

# Naar een duurzaam bodem- en nutriëntenbeheer in de akkerbouw

In opdracht van en gefinancierd door:



PRODUCTSCHAP AKKERBOUW

Dit project is uitgevoerd door:

Auteur(s):

R. Postma  
L. van Schöll  
H.J. Russchen  
H. de Boer  
J. Dogterom  
P.J. van Erp

Organisatie:

NMI  
NMI  
DLV Plant  
DLV Plant  
DLV Plant  
BLGG AgroXpertus

Projectnummer: 1442.N.11

Dit project maakt deel uit van het Masterplan Mineralenmanagement (MMM). Het MMM is een initiatief van LTO Nederland, de Nederlandse Akkerbouw Vakbond en het Productschap Akkerbouw. Binnen het MMM voeren diverse partijen gezamenlijk onderzoeks- en voorlichtingsprojecten uit op het gebied van bodem, bemesting en water.

Dit rapport is eveneens terug te vinden op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl).



BLGG AGROXPERTUS



Voor uw vragen, op- en aanmerkingen over het MMM kunt u zich wenden tot Tjitse Bouwkamp (PA).

Stadhoudersplantsoen 12 • Postbus 29739 • 2502 LS Den Haag  
☎ 070 370 84 26 • ✉ [mmm@hpa.agro.nl](mailto:mmm@hpa.agro.nl) • [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl)



Dit rapport is een uitgave van Nutriënten Management Instituut NMI BV

© Wageningen, 27 april 2012

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen, in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Nutriënten Management Instituut NMI BV.

*Hoewel de inhoud van deze uitgave met zorg is samengesteld, kunnen hieraan op geen enkele wijze rechten worden ontleend.*



## INHOUDSOPGAVE

<b>SAMENVATTING</b>	<b>3</b>
<b>1. INLEIDING EN DOELSTELLING</b>	<b>7</b>
<b>2. VAN BEMESTINGSPLAN NAAR BODEM- EN NUTRIËNTENPLAN</b>	<b>9</b>
<b>3. OPZET EN UITVOERING VAN DE STUDIE</b>	<b>13</b>
<b>4. NIEUWE ONTWIKKELINGEN BODEMMANAGEMENT</b>	<b>15</b>
4.1 Algemeen	15
4.2 Vruchtwisseling	16
4.3 Organische stofbeheer	17
4.3.1 <i>Waarde van organische stof voor bodemeigenschappen</i>	17
4.3.2 <i>Instrumenten en mogelijke maatregelen voor een goed organische stofbeheer</i>	19
4.3.3 <i>Relatie van organische stofbeheer met verliezen van stikstof en fosfaat</i>	19
4.4 Minimale en niet-kerende grondbewerking	21
4.5 Vaste rijpaden systeem	23
<b>5. NIEUWE ONTWIKKELINGEN NUTRIËNTENMANAGEMENT</b>	<b>25</b>
5.1 Algemeen	25
5.1.1 <i>Belangrijke begrippen: benutting en werking</i>	25
5.1.2 <i>Beoordeling maatregelen</i>	26
5.2 Mogelijke oorzaken van een lage benutting	27
5.3 Mogelijkheden om de benutting te verhogen	28
5.4 Technieken voor N-bijbemesting	29
5.4.1 <i>Algemeen</i>	29
5.4.2 <i>Onderzoeksresultaten</i>	31
5.4.3 <i>Tekortkomingen N-bijmestsystemen</i>	32
5.4.4 <i>Fertigatie</i>	33
5.4.5 <i>Praktijkervaring met N-bijmestsystemen</i>	34
5.4.6 <i>Conclusies N-bijmestsystemen</i>	35
5.5 Nieuwe methoden en technieken voor plaatsspecifieke bemesting	36
5.5.1 <i>Algemeen</i>	36
5.5.2 <i>Plaatsspecifieke bemesting op basis van bodemsensoren</i>	37
5.5.3 <i>Plaatsspecifieke bemesting op basis van gewassensensoren</i>	37
5.5.4 <i>Onderzoeksresultaten: effect van plaatsspecifieke bemesting bij akkerbouwgewassen</i>	38
5.5.4 <i>Praktijkervaring met plaatsspecifieke bemestingssystemen</i>	41
5.5.5 <i>Conclusies plaatsspecifieke bemestingssystemen</i>	42
5.6 Toediening van N en P in de rij; ofwel rijenbemesting	42
5.6.1 <i>Potentiële voordelen van rijenbemesting</i>	42
5.6.2 <i>Werkingsmechanismen van rijenbemesting met N- en P-houdende meststoffen</i>	43
5.6.3 <i>Effecten van rijenbemesting en bemestingsadviezen</i>	44
5.6.4 <i>Praktijkervaring met rijenbemesting:</i>	45
5.6.5 <i>Conclusie rijenbemesting</i>	45
5.7 Meststofkeuze	46
5.7.1 <i>Effect van minerale meststoffen op N- en P-benutting</i>	46
5.7.2 <i>Organische meststoffen en producten van mestverwerking</i>	48
5.7.3 <i>Praktijkervaringen met meststofkeuze:</i>	51
5.7.4 <i>Conclusie meststofkeuze:</i>	52
<b>6. WORKSHOP NUTRIËNTEN- EN BODEMMANAGEMENT ONTSLUITEN</b>	<b>53</b>

<b>7.</b>	<b>ANALYSE BODEM- EN NUTRIËNTENMANAGEMENT IN DE PRAKTIJK</b>	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b>SYNTHESE</b>	<b>57</b>
8.1	Algemeen	57
8.2	Samenvatting beoordeling maatregelen	57
8.3	Opnemen van maatregelen in een stappenplan	58
8.4	Opnemen van maatregelen in een planning- en controle-cyclus	61
	<b>LITERATUUR EN INFORMATIEBRONNEN</b>	<b>65</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>69</b>

## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het voorliggende rapport is een studie beschreven waarin de kennis omtrent een goed nutriënten- en bodemmanagement is geïnventariseerd. Het doel was om het effect van managementmaatregelen op de verhoging van de benutting van stikstof (N) en fosfaat (P) en op de verlaging van de emissies naar het milieu in beeld te brengen. Daarnaast moest worden aangegeven hoe die maatregelen kunnen worden opgenomen in een stappenplan ten behoeve van het opstellen van een verbreed bemestingsplan van akkerbouwbedrijven. Tenslotte moesten knelpunten en kennislacunes voor het verbeteren van het nutriënten- en bodemmanagement op akkerbouwbedrijven worden vastgesteld. Dit is gedaan door een combinatie van een inventarisatie van bestaande kennis, een workshop met teeltadviseurs en de analyse van het nutriënten- en bodemmanagement van praktijkbedrijven.

In de verschillende onderdelen van de studie kwam naar voren dat het belang van een goede bodemkwaliteit (chemisch, fysisch en biologisch) voor een goede groei, opbrengst en kwaliteit van het gewas, maar ook voor de benutting van nutriënten groot is. Beslissingen over het bodemmanagement worden in het algemeen genomen op een strategisch niveau en ze betreffen een periode van meerdere (5-10) jaren. In dat kader is ingegaan op vruchtwisseling, organische stofbeheer, grondbewerking en –berijding, waarbij de volgende conclusies werden getrokken:

- Een optimalisering van de vruchtwisseling heeft een positief effect op de bodemvruchtbaarheid (onder andere organische stofgehalte) en bodemgezondheid (bodemgebonden ziekten) en kan een bijdrage leveren aan de verhoging van de nutriëntenbenutting en verlaging van emissies.
- Organische stof speelt een zeer belangrijke rol voor veel bodemeigenschappen. Het beheer van organische stof door het maken keuzes ten aanzien van de gewassen in het bouwplan, de teelt van groenbemesters, het gewasrestenbeheer en de inzet van organische meststoffen is dan ook heel belangrijk. Daartoe kan gebruik worden gemaakt van een organische stofbalans of rekenmodel.
- Tot nu toe zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat niet-kerende grondbewerking leidt tot een betere gewasgroei, hogere opbrengsten, een hogere benutting van nutriënten en/of lagere emissies.
- Op basis van de beperkte hoeveelheid onderzoek dat is gedaan naar teeltsystemen met vaste rijpaden, lijkt het te kunnen leiden tot een hogere opbrengst en benutting van nutriënten.

Naast het bodemmanagement is het nutriëntenmanagement meer gericht op de korte termijn (groeiseizoen) en kan het directer worden gericht op het verhogen van de N- en P-benutting en het terugdringen van emissies. In dat kader is ingegaan op technieken voor N-bijbemesting, plaats specifieke bemesting, rijenbemesting en meststofkeuze. De volgende conclusies werden getrokken:

- In theorie bieden N-bijmestsystemen vooral in situaties waar de benutting laag is (bijvoorbeeld bij gewas aardappelen, op gronden met hoge NLV) goede mogelijkheden om de N-benutting te verhogen. Dit is bevestigd in onderzoek. Met de verschillende beschikbare systemen zijn goede resultaten te bereiken, mits ze goed worden gehanteerd. Het nadeel van NBS-bodem, bladstelen, aardappelmonitoring) is dat ze relatief bewerkelijk zijn. De methoden op basis van sensoren zijn nog in ontwikkeling.
- Plaats specifieke bemesting richt zich vooral op N-bijbemesting in granen en aardappelen op basis van metingen met gewassensensoren (remote of near sensing). Evenals de N-bijmestsystemen op basis van sensoren, verkeert deze veelbelovende toepassing nog in de onderzoeksfase en is dan ook nog niet praktijkrijp. Vragen zijn nog aanwezig op het gebied van meettechniek en interpretatie.
- In theorie is rijenbemesting een goede methode om de nutriëntenbenutting te verhogen: vooral via een kleine startgift van N en/of P bij gewassen met een grote rijenafstand en/of een beperkt wortelstelsel.

In proeven met maïs is het voordeel van rijenbemesting duidelijk aangetoond, maar voor gangbare akkerbouwgewassen is dit minder duidelijk. Het is zinvol om na te gaan hoe de diverse adviezen voor rijenbemesting tot stand zijn gekomen (onderbouwing op basis van onderzoeksresultaten).

- Met nieuwe minerale meststoffen wordt vrijwel nooit een hogere N- en/of P-benutting gerealiseerd dan met de referentiemeststoffen KAS en TSP of NP's. Het mineralenconcentraat dat vrijkomt bij mestverwerking leidt wel tot een hogere N-benutting dan die van onbewerkte dierlijke mest.

De beoordeling van maatregelen op het gebied van bodem- en nutriëntenmanagement is samengevat in tabel A.1. Hieruit blijkt dat er niet heel veel "nieuwe" maatregelen zijn die zowel een positief hebben op de benutting, én praktijkrijp zijn én inpasbaar zijn op praktijkbedrijven. In de tabel zijn de meest perspectiefvolle maatregelen (positief effect op benutting én praktijkrijp) grijs gearceerd. Aangezien de inpasbaarheid op de praktijkbedrijven in afhankelijkheid van de omstandigheden een knelpunt kan zijn, zal per bedrijf moeten worden bekeken welke maatregelen in een bepaalde situatie in aanmerking komen.

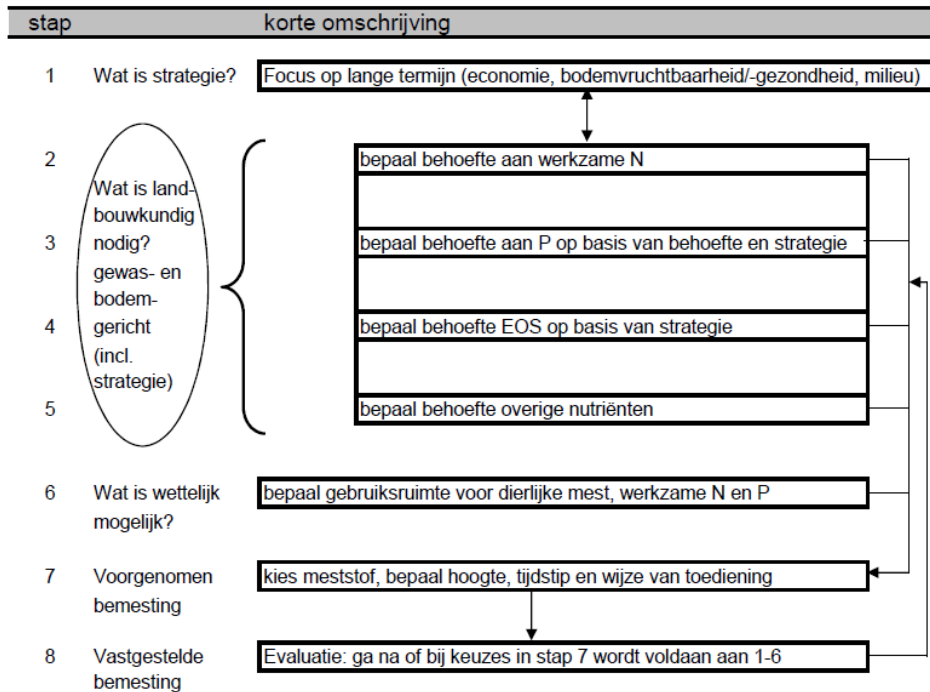
Tabel A.1. Samenvatting beoordeling maatregelen voor het verhogen van de benutting van nutriënten. De grijs gearceerde maatregelen hebben een positief verwacht effect op benutting en zijn praktijkrijp.

Maatregel	verwacht effect op benutting (+, +/-, -)	fase ontwikkeling (Praktijkrijp/ Onderzoek)	Inpasbaarheid in praktijk (+, +/-, -)	opmerking
<b>Bodemgericht</b>				
• Optimale vruchtwisseling	+	P	+/-	Ingrijpend, strategisch
• Teelt groenbemesters	+	P	+/-	Afhankelijk van oogsttijdstip hoofdgewas en aaltjesdruk
• NK-grondbewerking	+/-	O	+	Effect op benutting beperkt
• Vaste rijpaden	+	O	+/-	Aangepaste machines nodig
• Organische meststoffen	+/-	P	+	Wel verhoging bodemvruchtbaarheid, maar risico van toename emissies
<b>N-bijmeststelsysteem</b>				
• NBS-bodem	+	P	+/-	} Bewerkelijkheid is nadeel; toepasbaar bij aardappelen
• bladstelen	+	P	+/-	
• aardappelmonitoring	+	P	-	Zeer bewerkelijk
• sensoren	+	O	+	Nog vragen bij meting & interpretatie
• rekenmodellen	+	O	+/-	Betrouwbaarheid nog vraag
<b>Plaatsspecifiek</b>				
• - Near sensing	+	O	+	} Nog veel vragen bij meting & interpretatie
• - Remote sensing	+	O	+	
<b>Rijenbemesting</b>				
• N in rij	+	P	+	} Interessant als startgift bij gewas met grote rijafstand & beperkt wortelstelsel
• P in rij	+	P	+	
<b>Meststofkeuze</b>				
• bijzondere N-meststoffen	+/-	P	+	} Beperkt effect t.o.v. referentie meststoffen KAS en/of TSP
• bijzondere P-meststoffen	+/-	P	+	
• mineralenconcentraat mestverwerking	+	P	+	Hoge benutting t.o.v. mest; bijdrage aan bodemvruchtbaarheid beperkt
• dikke fractie mestverwerking	-	P	+	Lage benutting t.o.v. mest; grote bijdrage aan bodemvruchtbaarheid

De bodemgerichte, strategische maatregelen dienen in een stappenplan voor het opstellen van een breed bemestingsplan (figuur A.1) als eerste aan bod te komen. Overige maatregelen komen vooral in beeld bij de evaluatiestap (stap 8), als er sprake is van knelpunten, bijvoorbeeld doordat het voorgenomen gebruik aan werkzame N of P (vastgesteld op basis van grondonderzoek en bemestingsadviezen) op bedrijfsniveau hoger is dan wat wettelijk is toegestaan. De geavanceerde bemestingstechnieken kunnen



dan ingezet worden om de landbouwkundige en milieukundige doelen via een hogere benutting te verenigen.



Figuur A.1. Schematische weergave van het stappenplan om te komen tot een verbreed bemestingsplan.

Na de planvorming dient in het ideale geval aan elk besluit en elke maatregel een evaluatie en bijstellingstraject (de plan-do-check-act cyclus) gekoppeld te worden. Daarbij spelen indicatoren en streefwaarden voor bodemkenmerken een belangrijke rol en is bij voorkeur informatie beschikbaar over de mate waarin die indicatoren via maatregelen kunnen worden beïnvloed. Voorbeelden hiervan zijn:

- Streeftrajecten voor het organische stofgehalte per grondsoort die via maatregelen ten aanzien van het organische stofbeheer (o.a. via vruchtwisseling, gebruik organische meststoffen) worden nagestreefd. Het effect van een dergelijke strategische maatregel dient na enkele jaren te worden vastgesteld, waarna de maatregel eventueel wordt bijgesteld;
- Streeftrajecten voor bodem-pH zijn bekend voor combinaties van grondsoort en bouwplan. Als blijkt dat de actuele pH buiten het streeftraject ligt, kan via een bekalking een reparatie worden uitgevoerd. Dit zal binnen enkele weken/maanden tot resultaat leiden, wat kan worden bevestigd door een pH-meting. Als blijkt dat het effect kleiner is dan gewenst, kan eventueel een aanvullende bekalking worden overwogen.

#### Conclusies en aanbevelingen

- Bij het bodem- en nutriëntenmanagement op akkerbouwbedrijven is in het algemeen vrij weinig aandacht voor strategische, bodemgerichte maatregelen. Verbeteringen zijn op dat punt mogelijk.
- Het hier beschreven stappenplan voor het opstellen van een verbreed bemestingsplan voor akkerbouwpraktijkbedrijven kan een goed hulpmiddel zijn bij het vergroten van het bewustzijn en maken van keuzes op het gebied van bodem- en nutriëntenmanagement.
- Een aantal perspectievolle maatregelen die bij kunnen dragen aan de verhoging van de nutriëntenbenutting (onder andere bijmestsystemen op basis van sensoren), verkeren nog in de onderzoeksfase. Het lijkt zinvol na te gaan hoe die technieken snel praktijkrijp kunnen worden gemaakt.

- Voor de verdere ontwikkeling van een doelmatig bodemmanagement dient kennis over indicatoren (voor chemische, fysische en biologische bodemkenmerken), bijbehorende streefwaarden en de wijze waarop die door maatregelen kunnen worden beïnvloed te worden gegenereerd.

## 1. INLEIDING EN DOELSTELLING

Het belangrijkste doel van het Masterplan Mineralenmanagement (MMM) is het realiseren van emissieneutrale akkerbouw in 2030, waarbij de verliezen van nutriënten naar bodem, water en lucht door landbouwkundig handelen niet hoger zijn dan op onbemeste gronden en waarbij maximaal gebruik wordt gemaakt van biodiversiteit. Belangrijke randvoorwaarde daarbij is dat er tevens sprake is van een maximaal rendement op de bedrijven. Om deze uitdaging te kunnen realiseren is maximale inzet nodig van de meest recente kennis en inzichten op het gebied van mineralenmanagement en zijn verdere (integrale) innovaties nodig. Tevens is een planmatige manier van werken essentieel voor een goed bodem- en nutriëntenbeheer ten behoeve van een goede gewasproductie en –kwaliteit enerzijds en minimale verliezen naar het milieu anderzijds. De milieudoelen vanuit de overheid zijn deels ingevuld via de gebruiksnormen, die op zandgronden voor stikstof op een lager niveau liggen dan de bemestingsadviezen. Om de beleidsdoelen te halen zullen de gebruiksnormen in de toekomst mogelijk verder worden aangescherpt in het vijfde actieprogramma Nitraatrichtlijn, zodat het belang van een goed bodem- en nutriëntenmanagement verder toeneemt.

