan te tonen. Significante veranderingen in de hoeveelheid organisch P of gefixeerd P (oxalaat extraheerbaar) konden nog niet worden vastgesteld. Hierop wordt in paragraaf 2.3.3 dieper ingegaan.

2.4.4.2 Van bodem naar gewas

De benutting van mineralen in dit deel van de keten wordt bepaald door beschikbaarheid van mineralen en door het vermogen van gewassen om de beschikbare mineralen uit de bodem op te nemen en in oogstbare delen te investeren. Daarbij zij het volgende opgemerkt. Het mineralenonderzoek is voor een zeer groot deel gericht geweest op hetzij N, hetzij P. Daarbij is een betrekkelijk geringe aandacht uitgegaan naar de interacties tussen beide en nog minder naar de effecten van directe (drainage, beregening) of indirecte (vernating, verdroging) veranderingen van de vochthuishouding hebben op de mineralenbenutting door het gewas.

N-levering door de bodem

De beschikbaarheid van mineralen wordt bepaald door bodemeigenschappen (waaronder mineraliserend vermogen) en door de omvang en aard van de bemesting en de wijze waarop bemesting plaatsvindt. Bij de bemesting kan op verschillende wijze op bodemeigenschappen worden ingespeeld: op basis van ervaringen (al dan niet ondersteund door metingen) in voorgaande seizoenen, op basis van schattingen en metingen bij aanvang van het seizoen en op basis van metingen tijdens het seizoen (Schröder et al., 2000). Bemesten op basis van metingen tijdens het seizoen zou, naar analogie van het woordgebruik in de gewasbescherming, geleide bemesting kunnen worden genoemd. Onderzoek naar bemestingstrategieën op basis van metingen heeft belangrijke vorderingen gemaakt (zie ook paragraaf 2.2.4) waarmee hoge verzekeringsgiften (worse case benadering) plaats maken voor verfijnde giften. Voorbeelden hiervan zijn de verfijning op basis van de bemestingshistorie snijmaïs (Phillipsen, 1998), het verfijnde bemestingsadvies voor grasland (Phillipsen, 1998), de ontwikkeling van NBS-systemen bij

vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk, 1999a; Van Geel, 1999) en de ondersteuning van bemesting op basis van gewasanalyse bij aardappelen (Uenk & Booij, 2000). Met name geleide bemesting op basis van gewasanalyse bevindt zich nog in de kinderschoenen. Gehalten (waaronder nitraat-N) en kleur blijken in de praktijk van veel meer afhankelijk dan van alleen N. Er zijn daarom per perceel referentieveldjes (ruim en/of krap bemeste 'vensters') nodig (Schröder *et al.*, 2000) of afzonderlijke normlijnen per ras (Van Dijk, 1999a). Verfijning kan gepaard gaan met kosten voor diagnose, aangepaste toedieningsapparatuur en extra arbeid. Deze kosten worden in de regel niet gecompenseerd door de bespaarde uitgaven voor N. De baten van een verfijnde bemesting hangen daarom mede af van de mate waarin betrokkenen zonder verfijnde bemesting heffingsplichtig zullen worden in het kader van MINAS.

Een juiste verrekking van de hoeveelheid N die vrijkomt uit voorvruchten biedt eveneens mogelijkheden om N-giften naar beneden bij te stellen. Voorbeelden hiervan zijn de N-nalevering uit groenbemesters en gescheurd grasland. Op basis van nieuwe proefgegevens wordt de nalevering van groenbemesters thans hoger ingeschat dan voorheen (Van Dijk, 1999a). De Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen heeft naar aanleiding van de nieuwe onderzoeksresultaten op zand, klei en klei-opveen het N-advies voor snijmaïs na het scheuren van grasland aangepast en vastgesteld. Het nieuwe advies maakt onderscheid tussen het eerste en het tweede jaar na scheuren van grasland ouder dan twee jaar. Er kan uitgegaan worden van een stikstoflevering door de oude graszode van 100 kg N in het eerste jaar en 30 kg N in het tweede jaar na scheuren. De omvang van de stikstoflevering bij het scheuren van één- en tweejarig grasland is wat minder, omdat minder stikstof is vastgelegd in de wortel-massa. In het nieuwe advies is geen onderscheid tussen grondsoorten gemaakt (Van Dijk, 1999b; Van den Pol-van Dasselaar & Philipsen, 2000).

Vlinderbloemigen

Vlinderbloemigen nemen een bijzonder positie in bij de schakel van bodem naar gewas. De N-beschikbaarheid en -opbrengst van deze gewassen is vanwege hun vermogen tot N-binding immers vrijwel onafhankelijk van de N-levering door de bodem of bemesting.

Vlinderbloemige hoofdgewassen nemen met een areaal van circa 10.000 ha thans geen belangrijke plaats in de Nederlandse landbouw in. Als component van grasland komt witte klaver op klei- en zandgronden 'van nature' voor in grasland en wordt bij graslandvernieuwing soms in het mengsel opgenomen. De oppervlakte grasland waar het management gericht is op behoud van een flink aandeel witte klavers in de zode (30-40%) is echter beperkt tot enkele procenten. Betrouwbare informatie hierover ontbreekt echter. De vooralsnog betrekkelijk geringe belangstelling voor vlinderbloemigen in de Nederlandse landbouw houdt verband met de soms tegenvallende opbrengsten (oogstzekerheid) als gevolg van de gevoeligheid voor ongunstige omstandigheden en onkruiden, ziekten en plagen en tevens met de grote beschikbaarheid van goedkope andere stikstofbronnen. De beoogde uitbreiding van de biologische landbouw tot 10% in 2010 kan evenwel tot een sterke toename van het areaal vlinderbloemigen leiden. Bij een bouwplanaandeel van vlinderbloemigen op biologische akkerbouwbedrijven van 1:6 en een witte-klaverbezetting van biologisch grasland van 25% zou het areaal circa 40.000 ha kunnen gaan belopen. Ook op gangbare graasveebedrijven, echter, kan de witte-klaverbezetting van grasland verder toenemen omdat deze N-bron vooralsnog niet ingeboekt hoeft te worden in het kader van MINAS.

Aanpassing van MINAS in voornoemde zin is lastig omdat het moeilijk is onder praktische omstandigheden een goede schatting van de biologische stikstofbinding te maken. Vlinderbloemigen bevatten namelijk veel stikstof en kunnen, afhankelijk van de aanwezigheid van effectieve *Rhizobium*-stammen, de bemesting en de bodemvruchtbaarheid, die stikstof vrijwel helemaal verkrijgen uit biologische binding, maar ook helemaal uit andere bronnen. In het volgende wordt hierop nader ingegaan voor de verschillende gewassen.

De bijdrage van witte klaver aan de opbrengst aan drogestof en stikstof kan worden bepaald door de opbrengst van een gras-klavermengsel te vergelijken met de opbrengst van een monocultuur gras onder dezelfde omstandigheden (Ennik, 1982). Uit literatuuronderzoek van Ennik bleek dat de bijdrage van witte klaver aan de stikstofopbrengst van een gras-klavermengsel in de meeste gevallen varieert van 40 tot 65 kg N per ton geoogste klaver-drogestof. De bijdrage aan de stikstofopbrengst per ton klaver-drogestof wordt wel stikstofbindingsefficiëntie genoemd (nitrogen fixation efficiency). Volgens Ennik (1982) is de stikstofbindingsefficiëntie van witte klaver gemiddeld 55 kg N per ton drogestof. In recent ingezaaid grasland worden vaak iets lagere waarden gevonden (echter vrijwel nooit lager dan 40 kg N per ton drogestof); in oud grasland soms hogere, vooral als het klaveraandeel in de zode klein is. Bemesting met stikstof uit kunstmest of dierlijke mest heeft geen effect op de stikstofbindingsefficiëntie van witte klaver in een mengsel met gras (Ennik, 1982; Van der Meer & Baan Hofman, 2000), in tegenstelling tot wat veelal wordt gedacht. Het negatieve effect van bemesting met stikstof op de stikstofbinding door witte klaver in een gras-klavermengsel, komt volledig tot stand door vermindering van het klaveraandeel in het mengsel (Ennik, 1982; Van der Meer & Baan Hofman, 2000). Blijkbaar neemt het gras alle beschikbare minerale stikstof op en wordt de klavergroei verminderd door de extra grasgroei. Bij een jaarlijkse stikstofgift van 250-300 kg per ha blijft er in de meeste situaties vrijwel geen witte klaver over. De stikstofopbrengst is dan echter nauwelijks hoger dan die van het mengsel zonder stikstof-toediening (Baan Hofman, 1995).

Uit het voorgaande volgt dat om de stikstofbinding door witte klaver in een mengsel vast te stellen, de klaveropbrengst geschat of bepaald moet worden. Dat is niet eenvoudig want het aandeel klaver in de totale opbrengst verschilt sterk gedurende het groeiseizoen (Schils *et al.*, 1999b). Het is vrijwel altijd laag in de eerste snede en hoog in de zomer. Voor een enigszins betrouwbare schatting zijn dus enkele waarnemingen gedurende het groeiseizoen nodig. Goede schattingen zijn bovendien moeilijk door de verschillende groeiwijze van gras en witte klaver. Het is echter ook niet aan te bevelen uit te gaan van forfaitaire waarden voor de stikstofbinding door witte klaver omdat er zulke grote verschillen zijn. In jonge gras-klavermengsels kan onder goede omstandigheden de biologische stikstofbinding meer dan 400 kg per ha per jaar bedragen (Schils, 1997; Elgersma *et al.*, 1998). Vaak is er echter na enkele jaren een flinke vermindering van de klaveropbrengst (Van der Meer & Baan Hofman, 2000) en kunnen er grote verschillen ontstaan tussen jaren (klaverjaren en grasjaren) en percelen binnen een bedrijf. Op een biologisch-dynamisch proefbedrijf in Nagele werd in de periode 1983-1987 de biologische stikstofbinding in gras-klaverweiden bepaald. Hierbij bleek dat die varieerde van minder dan 25 tot ruim 250 kg per ha per jaar (Van der Meer & Baan Hofman, 1989).

Op basis van het voorgaande kan geconcludeerd worden dat binnen een graasveebedrijf met witte klaver veel extra stikstof kan worden aangevoerd. Bij een klaveraandeel van gemiddeld 25% (vooral nog niet gebruikelijk, behalve op biologische graasveebedrijven) belooft deze aanvoer 150 kg N per ha. Deze grootte-orde rechtvaardigt om deze aanvoerpost in MINAS op te nemen. Er is echter geen eenvoudige en controleerbare methode om de grootte van de aanvoer te bepalen.

Voor vlinderbloemige hoofdgewassen ligt dit iets eenvoudiger. De hoeveelheid stikstof die gebonden wordt hangt af van het productieniveau van het gewas en de beschikbaarheid van anorganische stikstof in de bodem. In het algemeen kan gesteld worden dat de totale hoeveelheid stikstof in de door het gewas geproduceerde drogestof (bovengronds en ondergronds) ongeveer de bovengrens aangeeft van de biologische stikstofbinding. Bij een gewas als luzerne wordt het overgrote deel hiervan afgevoerd in het geoogste product. Een goed gewas luzerne, dat 12 ton drogestof per ha per jaar produceert, bevat 390 kg N. Stoppels en wortels van één- of tweejarige luzerne bevatten 100 tot 170 kg N per ha (Van der Meer, 1985). In totaal kan de biologische stikstofbinding door luzerne dus ongeveer 450 kg per ha per jaar bedragen. Veldbonen kunnen een vergelijkbare hoeveelheid N binden (Sibma *et al.*, 1989).

In werkelijkheid zal de biologische stikstofbinding lager zijn dan hierboven is aangegeven doordat het gewas anorganische stikstof uit de bodem opneemt ten koste van de symbiotische binding. Dit blijkt uit

proeven waarin vlinderbloemige hoofdgewassen met stikstof werden bemest en de stikstofopbrengst in het gewas en de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem zijn bepaald (Versteeg *et al.*, 1982; Sibma & Spiertz, 1986; Sibma *et al.*, 1989; Roughley *et al.*, 1983). Het voorgaande betekent dat de feitelijke biologische stikstofbinding gelijk is aan de totale hoeveelheid stikstof in het gewas minus de uit de bodem opgenomen stikstof. Aangezien bemesting van vlinderbloemigen met stikstof niet wenselijk is, zal de stikstofopname uit de bodem niet groter zijn dan de hoeveelheid die door mineralisatie van organische stikstof beschikbaar komt, dat is meestal 100 tot 150 kg per ha per jaar. De biologische stikstofbinding door een goed vlinderbloemig hoofdgewas bedraagt daarmee 300 tot 350 kg per ha per jaar. Dit komt overeen met 25-30 kg N per ha per ton geogste drogestof bij luzerne en 40 tot 50 kg N per ha per ton geogste drogestof (dat wil zeggen korrels) bij veldbonen. Daarbij zij opgemerkt dat korrelopbrengst van veldbonen in de praktijk bij minder gunstige weersomstandigheden belangrijk lager kan zijn. Een schatting van de biologische N-binding op basis van de geogste drogestof onderschat dan de N-binding omdat de N wel gebonden is maar niet getransloceerd is naar de korrels. Er blijft dan een groter deel van de gebonden stikstof op het land achter in de vorm van oogstresten.

Bodemleven

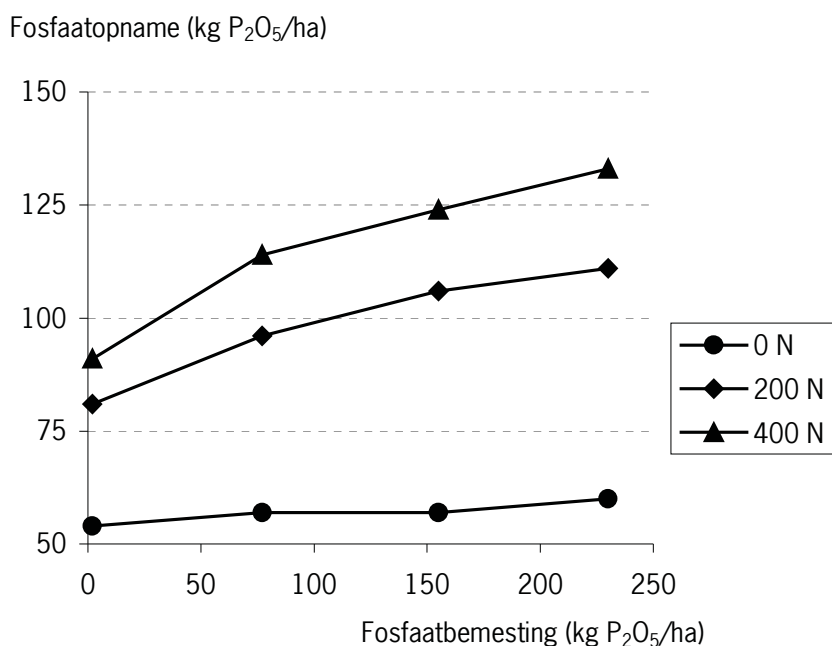
Recent is opnieuw geopperd dat de omvang en samenstelling van het bodemleven beperkend zijn voor de mineralenbenutting door gewassen (Van Bruchem *et al.*, 1999). Daarbij wordt verondersteld dat de gebruikelijke mestdoseringen en voorgeschreven toedieningstechnieken tot doding van bodemleven leiden en deze doding een relevante betekenis heeft voor de benutting van mineralen. Dit uitgangspunt is omstreden onder onderzoekers, maar populair bij een aantal boeren. De door Van Bruchem c.s. geadviseerde oplossing voor het veronderstelde tekort aan bodemleven bestaat uit een pakket van maatregelen zoals verhoging van C/N-verhouding van mest (verlaging van ammonium-N, verhoging van organische N) en het gebruik van 'actieve' kool (FIR), kleimineralen en effectieve micro-organismen (EM). De effecten van dergelijke maatregelen op de N-benutting op bedrijfsniveau zijn slecht gedocumenteerd. Daarbij zijn de effecten van het pakket, dan wel onderdelen van dit pakket, niet steeds te onderscheiden van omstandigheden en andere maatregelen. Onderzoek geeft overigens aan dat het gebruik van actieve kool geen reductie van de ammoniakemissie bij het toedienen van mest tot gevolg heeft (Huijsmans *et al.*, 1999). Het is wel aannemelijk dat een verhoging van de C/N-verhouding (lager N_m -gehalte) van mest tot een geringere ammoniakemissie leidt. Dat betekent overigens niet dat daarmee meer N ter beschikking van de gewassen staat. Verder kan niet worden uitgesloten dat het aansturen op de productie van mest met een hogere C/N-verhouding via de rantsoensamenstelling (bijvoorbeeld door een (te) eiwitarm rantsoen), de benutting van N op bedrijfsniveau nadelig beïnvloedt. Toekomstige evaluaties van opties dienen zich daarom niet tot het bodemleven te beperken, maar op bedrijfsniveau plaats te vinden (Schröder & Van der Meer, 2000).