Productschap Akkerbouw heeft in vervolg op een tenderprocedure aan een consortium van NMI, DLV Plant en BLGG AgroXpertus gevraagd om de kennis omtrent een goed nutriënten- en bodemmanagement te ontsluiten. Meer specifiek is het doel daarbij om het effect van managementmaatregelen op de verhoging van de benutting van stikstof en fosfaat en op de verlaging van de milieubelasting te kwantificeren. Tevens dient te worden aangegeven hoe die maatregelen een plek kunnen krijgen in een verbeterd bemestingsplan. Ook wordt er gevraagd om op basis van een analyse van het bodem- en nutriëntenmanagement van enkele gangbare akkerbouwbedrijven en een toetsing aan het verbrede bemestingsplan na te gaan welke verbeteringen er mogelijk zijn in de werkwijze op die akkerbouwbedrijven. Concreet heeft dit geleid tot de formulering van de volgende doelstellingen:

1. Nieuwe kennis ontsluiten omtrent een goed nutriënten- en bodemmanagement die leidt tot een verhoging van de benutting van stikstof en fosfaat;
2. Effect van gewijzigde doelen en/of randvoorwaarden (huidige en toekomstige gebruiksnormen) en nieuwe kennis en inzichten voor de werkwijze om te komen tot een verbeterd en verbreed bemestingsplan (zie verder, onder andere Hoofdstuk 2);
3. De geoptimaliseerde werkwijze om te komen tot een verbreed bemestingsplan uitwerken in een stappenplan en/of checklist waarmee de praktijk en adviespartijen uit de voeten kunnen;
4. Analyse nutriënten- en bodemmanagement van enkele gangbare akkerbouwbedrijven die niet meedoen aan een bepaald project en vaststellen van mogelijke verbeterpunten met behulp van het stappenplan om te komen tot het verbrede bemestingsplan; en
5. Vaststellen van knelpunten en kennislacunes voor het verbeteren van nutriënten- en bodemmanagement.

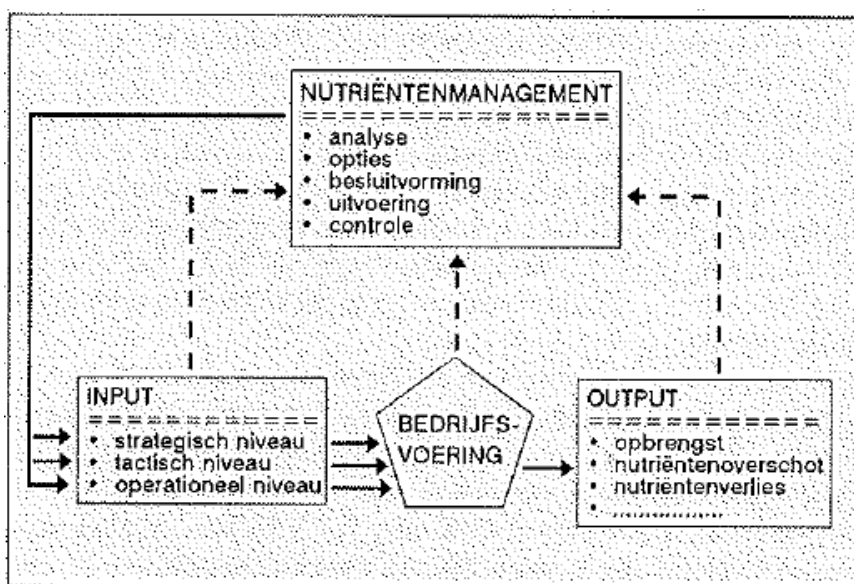
De doelstellingen zullen in de hoofdstukken 3 t/m 7 worden behandeld. Eerst wordt in Hoofdstuk 2 ingegaan op het kader, dat wordt gevormd door een verbreed bemestingsplan, ofwel een Bodem- en Nutriëntenplan (BNP), waarin zowel aandacht wordt besteed aan nutriënten- als bodemmanagement en waarin (optioneel) milieudoelen nadrukkelijker dan in het verleden een plaats krijgen.



## 2. VAN BEMESTINGSPLAN NAAR BODEM- EN NUTRIËNTENPLAN

Vanouds wordt er op akkerbouwbedrijven gewerkt met bemestingsplannen, die op perceels- en/of bedrijfsniveau worden opgesteld. Door de aangescherpte gebruiksnormen, de te verwachten ontwikkelingen hierin en het toenemend bewustzijn van het belang van een goede bodemkwaliteit, worden steeds hogere eisen gesteld aan het bemestingsplan en het bodemmanagement. Het consortium van NMI, DLV Plant en BLGG AgroXpertus ziet een verbeterd en verbreed bemestingsplan als de belangrijkste kapstok voor een optimaal bodem- en nutriëntenmanagement. Aangezien de doelen van het bemestingsplan worden verbreed, is het beter te spreken van een Bodem- en Nutriëntenplan (BNP). Belangrijke speerpunten van een goed Bodem- en Nutriëntenplan op strategisch, tactisch en operationeel niveau zijn:

1. Een goed bodemmanagement: waarbij de bodemvruchtbaarheid (=chemische bodemkwaliteit) op de langere termijn op een goed niveau wordt gehouden voor een optimale gewasgroei, maar waarbij ook nadrukkelijk aandacht wordt besteed aan de fysische en biologische bodemkwaliteit. Kenmerken hiervan zijn: relatief lange termijn, strategisch niveau en meerdere jaren/rotaties.
2. Een goed nutriëntenmanagement: bemesting op het scherp van de snede, waarbij de gewassen in uiteenlopende situaties binnen randvoorwaarden worden voorzien van voldoende nutriënten voor een optimale groei, opbrengst en kwaliteit. Kenmerken hiervan zijn: relatief korte termijn, tactisch en operationeel niveau, binnen jaar/seizoen en/of deelseizoen (zie Figuur 2.1).



Figuur 2.1. Schematische weergave van de stappen in de besluitvorming ten aanzien van het nutriëntenmanagement op strategisch, tactisch en operationeel niveau (Oenema, 1995).

Ad 1.

Ten behoeve van een goed bodemmanagement zijn de volgende zaken van belang:

1. Bouwplan/rotatie (zowel ten behoeve van bodemgezondheid als bodemvruchtbaarheid; in het algemeen grotendeels bepaald op basis van economische overwegingen);
2. Gewasrestenbeheer: hierbij betreft het vooral het al dan niet achterlaten van gewasresten van granen en eventueel suikerbieten. Van invloed op de organische stofhuishouding en bij bieten ook op het N-overschot (deze optie is eerder onderzocht, onder andere in het project over Flexibilisering gebruiksnormen (Van Dijk et al., 2011);

3. Grondbewerking/berijding: hierbij is grondbewerking/berijding op het juiste moment van groot belang, omdat een verkeerde timing de bodemstructuur vooral op kleigrond voor lange tijd kan verstoren. Hierbij behoort ook het aspect minimale en/of niet-kerende grondbewerking (minimum tillage), omdat dit mogelijk kan leiden tot positieve effecten op de bodembioïologie en de bodemfysica.
4. Meststofkeuze: via organische meststoffen en/of bodemverbeteraars, waaronder producten uit mestverwerking (stabiele, organischestofrijke fracties), kan de organische stofhuishouding en de daaraan gelieerde nutriëntenlevering op peil worden gehouden, maar het leidt in het algemeen tot een hoger N-overschot (hier wordt gebruik gemaakt van de resultaten van het MMM-project over Flexibilisering gebruiksnormen (Van Dijk et al., 2011) en het lopende MMM-project Sturen van de N-mineralisatie met kennis over organische stof).

#### Ad 2.

Ten behoeve van een goed nutriëntenmanagement is bemesting op het scherp van de snede nodig, vooral op zandgronden waar de gebruiksnormen lager zijn dan de adviezen. Alleen dan is het mogelijk een goede opbrengst en kwaliteit van het gewas te combineren met minimale uitspoelingsverliezen naar grond- en oppervlaktewater. Dit betekent bijvoorbeeld ook dat als vanuit economische motieven wordt gekozen voor het gebruik van dierlijke mest, en als dan blijkt dat dat gepaard gaat met onnodig hoge verliezen, er sprake is van een spanningsveld tussen een economische (landbouwkundige) en milieukundige optimalisatie. Voor bemesting op het scherp van de snede is het nodig om maximaal gebruik te maken van informatie over de nutriëntenlevering door de bodem en de nutriëntenbehoefte van het gewas/ras. Dit kan sterk variëren in afhankelijkheid van omstandigheden (locatie, grondsoort, weer, gewas, ras, teeltdoel, etc.) en is dynamisch (tijdens seizoenen kunnen grote wijzigingen optreden op perceelsniveau). Bij de nutriëntenlevering spelen zowel chemische, fysische als biologische processen een rol, waarmee in het Bodem- en Nutriëntenplan rekening moet worden gehouden. In bemestingsplannen zoals die momenteel worden gebruikt wordt vooral rekening gehouden met chemische aspecten en veel minder met fysische en biologische aspecten.

Indicatoren kunnen een belangrijke rol spelen bij het voorspellen van de nutriëntenlevering (op korte termijn) en de beoordeling van de actuele toestand (voldoende/hoog/laag). Deze kunnen gericht zijn op bodem en/of gewas. Dit laatste is vooral van belang in verband met het inschatten van een behoefte aan een bijmestgift. Op basis daarvan kunnen maatregelen worden voorgesteld, die vooral betrekking op de bemesting, maar ook op vochtvoorziening (berekening).

Hulpmiddelen voor het aanbrengen van verbeteringen in het nutriëntenmanagement zijn bemestingsadviezen, nieuwe analysemethoden voor grondonderzoek, nieuwe technieken zoals sensoren, nieuwe meststoffen (waaronder producten uit mestbe- of -verwerking), rijenbemesting en andere nieuwe toedieningstechnieken (onder andere voor precisiebemesting, strooikaarten), rekenmodellen, etc.

Maatregelen die ingezet kunnen worden ten behoeve van een verbeterd nutriëntenmanagement moeten gericht zijn op een optimale afstemming van het nutriëntenaanbod via meststoffen op de nutriëntenbehoefte van het gewas. Aandachtspunten zijn de **juistheden van bemesting** (juiste hoeveelheid, juiste meststof, juiste tijdstip, juiste plaats, juiste methode) en een goede vochtvoorziening, bijvoorbeeld door berekening (onder andere Van Mierlo et al., 2010). Daarnaast kunnen vanggewassen worden ingezet om de N-uitspoeling te beperken, wat vooral perspectieven kan bieden na de teelt van gewassen die bij de oogst veel N<sub>min</sub> in de bodem achterlaten, bijvoorbeeld (vroeg- of poot-) aardappelen, maïs en/of vollegroendsgroentegewassen (Prins et al., 1988; Smit et al., 2005; Van Geel & Smit, 2006; Van Geel, 2008).

**Uitgangspunten en visie samengevat**

1. Een verbeterd en verbreed bemestingsplan (een Bodem- en Nutriëntenplan) vormt de kapstok voor het combineren van landbouwkundige en (huidige en toekomstige) milieukundige doelen bij behoud van rendement;
2. Daarvoor moet 'alles uit de kast': de beschikbare kennis en moderne technieken moeten maximaal worden ingezet voor het opstellen en uitvoeren van het Bodem- en Nutriëntenplan;
3. In het Bodem- en Nutriëntenplan wordt een goede theoretische basis (bodem- en nutriëntenmanagement op lange en korte termijn) gecombineerd met een goede praktische uitvoerbaarheid;
4. Naast inhoudelijke kennis over relaties tussen bodem-bemesting-gewas wordt in een Bodem- en Nutriëntenplan gebruik gemaakt van inzichten uit de gamma-wetenschappen. Daarbij valt te denken aan de verschillende niveaus van besluitvorming (strategisch, tactisch en operationeel) en de PDCA-cyclus (plan-do-check-act), waarbij het plannen op alle niveaus wordt gevolgd door doen, meten/volgen en zo nodig bijstellen.





### 3. OPZET EN UITVOERING VAN DE STUDIE

In de voorliggende studie zijn de volgende onderdelen onderscheiden:

#### 1. Inventarisatie nieuwe ontwikkelingen en onderzoeksresultaten bodem- en nutriëntenmanagement

Als eerste is nagegaan welke nieuwe kennis de afgelopen jaren beschikbaar is gekomen over de mogelijkheden om de benutting van stikstof en fosfaat door uiteenlopende maatregelen te verhogen. Daarbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de resultaten van onderzoek- en praktijkprojecten (onder andere Telen met toekomst) in binnen- en buitenland die de afgelopen jaren in het kader van de uiteenlopende programma's zijn uitgevoerd. Ook is hierbij gebruik gemaakt van resultaten uit het project over Flexibilisering van gebruiksnormen (Van Dijk et al., 2011). Startpunt vormen de Best Practices Bemesting (De Haan & Dekker, 1996), die inmiddels al weer enkele jaren oud zijn en nog niet zijn aangepast aan de huidige en toekomstige gebruiksnormen.

Eenzijds zijn de potenties van de nieuwe methoden en technieken beschreven, maar daarnaast is zoveel mogelijk kwantitatieve informatie verzameld over het effect van die maatregelen op het verhogen van de benutting van stikstof en fosfaat en het terugdringen van de milieubelasting.

#### 2. Workshop met teeltadviseurs over praktische inpasbaarheid van verbeteringen in Bodem- en Nutriëntenplan

Ten behoeve van het planmatig werken aan het opstellen en uitvoeren van een verbeterd bemestingsplan (Bodem- en Nutriëntenplan) wordt van de verschillende maatregelen aangegeven op welk niveau (strategisch, tactisch, operationeel) hierover besluiten genomen moeten worden. Ook wordt nagegaan of de verbeteringen praktijkrijp zijn of dat ze nog in de ontwikkelfase zitten. Omdat het belangrijk is dat de maatregelen uitvoerbaar zijn op praktijkbedrijven, is een workshop belegd met teeltadviseurs, waarin de inpasbaarheid van de verbeteringen in Bodem- en Nutriëntenplannen op praktijkbedrijven is besproken. Ook is een concept-blauwdruk van een Bodem- en nutriëntenplan voorgelegd aan en besproken met de adviseurs. Naast teeltadviseurs van DLV Plant zijn hiervoor adviseurs van coöperaties (Agrifirm, CZAV, ForFarmers etc.) en de particuliere handel (onder andere Triferto) uitgenodigd.

#### 3. Analyse van het nutriënten- en bodemmanagement van praktijkbedrijven (geen voorlopers)

Het huidige nutriënten- en bodemmanagement op enkele gangbare akkerbouwbedrijven (2 bedrijven op zand en 2 op klei en 1 op löss) die niet meedoen aan een project is geanalyseerd. De werkwijze op de bedrijven is vergeleken met de concept-blauwdruk van het stappenplan en/of de checklist voor het Bodem- en Nutriëntenplan dat in onderdeel 2 is ontwikkeld. De belangrijkste knelpunten waar men in de praktijk tegen aan loopt zijn vastgesteld en suggesties voor verbeteringen voor het bodem- en nutriëntenmanagement op de praktijkbedrijven zijn aangedragen.

#### 4. Rapportage en synthese

De uitkomsten van de voorgaande stappen zijn vertaald in een stappenplan en/of checklist voor een Bodem- en Nutriëntenplan (een verbeterd en verbreed bemestingsplan), dat bruikbaar is voor de praktijk. In dit Bodem- en Nutriëntenplan wordt een werkwijze beschreven waarbij maximaal aandacht wordt besteed aan een goed bodem- en nutriëntenmanagement binnen de (huidige en toekomstige) gebruiksnormen, met de volgende aandachtspunten:

1. het opnemen van nieuwe inzichten over maatregelen die gericht zijn op het verbeteren van de chemische, biologische en/of fysische bodemkwaliteit waarmee de gewasgroei, -opbrengst en – kwaliteit en de benutting van stikstof en fosfaat door gewassen kan worden verhoogd, inclusief een kwantificering;
2. de inpasbaarheid van die maatregelen in een Bodem- en Nutriëntenplan, waarbij op strategisch, tactisch en operationeel niveau besluiten worden genomen; en
3. de praktische haalbaarheid van de maatregelen op praktijkbedrijven.

## 4. NIEUWE ONTWIKKELINGEN BODEMMANAGEMENT

### 4.1 Algemeen

Het belang van een goed bodemmanagement waarbij de bodemvruchtbaarheid (=chemische bodemkwaliteit) op de langere termijn op een goed niveau wordt gehouden voor een optimale gewasgroei, maar waarbij ook nadrukkelijk aandacht wordt besteed aan de fysische en biologische bodemkwaliteit wordt steeds duidelijker. Dit kwam onder andere naar voren in een workshop die in het kader van het hier beschreven project in oktober 2011 is gehouden met teeltadviseurs (zie Hoofdstuk 6). Bij de adviseurs leeft sterk de overtuiging dat er meer te halen is bij het verbeteren van de bodemkwaliteit als basis voor de gewasgroei. Als sprake is van een goede bodemkwaliteit wordt de gewasgroei niet of zo weinig mogelijk geremd door een slechte bodemstructuur (bijvoorbeeld storende laag, verslemping, etc.) of bodemgebonden ziekten en plagen. Dit betekent ook een goede beworteling, een goede voorziening van vocht en nutriënten en het zal de kans op een hoge benutting van nutriënten vergroten. In dit hoofdstuk gaan we in op nieuwe ontwikkelingen op dit terrein, waarbij we met name letten op de consequenties van het bodemmanagement en de bodemkwaliteit voor de groei, opbrengst en kwaliteit van het gewas, de benutting van toegediende nutriënten en eventueel optredende emissies van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater. Zoals in Hoofdstuk 2 al is aangegeven worden beslissingen ten aanzien van het bodembeheer in het algemeen genomen op een strategisch niveau en betreffen ze een periode van meerdere jaren/rotaties (5-10 jaar).

Belangrijke elementen van bodemmanagement zijn:

1. Het beheer van organische stof. Organische stof vervult een centrale rol voor zowel chemische, als fysische als biologische bodemeigenschappen. Beslissingen ten aanzien van bouwplan/rotatie, gewasrestenbeheer, grondbewerking en/of meststofkeuze zijn van invloed op de organische stofhuishouding. Maatregelen op dat terrein bieden dan ook aanknopingspunten om eventueel benodigde verbeteringen in de organische stofhuishouding aan te brengen.
2. De keuze van het aantal gewassen en de gewasvolgorde in het bouwplan, ofwel de vruchtwisseling, is ook van belang voor de druk van bodemziekten. Om die reden vormt vruchtwisseling de basis voor het bodemmanagement op akkerbouwbedrijven op de langere termijn. Daarnaast verschillen gewassen sterk in de efficiëntie waarmee ze toegediende nutriënten, zoals stikstof, benutten (onder andere Smit, 1994).
3. Grondbewerking en –berijding. Het uitvoeren van een grondbewerking op het juiste moment is van groot belang, omdat een verkeerde timing de bodemstructuur vooral op kleigrond voor lange tijd kan verstoren. Relatief nieuw is de toenemende aandacht voor minimale en/of niet-kerende grondbewerking (minimum tillage). Er is ook een toenemende aandacht voor het negatieve effect van steeds zwaarder wordende machines voor de bodemstructuur en -verdichting. In reactie daarop is o.a. het vaste rijpadensysteem ontwikkeld, waarbij steeds dezelfde rijpaden wordt gebruikt en de grond tussen de rijpaden niet wordt belast/verdicht.

Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op de hiervoor genoemde onderdelen:

- Vruchtwisseling;
- Organische stofbeheer;
- Niet kerende grondbewerking; en
- Vaste rijpadensysteem.

## 4.2 Vruchtwisseling

Vruchtwisseling speelt een centrale en cruciale rol bij het strategisch ontwerp van een duurzaam akkerbouwbedrijf en het heeft effect op biologische, chemische en fysische bodemeigenschappen. Vruchtwisseling is van oudsher hét middel om bodemgebonden plantenpathogene schimmels en aaltjes (en in mindere mate andere ziekte- en plaagverwekkers) te beheersen en vormt tevens de basis voor behoud en verbetering van bodemvruchtbaarheid en de benutting van nutriënten. Een goede vruchtwisseling vervult deze functies optimaal en legt daarmee de basis voor een gezonde bodem en daarmee voor vitale gewassen met een lage omgevingsbelasting.