Wisselwerkingen tussen N en P

Relatief weinig aandacht wordt gegeven aan de wisselwerkingen tussen de N- en P-voorziening van gewassen. Onderzoek aan een verbeterde N-benutting wordt doorgaans uitgevoerd bij ruime P-voorziening, onderzoek aan P-benutting wordt doorgaans uitgevoerd bij ruime N-voorziening. Het beleid richt zich op een gelijktijdige verbetering van de benutting van N en P en dit zal leiden tot een krappere voorziening van beide. Onderzoek aan maïs in de VS (Schlegel & Havlin, 1995) bevestigt dat een krappe P-voorziening de N-benutting inderdaad nadelig kan beïnvloeden. Ehlert & De Willigen (1999) wijzen daarnaast op het belang van een goede vochtvoorziening voor de benutting van P-reserves in de bodem. Aandacht voor dergelijke interacties is dus zeker op zijn plaats. In de akkerbouw loopt op dit moment onderzoek naar NxP-interacties bij maïs, sla en aardappelen.

In de melkveehouderij heeft reeds een aanzienlijke hoeveelheid onderzoek plaatsgevonden. Vanaf 1994 heeft het PR in samenwerking met NMI een serie maaiproeven aangelegd op zeelei (1994-1998), zand (1995-2000), rivierklei (1996-2000) en veen (1998-2002) waarin combinaties van stikstof- en fosfaatniveaus uit kunstmest zijn aangelegd. Uit het, inmiddels afgesloten, onderzoek op zeelei (Schils &

Snijders, 1996a; 1996b) blijkt duidelijk dat de fosfaatrespons afhankelijk is van de hoogte van de stikstofbemesting (Figuur 2.4.7). Voor de zandlocatie zijn vergelijkbare resultaten gevonden, terwijl op de rivierkleilocatie geen sprake was van een interactie tussen stikstof- en fosfaatbemesting. Alhoewel op twee locaties sprake was van een positieve interactie, dient de kanttekening gemaakt te worden dat de gevonden interactie een beperkte relevantie heeft voor praktijk en beleid. De interactie komt namelijk het duidelijkst naar voren bij de extremere behandelingen (geen stikstof of geen fosfaat). Binnen het voor de praktijk relevante traject (200 tot 400 N en 80 tot 240 P_2O_5) is de uitwerking van de interactie gering.



Figuur 2.4.7. Fosfaatopname in relatie tot fosfaatbemesting en stikstofbemesting. Gemiddelde resultaten van een maaiproef op jonge zeelei (1994-1998).

Stikstof-recovery

De omvang van een mineralenoverschot waarmee een bepaalde teelt gepaard gaat hangt behalve van de bemestingsstrategie, ook af van het vermogen van een gewas om de beschikbare mineralen uit de bodem op te nemen en de mate waarin de opgenomen mineralen in oogstbare delen worden geïnvesteerd resp. afgevoerd (i.e. de zgn. harvest-index). Gewassen en soms ook rassen verschillen in hun vermogen om de beschikbare mineralen op te nemen. Het vermogen daartoe hangt af van de synchronisatie tussen de mineralisatie en de opname- en groeidynamiek en van bewortelingseigenschappen in relatie tot de eigenschappen van individuele planten, van plantverbanden (rijenafstand) en van bodemeigenschappen. Deze eigenschappen zijn deels gegevenheden, maar bieden anderzijds ook aangrijpingspunten voor een verfijning van de bemesting. Voorbeelden hiervan zijn de rasafhankelijke N-adviezen voor aardappelen (Van Dijk, 1999a).

Het ene gewas is beter in staat om beschikbare mineralen te benutten dan het andere gewas. Dit vermogen wordt uitgedrukt in de zogenaamde recovery-waarde. Grassen, granen en bieten scoren daarbij hoog; aardappelen, maïs en veel groenten scoren daarbij laag. Per gewas kunnen indicatieve recovery-waarden worden gegeven. Deze waarde is echter geen constante omdat ze mede bepaald wordt door de wijze waarop de meststof wordt toegediend. Voorts hangt de recovery-waarde af van de gegeven hoe-

veelheid. Bij alle gewassen leidt overschrijding van de economisch optimale mestgift vanzelfsprekend tot een verlaging van de recovery (Greenwood *et al.*, 1989). Gewassen die een relatief lage recovery-waarde bezitten rond de economisch optimale mestgift, vertonen dikwijls een stijging van de recovery naarmate minder mest gegeven wordt dan de economisch optimale gift. Bij dit type gewassen worden 'de laatste kilogrammen stikstof' relatief slecht benut en dragen daarmee bij aan een verhoging van de hoeveelheid residuele minerale bodem-N. Bij gewassen met een relatief hoge recovery rondom de economisch optimale mestgift, daarentegen, draagt sub-optimaal bemesten nauwelijks of niet bij aan een verlaging van de residuen. Dit gegeven biedt aangrijpingspunten voor een verbeterde benutting van mineralen. Immers, bij gewassen met een relatief lage recovery zou bij de ontwikkeling van bemestingsadviezen veel explicieter aandacht moeten worden besteed aan de voor- en nadelen van sub-optimaal bemesten opdat een afweging gemaakt kan worden of het sub-optimaal bemesten van sommige gewassen het toelaat om andere gewassen wat ruimer te bemesten, zonder overschrijding van verliesnormen op bedrijfsniveau. Voorts laat een dergelijke explicitering toe om de prijs van milieumaatregelen objectief te berekenen. De ontwikkeling van dit soort flexibele bemestingsadvisering heeft de afgelopen jaren maar beperkt plaatsgevonden (Tabel 2.4.2). Bij Plant Research International vindt onderzoek plaats om voor een aantal belangrijke akkerbouwgewassen en grasland tot een uniforme en objectieve beschrijving van input-output-relaties te komen. Deze zogenaamde quadmod-analyses (Ten Berge *et al.*, 2000) kunnen de basis vormen voor de genoemde flexibele bemestingsadvisering.

Vaststelling van de economisch optimale gift is uitgangspunt in de bemestingsadvisering gebleven (waarbij overigens voorbij wordt gegaan aan het effect van mestafnamevergoedingen op het begrip 'economisch optimaal'). Bij de vaststelling van bemestingsadviezen wordt impliciet aan risicomijding gedaan (Verloop, 1999). Om de vaststelling van adviezen te objectiveren is door de Commissie Bemesting Akkerbouw een protocol opgesteld volgens welke bemestingsonderzoek ten behoeve van gewasgerichte adviezen (idealiter) dient te worden opgezet, uitgevoerd en geanalyseerd (Schröder *et al.*, 1998c). Bij het vaststellen van adviezen voor gewassen met een klein areaal kan niet steeds volgens dit protocol gewerkt worden.

Tabel 2.4.2. *Relatieve opbrengst, N-benutting (N-recovery,%), N-overschot (kg per ha) en minerale bodem-N residu (kg per ha) bij optimale en sub-optimale N-bemesting van snijmaïs Bron: Schröder et al. (1998b).*

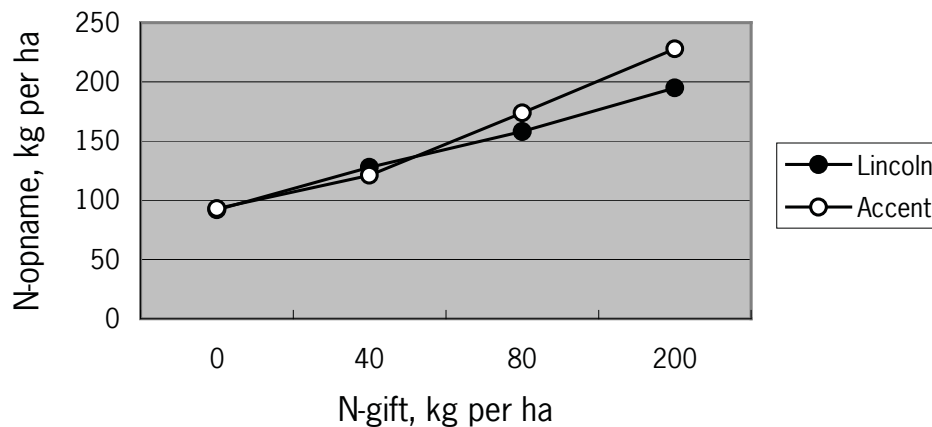
	Optimaal	Gift:				
		optimaal minus ... kg N/ha				
		20	40	60	80	100
Rel. opbrengst	100	99	97	94	89	84
N-benutting	53	57	61	65	69	73
N-overschot ¹	132	98	66	35	5	-22
N-residu	66	60	55	50	45	42

¹ op basis van bemesting met alleen dierlijke mest.

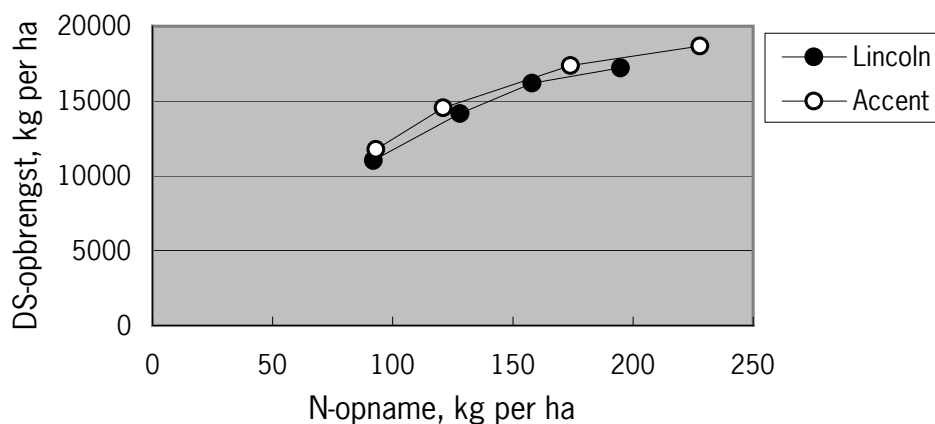
Rassen

Rassenonderzoek in Nederland vindt onder een min of meer optimale mineralenvoorziening plaats. Vanuit dat oogpunt wordt niet geselecteerd op het vermogen van gewassen om onder sub-optimale omstandigheden te produceren. Met name voor de biologische landbouw is het ook thans al belangrijk om over rassen te kunnen beschikken die vroeg in het seizoen voldoende mineralen uit de bodem kunnen opnemen. Omdat genotypen verschillen in de mate en vorm van beworteling, in de mate waarin mineralen door het wortelstelsel worden opgenomen en de verdeling van mineralen en drogestof tussen boven- en ondergrondse delen, kan niet worden uitgesloten dat de benutting van mineralen door

selectie kan worden verbeterd. Bij eenjarige teelten vond hiernaar oriënterend onderzoek plaats bij maïs (Van der Schoot, PAV, ongepubliceerd). Uit dit onderzoek blijkt dat rassen verschillen in hun vermogen om aangeboden meststoffen op te nemen (Figuur 2.4.8) en in hun vermogen om opgenomen meststoffen om te zetten in drogestof (Figuur 2.4.9).



Figuur 2.4.8. N-opname van twee snijmaïsrassen bij verschillende N-giften.



Figuur 2.4.9. DS-opbrengst van twee snijmaïsrassen bij verschillende N-opnamen.

Ook bij grassen is verkennend onderzoek gedaan naar genotypische verschillen in N-benutting. In de afgelopen 20 jaar is er een verbetering gerealiseerd van de ruwvoerproductie van rassen van Engels raaigras van 10%. Er is voldoende reden om te veronderstellen dat een verdere verhoging van de grasproductie van 10% bij gelijkblijvende stikstofgift mogelijk is bijvoorbeeld door selectie op stikstofefficiëntie. In een studie van Vellinga & Van Loo (1994) is met behulp van een groeimodel aangetoond dat met de al gevonden genetische variatie in de spruit/wortel-verhouding en in hergroeisnelheid, verbeteringen van de stikstofefficiëntie mogelijk zijn van ten minste 10%. Verder blijkt dat er systematische genetische verschillen in verteerbaarheid tussen rassen van Engels raaigras bestaan van ongeveer 2%. Tussen niet verwante lijnen en populaties van Engels raaigras zijn al grotere verschillen aangetoond (tot 4%). Een verbetering van de stikstofefficiëntie met 10% van grasrassen blijkt een verlaging van de stik-

stofopname per dier tot gevolg te hebben van 15% zonder verlaging van de stikstofvastlegging en zonder verlaging van de melkproductie. De stikstofbenutting door het dier neemt dus sterk toe. Een verhoging van de verteerbaarheid met 5% leidt tot een 16% lagere krachtvoerbehoefte. Door vergelijking van scenario's wat betreft mineralenoverschotten en bedrijfsresultaat zijn de effecten van grassenveredeling op bedrijfsniveau en nationaal niveau bepaald. Op bedrijfsniveau kan een verlaging van het stikstofoverschot gerealiseerd worden van 120 kg per ha per jaar door toepassing van stikstofefficiëntere rassen, terwijl het netto-bedrijfsresultaat toeneemt met 120 gulden per ha grasland per jaar. Verhoging van de verteerbaarheid met 5% levert een verhoging van het netto-bedrijfsresultaat op van ongeveer 210 gulden per hectare per jaar. Een verhoging van de verteerbaarheid heeft slechts een klein effect op het stikstofoverschot omdat de stikstofbemesting niet wordt verlaagd. Wel is het fosfor- en kaliumoverschot iets lager bij een hogere verteerbaarheid door een verminderde aanvoer van krachtvoer.

Op basis van de resultaten op bedrijfsniveau voor de twee bedrijfstypen zijn slechts zeer grove schattingen mogelijk van de effecten van grassenveredeling op nationaal niveau. Voorzichtige schattingen op nationale schaal laten zien dat met grasrassen met een 10% hogere stikstofefficiëntie een verlaging van het nationale stikstofoverschot met ongeveer 64 miljoen kg per jaar mogelijk is met een toename van het totale bedrijfsresultaat van 65 miljoen gulden per jaar. Als met gebruik van de huidige grasrassen wordt gestreefd naar een zelfde vermindering van het stikstofoverschot, levert het gebruik van stikstofefficiëntere rassen 200 miljoen gulden per jaar op. Grassenveredeling kan dus een aanzienlijke bijdrage leveren aan een verlaging van de mineralenoverschotten en aan een verhoging van het bedrijfsresultaat in de melkveehouderij. De berekende effecten van grassenveredeling zullen geleidelijk gedurende een periode van ongeveer 20 jaar kunnen worden gerealiseerd (Vellinga & Van Loo, 1994).

2.4.4.3 Van gewas naar dierproducten en mest

Voedingsmaatregelen die zijn gericht op beperking van de ammoniakemissie uit de stal door beïnvloeding van de samenstelling van de urine en mest kunnen ook een impact hebben op de N-benutting in de bodem. Bij varkens is de ammoniakemissie uit de stal -deels in een laboratoriumopstelling (pottenproef)- onderzocht van excreta van vleesvarkens geproduceerd op rantsoenen die

- Een verschuiving van N-uitscheiding van urine (in de vorm van snel afbreekbaar ureum) naar mest (in de vorm van organisch gebonden stikstof) veroorzaken (via dikke darm fermentatie van niet-zetmeel koolhydraten)
- Een verlaging van de pH van de urine en mengmest veroorzaken (via zuur-base-balans, calcium-niveau en 'zuurvormende' Ca-zouten in het voer en fermentatie in de mengmest). Ter illustratie: benzoëzuur wordt na onderzoek van ID, IMAG, TNO en PV door DSM/CHV geïntroduceerd als een zeer effectief voederadditief om de ammoniakemissie te verlagen.
- Een verlaging van de totale N-uitscheiding bewerkstelligen (laag eiwit niveau met aanvullende essentiële aminozuren).