De keuze van gewassen in het bouwplan van een bedrijf wordt door de ondernemer gedaan en is vaak voor een belangrijk deel gebaseerd op economische overwegingen. Vruchtwisseling is het afwisselen van gewassen op een bepaald perceel in de tijd. Hoe de vruchtwisseling, dus de gewasvolgorde, vastgesteld wordt, is bepaald door de aanwezigheid van bodemgebonden ziekteverwekkers en de effecten van gewassen op bodemvruchtbaarheid.

Vruchtwisseling is een centraal concept in de landbouw, maar heeft aan betekenis verloren in de afgelopen decennia door de "chemische correctie"-mogelijkheden. Daardoor is vaak sprake van relatief nauwe bouwplannen, maar de laatste jaren neemt het besef van de voordelen van een ruimere vruchtwisseling toe en het wordt in de praktijk dan ook steeds meer toegepast.

Een mogelijke maatregel om de uitspoeling van stikstof naar grondwater te verlagen is het extensiveren van het bouwplan door het opnemen van minder uitspoelingsgevoelige gewassen, zoals granen en suikerbieten. Dat een minder intensief bouwplan kan leiden tot een verlaging van de uitspoeling is o.a. aangetoond in het project Nutriënten Waterproof, waar drie representatieve bedrijfssystemen (twee geïntegreerde en een biologisch) in Zuidoost Nederland zijn vergeleken op een onderzoeksbedrijf. Uit de studie bleek dat de waterkwaliteitsdoelstellingen op het biologische bedrijf wel werden gerealiseerd, terwijl dat in de gangbare systemen niet het geval was (De Haan & Van Geel, 2010). De ruimere vruchtwisseling en de keuze van de gewassen daarin heeft hierbij een grote rol gespeeld.

Dat ook gangbare akkerbouwers geïnteresseerd zijn in de mogelijkheden van de verruiming van vruchtwisseling blijkt o.a. uit het project Veldleeuwerik (Flevoland), waarin 60 gangbare akkerbouwers aan duurzaam bodembeheer werkten en waarbij diverse telers zijn overgestapt naar een ruimere vruchtwisseling (zie [www.veldleeuwerik.nl](http://www.veldleeuwerik.nl)).

Het verwachte effect van vruchtwisseling op de benutting van nutriënten is tweeledig:

- Direct: omdat de benutting van nutriënten verschilt tussen gewassen en rassen (globaal gesteld is bijvoorbeeld de N-benutting van aardappelen in het algemeen laag en van granen en bieten hoog), zal een gewijzigde samenstelling van het vruchtwisselingschema leiden tot een andere gemiddelde benutting op een bedrijf.
- Indirect: omdat een ruimere vruchtwisseling kan leiden tot een betere bodemgezondheid en minder ziektedruk, kan dat leiden tot een betere gewasgroei en een hogere benutting van nutriënten. Ook kan de nutriëntenbenutting worden beïnvloed via het effect van vruchtwisseling op bodemfysische eigenschappen.

Belangrijke factoren bij het maken van strategische keuzes ten aanzien van de keuze van gewassen in het bouwplan van bedrijven zijn:

- De geschiktheid van de bodem voor de teelt van de gewenste gewassen;
- Het verwachte saldo van de gewassen en afzetmogelijkheden van de producten;
- Benodigde arbeid en organisatie voor de teelt van de gewassen;
- Regiospecifieke omstandigheden en historie;
- Effecten op bodemvruchtbaarheid en bodemgezondheid (bodemgebonden ziekten); en
- Het aanwezige machinepark/faciliteiten.

Een beperking daarbij is dat de economische perspectieven van gewassen en producten in de regel snel kunnen veranderen. Daardoor zijn de gevolgen van de keuzes ten aanzien van de gewassen in het bouwplan voor het financieel rendement van het bedrijf op de langere termijn lastig in te schatten.

### *Conclusie*

Een optimalisering van de vruchtwisseling heeft een positief effect op de bodemvruchtbaarheid (onder andere organische stofgehalte) en bodemgezondheid (bodemgebonden ziekten) en kan een bijdrage leveren aan de verhoging van de nutriëntenbenutting en verlaging van emissies.

## **4.3 Organische stofbeheer**

Organische stof draagt in belangrijke mate bij aan bodemkwaliteitsaspecten en het heeft effect op zowel chemische, fysische als biologische bodemeigenschappen. Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op de waarde van organische stof voor bodemeigenschappen (4.3.1), instrumenten voor een goed beheer van organische stof (4.3.2) en de relatie van organische stofbeheer met verliezen van stikstof en fosfaat (4.3.3).

### *4.3.1 Waarde van organische stof voor bodemeigenschappen*

#### Organische stof en chemische bodemeigenschappen

De waarde van organische stof voor *chemische* bodemeigenschappen kan worden onderverdeeld naar de bijdrage aan:

- De nutriëntenlevering, ofwel de levering van plantenvoedende stoffen door organische stof.
- Bufferend vermogen, ofwel de bindingscapaciteit van organische stof voor voedingsstoffen (vooral positief geladen deeltjes, zoals  $\text{NH}_4$ , K, Mg, etc.).

De levering van nutriënten stikstof (N), fosfaat (P) en zwavel (S) door mineralisatie is direct gerelateerd aan de afbraak van organische stof. De mate waarin nutriënten vrijkomen uit organische stof is afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal, zoals de afbreekbaarheid en de verhouding tussen koolstof (C) en nutriënten (N, P en S). De voorspelbaarheid van de nutriëntenlevering uit organisch materiaal door mineralisatie is beperkt, aangezien dit een biologisch proces is, wat sterk afhankelijk is van omgevingsfactoren, zoals temperatuur en vocht, die sterk kunnen variëren in ruimte en tijd. Er zijn diverse modellen beschikbaar waarmee de mineralisatie kan worden berekend, maar bij een berekening voor de toekomst moeten altijd aannames worden gedaan ten aanzien van het weer. De mate waarin nutriënten vrijkomen uit organische stof is tevens van invloed op de eventuele verliezen ervan naar het milieu. Hieraan wordt aandacht besteed in de lopende MMM-projecten “Sturen van de N-mineralisatie met kennis van organische stof” en “Organische meststoffen, gewenste samenstelling en werking”.

Door een goede voorziening van de bodem/bouwvoor met organische stof zal een betere buffering plaatsvinden van de positief geladen ionen (kationen) in de bodem. De uitspoeling van nutriënten die aanwezig zijn als kationen (bijvoorbeeld zoals  $\text{NH}_4$ , K, Mg) kan dus worden verminderd, waardoor de

werking van deze nutriënten kan worden vergroot. In het geval van toediening van kunstmest betekent dit dat de nutriënten die daarin aanwezig zijn als kationen ook beter geadsorbeerd kunnen worden aan de organische stof. Dit vermindert de uitspoeling en kan de werking van de via kunstmest toegediende nutriënten vergroten (besparing op toediening).

#### Organische stof en fysische bodemeigenschappen

De waarde van organische stof voor *bodemfysische* eigenschappen kan worden onderverdeeld naar een bijdrage aan:

- Bodemstructuur, waarbij een verhoogde aggregaatstabiliteit ten goede komt aan de bewerkbaarheid, terwijl de gevoeligheid voor verslemping, erosie (wind en water) en afspoeling wordt verminderd;
- Waterhuishouding, waarbij een verhoogde watercapaciteit onder andere kan leiden tot een preventie of reductie van oogstverlies bij droogte en waarbij een verhoogde waterinfiltratie kan leiden tot een verhoging van het waterbergend en/of afvoerend vermogen.

In het algemeen bestaat er een goed verband tussen de gehalten bodem organische stof en de stabiliteit van bodemaggregaten (structuur). Verlies aan bodemstructuur is een van de belangrijkste oorzaken van bodemdegradatie, waarbij erosieverliezen op kunnen treden van bodemdeeltjes inclusief de geassocieerde organische stof. Daarnaast wordt het mechanisme waarmee bodem organische stof beschermd wordt tegen biodegradatie aangetast wanneer de bodemaggregaten uiteen vallen en de bodem haar structuur verliest.

Vanwege het vermogen van organische stof om vocht te binden, mag in het geval van extreme weercondities (droogte of regen) dan ook worden verwacht dat een goede organische stofhuishouding de nadelige effecten beter zal bufferen. In geval van droogte kan een beter vochtvasthoudend vermogen een positief effect hebben op de gewasopbrengst en in het geval van zeer natte omstandigheden kan een verbeterd waterbergend vermogen tot een verminderde uitspoeling van nutriënten en ook een betere vochtafvoer leiden.

#### Organische stof en biologische bodemeigenschappen

Organische stof beïnvloedt ook de *biologische* bodemeigenschappen, zoals het ziekteverend vermogen. Een divers en actief bodemleven is gunstig voor een natuurlijke onderdrukking van plantenpathogene bodemorganismen. Een rijk bodemleven wordt bevorderd door een regelmatige aanvoer van organische stof waaruit middels mineralisatie voortdurend koolstofbronnen beschikbaar komen als voeding voor het bodemvoedselweb. Er is met name veel onderzoek gedaan naar de ziekteverende eigenschappen van compost, aangezien compost goede mogelijkheden biedt om significante hoeveelheden stabiele organische stof aan te voeren.

In een voorgaande studie is dieper ingegaan op de mogelijkheden van ziektevering door het toedienen van organisch materiaal (Postma et al., 2010). Daaruit kwam naar voren dat er ten aanzien van het effect van verse organische stof op pathogene schimmels in de bodem sprake kan zijn van zowel positieve als negatieve effecten. Uit een uitgebreid literatuuroverzicht (Bonanomi et al., 2007) bleek dat de toediening van organische stof in ca. 45% van de situaties leidde tot ziektevering, dat in 35% van de gevallen geen effect werd vastgesteld en dat in 20% van de gevallen ziektestimulering optrad. Ziektevering werd veelal gevonden bij zeer hoge giften, die in de praktijk vaak niet mogelijk zijn. De ziekteverende werking hangt af van het soort pathogeen en van de organische stofbron. Zo heeft veen weinig effect, omdat het nauwelijks afbreekbaar is. Bij de beheersing van bodempathogenen is de toediening van organische stof slechts een van de maatregelen, die altijd in combinatie met andere maatregelen ingezet dient te worden.

Bij PPO te Vredepeel ligt een meerjarige veldproef, waarin het effect van uiteenlopende behandelingen op de bodemgezondheid wordt onderzocht. Daarbij gaat het om maatregelen zoals biologische grondontsmetting, de teelt van afrikaantjes, de toediening van compost, etc. De effectiviteit van de maatregelen ten aanzien van een soort plantparasitaire aaltjes (*Pratylenchus penetrans*) bij het gewas aardappelen wordt onderzocht (Korthals et al., 2010).

#### 4.3.2 Instrumenten en mogelijke maatregelen voor een goed organische stofbeheer

Een belangrijk aspect van organische stofbeheer is de aanvoer van organische stof via gewasresten (afhankelijk van i) de gewassen in het bouwplan, ii) of gewasresten worden afgevoerd of achtergelaten en iii) de inzet van groenbemesters) en organische mest of bodemverbeteraars. Daarmee kan de afbraak van de organische stof in de bodem, waardoor het organische stofgehalte geneigd is te dalen, worden gecompenseerd. De balans tussen afbraak van organische stof in de bodem en de aanvoer van organische stof kan worden gekwantificeerd via de **organische stofbalans**. Deze balans is opgenomen in diverse adviestools van teeltadviseurs, laboratoria en meststoffenhandel, die advies uitbrengen over een eventueel gewenste aanvulling van organische stof.

De samenstelling van organisch materiaal dat naar de bodem wordt aangevoerd kan sterk verschillen, waardoor ook de eigenschappen van dat materiaal sterk uiteen kunnen lopen. Zo kan onderscheid worden gemaakt naar gemakkelijk afbreekbare, labiele verbindingen, zoals suikers, zetmeel en eiwitten en moeilijk afbreekbare, stabiele verbindingen, zoals cellulose, lignine, humuszuren, fulvozuren en huminezuren. Voor het onderzoeken van effecten van uiteenlopende scenario's van organische stofaanvoer op het organische stofgehalte en andere bodemeigenschappen is veeljarig onderzoek nodig. In Nederland is dat type onderzoek schaars, maar in het verleden is onder andere op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele wel onderzoek gedaan naar het gedrag van uiteenlopende organische materialen na toediening aan de bodem. Op basis daarvan is een rekenmodel ontwikkeld, dat gebruik maakt van het begrip "initiële leeftijd" (Janssen, 1984). Een gebruikersvriendelijke versie van het genoemde rekenmodel is NDICEA, dat kan worden ingezet om scenario's van maatregelen op het gebied van bouwplan/rotatie, gewasrestenbeheer en organische mestgebruik door te rekenen en de effecten daarvan op de organische stofhuishouding in beeld te brengen.

#### 4.3.3 Relatie van organische stofbeheer met verliezen van stikstof en fosfaat

Het is niet eenvoudig om de relatie tussen organische stofbeheer en de verliezen van stikstof en fosfaat in beeld te brengen. Enerzijds lijkt een streven naar het beperken van N-verliezen moeilijk te combineren met voldoende aanvoer van organische stof. Een voorbeeld daarvan is het gebruik van organische mest. Vanuit het streven naar minimale N-verliezen wordt veelal de voorkeur gegeven aan meststoffen met een hoge benutting, die automatisch minder organische stof leveren (Van Dijk et al., 2011). In dit voorbeeld betekent een keuze voor organische meststoffen dan ook een directe verhoging van het risico van N-verliezen. Dit wordt o.a. bevestigd in het bedrijfssystemen-onderzoek op zandgrond in Zuidoost Nederland, waar een verlaging van het aandeel organische mest bij een gelijkblijvende aanvoer van werkzame N leidde tot een lagere nitraatuitspoeling naar het grondwater (De Haan & Van Geel, 2010). Het indirecte effect op de lange termijn kan echter anders zijn, als het regelmatige gebruik van de organische meststof leidt tot een betere gewasgroei door een beter leverend en/of vasthoudend vermogen van nutriënten en water, een betere bodemstructuur en een betere ziekteverendheid. Dit kan uiteindelijk leiden tot een hogere N- en P-

benutting, maar daarvoor zal het vaak nodig zijn tevens aanvullende maatregelen te nemen, zoals het aanpassen van het bemestingsniveau aan de hogere nutriëntenlevering, de teelt van groenbemesters om emissies in het najaar en de winterperiode tegen te gaan en eventueel het aanpassen van de gewassen in het bouwplan.

Voor de praktijk is het van belang dat richtlijnen worden gegeven voor de wijze waarop moet worden omgegaan met het verenigen van tegenstrijdige doelen, zoals:

- het minimaliseren van N-verliezen via nitraatuitspoeling; en
- het handhaven van bodemkwaliteit door voldoende aanvoer van organische stof.

Daarbij is het van belang dat voor die beide doelen indicatoren en streefwaarden worden benoemd, dat duidelijk is hoe die streefwaarden via maatregelen kunnen worden gerealiseerd en dat tenslotte wordt aangegeven hoe moet worden omgegaan met conflicterende situaties. Hierna worden in Tabel 4.1 indicatief aangegeven hoe dat voor N-uitspoeling en de organische stofvoorziening kan worden uitgewerkt.

Tabel 4.1. Voorbeeld van de wijze waarop met maatregelen via indicatoren en streefwaarden kan worden gestuurd op de doelen N-uitspoeling en organische stof (OS)-voorziening.

Kenmerk	Indicator	Streefwaarde	Mogelijke maatregelen
N-uitspoeling	N-overschot	< 0-50 kg N/ha	Verlagen N-gift, gebruik meststoffen met hoge N-werking, toediening dierlijke mest in voorjaar, teelt vanggewassen, gebruik N-bijmestsystemen, etc.
	Nmin na oogst	< 40-70 kg N/ha/90 cm	
OS-voorziening	OS-balans	>0	Verhogen aandeel granen in bouwplan, verhogen OS-aanvoer met compost en/of mest, achterlaten stro, telen groenbemesters, etc.
	OS-gehalte	>2-5% (grondsoort-afhankelijk)	

In de werkwijze om te komen tot een verbreed bemestingsplan (zie verder) dient een integratieslag te worden opgenomen, waarbij wordt nagegaan of en zo ja hoe de uiteenlopende doelen zijn te verenigen. Daarbij moeten alle mogelijke maatregelen in de beschouwing worden meegenomen. Als meerdere doelen niet te verenigen zijn, moet een prioriteit worden aangebracht: welke is voor de akkerbouwer het belangrijkste. Uitgangspunt dient te zijn dat binnen wettelijke randvoorwaarden wordt gewerkt. Als het binnen de gebruiksnormen niet mogelijk is de gewenste streefwaarde ten aanzien van organische stof (bijvoorbeeld OS-balans) te realiseren, moet de streefwaarde worden bijgesteld/verlaagd. Als de waterkwaliteitsdoelen in het kader van het MMM hoger worden gesteld (= uitspoeling van nutriënten terugbrengen naar het niveau van de uitspoeling uit onbemeste grond) kan dat betekenen dat de aanvoer van organische stof verder moet worden teruggebracht.

Daarbij moeten de beschikbare opties dan wel zo volledig mogelijk worden verkend. Zo bieden een ruimer bouwplan, bijvoorbeeld door verhoging van het aandeel graangewassen, en meer groenbemesters betere mogelijkheden om zowel de organische stofaanvoer te verhogen als de emissies van stikstof en fosfaat te beperken dan het verhogen van de gift met organische meststoffen. Voorwaarde bij de teelt van groenbemesters is dan wel dat voorafgaand aan de teelt niet of niet te veel stikstof wordt gegeven. Als men de organische stofaanvoer via bodemverbeteraars/composten wil verhogen met minimale consequenties voor de N- en P-aanvoer, moet worden gekozen voor producten met een hoog gehalte aan effectieve organische stof en een relatief laag gehalte aan nutriënten.



### *Conclusie*

Organische stof speelt een zeer belangrijke rol voor veel bodemeigenschappen. Het beheer van organische stof door het maken keuzes ten aanzien van de gewassen in het bouwplan, de teelt van groenbemesters, het gewasrestenbeheer en de inzet van organische meststoffen en bodemverbeteraars is dan ook heel belangrijk. Daartoe kan gebruik worden gemaakt van instrumenten, zoals een organische stofbalans of rekenmodel. De relatie tussen het organische stofbeheer en de emissies van N en P naar grond- en oppervlaktewater is complex. Enerzijds kan een verhoogde aanvoer van N en P met organische mesten en bodemverbeteraars leiden tot een hogere nutriëntenlevering in de bodem die kan leiden tot hogere emissies. Anderzijds kan een goed OS-beheer leiden tot een beter vasthoudend vermogen van nutriënten en water, een betere gewasgroei en lagere emissies. Hier is een optimalisatie nodig, waarbij rekening wordt gehouden met de tegengestelde effecten.

#### **4.4 Minimale en niet-kerende grondbewerking**

Internationaal is er veel aandacht voor het concept van Conservation Agriculture ( CA). De internationaal erkende principes daarvan zijn:

- minimale grondbewerking;
- maximale bodembedekking met gewassen;
- ruime vruchtwisseling

(zie [www.nietkerendegrondbewerking.nl](http://www.nietkerendegrondbewerking.nl)).

Veelal wordt met niet-kerende grondbewerking een bedrijfssysteem aangeduid waarbij de grond niet alleen niet gekeerd wordt maar ook slechts oppervlakkig bewerkt wordt (minder dan 12 cm diepte). Indien nodig kan er wel dieper gewoeld worden, maar daarbij worden de bodemlagen niet gemengd. Daarnaast wordt er naar gestreefd de bodem jaarrond bedekt te houden, waardoor er in het bouwplan veel groenbemesters en/of vanggewassen, bij voorkeur stikstofbindende, opgenomen worden (Van Zeeland et al., 2009; Bernaerts et al., 2008). Door de continue bedekking en beworteling wordt voorkomen dat de grond verslemt en dichtslaat.