Door deze voedingsmaatregelen (afzonderlijk of gecombineerd) zijn aanzienlijke emissiereducties mogelijk (Canh, 1998; Den Brok *et al.*, 1997; Peet-Schwering *et al.*, 1999). Effecten op de N-benutting in de bodem van aldus verkregen mesten zijn nog niet onderzocht. Deels kunnen de effecten afgeleid worden uit de afwijkende mestsamenstellingen; deels zal vervolgonderzoek hier een antwoord op moeten geven. In het lopende EET-project 'Hercules', waarbij varkensmest direct gescheiden en daarna bewerkt wordt, zal ook het effect op de plantengroei bestudeerd worden.

Fermentatie vindt bij melkvee al in de voormagen plaats. De onder (1) genoemde maatregel bij varkens is daardoor bij melkvee niet toepasbaar. Productie van zuurdere urine is in beginsel ook bij melkvee mogelijk (Bannink & Van Vuuren, 1998). In vergelijking met vleesvarkens is de speelruimte echter beperkt omdat de hoge melkproducties geen grote verschuivingen in het zuur-base-evenwicht toelaten, vanwege het risico van stofwisselingsziekten (Ca/P-huishouding).

Bij melkvee is de eiwitvoorziening via het rantsoen vaak ruim in verhouding tot de behoefte. Door een betere afstemming op de behoefte is hier nog veel winst te bereiken; zowel in de winter als in de zomer (Smits *et al.*, 1997; 1998). Hierdoor daalt niet alleen de ammoniakemissie, maar neemt ook de totale N-uitscheiding af. De N-gehalten in de urine en de mest worden in sterke mate bepaald door de kalium opname: het kalium-surplus bepaalt in sterke mate het urinevolume waarin de N-overmaat wordt uitgescheiden (Smits & Verboon, 1996; Bannink *et al.*, 1999). Als eiwit- en kaliumrijk gras wordt vervangen door minder eiwit- en kaliumrijke producten zal dit dus niet alleen leiden tot een kleinere N-stroom maar ook tot een kleinere bulkstroom mest per hectare (indicatie: enkele tientallen procenten).

Bij pluimvee zijn de mogelijkheden om de emissie te beperken via de (eiwit)voeding zeer beperkt doordat het rantsoen al zeer uitgebalanceerd is tot op het niveau van de benodigde aminozuren.

Recentelijk is onderzoek verricht naar het de invloed van voedingsfactoren op de waterconsumptie en het waterbindend vermogen in de excreta, in relatie tot de afbraaksnelheid van stikstofhoudende verbindingen en de ammoniakemissie bij vleeskuikens.

Van Vuuren & Jongbloed (1994) gaan uitgebreid in op de mogelijkheden de ammoniakemissie via het voerspoor te reduceren. Voor onderzoeksaanbevelingen wordt naar hun publicatie verwezen.

2.4.5 Doorwerking van maatregelen op gewasniveau naar het N-overschot op bedrijfsniveau

In het voorgaande werd stilgestaan bij de effecten van bemestingregiem en gewaseigenschappen. Tabel 2.4.3 illustreert de invloed van deze factoren voor plantenteeltbedrijven aan de hand van een deskstudie (De Buck *et al.*, 2000). Daarbij worden ook de perspectieven verkend van aangepaste strategieën zoals een efficiëntere najaarsbemesting (binding van minerale N), voorjaarsbemesting (met en zonder structuurbederf) of het hanteren van een verhoogde werkingscoëfficiënt bij herhaald mestgebruik. De berekende overschotten tonen aan dat de meeste bedrijven, met uitzondering van groentebedrijven, aan de voorgestelde verliesnormen kunnen voldoen. De desk-studie vormt de basis voor het Voorwaartsproject, (recent omgedoopt in 'Telen met Toekomst') de akkerbouw-groenteteelt-pendant van Koeien en Kansen in de melkveehouderij.

Tabel 2.4.3. *N-overschot als functie van bouwplan en bemestingregiem, effect van bouwplan op N-overschot (excl. depositie, kg/ha) bij P₂O₅ overschot van 0 en werkelijke afvoer. Bron: De Buck et al., 2000.*

Bouwplan	I	II	III	IV	V	VI
Aardappelen	25	20	50	25		
Suikerbieten	25	20	25	25		
Granen	50	50	25	25	50	
Uien		5		12.5		
Graszaad		5		12.5		
Groenten					50	100
Bemestingsregiem:						
K: alleen kunstmest	17	18	37	34	42	114
KOV: kunstmest + organische mest, voorjaars-toediening, werking 60%	58	61	79	70	93	141
KOV-: als KOV maar met 10% structuurschade, werking 60%	61	63	86	76	98	153
KOV+: als KOV maar werking 75%	49	58	60	60	79	125
KOH: kunstmest + organische mest, herfttoediening, werking 20%	86	85	118	104	133	162
KOH+: als KOH, werking 25%	80	79	112	98	129	159

Tabel 2.4.4. MINAS N-overschot (kg per ha per jaar) als functie van productieintensiteit (kg melk-N per ha), beweidingsregiem (onbeperkt, zero-grazing), gewassenkeuze (grasland, maïs) en keuzes (binnen grenzen) ten aanzien van zelfvoorziening (percentage voer-N uit eigen productie) (naar Schröder, 2000).

N-afvoer in melk	Melkkoe / ha	Beweidingsregiem	Maisland-aandeel	Zelfvoorziening	MINAS N-overschot
56	1,2	zero grazing	30%	100%	101
				70%	80
			0%	100%	83
		onbeperkt weiden	30%	70%	61
				100%	144
			0%	70%	122
83	1,7	zero grazing	30%	100%	126
				70%	104
			0%	99%	125
		onbeperkt weiden	30%	70%	97
				86%	169
			0%	70%	154
		100%	192		
		70%	161		

Ook op melkveebedrijven blijkt een grote diversiteit te bestaan in N-overschot op basis van alleen al de wijze waarop het bedrijf is ingericht. Een illustratie hiervan vormt Tabel 2.4.4. Modelberekeningen (Schröder, 2000) geven aan dat bij eenzelfde melkproductie in termen van de N-afvoer zeer diverse N-overschotten optreden, afhankelijk van het gekozen beweidingsregiem, de gewassenkeuze en de mate waarin voer wordt aangekocht. Dit betekent dat de in de praktijk vastgestelde variatie in N-overschot niet per se moet worden toegerekend aan de mate waarin een ondernemer scherp durft te bemesten. Zo kunnen voeraankoop (en afvoer van dierlijke mest) bij overigens vergelijkbaar beheer tot een lager N-overschot leiden.

2.4.6 Conclusies

- Balansen van de afzonderlijke schakels (en de daarbij behorende indicatoren) van een grondgebonden veehouderijbedrijf (bodem>gewas, gewas>voer>dier>melk/vlees/mest, mest>bodem) bieden, naast een balans op bedrijfsniveau, aanvullende aanwijzingen en aangrijpingspunten om de mineralenverliezen te beperken,
- Onderzoek na 1995 heeft duidelijk gemaakt hoe adviezen en de daaruit af te leiden (kunst)mestgiften verder kunnen worden verfijnd op basis van verschillen in eigenschappen tussen percelen (bodemeigenschappen, voorvruchten, gewaseigenschappen) en binnen percelen (verdeling van bodemvruchtbaarheid, verdeling van wortels) en variatie tussen jaren (geleide bemesting op basis van bodem- en gewaswaarnemingen),
- Onderzoek na 1995 heeft tot het inzicht geleid dat een bovengrens van ongeveer 20 kg P₂O₅ per ha per jaar, in het algemeen voldoende is om de P-toestand 'voldoende' te handhaven; hiermee is het aanvankelijk nodig geachte overschot van circa 50 kg P₂O₅ per ha per jaar belangrijk verlaagd. Dit wil vooralsnog niet zeggen dat deze 20 kg de juiste eindnorm is. Daarvoor zijn de meetreeksen nog te kort zijn, temeer omdat ook uit modelberekeningen de indruk ontstaat dat de verliesnorm nog naar beneden kan worden bijgesteld.

- Onderzoek verricht na 1995 heeft geresulteerd in aanbevelingen hoe de benutting van dierlijke mest verder kan worden verbeterd op basis van de aard, het toedieningstijdstip, de toedieningswijze, en de termijn waarover dierlijke mest gebruikt wordt,
- Onderzoek op zowel gewas- als bedrijfsniveau (De Marke) toont aan dat een (economisch) suboptimale bemesting bij gewassen met een lage recovery rond het economisch optimum, een effectieve methode kan zijn om verliezen per eenheid product en oppervlakte te beperken,
- De grootteorde van de bijdrage van rasverschillen aan het verlagen van verliezen zijn slechts beperkt onderzocht,
- Wijziging van de rantsoensamenstelling kan door effecten op de verdeling van de uitscheiding over urine en faeces, de zuurgraad of de uitscheiding als geheel (betere balancerings van energie en essentiële aminozuren) tot een verbeterde benutting in de schakel gewas>voer>melk/vlees/mest leiden en de ammoniakverliezen in de schakel dier>mest>bodem beperken,
- Het mineralenonderzoek is voor een zeer groot deel gericht geweest op hetzij N, hetzij P; betrekkelijk geringe aandacht is uitgegaan naar de interacties tussen beide en nog minder naar de effecten van directe (drainage, beregening) of indirecte (vernatting, verdroging) veranderingen van de vochtuithouding op de mineralenbenutting.

2.4.7 Resterende onderzoeksvragen

Er resteren de volgende onderzoeksvragen:

- lange-termijn effecten en perspectieven van alternatieve bemestingsstrategieën (omvang en duur van nalevering*, interacties tussen N, P en vochtvoorziening*, voor- en nadelen van geleide bemesting en meststofplaatsing bij lagere bodemvruchtbaarheid, rol van bodemleven, de effecten van toevoegmiddelen op bedrijfsniveau),
- economische evaluatie van geleide bemestingssystemen t.o.v. verzekeringsgiften,
- perspectieven van mestscheiding ten opzichte van gangbare alternatieven voor najaarstoediening*,
- nadere definitie van de perspectieven van voorjaarstoediening van dierlijke mest op kleigrond*,
- de ontwikkeling van flexibele bemestingsadviezen op basis van gewas- en emissie-responscurven en de integratie van deze adviezen op bedrijfsniveau,
- rassenonderzoek bij suboptimale mineralenvoorziening*,
- onderzoek aan de effecten van de rantsoensamenstelling op de benutbaarheid van de geproduceerde mest door gewassen (ketenbenadering),
- verfijning van het fosfaatadvies voor groenten op basis van P-opname-dynamiek, bewortelingseigenschappen, bodemeigenschappen en bemestingsstrategieën**,
- bedrijfsanalyse ter bepaling van realiseerbare N- en P-overschotten als functie van bedrijfstype, bedrijfsopzet (intensiteit, zelfvoorziening), management, bodem en klimaat*,
- de ontwikkeling van praktische modellen die mineralenstromen op een bedrijf in beeld brengen, mogelijkheden voor optimalisatie suggereren en besluitvorming voor een aangepaste inrichting en beheer van mineralenstromen op het bedrijf helpen ondersteunen.

* reeds beperkt uitgevoerd **inmiddels in uitvoering

Literatuur

Alblas, J. & J.R. van der Schoot, 2000.

Pw-getal zegt niet alles. Bulletin Akkerbouw, PAV, Lelystad 4, pp. 34-37.

Anonymus, 1997.

Kwantitatieve Informatie Akkerbouw 1997-1998. PAV, Lelystad.

Baan Hofman, T., 1995. De betekenis van witte klaver in het grasland van 'De Marke'. In: H.F.M. Aarts (red.), Weide- en voederbouw op De Marke: op zoek naar de balans tussen produktie en emissie. De Marke Rapport nr 12, 89 pp.

- Bannink, A., H. Valk & A.M. van Vuuren, 1999.
Intake and excretion of sodium, potassium, and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82: 1008-1018.
- Berge, H.F.M. ten, H.H. van der Meer, L. Carlier, T. Baan Hofman & J.J. Neeteson, 2000.
Limits to nitrogen use on grassland. *Environmental Pollution* (submitted).
- Beijer, L. & H. Westhoek, 1996.
Fertilizers for cattle farming (In Dutch). Publicatie 17, Informatie- en Kennis Centrum Landbouw, Ede, 109 pp.
- Canh, T.T., 1998.
Ammonia emission from excreta of growing-finishing pigs as affected by dietary composition. Proefschrift Landbouwuniversiteit, Wageningen, 163 pp.
- Corré, W.J., 1994.
Nitraatuitspoeling bij herfsttoediening van dierlijke mest. Rapport 2, AB-DLO, Wageningen/Haren, 27 pp.
- Corré, W.J. & A. Hoogerbrugge, 1999.
De stikstofwerking van vloeibare meststoffen op grasland. Nota 197, AB-DLO, Wageningen/Haren, 10 pp.
- De Buck, A.J., F.J. de Ruijter, W. van Dijk, F. Wijnands, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booij, 2000.
Voorwaarts met de milieuprestaties van de Nederlandse open-teelt sectoren: een verkenning naar 2020. Rapport 6. Plant Research International, Wageningen, 104 pp.
- Den Boer, D.J. & J.C. van Middelkoop, 1997.
Verandering van fosfaattoestand en fosfaat in diepere bodemlagen van grasland. Management op Duurzame Melkveebedrijven nr 6.
- Den Brok, G.M., J.G.L. Hendriks, M.G.M. Vrieling & C.M.C. van der Peet-Schwering, 1997.
Urine-pH, ammoniakemissie en technische resultaten van vleesvarkens na toevoeging aan het voer van organische zuren, met name benzoëzuur. Proefverslag nr P 1.194, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, 36 pp.
- Dilz, K, J. Postmus & W.H. Prins, 1990.
Residual effect of long term applications of farmyard manure to silage maize. *Fertilizer Research* 26: 249-252.
- Ehlert, P.A.I. & P. de Willigen, 1999.
Relatie fosfaatbehoefte vollegrondsgroenten en fosfaattoestand in de bodem. In: P.H.M. Dekker (red.), Naar maatwerk in bemesting. Themaboekje 22, PAV, Lelystad, pp. 32-45.
- Elgersma, A., M. Nassiri & H. Schlegers, 1998.
Competition in perennial ryegrass-white clover mixtures under cutting. 1. Dry-matter yield, species composition and nitrogen fixation. *Grass and Forage Science* 53: 353-366.
- Ennik, G.C., 1982.
De bijdrage van witte klaver aan de opbrengst van grasland. *Landbouwkundig Tijdschrift* 94: 363-369.
- Erisman, J.W. & Monteny, G.J., 1999.
Mogelijke oorzaken van tegenvallende afname van ammoniakemissie in Nederland. *Milieu* 99 (1), 2-10.
- Everaarts, A.P., 1993a.
General and quantitative aspects of nitrogen fertilizer use in the cultivation of Brassica vegetables. *Acta Horticulturae*, 339, 149-160.
- Everaarts, A.P., 1993b.
Strategies to improve the efficiency of nitrogen fertilizer use in the cultivation of Brassica vegetables. *Acta Horticulturae* 339: 161-173.
- Everaarts, A.P. & R. Booij, 2000.
The effect of nitrogen application on nitrogen utilization by white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) and on nitrogen in the soil at harvest. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (in press).