Aangegeven wordt dat het hiervoor genoemde, uitgebreide concept van niet-kerende grondbewerking kan leiden tot een betere bodemkwaliteit en gewasgroei door:

1. Hoger gehalte aan organische stof, onder andere door gebruik groenbemesters, en daardoor meer nalevering vanuit de bodem;
2. Omvangrijk en actief bodemleven met hoge mineralisatie van nutriënten;
3. Goede bodemstructuur met goede wortelontwikkeling;
4. Beter vochthoudend vermogen en daardoor minder groeiremming die is gerelateerd aan droogte; en
5. Minder uitspoeling buiten groeiseizoen door gebruik groenbemesters als vanggewas.

Deze effecten kunnen leiden tot een hogere benutting van nutriënten en/of lagere emissies, maar soms zullen dan wel aanvullende maatregelen moeten worden genomen (zoals verlaging van de N- en/of P-gift bij een hoge levering uit de bodem).

Niet-kerende of minimale grondbewerkingstechnieken worden bijvoorbeeld in de VS al veel toegepast bij de teelt van soja, maïs, tarwe en andere bovengronds te oogsten gewassen. De Nederlandse akkerbouw heeft echter een hoog aandeel rooi- en hakvruchten, waarbij bij de oogst de bouwvoor flink wordt verstoord. Uit PPO-AGV onderzoek dat in 2000-2003 en 2004-2006 op Proefboerderij Wijnandsrade is uitgevoerd (Pauw, 2003 en 2006, in Van der Weide et al., 2008), komt naar voren dat de opbrengst en

kwaliteit van zomergerst, wintertarwe, aardappelen, suikerbieten en snijmaïs in vruchtwisselingsverband weinig tot niet reageren op de wijze van grondbewerking. De opbrengst en kwaliteit bij niet-kerende grondbewerkingen zijn vergelijkbaar met die van ploegen.

Van der Weide et al. (2008) wijzen in dezelfde literatuurstudie daarnaast op onderzoek uit de VS en Denemarken waarbij aardappelen werden geteeld met een systeem van *ridge tillage*. Daarbij worden aardappelen gepoot op in het najaar aangelegde bedden. Deze werkwijze leidde tot gelijke opbrengsten als een gangbare grondbewerking. Ook bij vergelijkend veldonderzoek in België (suikerbieten, maïs en wintertarwe) werd vastgesteld dat de gewasopbrengsten bij ploegen en een niet-kerende bewerking van eenzelfde grootteorde zijn: bij suikerbieten was er gemiddeld genomen een meeropbrengst van 4%, terwijl er bij maïs en wintertarwe gemiddeld een minderopbrengst van 5% was (Van der Weide et al., 2008). Bij deze proeven is niet gekeken naar de nutriëntenbenutting.

In de praktijk blijkt vaak dat het enige jaren duurt voordat het systeem is "ingesteld". Van der Weide et al. (2008) wijzen er daarnaast op dat het in de eerste jaren bij sommige teeltsystemen nodig is om iets meer stikstof te geven. Er is geen éénduidig beeld in de literatuur ten aanzien van de termijn waarop het naleverend vermogen van de bodem voldoende verhoogd is. De lage stikstoflevering bij niet-kerende grondbewerking wordt gedurende de eerste jaren mogelijk veroorzaakt door de verhoogde stikstofimmobilisatie bij de opbouw van organische stof. Dit is hetzelfde effect als wordt gevonden bij de inzaai van grasland op voormalig bouwland, waar gedurende de eerste jaren sprake is van een vastlegging/opbouw van stikstof in de zode en bodem ([www.bemestingsadvies.nl](http://www.bemestingsadvies.nl)). Daarnaast geeft ploegen een kortdurende stimulans van de mineralisatie. De behoefte aan extra N in de eerste jaren leidt tot een extra kostenpost. Dit wil niet zeggen dat er ook extra emissie van N naar water hoeft op te treden. Er wordt immers ook meer vastgehouden in de grond en er treedt minder erosie op.

De lagere stikstoflevering, in ieder geval in de eerste jaren, komt ook naar voren in de beperkte hoeveelheid onderzoek die hiernaar in Nederland is verricht. Wilting (2007) heeft het effect van kerende versus niet-kerende grondbewerking op de opbrengst en kwaliteit van suikerbieten vergeleken. In de jaren 2003 tot en met 2005 zijn in totaal vier proefvelden aangelegd op kleigrond in Dronten en Zeewolde. Vergeleken zijn grondbewerkingsmethoden met respectievelijk een ploeg, vastetandcultivator, bouwvoorlichter en krukasspitmachine. De bewerkingsdiepte in deze veldproeven was 25 cm. De grondbewerkingen zijn in het najaar (oktober-december) na de oogst van consumptie-aardappelen uitgevoerd. Ploegen leidde tot een significant lager suikergehalte ten opzichte van bewerking met een cultivator. Dit, in combinatie met een (niet of net significant) hoger wortelgewicht, natrium- en aminostikstofgehalte, duidt op een extra stikstofwerking door ploegen. Ploegen heeft wellicht de stikstof-mineralisatie in de grond verhoogd. Er waren geen statistisch betrouwbare verschillen in suikergegewicht en financiële opbrengst tussen de objecten.

Sinds 2008 worden er bij PPO te Lelystad (Broekmahoeve) binnen het project BASIS drie varianten van bodembewerking onderzocht: ploegen, niet-kerende en minimale grondbewerking. Er is gekozen voor een biologisch en geïntegreerd bouwplan met biologische zomertarwe, peen en pootaardappel op percelen van elk 2,5 ha in een teeltsysteem met vaste rijpaden van 3,15 meter en er wordt gewerkt met bestaande machines. Voorlopige resultaten tot nu toe lieten een groeiachterstand van het gewas bij niet-kerende grondbewerking ten opzichte van geploegde perceel zien, wat geweten wordt aan de stikstofimmobilisatie door de groenbemester op het niet geploegde proefveldje. Op het proefveld met niet-kerende grondbewerking was eind mei 46 kg N minder beschikbaar (0-60 cm laag) dan in het geploegde proefveld (Van Balen 2009, 2010).

Ook op de locatie Vredepeel wordt sinds kort een vergelijking gemaakt tussen niet-kerende grondbewerking en ploegen (De Haan, 2011). De eerste resultaten wezen uit dat er geen significant verschil in opbrengst werd vastgesteld tussen de manieren van grondbewerking bij granen en aardappelen in de gangbare en biologische teelt.

In de jaren 70 en 80 zijn er in Nederland ook veldproeven uitgevoerd waarbij minimale grondbewerking is vergeleken met gangbare bewerking (Bakermans et al., 1970; Lumkes et al., 1983, beide in Van der Weide et al., 2008). Ook daarbij werd gevonden dat er vooral in de eerste jaren bij minimale grondbewerking een iets grotere N-behoefte was dan bij ploegen (ca. 20- 30 kg N/ha). Dit werd geweten aan de geringere aëratie van het organisch materiaal in de vaste grond waardoor er waarschijnlijk minder stikstofmineralisatie plaats vond dan in losse geploegde grond. Verwacht werd dat dit effect op termijn wegeeft omdat als voordeel van de geringere afbraak er extra humusvorming plaatsvindt waardoor op den duur een evenwicht ontstaat.

#### *Conclusie*

Tot nu toe zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat niet-kerende grondbewerking leidt tot een betere gewasgroei, hogere opbrengsten, een hogere benutting van nutriënten en/of lagere emissies.

#### **4.5 Vaste rijpaden systeem**

De mogelijkheden van vaste rijpadensysteem is in onderzoek bij WUR, deels in samenwerking met LBI. Door positiebepaling via GPS kunnen alle bewerkingen vanaf vaste rijpaden uitgevoerd worden. Hierdoor kan de bodemstructuur tussen de rijpaden gespaard worden. Door verbeterende bodemstructuur zou ook de N-benutting omhoog en de (gasvormige) emissies (onder andere lachgas, N<sub>2</sub>O) omlaag gaan. Onderzoek op zware zavel bij groenteteelt (spinazie, peen en ui, biologisch) liet inderdaad zien dat de opbrengst en nutriëntenbenutting bij spinazie bij bewerking vanaf vaste rijpaden hoger was (nutriëntenbenutting 71%) dan bij gangbare bewerking (nutriëntenbenutting 59%) met lage druk banden (Vermeulen en Mosquera, 2011). In een veldproef op een lichte zeeklei vonden Mosquera et al. (2007) dat de lachgasemissie bij de teelt van vollegrondsgroenten (spinazie, peen, ui) bij een vaste rijpadensysteem met 20% gereduceerd was ten opzichte van gangbare bewerking.

#### *Conclusie*

Op basis van de beperkte hoeveelheid onderzoek dat is gedaan naar teeltsystemen met vaste rijpaden, lijkt het te kunnen leiden tot een hogere opbrengst en benutting van nutriënten.



## 5. NIEUWE ONTWIKKELINGEN NUTRIËNTENMANAGEMENT

### 5.1 Algemeen

In het voorgaande hoofdstuk is ingegaan op nieuwe ontwikkelingen in het bodemmanagement, waarbij het gaat om maatregelen gericht op het verbeteren van de bodemkwaliteit, die ook hun invloed kunnen hebben op de benutting van nutriënten. Het betreft in het algemeen strategische maatregelen voor de langere termijn, waarvan op een termijn van 1-2 jaar geen grote effecten mogen worden verwacht. Andere maatregelen zijn meer direct gericht op het verhogen van de N- en P-benutting en het terugdringen van de milieubelasting op de kortere termijn (groeiseizoen). Nieuwe ontwikkelingen ten aanzien van deze maatregelen op het gebied van nutriëntenmanagement worden in dit hoofdstuk behandeld.

#### 5.1.1 Belangrijke begrippen: benutting en werking

Voordat we aan de slag kunnen met het kwantificeren van effecten van maatregelen op de benutting is het van belang dat het begrip “**benutting**” goed is gedefinieerd. In het algemeen is dit begrip gekoppeld aan de opname van met meststoffen toegediende nutriënten door het gewas. Daarbij wordt meestal een correctie gemaakt voor de opname van nutriënten in de onbemeste situatie. Zo is het begrip schijnbare N-benutting (in het Engels: Apparent Nitrogen Recovery, ofwel ANR) als volgt gedefinieerd:

Schijnbare N-benutting =  $(N\text{-opname bemest gewas} - N\text{-opname onbemest gewas}) / N\text{-gift} \cdot 100\%$ .

Bij de voorgaande beschrijving over benutting kunnen de volgende kanttekeningen worden aangebracht:

- landbouwkundig – milieukundig. De huidige definitie van benutting is gebaseerd op een landbouwkundige insteek, omdat met de “opname” wordt gewerkt en niet met “afvoer”. Dit betekent dat een hoge benutting niet automatisch leidt tot lage verliezen, omdat er in bepaalde gevallen veel nutriënten aanwezig kunnen zijn in gewasresten (bijvoorbeeld bij suikerbieten), die na de oogst veelal op het land achterblijven. Daarom is het zinvol in aanvulling op de “benutting” ook het “overschot” op de nutriëntenbalans te beschouwen. Daarbij wordt de balans opgesteld op basis van aan- en afvoer. Dit is vooral van belang vanuit milieukundige overwegingen.
- De huidige definitie is gebaseerd op één jaar/groeiseizoen/gewas. Omdat maatregelen die ook effect hebben op de bodemvruchtbaarheid vaak pas over meerdere jaren effect hebben, kan het zinvol zijn meerdere jaren in de beschouwing mee te nemen. Op dat moment kunnen maatregelen na de oogst van het hoofdgewas (bijvoorbeeld lot gewasresten; teelt groenbemesters/vanggewassen) makkelijker worden meegenomen.
- Op basis van de voorgaande punten concluderen we dat de ANR een goede methode is om de N-benutting op de korte termijn (groeiseizoen) in beeld te brengen, en dat de N-balans een goede methode is om de N-benutting op de lange termijn te karakteriseren (meerdere jaren/groeiseizoenen).
- Bij een hoge bodemvruchtbaarheid is de leverantie van nutriënten uit de bodem hoog en is het lastiger een hoge benutting te realiseren. Daarom moet de gift dan worden aangepast/verlaagd. Het is van belang om de bodem-component wel mee te nemen in de definitie van benutting, zoals dat nu is gedaan. De hoogte van de bodemvruchtbaarheid kan zelfs worden gebruikt als basis voor de te kiezen strategie in het bodem- en nutriëntenplan. Zo is het bij een hoge bodemvruchtbaarheid verstandig te kiezen voor een optimalisatie van de benutting door het verlagen van de gift en te accepteren dat de bodemvruchtbaarheid achteruit gaat. Daarentegen kan het bij een lage bodemvruchtbaarheid

noodzakelijk zijn om maatregelen te nemen die de benutting verhogen (bijvoorbeeld rijenbemesting) om zodoende de optimale/maximale opbrengst bij de maximaal toegestane meststofgift te kunnen realiseren.

- Er kunnen variaties voorkomen in de opname van nutriënten door een gewas, door verschillen in ras, opbrengst en/of het gehalte aan nutriënten. Hier wordt in de studie zoveel mogelijk rekening mee gehouden.

Voor het karakteriseren van de beschikbaarheid van nutriënten uit organische meststoffen, wordt vrijwel steeds gewerkt met het begrip “**werkingscoëfficiënt**” en “**werking**”. Deze kan zijn gebaseerd op de gerealiseerde opbrengst en/of opname van nutriënten. Met dit begrip wordt de nutriëntenbeschikbaarheid gekoppeld aan de beschikbaarheid uit een referentiemeststof (bijvoorbeeld KAS voor N en TSP voor P). Zo betekent een N-werkingscoëfficiënt van 70% van een dierlijke meststof dat de N uit die meststof 0,7x zo goed beschikbaar is als die uit KAS. Als de N-benutting van de KAS in het voorbeeld dan 50% is, is de N-benutting van de dierlijke meststof dan  $0,7 \times 50\% = 35\%$ .

Door de focus op de benutting van N en P die met meststoffen worden toegediend, komt het accent wat minder te liggen op andere maatregelen die kunnen dienen om de N- en P-verliezen te beperken. Hierbij valt te denken aan maatregelen, zoals het telen van een vanggewas en/of het verwijderen van gewasresten. Door meerdere jaren in beschouwing te nemen, kunnen de maatregelen na de oogst van het hoofdgewas toch worden meegenomen.

### 5.1.2 Beoordeling maatregelen

Bij het beoordelen van de maatregelen is een aantal criteria gehanteerd aan de hand waarvan een beoordeling plaatsheeft. Daartoe zijn de volgende punten meegenomen:

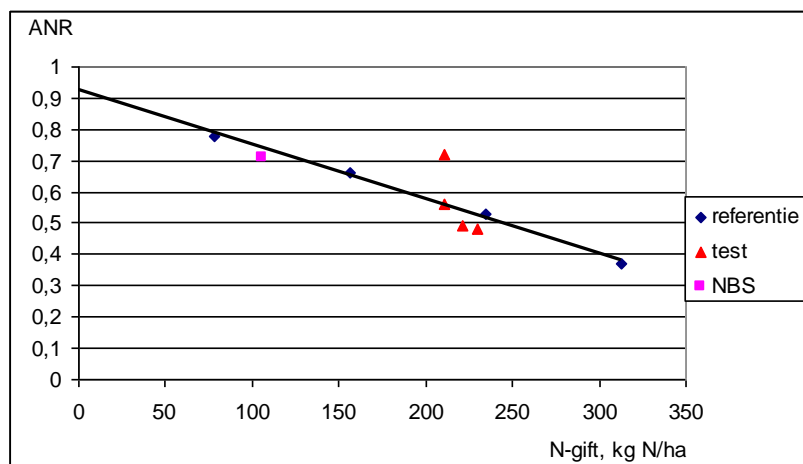
- wijze waarop de benutting van N en P in theorie door de betreffende maatregel wordt beïnvloed (via hoogte gift, plaatsing, timing en/of efficiëntie meststof);
- Zo veel mogelijk kwantitatief beschrijven hoe de maatregel van invloed is op benutting van N en P, maar ook op de bodemkwaliteit (bijvoorbeeld organische meststof heeft negatief effect op benutting, maar positief effect op instandhouding van OS% en N-leverend vermogen grond);
- In hoeverre de techniek/maatregel praktijkrijp is en/of nog in ontwikkelfase zit. Ten behoeve van de praktische haalbaarheid is het gewenst dat de techniek binnen 5 jaar in de praktijk toegepast kan worden;
- Wijze waarop de maatregelen in bodem- en nutriëntenplan kan worden ingepast. Daarbij valt vooral te denken aan het niveau waarop besluiten moeten worden genomen (strategisch, tactisch en/of operationeel) en in hoeverre het van invloed is op andere maatregelen. Zoals in het vorige hoofdstuk al is gesteld moet in het BNP aangegeven worden hoe omgegaan moet worden met het spanningsveld tussen het verhogen van de N- en P-benutting enerzijds en het handhaven en/of verhogen van de bodemvruchtbaarheid anderzijds. Een mogelijke manier om dat te doen is door de strategie van de ondernemer te identificeren, waarbij het denkbaar is dat telers een verschillende focus aanbrengen. Zo kan een teler inzetten op
  - het opnemen van de handhaving van bodemvruchtbaarheid als randvoorwaarde voor het nutriëntenmanagement;
  - maximaliseren van de N- en P-benutting (bijvoorbeeld bij een (zeer) hoge of zeer lage bodemvruchtbaarheid); of op

- het handhaven of verhogen van de bodemvruchtbaarheid (bijvoorbeeld bij lage bodemvruchtbaarheid). De keuze voor een strategie heeft dan consequenties voor de te nemen maatregelen.
- Inpasbaarheid techniek in bodem- en nutriëntenplan van praktijkbedrijven.

## 5.2 Mogelijke oorzaken van een lage benutting

Een lage benutting van N en P die met meststoffen worden toegediend betekent een hoog risico van N- en P-verliezen. Om de benutting op een zo efficiënt mogelijke wijze te kunnen verhogen is het van belang de oorzaken van een lage benutting te kennen. Bekend is dat de N- en P-benutting sterk afhangt van:

- Nutriënt: Er worden vaak grote verschillen in de schijnbare benutting van nutriënten vastgesteld. Zo schommelt de benutting van N en kalium (K) in het algemeen rond de 50 procent en is de P-benutting vaak niet hoger dan 10 procent. Wel kunnen de nutriënten die niet door het gewas wordt opgenomen, deel uit gaan maken van de bodemvoorraad en in een volgend seizoen ten goede komen aan het gewas.
- Gewas: laag bij aardappelen en uien; hoog bij granen en bieten; Bij optimale N-giften is de schijnbare N-benutting of appararent nitrogen recovery (ANR) voor wintertarwe in het algemeen hoger dan 60 procent, voor suikerbieten is ANR vaak hoger dan 70 procent en bij aardappelen schommelt ANR rond de 50 procent (Prins et al., 1988). Als oorzaken van de verschillen in benutting tussen de verschillende gewassen worden genoemd (Greenwood et al., 1989; Prins et al., 1988; De Willigen & Van Noordwijk, 1987):
  - wortelkarakteristieken, zoals diepte wortelstelsel, worteldichtheid, etc.;
  - opnamesnelheid;
  - teeltperiode;
  - plantafstand in en tussen rij; en
  - overige aspecten met betrekking tot de teeltwijze, zoals ruggenteelt.
- Hoogte van de N-gift: een relatief hoge N-gift betekent een lage N-benutting (zie Figuur 5.1).
- Opbrengstniveau: bij een laag opbrengstniveau wordt er minder opgenomen en is het risico van een lage benutting groter dan bij een hoog opbrengstniveau.
- Bodemvruchtbaarheid: een hoge bodemvruchtbaarheid betekent een lage N-benutting bij een vaste N-gift; Daarnaast zijn alle bodemeigenschappen die een rol spelen bij de vastlegging van nutriënten door adsorptie en/of fixatie en bij het optreden van verliezen door uitspoeling, denitrificatie en/of ammoniakvervluchtiging van belang voor de benutting.
- Droogte/vochtigheid: de opname van nutriënten en daarmee de benutting kan worden beperkt door droogte.
- Plaatsing meststofgift (breedwerpig vs. rijenbemesting; wel/niet plaats specifiek). Een goede plaatsing van de meststofgift, in de rij of met plaats specifieke bemesting op plaatsen waar de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem beperkt is, zal leiden tot een hoge benutting.
- Timing van de N-gift (voorjaar-najaar; alles ineens in voorjaar vs. deling gift); hierbij speelt het risico van uitspoeling bij een meststofgift in het najaar of vroege voorjaar een rol. Toediening van de meststof op het juiste moment vergroot de kans op een hoge benutting.
- Meststofkeuze (vooral organisch vs. minerale meststoffen, incl. producten van mestverwerking) heeft een groot effect. Zo is vooral de N-benutting van organische meststoffen en producten van mestverwerking duidelijk lager dan van de referentiemeststof kalkammonsalpeter (kas).