- Everaarts, A.P. & C.P. de Moel, 1995.
The effect of nitrogen and the method of application on the yield of cauliflower. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43: 409-418.
- Everaarts, A.P. & C.P. de Moel, 1998.
The effect of nitrogen and the method of application on yield and quality of white cabbage. *European Journal of Agronomy* 9: 203-211.
- Everaarts, A.P. & P. de Willigen, 1999a.
The effect of nitrogen and the method of application on yield and quality of broccoli. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 47: 123-133.
- Everaarts, A.P. & P. de Willigen, 1999b.
The effect of the rate and method of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization by broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Netherlands Journal of Agricultural Science* 47 (in press).
- Everaarts, A.P., C.P. de Moel & M. van Noordwijk, 1996.
The effect of nitrogen and the method of application on nitrogen uptake of cauliflower and on nitrogen in crop residues and soil at harvest. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44: 43-55.
- Gorissen, A., J.J. Schröder, O. Oenema & A.P. Whitmore, 1999.
Desk-studie najaarstoediening dierlijke mest op kleigrond. Rapport 95, AB-DLO, Wageningen, 30 pp.
- Görlitz, H., V. Herrmann & R. Jauert, 1985.
Ertrag und Nährstoffnutzung nach ein- und mehrjährigen hohen Güllegaben zu Silomais sowie ihre Nachwirkung auf sandigen Böden. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* Berlin 29: 55-60.
- Greenwood, D.J., K. Kubo, I.G. Burns & A. Draycott, 1989.
Apparent recovery of fertilizer-N by vegetable crops. *Soil Science and Plant Nutrition* 35: 367-381.
- Habekotté, B., Corré, W.J. & Hilhorst, G.J., 1998.
De P-toestand van de bodem op De Marke. 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.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., A.H.J. van der Putten, W.J. Corré & J. Hassink, 1996.
Stikstofverliezen naar het milieu. In: J.W.G.M. Loonen & W.E.M. Bach-de Wit (red.), *Stikstof in Beeld; Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij* 20, pp. 78-98.
- Hengsdijk, H., 1992.
Najaarstoediening van dierlijke mest op kleigronden. Verslag 149, PAGV, Lelystad.
- Huijsmans, J.F.M., 1998.
Application techniques to evenly distribute slurry and to reduce ammonia losses on grassland. In: Mutsanaki (Ed.), *Environmentally friendly management of farm animal waste, Japan*, pp. 199-203.
- Huijsmans, J.F.M. & R.M. de Mol, 1999.
A odour for ammonia volatilisation after surface application and subsequent incorporation of manure on arable land. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74: 73-82.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & D.W. Bussink, 1997.
Reduction of ammonia emission by new slurry application techniques on grassland. In: S.C. Jarvis & B.F. Pain (Eds.), *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. CAB International, Wallingford, pp. 281-285.
- Huijsmans, J.F.M., H.A.J. Porskamp, J.J. Lenenhan & D. Keppel, 1998.
Evaluation of the slurry distribution by a new slurry applicator. *International Conference on Agricultural Engineering, Oslo, 24/28 August 1998, paper 98-C-051, Proceedings abstract* pp. 928-929.
- Huijsmans, J.F.M., G.J. Monteny, J.M.G. Hol & F.H. Ettema, 1999.
Ammoniakemissie na bovengronds toedienen van FIR-rundermest, IMAG-DLO Nota P99-24, Wageningen, 16 pp.

- Kroonen-Backbier, B.M.A., 1998:
 Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten Meterik, evaluatie 1991-1996, PAV-publicatie nr 92, 87 pp.
- Oenema, O. & T. van Dijk, 1995.
 Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Rapport van de technische projectgroep 'P-desk-studie'. Min. LNV, VROM, V&W, Landbouwschap, Centrale Landbouworganisaties, 102 pp.
- Peet-Schwering, C.M.C., A.J.A. Aarnink, H.B. Rom & J.Y. Dourmad, 1999.
 Ammonia emissions from pig houses in The Netherlands, Denmark and France. *Livestock Production Science* 58: 265-269.
- Phillipsen, A., 1998.
 Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), 53 pp.
- Postma, S., 1995.
 Toediening van dierlijke mest op löss-, dal- en lichte zavelgrond. Verslag 197, PAGV, Lelystad, 111 pp.
- Roughley, R.J., J.I. Sprent & J.M. Day, 1983.
 Nitrogen fixation. In: P.D. Hebblethwaite (Ed.), *The Faba Bean (*Vicia faba* L.) A Basis for Improvement*. Butterworths, London, pp. 233-260.
- Rovers, J., 1998.
 Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten Westmaas, evaluatie 1991-1995, PAV-publicatie nr 91, 77 pp.
- Schils, R.L.M., 1997.
 Effect of a spring application of nitrogen on the performance of perennial ryegrass-white clover swards at two sites in The Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 263-275.
- Schils, R.L.M. & J. van Middelkoop, 2000.
 Fosfaatevenwichtsbemesting op grasland; na twee jaar nog geen effect. Praktijkonderzoek 13-1.
- Schils, R.L.M. & P.J.M. Snijders, 1996a.
 Fosfaatbemesting op grasland in relatie tot stikstofbemesting. Praktijkonderzoek 9, nr 4.
- Schils, R.L.M. & P.J.M. Snijders, 1996b.
 Effects of phosphorus application on grass and grass/clover. Recent research and development of white clover in Europe-REUR Technical Series 42, pp. 110-112.
- Schils, R.L.M., H.G. van der Meer, A.P. Wouters, J.H. Geurink & K. Sikkema, 1999a.
 Nitrogen utilization from diluted and undiluted nitric acid treated cattle slurry following surface application to grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53: 269-280.
- Schils, R.L.M., Th.V. Vellinga & T. Kraak, 1999b.
 Dry matter yield and herbage quality of a perennial ryegrass/white clover sward in a rotational grazing and cutting system. *Grass and Forage Science* 54: 19-29.
- Schlegel, A.J. & J.L. Havlin (1995)
 Corn response to long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *Journal of Production Agriculture* 8, 181-185.
- Schröder J.J., 1999.
 Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer N on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53: 209-218.
- Schröder, J.J., 2000.
 KOEIN 1.0: stroomdiagram en balans voor stikstof op melkveehouderijbedrijven -rekenblad ontwikkeld in het kader van het derogatieverzoek van EU-nitraatrichtlijn. Nota Plant Research International, Wageningen (in druk).
- Schröder J.J. & P.A.I. Ehlert, 1998.
 Fosfaatbeheer bij de teelt van maïs. 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. 87-100.

- Schröder, J.J. & H.G. van der Meer, 2000.
Verhoogt een gewijzigde mestsaamenstelling de N-benutting door gewassen en de N-benutting op bedrijfsniveau?. Nota t.b.v. WUR mestoverleg, Plant Research International, Wageningen, 7 pp.
- Schröder J.J., L. ten Holte, H. van Keulen & J.H.A.M. Steenvoorden, 1993.
Effects of nitrification inhibitors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment. *Fertilizer Research* 34: 267-277.
- Schröder, J.J., J. Groenwold & T. Zaharieva, 1996a.
Soil mineral nitrogen availability to young maize plants as related to root length density distribution and fertilizer application method. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44: 209-225.
- Schröder, J.J., W. van Dijk & W.J.M. de Groot, 1996b.
Nitrogen fluxes in maize cropping systems as affected by cover crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44: 293-315.
- Schröder, J.J., P. van Asperen, G.J.M. van Dongen & F.G. Wijnands, 1996c.
Nutrient surpluses on integrated arable farms. *European Journal of Agronomy* 5: 181-191.
- Schröder, J.J., L. ten Holte & G. Brouwer, 1997a.
Response of silage maize to placement of caatle slurry. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 249-261.
- Schröder, J.J., L. ten Holte & B.H. Janssen, 1997b.
Non-overwintering cover crops: a significant source of N. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 231-248.
- Schröder, J.J., O. Oenema & S. Pietrzak, 1998a.
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*. APMinderhoudhoeve reeks nr 2, 121-128.
- Schröder J.J., J.J. Neeteson, J.C.M. Withagen & I.G.A.M. Noij, 1998b.
Effects of N application on agronomic and environmental parameters in silage maize production on sandy soils. *Field Crops Research* 58: 55-67.
- Schröder, J.J., P.J. van Erp & W. van Dijk, 1998c.
Leidraad voor de verzameling en interpretatie van proefvelddata, ter vaststelling van landbouwkundige en milieukundige kenmerken respectievelijk bemestingsadviezen: stikstof. Nota, Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgronteteelt, PAV, Lelystad, 8 pp.
- Schröder, J.J., J.J. Neeteson, O. Oenema & P.C. Struik, 2000.
Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research* 62: 151-164.
- Sibma, L. & J.H.J. Spiertz, 1986.
Dry matter production and nitrogen utilization in cropping systems with grass, lucerne and maize: 1. Comparison of crop characteristics, growth and production. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 34: 25-35.
- Sibma, L., C. Grashoff & J.A. Klein Hulze, 1989.
Ontwikkeling en groei van veldbonen (*Vicia faba*) onder Nederlandse omstandigheden. *Gewassenreeks* 3, Pudoc, Wageningen, 64 pp.
- Smits, M.C.J. & M.C. Verboon, 1996.
Onderzoek naar urineproductie, urineloosingspatroon en ammoniakemissie bij rundvee. In: P. van der Aar, A.J.A. Aarnink, M.C. Blok & A.M. Van Vuuren (red.). *Veevoeding en ammoniakemissie stand van zaken in het onderzoek*. FOMA & Produktschap voor Veevoeder, Kwaliteitsreeks (VVr) nr 37, pp. 65-87.
- Smits, M.C.J., G.J. Monteny & H. Valk, 1998.
Effecten van bijvoeding, N-bemesting en beweiding op ammoniakemissie van melkkoeien. *Rapport 98-07*, IMAG-DLO, Wageningen, 62 pp.
- Smits, M.C.J., H. Valk, G.J. Monteny & A.M. Van Vuuren, 1997.
Effects of protein nutrition on ammonia emission from cow houses. In: S.C. Jarvis & B.F. Pain (Eds.), *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*, Int. Conference Nitrogen Emissions from Grasslands. CAB International, Wallingford, pp. 101-108.