Figuur 5.1. Voorbeeld van relatie tussen N-gift en schijnbare N-benutting (ANR) in een veldproef met zetmeelaardappelen te Rolde, waarin het effect van de hoogte van de N-gift en van een aantal meststoffen en bemestingsstrategieën op de ANR zijn gekwantificeerd (Postma et al., 2009).

### 5.3 Mogelijkheden om de benutting te verhogen

De mogelijkheden om de benutting van nutriënten te verhogen zijn afhankelijk van de factoren die de benutting in een specifieke situatie beperken. Basisvoorwaarde voor een optimale benutting van nutriënten is een goede bodemkwaliteit (zie vorige hoofdstuk). Bij een goede bodemkwaliteit wordt de gewasgroei niet geremd door andere factoren dan nutriëntentekort, zoals bijvoorbeeld slechte bodemstructuur of bodemgebonden ziekten en plagen. Daartoe wordt in het ideale geval een analyse uitgevoerd van de belangrijkste factoren die in een specifieke situatie de benutting beperken. Bij een onvoldoende fysische of biologische bodemkwaliteit zullen er gerichte maatregelen genomen moeten worden om deze te verbeteren. Dit zijn meestal lange termijnmaatregelen. Als de benutting wordt beperkt door droogte, is beregenen of irrigatie de beste methode om de benutting te verhogen. In andere situaties kan de benutting worden verhoogd door aanpassing van de nutriëntengift met meststoffen door toediening (onder andere Van Mierlo et al., 2010):

- van de juiste hoeveelheid;
- op het juiste tijdstip;
- op de juiste plaats; en
- in de juiste vorm.

Zoals hiervoor gesteld, is de benutting van N en P door het gewas aardappelen in het algemeen relatief laag (Prins et al., 1988). Vaak wordt dit geweten aan het ondiepe, zwak ontwikkelde wortelstelsel van aardappelen. Dit resulteert in een grote hoeveelheid N die na de oogst van aardappelen in de bodem achterblijft. Met name bij N-giften hoger dan  $250 \text{ kg ha}^{-1}$ , neemt de residuaire hoeveelheid N sterk toe met een toenemende N-gift (Goossensen & Meeuwissen, 1990). Hofman et al. (1992) stellen dat een aardappelgewas vaak niet in staat is om de N die boven in de rug aanwezig is op te nemen. Zij constateerden dat het grootste deel van de residuaire  $\text{NO}_3$  in en onder de rug aanwezig was. Deze hoeveelheid N is beschikbaar voor uitspoeling en denitrificatie en moet daarom zo veel mogelijk worden beperkt.



Mogelijkheden om de N- en/of P-benutting te verhogen worden o.a. geboden door de volgende ontwikkelingen/maatregelen:

- nieuwe technieken (zoals NBS-systemen, modellen en/of sensoren) voor beslissingen over N-bijbemesting tijdens het seizoen, waarmee de N-gift wordt afgestemd op de N-behoefte van het gewas en de N-levering door de bodem en waarbij rekening wordt gehouden met het actuele weer;
- nieuwe methoden en technieken voor plaatsspecifieke bemesting, zoals sensoren waarmee de N-status van het gewas tijdens het seizoen kan worden gemeten. Op basis daarvan kunnen strooikaarten worden opgesteld ten behoeve van plaatsspecifieke bemesting;
- plaatsing van meststoffen, zoals met rijenbemesting, eventueel in combinatie met vloeibare meststoffen;
- nieuwe meststoffen, zoals vloeibare meststoffen en/of meststoffen met bijvoorbeeld nitrificatieremmers, die gericht zijn op het verhogen van de N-benutting;
- nieuwe meetmethoden waarmee een betere indruk kan worden verkregen van de nutriëntenlevering (N- en P-beschikbaarheid) vanuit de bodem aan het begin en tijdens het eerste deel van het seizoen, zodat de N- en P-gift kunnen worden geoptimaliseerd en de bodemleverantie zoveel mogelijk wordt benut;
- effecten van nieuwe inzichten over bodemmanagement (organische stofmanagement, grondbewerking, etc.) en de relatie met de benutting van N en P (zie vorige hoofdstuk);
- het optimaliseren van de vochtvoorziening voor een optimale nutriëntenbenutting;
- het inzetten van vanggewassen na de oogst van gewassen die veel N<sub>min</sub> in de bodem achterlaten; en
- nagaan hoe in het volgende groeiseizoen maximaal van de N-levering van vanggewassen kan worden geprofiteerd (onder andere wanneer en hoe onderwerken).

Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op de vier eerstgenoemde maatregelen om de N- en P-benutting te verhogen.

## 5.4 Technieken voor N-bijbemesting

### 5.4.1 Algemeen

Het streven naar de verhoging van de N-benutting via bijmestsystemen is voor de akkerbouwgewassen vooral van toepassing voor het gewas aardappelen. Recent is in het kader van het MMM een literatuurstudie uitgevoerd naar de mogelijkheden daarvan (Van Geel et al., 2011c). In de studie is een uitgebreide beschrijving gegeven van de potentiële voordelen van een deling van de N-gift en van de mogelijkheden die de uiteenlopende systemen bieden om de optimale N-gift te realiseren. Er is relatief weinig aandacht besteed aan de mogelijkheden van de systemen om de N-benutting te verhogen. Wel mag er vanuit worden gegaan dat de N-verliezen bij de optimale N-gift relatief beperkt zijn. Dit blijkt o.a. uit gegevens van Van Geel et al. (2004) die in proeven met zetmeelaardappelen in 2002 en 2003 lieten zien dat het berekende N-overschot en de resterende hoeveelheid N<sub>min</sub> in de bodem na de oogst sterk toenamen bij giften hoger dan de adviesgiften van 220-250 kg N per ha.

Bij aardappelen bieden bijmestsystemen in theorie de beste mogelijkheden om de optimale N-gift te realiseren en de N-benutting te optimaliseren. Belangrijkste redenen hiervoor zijn dat een belangrijk deel van de geplande jaargift bij aanvang van het seizoen wordt achtergehouden en dat dat deel in de loop van het seizoen alleen wordt gegeven als dat op basis van de actuele situatie (onder andere veroorzaakt door gewasstand, het weer en de actuele N-levering van de grond) nodig is. Op die manier wordt de kans

verkleind dat te veel N wordt gegeven, met als gevolg een lage N-benutting. Ook wordt het risico van N-verliezen aan het begin van het seizoen verkleind doordat met een relatief lage startgift wordt gewerkt, waardoor bij een lagere gift een hogere ANR bij gelijkblijvende opbrengst kan worden gerealiseerd.

Zoals hiervoor reeds is aangegeven kan de N-benutting met N-bijmestSystemen (NBS) in theorie worden verhoogd zonder dat dit tot opbrengstverlies hoeft te leiden. Naast de hoogte van de gift is een juiste timing daarbij van belang: bij eenzelfde totale gift kan een verdeling van de totale gift over meerdere kleine giften een verschil in opbrengst geven. Belangrijke hulpmiddelen/ technieken die kunnen worden ingezet bij het nemen van beslissingen over N-bijbemesting zijn:

1. grondonderzoek;
2. gewasonderzoek;
3. gewassensoren; en
4. rekenmodellen.

Op basis van die hulpmiddelen zijn volgende N-bijmestsystemen in gebruik of onderzoek (zie ook Van Geel et al., 2011c):

- NBS-bodem; dit systeem is opgenomen in de Adviesbasis bemesting (Van Dijk & Van Geel, 2010). Bij aanvang en gedurende het groeiseizoen wordt een Nmin monster van de bodem genomen. Hiermee wordt de Nmin-voorraad in de bodem berekend. Deze hoeveelheid wordt vergeleken met de N-behoefte van het gewas, die afgeleid wordt van een standaard N-opname curve gewas. Daarnaast wordt rekening gehouden met een benodigde buffervoorraad en een verwachte N-mineralisatie vanaf het moment van monsternamen. Sinds 2004 zijn er N-opname curves in gebruik waarin het effect van temperatuur op het opnameverloop via de  $T_{som}$  is verrekend en waarbij rekening kan worden gehouden met de verwachte knolopbrengst.
- Bladsteeltjes of Bladsap; het nitraatgehalte in bladsteeltjes of het blad wordt gemeten (sap of droge stof). Dit wordt vergeleken met een normlijn voor het stikstofgehalte in de bladsteeltjes of blad van het gewas. Als het nitraatgehalte onvoldoende is wordt geadviseerd bij te bemesten. Ook het N-bijmeststelsel op basis van nitraatgehalten in bladstelen is opgenomen in de Adviesbasis bemesting (Van Dijk & Van Geel, 2010) en is beschikbaar voor consumptieaardappelen (waarbij onderscheid is gemaakt naar het ras Bintje en Agria) en voor zetmeelaardappelen (geen onderscheid naar rassen).
- Aardappelmonitoring: aanpassing van Bladsteeltjes-methode. Naast het nitraatgehalte in de bladsteeltjes wordt ook een inschatting gemaakt van het loofgewicht. Beide worden vergeleken met normlijnen stikstofgehalte en loofgewicht. Op basis hiervan volgt advies over bijbemesting.
- CropScan (in ontwikkeling): N-gehalte en loofontwikkeling van het gewas wordt afgeleid uit lichtreflectie van het loof. De N-status beïnvloedt de kleur van het loof en daarmee de reflectie. Het N-gehalte wordt vergeleken met N-gehalte op basis van gewasvoorspelling over groei en N-opname. Hieruit volgt advies voor bijbemesting.
- SPAD-methode (in ontwikkeling): Hierbij wordt het N-gehalte afgeleid uit meting van het chlorofylgehalte van de bladeren. Chlorofyl is indicator voor de N-gehalte. Het N-gehalte wordt vergeleken met N-gehalte op basis van gewasvoorspelling over groei en N-opname. Hieruit volgt advies voor bijbemesting.
- N-vensters (vooral in onderzoek in combinatie met plaats specifieke bemesting): hierbij wordt aan een representatief veldje een verhoogde of verlaagde N-bemesting gegeven. Aan de hand van verschillen in gewasstand tussen het N-venster en de rest van het perceel wordt de N-bijmestgift aangepast.

#### 5.4.2 Onderzoeksresultaten

Van Geel et al. (2011c) gaven een uitgebreid overzicht van proeven uit het afgelopen decennium waarin de resultaten van het toepassen van uiteenlopende bijmestsystemen in aardappelen zijn vergeleken. Het betrof met name proeven uit 2002 en 2003 met consumptieaardappelen (kleigrond, Colijnsplaat) en zetmeelaardappelen (zandgrond, Rolde) en uit 2009 en 2010 met consumptieaardappelen (Vredepeel, Lelystad en Colijnsplaat) en zetmeelaardappelen (Rolde en Valthermond).

Hierna worden de resultaten van de proeven met zetmeelaardappelen wat uitgebreider besproken (Van Geel & Wijnholds 2003; Van Geel et al., 2004). De bijmestsystemen zijn getest bij zowel een vroeg (Seresta) als een laat ras (Mercator). Hoewel de resultaten voor de verschillende systemen en jaren niet eenduidig waren kan wel geconcludeerd worden dat er met N-bijmestsystemen een hogere N-benutting gerealiseerd kan worden.

Tabel 5.1. N-bemesting, Uitbetalingsgewicht en N-benutting bij verschillende bemestingsystemen. Zetmeelaardappelen Ras Seresta (Van Geel et al., 2004).

Systeem	N-gift, kg N/ha		Relatieve opbrengst (op basis van uitbetalingsgewicht)		N-benutting (ANR)	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Nulobject	0	0	87	68		
67%	150	150	94	92	51	49
100%	225	225	100	100	48	57
NBS-bodem (oud)	150+50	115+50+150	99	94	53	38
Bladsteeltjes	150	115+30+30+30	99	99	56	58
Aardappelmonitoring	150	115+50	93	98	47	64
CropScan	150+30	115+70	102	100	59	59
SPAD-methode	150	115	93	93	48	61

Tabel 5.2. N-bemesting, Uitbetalingsgewicht en N-benutting bij verschillende bemestingsystemen. Zetmeelaardappelen Ras Mercator (Van Geel et al., 2004)

Systeem	N-gift, kg N/ha		Relatieve opbrengst (op basis van uitbetalingsgewicht)		N-benutting (ANR)	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Nulobject	0	0	100	69		
67%	120	120	105	98	51	55
100%	180	180	100	100	44	58
NBS-bodem (oud)	120+40	90+60+128	110	111	57	54
Bladsteeltjes	120	90+30+50	104	104	54	54
Aardappelmonitoring	120	90+50+20	105	107	57	61
CropScan	120+20	90+70	104	115	53	70
SPAD-methode	120	90	105	98	51	62

De besparing op de N-bemesting door verhoogde N-benutting bij N-bijmestsystemen bij zetmeelaardappelen lag tussen 0-40 kg N en is daarmee volgens Van Geel et al. (2004) onvoldoende om de extra kosten terug te verdienen. Aandachtspunten:

- Het vaststellen van de juiste hoogte van de basisgift, rasafhankelijk, is nog niet voldoende ontwikkeld; en
- Bij een lagere basisgift is de mogelijke besparing op de totale N-gift hoger, maar is de kans op opbrengstverlies relatief hoog.

Een vergelijking tussen reguliere bemesting en bemesting volgens NBS-bodem bij aanvang teelt is gemaakt in veldproeven van NMI en PPO gedurende 3 jaar (2006-2008; Postma et al., 2009). Hieruit kwam naar voren dat met bemesting volgens NBS een sterke reductie van de stikstofgift behaald kon worden. De N-gift varieerde tussen de 45% en 92% van het N-bemestingsadvies. Bij de zetmeelaardappelen was de opbrengst daarbij gemiddeld 7% lager, bij de consumptieaardappelen 4% hoger. De N-benutting bij NBS was gemiddeld 12% hoger dan bij reguliere bemesting volgens het N-advies.

Tabel 5.3. Gerealiseerde relatieve opbrengsten en N-benutting in veldproeven met zetmeelaardappelen en consumptieaardappelen in de periode 2006-2008 (Postma et al., 2009).

Object	zetmeelaardappelen		consumptieaardappelen	
	Rel. opbrengst	N-benutting (ANR)	Rel. opbrengst	N-benutting (ANR)
0	63		85	
1/3 N	88	0,67	98	0,52
2/3 N	96	0,66	101	0,46
3/3 N	100	0,54	100	0,39
4/3 N	98	0,41	103	0,34
NBS	93	0,66	104	0,51

Naast aardappelen is ook voor een aantal andere (groente)gewassen een aantal systemen voor geleide bemesting vergeleken (samengevat in Radersma et al., 2004). Gericht op systemen waarbij het N-aanbod in ruimte en/of tijd wordt afgestemd op de N-behoefte.

#### 5.4.3 Tekortkomingen N-bijmestsystemen

De verschillende N-bijmestsystemen hebben volgens van Geel et al. (2004) en Radersma et al (2004) nog specifieke tekortkomingen, waarvan sommige gemakkelijk aan te passen zijn, maar andere fundamenteeler van aard zijn. De tekortkomingen die destijds werden genoemd, worden hierna per methode kort beschreven. Voor een deel zijn deze bezwaren inmiddels (begin 2012) achterhaald.

NBS-bodem:

- N-min kan in korte periode sterk fluctueren
- actuele N-opname curves kunnen afwijken van N-opnamecurves uit adviesbasis. In de veldproeven van Van Geel et al., (2004) leidde dit tot een onderschatting van de N-opname in het begin van het groeiseizoen, en een overschatting aan het einde van het groeiseizoen. Hierdoor werd er aan het einde van het groeiseizoen een hoge (overbodige) bijmestgift geadviseerd. In 2004 is er een aanpassing geweest van de N-opnamecurves in de adviesbasis, waarbij de opnamecurve op basis van onderzoek van Steltenpool en Van Erp (1995) gebaseerd werd op de T-som. De data in Van Geel et al. (2004) laten zien dat hiermee het verloop van de actuele N-opname goed wordt benaderd.
- Standaard wordt gerekend met een Nmin-voorraad in de 0-30 cm laag. De beschikbare Nmin-voorraad is afhankelijk van actuele bewortelingsdiepte, die in enkele gevallen tot 60 cm kan gaan. Dit kan een forse onderschatting van de Nmin-voorraad geven en daarmee een onnodig hoog bemestingsadvies.

- Vanouds werd geen rekening gehouden met de mineralisatie van N uit organische stof. Na 2004 is het NBS-bodem hiervoor aangepast, zodat dat nu wel het geval is (zie Van Dijk & Van Geel, 2010).

Bladsteeltjes of blad analyse:

- Het advies komt in het algemeen pas een week na monsternamen beschikbaar;
- Er zijn rassen-specifieke normlijnen nodig, maar die zijn slechts beperkt beschikbaar;
- Het NO<sub>3</sub>-gehalte in bladstelen of blad geeft niet in alle gevallen adequate informatie over de N-levering uit de bodem, omdat die ook wordt beïnvloed door andere factoren, zoals droogte.

Aardappelmonitoring:

- Er zijn ook hier rassen-specifieke normlijnen nodig, maar die zijn grotendeels beschikbaar (Van Geel et al., 2011c);
- De hieruit berekende N-opname van het gewas geeft niet in alle gevallen adequate informatie over de N-levering uit de bodem, omdat die ook wordt beïnvloed door andere factoren, zoals droogte (zie hiervoor).

CropScan:

- Een goede meting is pas mogelijk als er minimaal 90% bedekking is, en dat is (te) laat voor het nemen van een beslissing over en uitvoering van een bijbemesting;
- Het gewas moet droog zijn voor betrouwbare meting;
- De meting is tijdrovend, en het is logistiek niet haalbaar veel percelen te meten. Dit geldt met name voor de handmatige meting, maar de techniek is ook beschikbaar te maken via het monteren van sensoren op tractoren;
- De hieruit berekende N-opname van het gewas geeft niet in alle gevallen adequate informatie over de N-levering uit de bodem, omdat die ook wordt beïnvloed door andere factoren, zoals droogte (zie hiervoor).

SPAD methode:

- betrouwbare normlijnen zijn lastig te construeren omdat naast N ook andere groeiomstandigheden de (groene) kleur beïnvloeden;
- de hiermee verkregen schatting van de N-status en het groeistadium van het gewas voldoet niet;
- de op deze wijze verkregen schatting van het N-gehalte van het gewas geeft niet in alle gevallen adequate informatie over de N-levering uit de bodem, omdat die ook wordt beïnvloed door andere factoren, zoals droogte (zie hiervoor).