- Steenvoorden, J.H.A.M., W.J. Bruins, M.M. van Eerdt, M.W. Hoogeveen, N. Hoogervorst, J.F.M. Huijsmans, H. Leneman, H.G. van der Meer, G.J. Monteny & F.J. de Ruijter, 1999. Monitoring van nationale ammoniakemissies uit de landbouw, Op weg naar een verbeterede rekenmethodiek. Reeks Milieuplanbureau 6, SC-DLO, Wageningen, pp. 141.
- Thorup-Kristensen, K., 1994. The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research* 37: 227-234.
- Timmer, R.D., 1996. Voorjaarstoepassing dierlijke mest in granen. Jaarboek 1996, PAV, Lelystad, pp. 91-96.
- Titulaer, H.H.H., 1997. Verliesarme toediening van dierlijke mest op zavelgrond. *Bulletin Akkerbouw* September 1997, PAV, Lelystad, pp. 6-8.
- Uenk, D. & R. Booij, 1999. Stikstofbijbemestingsysteem in aardappelen. *Nota 1, Plant Research International*, Wageningen, 21 pp.
- Van Bruchem, J., H. Schiere & H. van Keulen, 1999. Dairy farming in the Netherlands in transition towards more efficient nutrient use. *Livestock Production Science* 61: 145-153.
- Van den Pol-van Dasselaar, A. & A.P. Phillipsen, 2000. Nieuw N-advies snijmaïs na scheuren grasland. *Praktijkonderzoek* 00 (1)
- Van der Meer, H.G., 1985. Teelt en opbrengst van luzerne en rode klaver (Management and yield of lucerne and red clover). CABO-verslag nr 59, CABO, Wageningen, The Netherlands, 29 pp.
- Van der Meer, H.G. & T. Baan Hofman, 1989. Contribution of legumes to yield and nitrogen economy of leys on a biodynamic farm. In: P. Planquaert & R. Haggard (Eds.), *Legumes in farming systems. Developments in Plant and Soil Sciences* 37. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 25-36.
- Van der Meer, H.G. & T. Baan Hofman, 2000. Effects of low-emission slurry application techniques and periods of application on the yield and nitrogen economy of a mixed sward of perennial ryegrass and white clover. In: H.G. van der Meer (Ed.), *Reducing inputs and losses of nitrogen and energy on dairy farms. Final Report Project AIR3 CT92-0332. Note 18, Plant Research International*, Wageningen, The Netherlands (in press).
- Van der Meer, H.G. & A.H.J. van der Putten, 1995. Reduction of nutrient emissions from ruminant livestock farms. In: *Grassland into the 21st Century: challenges and opportunities. Occasional Symposium 29, British Grassland Society*, pp. 118-134.
- Van der Putten, A.H.J. & Th. V. Vellinga, 1996. De invloed van graslandgebruik op de benutting van de toegediende stikstof. In: J.W.G.M. Loonen & W.E.M. Bach-de Wit (red.). *Stikstof in Beeld; Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij* 20, pp. 36-59.
- Van der Salm, C. & O.F. Schoumans, 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Report 83, Alterra, Wageningen.
- Van der Schoot, J.R., 2000. Drijfmest in de rij maakt kunstmest overbodig. *Boerderij/Veehouderij* 85 (9): 26-27.
- Van Dijk, W., 1999a. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Publicatie 95, PAV, Lelystad, 59 pp.
- Van Dijk, W., 1999b. Gescheurd grasland levert veel stikstof voor snijmaïs. *Praktijkonderzoek* 99 (2).
- Van Dijk, W. & G. Brouwer, 1998. Nitrogen recovery and dry matter production of silage maize (*Zea mays* L.) as affected by subsurface band application of mineral nitrogen fertilizer. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46: 139-155.

- Van Dongen, G.J.M. & J. Alblas, 1992.
Voorjaarstoediening van dunne mest op kleigrond. Verslag 145, PAGV, Lelystad.
- 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 Geel, W.C.A., 1999.
Besparing op stikstof- en fosfaatgift door aanpassing bemestingsmethoden. In: P.H.M. Dekker (red.). Naar maatwerk in bemesting. Themaboekje 22, PAV, Lelystad, pp. 56-66.
- Van Lent, A.J.H., R.L.M. Schils, Tj. Boxem, J. Zonderland & M.C. Verboon, 1995.
Aanzuren rundermest in stal en silo. Rapport nr 156, PR Lelystad.
- Vuuren, A.M. van & A. Jongbloed, 1994.
De rol van veevoedingsmaatregelen bij de beperking van ammoniakemissie uit stallen. Raamplan. ID-DLO (IVVO), rapport 272.
- Vellinga, Th.V. & E.N. van Loo, 1994.
Perspectieven grassenveredeling voor bedrijfsinkomen en mineralenoverschotten. Rapport 151, Praktijkonderzoek Rundveehouderij, Lelystad.
- Vellinga, Th.V., M. Mooij & A.H.J. van der Putten., 1997
Richtlijnen voor bemesting en graslandgebruik ter beperking van nitraatuitspoeling op zandgrond. (Nitraat Reductie Planner) PR-rapport 166, Lelystad.
- Verloop, J., 1999. Overschotten van stikstof en fosfaat; bruggen slaan tussen landbouwproductie en milieudoelstellingen. Rapport R12, TCB, Den Haag, 202 pp.
- Versteeg, M.N., I. Zipori, J. Medina & H. Valdivia, 1982.
Potential growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the desert of Southern Peru and its response to high NPK fertilization. *Plant and Soil* 67: 157-165.
- Werner, W., H.W. Scherer & D. Drescher, 1985.
Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Gülledüngung auf N-Fractionen und N-Nachlieferung des Bodens. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 155: 137-144.
- Whitmore A.P. & J.J. Schröder, 1996.
Modelling the change in soil organic C and N in response to applications of slurry manure. *Plant and Soil* 184: 185-194.
- Willems, W.J., Th. 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. Rapport 718201002, RIVM, Bilthoeven, 102 pp.
- Zwart-Roodzant, M.H., 1998a.
Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten/bloembollen proeftuin Zwaagdijk, evaluatie 1991-1996, PAV-publicatie nr 89, 82 pp.
- Zwart-Roodzant, M.H., 1998b.
Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten proeftuin Noord-Brabant, evaluatie 1991-1995, PAV-publicatie nr 90, 84 pp.

2.5 Sterkte-zwakte analyse van het Mineralen Aangifte Systeem MINAS

J.J. Schröder & W.J. Corré

2.5.1 Inleiding

De toenmalige N-desk- (Van Eck, 1995) en P-desk- (Oenema & Van Dijk, 1995) studies liggen ten grondslag aan het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS). Strict genomen is MINAS een mineralenaangiftesysteem en geen balans. Desalnietemin wordt het MINAS-overschot impliciet als indicator voor de