Een kanttekening bij het uitgevoerde onderzoek naar N-bijmestingsystemen is dat de startgift/basisbemesting veelal is gegeven in de vorm van kunstmest, terwijl er in de praktijk vaak een basisbemesting met drijfmest wordt gegeven, waarbij er vlak na de opkomst nog wordt bijbemest met N-kunstmest. De N uit de drijfmest komt gedurende het seizoen geleidelijk vrij, wat een ander patroon geeft dan bij kunstmest.

#### 5.4.4 Fertigatie

Fertigatie is een bemestingmethode waarbij de meststoffen opgelost in water aan het gewas worden toegediend. Het kan dan ook worden beschouwd als een bijzondere vorm van een N-bijmestingsysteem, waarbij de meststofdeling wordt gecombineerd met meststofplaatsing/ rijenbemesting en de optimalisatie van de watervoorziening. Fertigatie kan op verschillende manieren worden toegepast, afhankelijk van het

gehanteerde irrigatiesysteem. In veel gevallen wordt fertigatie echter gekoppeld aan de gecombineerde toediening van water en meststoffen via (permanent) geplaatste druppelslangen. Fertigatie wordt in akkerbouw weinig beproefd en niet in de praktijk toegepast: Bij aardappelen zijn er in 1998 en 1999 proeven uitgevoerd door NMI (Postma, 2000). Hieruit kwam naar voren dat er met fertigatie een 10 % hogere stikstofbenutting gerealiseerd kan worden (70% vergeleken bij 60% bij gangbare bemesting). Niet duidelijk was of deze verhoogde benutting veroorzaakt werd door een betere plaatsing van de meststoffen via druppelirrigatiesysteem of door de N-deling over het seizoen. De verhoogde N-benutting kwam niet in alle proeven naar voren.

PPO heeft eveneens fertigatie in aardappelen onderzocht op zowel klei- (omgeving Lelystad) als zandgrond (Vredepeel) (Bron: kennisakker.nl). Op de zandgrond was er een opbrengstverhoging van een paar ton en een iets betere N-benutting bij fertigatie ten opzichte van beregenen. Fertigatie en irrigatie met breedwerpig bemesten gaven dezelfde opbrengst en stikstofbenutting. Er werd dan ook geconcludeerd dat de meeropbrengst en stikstofbenutting in deze proef werden veroorzaakt door een betere vochtvoorziening (Van Geel, 2004). Op de kleigrond gaf bemesting via fertigatie wel een aantoonbaar positief effect op de stikstofbenutting. Bij een gelijkblijvende opbrengst was de N-gift met 50-100 kg N per hectare terug te brengen. De hogere N-benutting kan zowel veroorzaakt zijn door een betere plaatsing van de bemesting als door de deling van de N-gift over het seizoen. Vochtvoorziening speelde hier geen rol. Zowel beregenen als irrigeren had geen opbrengstverhogend effect, wat geweten werd aan de geringe droogtegevoeligheid en de vochtige zomer (Paauw, 2001).

Fertigatie met een druppelinstallatie is duur. De verwachting is dat de mogelijke meeropbrengsten bij gangbare akkerbouwgewassen onvoldoende zullen zijn om de investering economisch rendabel te maken. Bij hoog salderende gewassen als hyacint is fertigatie wel rendabel, maar in uitgevoerd onderzoek leidde het daar niet tot een lagere N-gift of een hogere N-benutting (onder andere Radersma et al, 2004).

Een optimalisering van de vochtvoorziening door beregening of irrigatie is een maatregel met hetzelfde doel met een betere haalbaarheid voor de praktijk. Zo wordt in het project "Beregenen daar waar nodig" van DLV Plant in Zuidoost Nederland geprobeerd de N-benutting te verhogen.

#### 5.4.5 Praktijkervaring met N-bijmestsystemen

Vanuit het praktijknetwerk Telen met Toekomst is er in 2006 een beoordeling gemaakt van *Best Practices* (Dekker 2007). Hieruit kwam destijds het volgende naar voren:

- Deling van de N-gift: verfijning voor de praktijk wenselijk;
- N-mineraliserend vermogen: hier wordt nog niet door alle telers mee gewerkt;
- N-bijmestsystemen: de uitslagen van grond- en gewasonderzoek en het daaruit afgeleide N-bijmestadvies voor bijvoorbeeld aardappel wordt als wisselvallig en/of onbetrouwbaar genoemd;
- Toepassing van hulpmiddelen om de N-status van het gewas en een aanvullende N-behoefte te meten zijn gewas- en rassen-specifiek. Dit geldt voor CropScan, N-sensor, Chlorofylmeting en de bladsteeltjesmeting. Er zijn nog inspanningen nodig om dit praktijkrijp te maken; en
- Fertigatie: wordt voor aardappelen als een niet haalbare techniek gezien. De investeringskosten zijn te hoog ten opzichte van de (geringe) meeropbrengst en daarmee is het te risicovol.

Daarnaast werd opgemerkt dat geleide bemesting op basis van alleen grond- dan wel gewasonderzoek maar beperkte informatie levert. Voor het geven van een goed N-bemestingsadvies dient tevens informatie

beschikbaar te zijn over de N-behoefte van het gewas en de verwachte N-mineralisatie in de resterende groeiperiode. Voor zover dat nog niet het geval is, dient dat dus ingebouwd te worden in de systemen.

In 2010 hebben bijna alle (11 van 12) deelnemers aan bemestingsonderzoek van Telen met Toekomst N-bijmestsystemen toegepast bij de teelt van consumptie- of zetmeelaardappelen (Van Geel en Brinks, 2011). Het merendeel maakte gebruik van de bladsteeltjesmethode en de overige van aardappelmonitoring of NBS-bodem op basis van N-min. De N-bijmestsystemen functioneerden redelijk naar tevredenheid en leidden tot een verlaagde N-gift ten opzichte van de normale adviesgift. Opgemerkt werd dat de meetresultaten niet eenduidig te interpreteren zijn: door droogte heeft het gewas minder goed N opgenomen, waarbij lage N-gehalten in het gewas geen goede weergave vormden van de N-beschikbaarheid in de bodem. Ook wordt het ontbreken van aparte ijklijnen voor de verschillende rassen met verschillende nitraatgehaltes in de bladsteeltjes als beperking voor gebruik aangegeven. Op 2 bedrijven zijn demo's aangelegd, waarbij de bemesting met N-bijmestsystemen is vergeleken met praktijkbemesting van de akkerbouwer (Tabel 5.4).

Tabel 5.4. Resultaten van demo's met N-bijbemesting op praktijkpercelen in het project Telen met toekomst (Van Geel en Brinks, 2011).

bedrijf	N-basisbemesting, kg N/ha	N-bijbemesting		opbrengst >40 mm (ton hectare)
		Toegepaste methode	gift (kg N ha)	
1	30 kg nawerking drijfmest voorgaand jaar + 181 KAS	• praktijk	27	60,2
		• NBS aardappelmonitor	0	59,8
2	97 kg drijfmest (werkzame N) + 52 Entec	• praktijk	54+47+34	52,8
		• NBS bladsteeltjes	34	51,5
		• gebruiksnorm	54+54	65,9

Op bedrijf 1 werd er op basis van het verstrekte NBS-advies niet bijbemest, zonder dat dit leidde tot opbrengstderving. Op bedrijf 2 was er een veel lagere N-gift bij NBS in vergelijking met de praktijkbemesting van de akkerbouwer waarbij er een gelijke opbrengst werd behaald. Op de strook waar volgens de gebruiksnorm werd bemest was er sprake van een veel hogere opbrengst, die niet verklaard kon worden uit de hoogte of timing van de meststofgift.

Vanuit de workshop met teeltadviseurs kwamen daarnaast de volgende meningen/ervaringen naar voren (zie Hoofdstuk 6):

- Het te verwachten effect van de N-bijmestsystemen op de benutting is niet groot. Daarnaast hangt de mogelijke besparing af van de weersomstandigheden, grondsoort en organische stofgehalte
- De N-bijmestsystemen zijn niet eenvoudig in te passen in de praktijk. De N-bijmestsystemen zijn bewerkelijk en vragen veel tijd in een periode dat er veel andere werkzaamheden plaatsvinden. Dat vormt voor veel akkerbouwers een belemmering.

#### 5.4.6 Conclusies N-bijmestsystemen

- In theorie bieden N-bijmestsystemen vooral in situaties waar de benutting laag is (bijvoorbeeld bij gewas aardappelen, op gronden met hoge NLV) goede mogelijkheden om de N-benutting te verhogen.
- Dit is bevestigd in onderzoek van PPO en NMI, vooral in situaties waarin N-benutting in het gangbare systeem laag was. Wel is er een risico van opbrengstderving.

- Er zijn verschillende systemen beschikbaar voor het nemen van beslissingen over de N-bijmestgift (NBS-bodem, nitraatgehalten bladstelen/bladsap, sensoren, zoals cropscan, SPAD-meter, aardappelmonitoring), waarbij alle methoden voor- en nadelen hebben. Met al de methoden zijn goede resultaten te bereiken, mits ze goed worden gehanteerd. Een verdere ontwikkeling is bij sommige (vooral Cropscan) methoden nodig. Vanuit het onderzoek wordt niet een duidelijke voorkeur voor een van de methoden gegeven. De specifieke situatie (voorkeur teeltadviseur, laboratorium, akkerbouwer etc.) zal in de praktijk bepalen welke methode wordt gebruikt.
- Ervaringen van akkerbouwers in het project Telen met toekomst (voorlopers dus) met een aantal van de N-bijmestsystemen (Bladstelen, aardappelmonitoring, NBS-bodem) waren redelijk goed. Soms waren er twijfels bij de interpretatie van de meetgegevens en de daaruit voortvloeiende adviezen.
- De inpasbaarheid in de praktijk wordt belemmerd doordat de systemen bewerkelijk zijn en tijd kosten juist in de periode dat er veel andere werkzaamheden zijn. Dit bezwaar kan het makkelijkst worden ondervangen met systemen die werken met sensoren (bijvoorbeeld via Near Sensing met Cropscan).
- Fertigatie via druppelslangen vereist een hoge investering, die naar verwachting niet wordt gecompenseerd door de meeropbrengst, -kwaliteit en/of benutting. De haalbaarheid voor de praktijk lijkt dan ook beperkt.

## 5.5 Nieuwe methoden en technieken voor plaatsspecifieke bemesting

### 5.5.1 Algemeen

De heterogeniteit binnen percelen leidt veelal tot (aanzienlijke) verschillen in gewasstand die in veel gevallen worden veroorzaakt door verschillen in N-levering, maar ook door andere factoren die de gewasontwikkeling beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld vochtvoorziening. Door daar op in te spelen worden de mogelijkheden verbeterd om op alle plaatsen binnen het perceel de optimale N-gift te realiseren, waardoor de N-verliezen kunnen worden geminimaliseerd. Belangrijke hulpmiddelen voor plaatsspecifieke bemesting zijn:

- satellietbeelden en sensoren voor bodem- en/of gewasmetingen;
- rekenmodellen/software; en
- aangepaste apparatuur/machines voor plaatsspecifiek toedienen van meststoffen, etc.

Knelpunten worden nog gevormd door verschillen tussen sensoren die op de markt zijn en door de wijze waarop uit de sensormetingen conclusies over de benodigde N-gift worden getrokken. Zo zijn er nog de nodige vragen over:

- i) Het verzamelen van bodeminformatie met sensoren;
- ii) het gebruik van sensoren voor het meten van de N-status van het gewas;
- iii) het vertalen van die informatie in beslisregels over de N-bemesting; en
- iv) apparatuur voor de plaatsspecifieke toediening.

Ad i) Om rekening te kunnen houden met het stikstofleverend vermogen en andere kenmerken van de bodem kunnen bodemscans worden uitgevoerd (bijvoorbeeld met De Mol en/of EM38). Aangezien er nog veel vragen zijn over de informatie die dat oplevert, is het wenselijk op een aantal plaatsen grondmonsters te nemen.

Ad ii) Hiervoor moet een sensorsysteem beschikbaar zijn waarmee de juiste index kan worden bepaald. In het onderzoek worden hiervoor de indices WdVI (Weighted Difference Vegetation Index) en NDVI



onderscheiden. De WDVI lijkt daarbij een betere schatting van de N-inhoud van bovengrondse biomassa te kunnen geven (zie verder). Ook moet er aandacht zijn voor kalibratie van de sensoren.

Ad iii) er moeten beslisregels worden afgeleid ten behoeve van de N-bemesting.

Ad iv) het toepassen van plaatsspecifieke bemesting is lastig te realiseren met een centrifugaal strooier. Er zijn betere mogelijkheden voor een plaatsspecifieke toediening met een landbouwspruit (voor vloeibare meststoffen) en/of een pneumatische kunstmeststrooier (voor korrelmeststoffen).

### 5.5.2 *Plaatsspecifieke bemesting op basis van bodemsensoren*

Recent is een overzicht gegeven van sensingsystemen voor bodem en gewas in Nederland (Kikkert 2009). Bodemsensoren brengen de heterogeniteit van een perceel in beeld door metingen van de elektrische geleidbaarheid (EM38) of de Natuurlijke Gammastraling (De Mol) van de bovengrond. Deze zijn direct of indirect gecorreleerd met de bodemeigenschappen. Om verschillen in geleidbaarheid of natuurlijke gammastraling verder toe te kunnen schrijven aan de bodemfactoren moet er aanvullende informatie verzameld worden, bijvoorbeeld door grondonderzoek of uit bodemprofielen.

De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de bodemsensormetingen is onder andere afhankelijk van het aantal grondmonsters dat wordt genomen voor de calibratie van de metingen en van de correlatie tussen de meting en de bodemeigenschap. In algemeen zal gelden dat voor een bodemeigenschap die sterk gecorreleerd is aan de meting zoals K-gehalte of het lutumgehalte de betrouwbaarheid hoger zal zijn dan voor parameters die afgeleid moeten worden uit verwante factoren, zoals het gehalte organische stof, N-voorraad of N-leverend vermogen.

### 5.5.3 *Plaatsspecifieke bemesting op basis van gewassensoren*

Voor gewassensoren wordt onderscheid gemaakt tussen “near-sensing” en “remote sensing”.

Near sensing systemen meten de gewasreflectie vlak boven het gewas en zijn meestal gekoppeld aan een tractor of aan een stok die boven het gewas wordt gehouden. Door koppeling aan GPS kan de variatie binnen een perceel in kaart worden gebracht. Met behulp van rekenregels kan dit omgezet worden in een plaatsspecifiek bemestingsadvies. Via een variabel in te stellen kunstmeststrooier kan dan ingespeeld worden op de heterogeniteit van een perceel. In Nederland worden enkele systemen, zoals de Cropcircle, de Yara-N-sensor en de GreenSeeker toegepast, maar dat is vooral het geval in onderzoeksprojecten. De toepassing van de systemen in de praktijk is nog beperkt, waarvoor de eerder genoemde knelpunten (zie 5.5.1) een belangrijke oorzaak vormen.

Koppeling van gegevens uit gewassensor en/of perceelskaarten (gegevens over bodemparameters, opbrengst- en bemestinggegevens van perceel) kan daarbij mogelijk nog aanvullende informatie opleveren.

Via remote sensing worden gewasopnames via vliegtuigen/UAV's of satellieten gemaakt. De reflectie van het oppervlak wordt gemeten en hieruit wordt de vegetation index berekend, de hoeveelheid bovengrondse biomassa. Dit is een indicatie van de gewasconditie, van waar uit een bijmestadvies wordt afgeleid. In Nederland worden een aantal systemen aangeboden voor biomassakaarten.

Voorbeelden in Nederland zijn CropView van BLGG AgroXpertus (niet meer aangeboden) LORIS (Altic) en SEBAL-Mijnakker (BasFood).

Bij zowel near sensing als remote sensing geldt dat de vertaling van metingen naar advies nog in ontwikkeling is. Veel van de onderliggende relaties tussen gewasreflectie, gewasconditie, nutriëntenstatus, gewenste mestgift, verwachte gewasrespons en nutriëntenopname zijn nog onvoldoende kwantitatief ontwikkeld. Daardoor zijn de systemen nog niet praktijkrijp.

#### 5.5.4 Onderzoeksresultaten: effect van plaats specifieke bemesting bij akkerbouwgewassen

Plaats specifieke bemesting op basis van een gewassensor en/of perceelskaarten (met historische informatie over bodemgegevens en gewasopbrengsten) zijn vergeleken met een uniforme (standaard)bemesting in wintertarwe door Maidl (2005) (zie ook Torres& Link, 2011). Voor de optimale N-opnamecurves werden 3 opbrengstniveaus gedefinieerd, namelijk 6, 8 en 10 ton per ha. De totale N-opnames bij die opbrengstniveaus waren gelijk aan respectievelijk 150, 200 en 250 kg N per ha. De resultaten voor de gerealiseerde N-gift, de opbrengst en de kwaliteit (eiwitgehalte) zijn weergegeven in Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Resultaten van het toepassen van plaats specifieke bemesting op basis van perceelskaarten en/of de N-sensor in vergelijking met een uniforme standaardbemesting, bij 3 opbrengstniveaus (Maidl, 2005).

Potentiëel opbrengst-niveau	uniforme standaard-bemesting	Plaats specifieke bemesting op basis van:		
		perceelskaarten	N-sensor	N-sensor + kaarten
	<i>Bemesting (kg/ha)</i>			
Hoog	180	200	163	175
Middel	180	180	193	180
Laag	180	160	204	146
	<i>Opbrengst (ton /ha)</i>			
Hoog	10,1	9,7	9,9	10,2
Middel	8,6	8,6	9,7	9,6
Laag	8,5	7,9	8,7	9,4
	<i>Eiwitgehalte (%)</i>			
Hoog	11,6	12,0	12,2	12,0
Middel	10,3	10,3	11,4	11,7
Laag	10,4	9,9	10,9	10,9

Plaats specifieke bemesting op basis van een combinatie van gewassensor met perceelsgegevens leverde een gelijke of hogere opbrengst dan de standaardbemesting bij een lagere of gelijke N-gift.

Plaats specifieke bemesting op basis van alleen de gewassensor resulteerde in gelijk of hogere (vooral bij het "normale" potentiële opbrengstniveau) opbrengsten dan de standaardbemesting maar ook hoger N-giften.

Van Alphen en Stoorvogel (2000) hebben een methodologie ontwikkeld en getest waarmee een plaats specifiek bemestingsadvies kan worden afgeleid van modelberekeningen van het verloop van de Nmin-voorraad in de bodem, de gewasontwikkeling en het N-opname patroon, rekening houdend met het actuele weersverloop. Hiervoor worden in het perceel gedeelten onderscheiden met een overeenkomstig water- en nutriëntenregime, zoals afgeleid uit een gedetailleerd grondonderzoek.

Opbrengsten van wintertarwe bij de precisiebemesting waren 3,4% hoger dan bij de gangbare bemesting, bij een reductie van de N-gift van 23%. Dit werd veroorzaakt door een verbeterde afstemming van de N-

bemesting op het N-opnamepatroon in de tijd, omdat geen plaats specifieke bemesting werd toegepast: de berekende verschillen in N-behoefte en N-gift tussen de perceelsgedeelten waren te klein om de resulterende verschillen in adviesgiften met de kunstmeststrooier aan te brengen.

Binnen het project Perceel Centraal zijn van 31 praktijkpercelen met suikerbieten kaarten van de (bovengrondse) biomassa gemaakt met behulp van LORIS (IRS 2010). De gevonden patronen werden door de telers herkend. Op twee plekken in de percelen, een met een lage en een met een hoge bovengrondse biomassa, zijn vervolgens opbrengstbepalingen verricht. Gemiddeld hadden de plekken met de hoge bovengrondse biomassa een financiële meeropbrengst. Op een kwart van de plekken was er echter sprake van een lagere financiële opbrengst bij hoge bovengrondse biomassa. Ook op ongeveer een kwart gaf een lage biomassa een vergelijkbare opbrengst als de hoge biomassa.

De hoge bovengrondse biomassa werd in een aantal gevallen veroorzaakt door een hoog N-aanbod, wat een lagere kwaliteit van de bieten en daarmee een lagere prijs veroorzaakte. Een lage biomassa werd op een aantal percelen veroorzaakt door laag plantaantal, wat bij de eind oogst niet resulteerde in een lagere opbrengst. Het is daarmee nog onduidelijk of er gestreefd moet worden naar een hoge of lage bovengrondse biomassa bij suikerbieten.

Daarnaast werd geconstateerd dat de orde van grootte van verschillen in bovengrondse biomassa op een perceel niet indicatief waren voor verschillen in wortel- en suikeropbrengst: bij kleine verschillen in bovengrondse biomassa kon er een groot verschil optreden in wortelopbrengst, terwijl grote verschillen in bovengrondse biomassa niet perse leidden tot aantoonbare verschillen in wortelopbrengst. Dit compliceert het afleiden van een plaats specifiek bemestingsadvies voor suikerbieten op basis van gewassensoren.

Binnen het project Perceel Centraal is ook getracht een relatie te leggen tussen bodemparameters en het opbrengstniveau op verschillende plekken op proefvelden met zetmeelaardappelen en zomergerst te Valthermond (Wijnholds et al., 2010). Op basis van een kaart van de bovengrondse biomassa van LORIS is de variatie in een perceel in kaart gebracht. Het perceel is op basis daarvan ingedeeld in gedeelten, die apart zijn bemonsterd. Er bleek echter geen eenduidige relatie tussen specifieke bodemparameters en de bovengrondse biomassa (40-80% verklaarde variantie), hoewel het organische stofgehalte en de indringingsweerstand in veel gevallen een deel van de variatie verklaarden. Niet gerapporteerd is in hoeverre de verschillen in bovengrondse biomassa overeenkwamen met verschillen in de opbrengst en kwaliteit (korrels bij gerst en knollen bij aardappelen).

Op een deel van percelen zijn stikstoftrappen aangelegd in gerst (0-50-90-130 kg N hectare<sup>-1</sup>) en aardappelen (0-140-200-260 kg N hectare<sup>-1</sup>), die goed zichtbaar waren op de kaarten van de bovengrondse biomassa. Dit betekent dus dat verschillen in de N-beschikbaarheid tot uiting komen in de bovengrondse biomassa, maar dat het omgekeerde dus niet waar is: verschillen in de stand van de bovengrondse biomassa worden niet alleen bepaald door N, maar ook door andere bodemkenmerken.

In een aantal veldproeven hebben Goense en Van Vliet (2011) verschillende adviesmethoden voor plaats specifieke bemesting vergeleken.

In het seizoen 2008-2009 zijn de volgende vier methoden met elkaar vergeleken:

- 1) Bemesting op basis van de ruimtelijke variatie in de voorraad N-mineraal in het voorjaar in de bodem;
- 2) Bemesting op basis van de ruimtelijke variatie in de gewasstand in het seizoen, vastgesteld door remote sensing data gebaseerd op satelliet beelden zoals van CropView en/of MijnAkker;
- 3) Bemesting op basis van de ruimtelijke variatie in de gewasstand in het seizoen, vastgesteld door near sensing data verkregen met tractor/werktuig gebaseerde sensoren; en

4) Bemesting gebaseerd op verschillen in de bodemstelling in het voorjaar, zoals gemeten met bodemsensoren (De Mol en de EM38).

Daarnaast waren ter evaluatie op een paar percelen verschillen in stikstofbemestingsniveaus aangebracht. Uit dit onderzoek kwam geen methode naar voren die een eenduidig positieve relatie had met de uiteindelijke opbrengst. De gevonden effecten van het plaatsspecifiek bemesten op basis van gemeten verschillen in bodemsamenstelling en/of gewasstand waren soms positief, soms negatief.

In het groeiseizoen 2009-2010 is er vervolgens een vergelijking gemaakt tussen sensoren die op basis van metingen aan het gewas in het seizoen een advies voor plaatsspecifieke (bij)bemesting geven:

1. near sensing gebaseerde systemen (Greenseeker of CropCircle) op de tractor van de telers; en
2. remote sensing beelden van MijnAkker.

Hiervoor werden op drie praktijkpercelen stikstoftrappen aangelegd, en werd er naast de standaard bijbemesting ook plaatsspecifiek bemest op basis van gewassensing. Daarnaast is gekeken of een combinatie van near sensing data van gewas met bodemgegevens (Soil company kaarten) een verbeterde voorspelling gaf van gewasopbrengst.

Daaruit kwamen de volgende bevindingen naar voren:

- De NDVI beelden van de remote sensing opnamen (MijnAkker) en near sensing (Greenseeker of CropCircle) kwamen in veel gevallen niet overeen. Dit betekent dat de daar van afgeleide adviezen dus ook verschillend zijn;
- De near sensing systemen (met gebruik van NDVI) bleken op zichzelf geen goede voorspeller van de eindopbrengst of van de stikstofvoorziening. Ook individuele bodemparameters zoals weergegeven door de Soil Company konden de gewasontwikkeling en –opbrengst niet verklaren. Het combineren van NDVI waarden en bodemvariabelen gaf in enkel geval wel een lichte verbetering, waarbij tot 53% van de verschillen in opbrengst verklaard konden worden. De verklarende variabelen verschilden echter tussen de percelen, wat extrapolatie naar andere percelen bemoeilijkt;
- Ten aanzien van de beslisregels op grond waarvan er bijbemest zou moeten worden was geen eenduidigheid, waarbij met name de interpretatie het knelpunt vormde. De auteurs stelden dat een goed ontwikkeld gewas in het voorjaar zowel kan duiden op een voldoende N-voorziening en daardoor een lage benodigde N-bijmestgift als op een gewas met een hoge opbrengstverwachting en een daarbij behorende hoge N-behoefte, waarbij er een hoog N-bijmestadvies zou moeten volgen; en
- Met de plaatsspecifieke bemesting werd op een perceel wel stikstof bespaard, maar dit leidde tot een opbrengstderving. Op een ander perceel werd juist meer stikstof toegediend, met een resulterende opbrengstverhoging. Opname en afvoer van stikstof is niet gemeten, zodat over de efficiëntie van de bemesting geen uitspraak kan worden gedaan.

Van Evert et al. (2011) onderzochten de potentie van geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectiemetingen. Het onderzoek was gericht op het ontwikkelen van een ijklijn om op basis van reflectiemetingen de N-inhoud van een aardappelgewas op het veld te voorspellen. Hiervoor werden reflectiemetingen van verschillende gewassensensoren vergeleken met gewasanalyses (droge stof en N-gehaltes) uit het veld. Gevonden werd dat de gewasreflectie zoals weergegeven met WDVI een betere voorspelling geeft van de N-inhoud dan andere indices zoals bijv. NDVI. Van de gebruikte sensoren voldeed de Greenseeker niet voor het schatten van de N-inhoud, de CropCircle voldeed matig, en de Yara-Nsensor en CropScan voldeden beide redelijk. De gevonden ijklijn voor gewasreflectie en N-inhoud was niet verschillend voor de verschillende aardappelrassen, grondsoort of teeltdoel. De bijmestgift wordt vervolgens berekend als het verschil in streefwaarde voor N-inhoud en de gemeten N-inhoud. De

uitkomsten van het onderzoek kwamen verder grotendeels overeen met de uitkomsten van eerder onderzoek naar N-bijmestsystemen in aardappelen:

- Door de N-gift op te delen in een basisgift en een bijmestgift gedurende het seizoen (naar behoefte) kon er bespaard worden op de N-gift zonder opbrengstverlies; en
- Bij het berekenen van de N-bijmestgift zou er rekening gehouden moeten worden met de nalevering uit de bodem.

De volgende knelpunten werden gesignaleerd ten aanzien van de interpretatie:

- Bij een achterblijvende biomassa-ontwikkeling en N-opname wordt er nu nog van uitgegaan dat dat uitsluitend het gevolg is van een onvoldoende N-aanbod, terwijl ook andere factoren een rol kunnen spelen. Het is voor de auteurs nog onduidelijk hoe dat in beeld kan worden gebracht; en
- Een goede ontwikkeling van de bovengrondse biomassa en een hoge N-inhoud daarin kan daarbij ook wijzen op een hoge potentiële productie, en daarmee op een hoge gewenste bijmestgift. Nu nog wordt bij een hoge N-inhoud verondersteld dat de N-voorziening goed is en dat het niet nodig is om een bijbemesting te geven.

#### 5.5.4 *Praktijkervaring met plaats specifieke bemestingssystemen*

Op 7 bedrijven is in het kader van uitgevoerd bemestingsonderzoek in het project Telen met Toekomst in 2010 gebruik gemaakt van satellietbeelden (BasFood of Cropview) als basis voor adviezen over N-bijbemesting. De technieken werden als niet voldoende ontwikkeld beoordeeld. De resultaten vielen door verschillende factoren tegen:

- Geen beelden (door bewolking) in periode dat er besloten moest worden tot bijbemesting;
- Verschillen in de N-status van het gewas veroorzaakt door N-bemesting werden niet altijd waargenomen met satellietbeelden;
- Grote afwijkingen tussen de opbrengstprognoses en de daadwerkelijk gerealiseerde opbrengsten.

Daarnaast zijn twee akkerbouwers die experimenteren met plaats specifieke bemesting in het kader van dit project geïnterviewd. In beide gevallen gaat het om echte voorlopers die geïnteresseerd zijn in de techniek en de toepassingsmogelijkheden. Ze zijn betrokken bij de verdere ontwikkeling van de techniek op praktijkschaal en maken zowel gebruik van remote-sensing als near-sensing. Eén van de akkerbouwers gebruikt de gewassensoren als basis voor de N-bijbemesting in tarwe en aardappelen en de andere akkerbouwer gebruikt het uitsluitend voor de aardappelen. Beide akkerbouwers verwachten dat plaats specifieke bemesting in de toekomst goede mogelijkheden biedt om het algehele opbrengstniveau te verhogen en/of een meer uniforme opbrengst te realiseren. Zij geven echter ook aan dat er nog sprake is van de nodige knelpunten die moeten worden opgelost:

- Selectie van de juiste meettechniek: daarbij gaat het om een keuze tussen remote en near sensing, maar ook tussen sensoren die worden gebruikt voor near-sensing (bijvoorbeeld gericht op meten van NDVI of WDVI); en
- Interpretatie van de meetwaarden en vertaling ervan in advies. Vaak is het onduidelijk wat de oorzaak is van een bepaald meetresultaat, waardoor het ook lastig is om zonder aanvullend onderzoek adviezen te geven over een eventueel benodigde bijmestgift. Ook blijkt de voorspelbaarheid van een meetresultaat (vaak gericht op in beeld brengen van de hoeveelheid bovengrondse biomassa) voor de uiteindelijke opbrengst beperkt, zodat onduidelijk is waar naar gestreefd moet worden.

Op dit moment worden de meetresultaten die met de remote of near sensing worden verkregen vaak gebruikt om aanvullend grond- of gewasonderzoek te doen. Daaruit moet meer informatie komen over de oorzaken van de verschillen in de bovengrondse biomassa, bijvoorbeeld de beschikbaarheid aan N en

andere nutriënten, pH, vochttoestand, bodemstructuur, etc. Op basis daarvan kunnen dan maatregelen worden genomen.

In de workshop met teeltadviseurs (Hoofdstuk 6) kwam daarnaast het volgende naar voren:

- De systemen voor plaats specifieke bemesting op basis van sensoren worden vooralsnog als niet praktijkrijp beoordeeld;
- Er was geen consensus over de verwachte effecten bij verdere ontwikkeling van de systemen. Een aantal deelnemers meende dat plaats specifieke bemesting op termijn tot hogere nutriëntenbenutting zou kunnen leiden, vooral bij grote percelen en met name bij aardappelen en graan. Een aantal deelnemers verwachtte daarentegen weinig effect op benutting, deels door een moeizame inpasbaarheid in de praktijk;
- Het voordeel van N-bijmestsystemen (en dus ook plaats specifieke bemesting) op basis van sensoren ten opzichte van N-bijmestsystemen waarvoor grond- en gewasonderzoek nodig is, is dat het minder bewerkelijk is en daardoor gemakkelijker inpasbaar op praktijkbedrijven;
- De toepassingsmogelijkheden van vooral remote sensing worden sterk belemmerd doordat bij bewolking geen meetgegevens kunnen worden verkregen; en
- Remote sensing is makkelijker inpasbaar dan near sensing, omdat iedereen de satellietbeelden kan aanschaffen en men zelf geen aangepaste apparatuur nodig heeft voor het uitvoeren van metingen.

#### 5.5.5 Conclusies plaats specifieke bemestingssystemen

- Plaats specifieke bemesting richt zich vooral op N-bijbemesting in granen en aardappelen op basis van metingen met gewassensoren (remote of near sensing);
- In theorie biedt plaats specifieke bemesting goede mogelijkheden om rekening te houden met variatie in de N-beschikbaarheid binnen een perceel en zodoende de N-benutting te verhogen;
- Veel van de hulpmiddelen voor plaats specifieke bemesting zijn nog in de onderzoeksfase. Vragen zijn nog aanwezig op het gebied van techniek (meten, koppelen informatiebronnen, etc.) en op het gebied van interpretatie (bijvoorbeeld vertaling bovengrondse biomassa van aardappelen en/of suikerbieten naar een opbrengstverwachting en/of bemestingsadvies); en
- Plaats specifieke bemesting lijkt dan ook nog niet rijp om op grote schaal in de praktijk te worden toegepast.

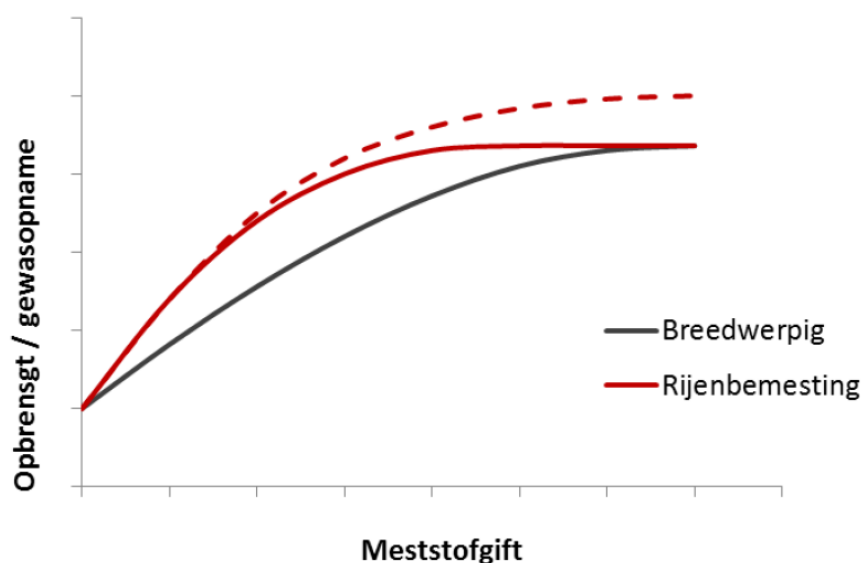
## 5.6 Toediening van N en P in de rij; ofwel rijenbemesting

### 5.6.1 Potentiële voordelen van rijenbemesting

Er is de laatste jaren sprake van een toenemende belangstelling voor rijenbemesting. Op basis van onderzoek dat de laatste decennia is uitgevoerd, lijkt rijenbemesting op basis van theoretische gronden en uitgevoerde veldproeven tot een verhoging van de benutting van N en P te kunnen leiden (o.a. Van Geel, 2011; Van Geel et al., 2011; Smit et al., 2009; Dekker & Postma, 2008; De Ruijter et al., 2009). Daarbij moet wel worden vastgesteld dat de resultaten die in het verre verleden met rijenbemesting zijn behaald (onder andere Prummel, 1957) positiever waren dan die van meer recente datum (Van Dijk et al., 2008; Russchen et al., 2011). De toegenomen bodemvruchtbaarheid wordt vaak als oorzaak genoemd, waardoor veelal niet aan de randvoorwaarden wordt voldaan om een effect van rijenbemesting op opbrengst, kwaliteit en nutriëntenbenutting van het gewas vast te kunnen stellen. Enkele algemene bevindingen uit het onderzoek:

- In het algemeen is een eventueel voordeel van rijenbemesting voor P groter dan voor N, omdat P weinig mobiel is in de bodem;
- De voordelen van rijenbemesting zijn vaak groter bij een lage dan bij hoge bodemvruchtbaarheid;
- Rijenbemesting heeft vooral effect bij gewassen met een grote rijenafstand, met hoge behoefte en zwakke beworteling. Bij aardappelen en suikerbieten waren de voordelen echter minder groot dan bij andere gewassen, zoals maïs en bonen; en
- Rijenbemesting heeft vaak vooral effect tijdens de begingroei van het gewas, omdat de wortelontwikkeling dan nog beperkt is.

In Figuur 5.2 is het mogelijke voordeel van rijenbemesting schematisch weergegeven: dezelfde opbrengst kan in theorie worden gerealiseerd bij een lagere gift en daarnaast is kan rijenbemesting leiden tot een hogere opbrengst.



Figuur 2. Schematische weergave van het verwachte effect van rijenbemesting en breedwerpige bemesting op opbrengst en opname (Van Geel, 2011).

Bijkomend voordeel van rijenbemesting is dat een hogere benutting bij kan dragen aan de vermindering van nutriëntenemissies zonder dat dit ten koste gaat van de opbrengst en kwaliteit van het gewas.

### 5.6.2 Werkingsmechanismen van rijenbemesting met N- en P-houdende meststoffen

Werkingsmechanismen die in de literatuur worden genoemd om positieve effecten van rijenbemesting met N- en/of P-houdende meststoffen te verklaren zijn als volgt:

1. Verhoging van de beschikbaarheid van de toegediende N en P voor (met name jonge) plantenwortels, omdat ze in de buurt van de wortel worden geplaatst (Van Erp & Titulaer, 1992). De behoefte aan N en P per eenheid wortellengte is hoog bij jonge planten. De aanvoer van nutriënten naar de wortel heeft plaats door mass flow en diffusie. De aanvoer via mass flow wordt bepaald door de transpiratie en de concentratie in bodemvocht. Bij jonge planten is de transpiratie beperkt. De aanvoer via diffusie is een functie van de concentratie in het bodemvocht, de concentratie aan het worteloppervlak, het vochtgehalte en de diffusie-afstand. Bij rijenbemesting is de concentratie in het bodemvocht lokaal extreem hoog, is de concentratie aan het worteloppervlak van jonge wortels met een hoge behoefte laag, is het vochtgehalte van de grond iets onder het grondoppervlak hoger dan aan het oppervlak en

is de diffusie-afstand door plaatsing bij de wortels beperkt. Mass flow is van belang voor  $\text{NO}_3$  en diffusie vooral voor het transport van P en  $\text{NH}_4$ . Toediening van N en P in de rij zal een positief effect hebben op mass flow en diffusie van N en P naar de jonge plantenwortel.

2. Desorptie van geadsorbeerde P vindt gemakkelijker plaats naarmate een groter deel van de fosfaatfixatiecapaciteit van de grond is verzadigd. Dit betekent dat P-rijenbemesting met name op fosfaatfixerende gronden voordelig kan zijn. Aangezien het meststoffosfaat met slechts een klein gedeelte van de grond in contact komt, is het fosfaat daar beter beschikbaar voor de plant, dan wanneer het fosfaat over de hele bouwvoor wordt verdeeld (Prummel, 1957).
3. Een gecombineerde toediening van N en P in de rij in de vorm van het positief geladen ion  $\text{NH}_4$  en het negatief geladen ion  $\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$  of  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , kan een positieve opname-interactie tot gevolg hebben (synergisme). Daarnaast kan de positieve beïnvloeding meer indirect zijn door de verzurende werking die het  $\text{NH}_4$ -ion veroorzaakt bij nitrificatie of opname door de plantenwortel en kan de P-beschikbaarheid in het wortelmilieu toenemen (Soon & Miller, 1977). Dit is met name het geval als het reeds aanwezige fosfaat in de bodem als calciumfosfaat aanwezig is (Singh Gahoonia et al., 1992; Havlin, 1994).
4. Plaatsing van de meststoffen onder het bodemoppervlak verbetert de mogelijkheden van transport van nutriënten in de bodem naar het worteloppervlak, doordat de grond daar relatief vochtig is (Hofman et al., 1992; Prummel, 1957; De Willigen & Van Noordwijk, 1987).
5. Toediening van fosfaat in de vorm van ammoniumfosfaat zal een positief effect hebben op de fosfaaddiffusie, omdat de diffusie na toediening van het goed oplosbare ammoniumfosfaat in het algemeen hoger is dan na toediening van calciumfosfaat (Villani et al., 1998; Werner & Strasser, 1993).
6. Lokale toediening van N in de vorm van  $\text{NH}_4$  in de rij kan een verhoging van de N-benutting tot gevolg hebben, doordat N langer in de  $\text{NH}_4$ -vorm aanwezig blijft, door vertraging van nitrificatie. Hierdoor zullen de verliezen (die vooral als  $\text{NO}_3$ -uitspoeling en denitrificatie optreden) worden beperkt. Dit blijkt onder andere uit proeven met N-rijenbemesting bij aardappelen (Hofman et al., 1993; Himken, 1995) en uit modelberekeningen van Wang et al. (1998).
7. Een meer praktisch aspect, waardoor de N-verliezen bij rijenbemesting van aardappelen kleiner kunnen zijn dan bij een gangbare, breedwerpige bemesting, is een verschil in toedieningstijdstip. Bij de gangbare, breedwerpige bemesting worden de meststoffen bewust of onbewust vaak lange tijd voor het poten aangebracht. In deze periode kan  $\text{NO}_3$  volop uitspoelen of denitrificeren. Rijenbemesting wordt in de regel tegelijk met het poten uitgevoerd.

### 5.6.3 Effecten van rijenbemesting en bemestingsadviezen

In 2009-2010 is onderzoek uitgevoerd op proefvelden waarbij het effect van enkele (nieuwe) vloeibare fosfaatmeststoffen, toegediend in de rij, is vergeleken met breedwerpig bemesten met TSP bij de teelt van consumptieaardappelen (Russchen et al., 2011). Fosfaatbemesting resulteerde zowel in 2009 als in 2010 op iedere proeflocatie in een, niet significante, meeropbrengst van enkele tonnen. Het object met breedwerpige P-bemesting in de vorm van TSP had gemiddeld een 3% hogere opbrengst dan het controle-object zonder P-bemesting. Rijenbemesting met de vloeibare meststof (50% van P-gift bij TSP) en de



korrelmeststof (75% van P-gift van TSP) gaf eveneens een (overigens niet significante) verhoging van de opbrengst van gemiddeld 3%. Gezien het zeer geringe effect van P-bemesting, kon geen betrouwbare uitspraak worden gedaan over het verschil tussen rijenbemesting en breedwerpige bemesting.

Er is de laatste jaren sprake van een hernieuwde belangstelling voor rijenbemesting, wat o.a. blijkt uit het onderzoeksprogramma PPL (zie onder andere NCOR, PPL, [www.rijenbemesting.nl](http://www.rijenbemesting.nl), [www.pplnl.nl](http://www.pplnl.nl)). Door het NCOR (Nederlands centrum ontwikkeling rijenbemesting) is een Landelijke Adviesbasis Rijenbemesting opgesteld voor aantal gewassen waaronder suikerbieten, poot-en consumptieaardappelen. Hierbij wordt de besparing van 10-15% (N) of 40% (P) ten opzichte van een breedwerpige bemesting weergegeven. Er lijkt geen verder onderzoek beschikbaar te zijn waarmee deze adviezen zijn onderbouwd.

Voor suikerbieten is er door het Franse ITB (Institut Technique de la Beterave) een advies opgesteld voor rijenbemesting met stikstof. Afhankelijk van de voorvrucht en grondsoort kan er bij rijenbemesting 15-30% bespaard worden ten opzichte van breedwerpig bemestingsadvies tussen de 100-160 kg N, en 10-15% bij breedwerpig bemestingsadvies tussen 60-100 kg N hectare (ITB 2001).

Ook in de huidige bemestingsadviezen van de CBAV (Van Dijk & Van Geel, 2010) wordt soms aangegeven dat in het geval van rijenbemesting de gift kan worden verlaagd. Bij maïs wordt N-rijenbemesting geadviseerd, waarbij de N-gift 80% dient te bedragen van de normale, breedwerpige gift. Voor fosfaat wordt rijenbemesting voor meerdere gewassen geadviseerd, waarbij wordt aangegeven dat 50-75% van de normale hoeveelheid kan worden toegediend.

#### 5.6.4 *Praktijkervaring met rijenbemesting:*

De praktijk ziet rijenbemesting als een reële optie om gewassen van voldoende N en P te voorzien binnen de gebruiksnormen. De laatste jaren wordt er behoorlijk veel geëxperimenteerd met de toepassing van zowel korrelvormige als vloeibare meststoffen en ook dierlijke mest (zie onder andere Drenth, 2011-I en – II). De ontwikkeling van aangepaste toedieningsapparatuur speelt daarbij een belangrijke rol.

In de workshop met teeltadviseurs werden de volgende opmerkingen gemaakt:

- Rijenbemesting kan bij percelen met lage fosfaattoestand wel een effect hebben, maar dat is gewas- en jaar-afhankelijk.
- Rijenbemesting is praktijkrijp en goed inpasbaar in de praktijk.
- Er ontbreken nog goede betrouwbare onderzoeken waarin het positieve effect wordt aangetoond en waaruit blijkt hoeveel de benutting omhoog gaat.

#### 5.6.5 *Conclusie rijenbemesting*

- In theorie is rijenbemesting een goede methode om de nutriëntenbenutting te verhogen: vooral via kleine startgift van N en/of P bij gewassen met een grote rijenafstand en/of een beperkt wortelstelsel.
- Uit proeven met maïs is het voordeel van rijenbemesting duidelijk aangetoond. Voor gangbare akkerbouwgewassen is dit minder duidelijk.
- Het is zinvol om na te gaan hoe de diverse adviezen voor rijenbemesting tot stand zijn gekomen (onderbouwing op basis van onderzoeksresultaten).

## 5.7 Meststofkeuze

### 5.7.1 Effect van minerale meststoffen op N- en P-benutting

Er is een groot aantal verschillende N-houdende meststoffen beschikbaar. De belangrijkste verschillen tussen N-meststoffen hebben betrekking op i) het type N-verbinding (ammonium ( $\text{NH}_4$ ), nitraat ( $\text{NO}_3$ ) of N-organisch), ii) de vorm van de meststof zelf (vast of vloeibaar) en iii) de wijze waarop N uit de meststof in de bodem terecht kan komen (snelwerkend versus langzaamwerkend). Er zijn meststoffen op de markt die een hogere efficiëntie claimen dan de standaard N-meststof kalkammonsalpeter (kas). Een aantal bekende voorbeelden zijn

- $\text{NH}_4$ -houdende meststoffen met een nitrificatieremmer (b.v. Entec); en
- Langzaamwerkende meststoffen (b.v. Agroblen, osmocote).

In een voorgaand PA-project hebben NMI en PPO daarom de gebruikswaarde (o.a. effect op opbrengst en kwaliteit) van een aantal van die meststoffen en bemestingsystemen voor de teelt van poot-, zetmeel- en consumptieaardappelen vastgesteld in 9 veldproeven in de periode 2006-2008 (Postma et al., 2009). In aanvulling daarop is in de veldproeven met zetmeel- en consumptieaardappelen op zandgrond ook het effect van die meststoffen op de efficiëntie of benutting van de toegediende stikstof onderzocht.

In het genoemde onderzoek zijn de volgende (combinaties van) meststoffen onderzocht:

- Entec: een ammonium ( $\text{NH}_4$ )-houdende meststof met nitrificatieremmer 3,4 Dimethylpyrazol fosfaat (DMPP), die de omzetting van  $\text{NH}_4$  in nitraat ( $\text{NO}_3$ ) remt (Zerulla et al., 2000; Bakker & Den Boer, 2004). Hierdoor blijft de N langer in  $\text{NH}_4$ -vorm aanwezig in de bodem, waardoor de N niet of in mindere mate zal uitspoelen naar het grondwater;
- Flex Fertilizer System: bestaat uit een basisbemesting met een ureumhoudende, vloeibare N-meststof die bij het poten in de rij wordt toegediend. Een ander deel van de gift wordt tijdens het groeiseizoen aan het gewas toegediend via bladbemesting;
- Een NPK-meststof (Yara Mila Complex of Yara Mila Grower) of een N-meststof (Superstart) als basisbemesting, gevolgd door een bijbemesting met Superstart, Nitrabor en/of Hydophos; en
- Agroblen: een langzaamwerkende N-meststof, waaruit de N in de loop van het groeiseizoen geleidelijk beschikbaar komt voor het gewas. Hierdoor kan N-uitspoeling worden beperkt.

In alle veldproeven van het genoemde onderzoek was de globale proefopzet gelijk. De proeven werden uitgevoerd met 5 referentie-objecten met oplopende N-trappen (0, 1/3, 2/3, 3/3 en 4/3 x N-advies) en een 6<sup>e</sup> referentie-object met dierlijke mest zonder toevoegmiddel. Behalve de 4 test-objecten met een nieuwe meststof was er een 5<sup>e</sup> test-object waarbij Piadin (met de nitrificatieremmer 1H-1,2,4 Trizaol en 3-Methylpyrazol) aan dierlijke mest was toegevoegd. Tenslotte was er een object met N-bijbemesting (NBS-bodem). Het N-bemestingsniveau in de test-objecten was in de veldproeven met pootaardappelen en zetmeelaardappelen in principe gelijk aan 90% van het N-advies en in de proeven met consumptieaardappelen aan 67% van het N-bemestingsadvies. Zodoende kon worden nagegaan of met de testmeststoffen bij een lagere N-gift hetzelfde resultaat kon worden gerealiseerd als bij een adviesgift met de standaardmeststoffen.

Bij de objecten met dierlijke mest werd gestreefd naar een gift waarmee de werkzame N-gift 40-70% van het N-bemestingsadvies bedroeg, zodat de werking van de N in de mest goed kon worden vastgesteld.

Gemiddeld over alle 9 proeven werd de optimale opbrengst gerealiseerd bij een N-gift van 3/3 van het advies, maar in individuele proeven varieerde dit van 1/3 tot 4/3 van het advies. Gemiddeld over 8 van de 9 proeven waren de opbrengsten verkregen met nieuwe meststoffen en/of bemestingssystemen vergelijkbaar met die in de referentieobjecten met kalkammonsalpeter bij een N-gift die overeenkwam met het N-advies en bij dezelfde N-gift als die in de testobjecten. Zo bedroeg de meeropbrengst bij Entec en het Scotts-product (Agroblen) 1% en bij het Yara-product 0, terwijl met Flex Fertilizer System en het NBS-object een iets lagere (2%) opbrengst werd verkregen dan in het referentie-object met 3/3 N (Tabel 5.6).

Tabel 5.6. Resultaten van de relatieve opbrengsten (voor pootgaardappelen en consumptiegaardappelen) en uitbetalingsgewichten (zetmeelaardappelen), waarbij het resultaat van 3/3 N op 100% is gesteld

Object	Pootgaardappelen			Zetmeelaardappelen			Consumptiegaardappelen			Gemiddeld (m.u.v. Ca 2007)
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	
0	61	69	79	66	48	72	76	104	74	68
1/3 N	88	94	94	99	74	90	89	110	95	90
2/3 N	95	90	98	100	91	94	103	106	95	96
3/3 N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4/3 N	103	92	102	88	106	100	103	97	109	100
Flex	106	105	99	95	82	97	90	102	107	98
Entec	100	105	102	100	99	105	100	109	98	101
Yara	104	111	99	100	91	98	91	106	103	100
Scotts	100	108	103	102	97	107	88	110	103	101
Mest+	80	75	96	92	70	85	86	114	99	85
Mest-	79	74	93	85	69	82	83	106	98	83
NBS	103	104	99	99	89	93	96	111	104	98

NB: de N-gift met de nieuwe meststoffen was gelijk aan 90% van N-advies bij poot- en zetmeelaardappelen en 67% van N-advies bij consumptiegaardappelen. Bij NBS was de N-gift 45-92% van N-advies.

Toediening van Piadin leidde steeds tot een verhoging van de N-werking van de mest. Bij het suboptimale N-niveau in de proeven was de N-werking in de mest met Piadin gemiddeld over alle proeven (exclusief de consumptiegaardappelen in 2007) 47% en in de mest zonder Piadin 41%. Uitgaande van een N-gift met mest van 170 kg N/ha betekent dat dat door toediening van Piadin circa 10 kg N/ha via kunstmest kan worden bespaard.

Gemiddeld over 5 van de 6 proeven op zandgrond was de benutting of efficiëntie van N die werd toegediend met nieuwe meststoffen en/of bemestingssystemen wat hoger dan die in het referentie-object met 3/3 N. Dit was met name het geval bij NBS, waar gemiddeld 62% van de toegediende N werd opgenomen door het gewas, en bij Scotts, waar dat aandeel gelijk was aan 57% (Tabel 5.6). Voor NBS was de relatief hoge N-benutting voor een belangrijk deel het gevolg van een lagere N-gift dan die in het referentie-object.

Tabel 5.7. Schijnbare N-benutting (ANR) per object in de proeven met zetmeelaardappelen te Rolde en consumptieaardappelen te Vredepeel

Object	Zetmeelaardappelen			Consumptieaardappelen			Gemiddeld
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	
1/3 N	0,72	0,51	0,78	0,62	0,43	0,51	0,63
2/3 N	0,75	0,57	0,66	0,61	0,34	0,44	0,61
3/3 N	0,53	0,57	0,53	0,46	0,31	0,41	0,50
4/3 N	0,38	0,48	0,37	0,35	0,27	0,39	0,39
Flex	0,66	0,42	0,48	0,35	0,25	0,59	0,51
Entec	0,62	0,52	0,56	0,49	0,35	0,37	0,51
Yara	0,64	0,63	0,49	0,28	0,30	0,56	0,51
Scotts	0,70	0,64	0,72	0,33	0,29	0,48	0,57
Mest+	0,45	0,44	0,34	0,27	0,18	0,42	0,38
Mest-	0,35	0,45	0,22	0,25	0,01	0,37	0,33
NBS	0,65	0,61	0,71	0,48	0,42	0,63	0,62

NB: het gemiddelde is berekend op basis van 5 van de 6 proeven. De proef met consumptieaardappelen uit 2007 is buiten beschouwing gelaten.

Op basis van de resultaten het onderzoek werden de volgende conclusies getrokken:

- De meerwaarde van 'nieuwe' meststoffen voor het realiseren van de optimale opbrengst bij een verlaagde N-gift is beperkt;
- Verlaging van de N-gift met kalkammonsalpeter tot 2/3 van het N-advies leidde bij aardappelen gemiddeld tot een opbrengstderving van slechts 4%; en
- Een verbeterd N-bijmeststelsel biedt de beste mogelijkheden om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren, door in te spelen op de N-leverantie door de bodem en de N-behoefte van het gewas.

De benutting van de met meststoffen toegediende fosfaat door akkerbouwgewassen, bedraagt in het eerste jaar slechts circa 10-20%. Daarbij is de benutting van snelwerkende meststoffen (tripelsuperfosfaat en samengestelde meststoffen, zoals NP's) in het eerste jaar in het algemeen hoger dan die van langzaamwerkende, minerale meststoffen (natuurfosfaat) en organische meststoffen (bijvoorbeeld dierlijke mest). Door de nawerking van de laatstgenoemde meststoffen in daarop volgende jaren, wordt dit effect bij een jaarlijks herhaalde toediening (grotendeels) teniet gedaan (Dekker & Postma, 2008). De effectiviteit van korrelvormige en vloeibare P-meststoffen verschilt in het algemeen niet sterk. In een overzichtsartikel concludeert Clevering (2002) dat vloeibare meststoffen in normale jaren niet tot een hogere opbrengst leiden dan vaste meststoffen, maar dat dit in extreme jaren (bijvoorbeeld bij droogte) wel het geval kan zijn. Ook is de werking gemiddeld iets hoger.

### 5.7.2 Organische meststoffen en producten van mestverwerking

Zoals in paragraaf 5.1.1 is aangegeven, is de benutting van nutriënten in organische meststoffen in het algemeen lager dan die in minerale meststoffen. De beschikbaarheid van N in organische meststoffen wordt gekarakteriseerd met het begrip "N-werkingscoëfficiënt" of "N-werking", waarbij de relatieve N-beschikbaarheid ten opzichte van de N-beschikbaarheid in een referentiemeststof (in het algemeen kalkammonsalpeter) wordt aangegeven. Concreet staat de N-werkingscoëfficiënt voor het percentage van

de totale hoeveelheid N in organische mest die in het eerste jaar na toediening beschikbaar komt voor het gewas.

De N-werking van organische mest hangt af van de volgende zaken (zie onder andere Van Dijk et al., 2004; Van Geel & Oele, 2005):

- De mestsoort en samenstelling: daarbij zijn vooral de verhouding tussen de N in minerale ( $N_m$ ) en organische vorm ( $N_{org}$ ) van belang. Zo is de hoeveelheid  $N_m$  in gier en drijfmest relatief hoog, wat een relatief hoge N-werking in de hand werkt. Daarnaast is de snelheid waarmee de  $N_{org}$  vrijkomt van belang. Deze wordt bepaald door de stabiliteit van de organische stof en de N-rijkdom er van (hoog bij lage C/N-ratio en laag bij hoge C/N-ratio). Door de samenstelling van de  $N_{org}$ -fractie komt N relatief snel vrij uit kippenmest, en relatief langzaam uit composten. De verhouding tussen  $N_m$  en  $N_{org}$  en de werking bij voorjaarstoediening van een aantal veelgebruikte dierlijke mesten is gegeven in Tabel 5.8;
- Het toedieningstijdstip van de mest: als mest in het najaar wordt toegediend, zal er veel N verloren gaan door uitspoeling, waardoor de N-werking in het volgende jaar laag zal zijn (vaak minder dan 25%); en
- De toedieningswijze en weersomstandigheden: ammoniak kan na de toediening uit de mest verdwijnen door vervluchtiging. Dit effect is beperkt bij bouwlandinjectie (0-5%), maar is hoger bij bovengrondse toediening gevolgd door direct inwerken (ca. 20% van  $N_m$ ) en neemt verder toe als pas na ca. 1 uur wordt ingewerkt (ca. 30% van  $N_m$ ). Bij voorjaarstoepassing in wintergranen met een sleufkouter of zodebemester vervluchtigt circa 25-30% van de  $N_m$ . In het algemeen zal de  $NH_3$ -vervluchtiging bij zonnig, droog weer met veel wind hoger zijn dan bij regenachtig weer.

Tabel 5.8. Gemiddelde verhouding tussen  $N_m$  en  $N_{org}$  en N-werking in een aantal veelgebruikte organische mesten. De N-werking geldt bij gemiddelde mestsamenstelling in geval van voorjaarstoediening (maart/april), door middel van bouwlandinjectie bij drijfmest en bovengronds verspreiden plus direct inwerken bij vaste mest.

Mestsoort	verhouding tussen $N_m$ en $N_{org}$ , %		N-werking, %
	$N_m$	$N_{org}$	
<i>Drijfmest</i>			
Rundvee	49	51	55
Rosé kalveren	54	46	80
Varkens	65	35	80
<i>Vaste mest</i>			
Rundvee	17	83	25
Leghennen (droge mest)	10	90	60
Kippenstrooiselmest	13	87	60
Vleeskuikens + parelhoen	25	75	60
Champost	5	95	35

Er is de laatste jaren veel onderzoek uitgevoerd naar de N-werking van producten uit mestbewerking (o.a. vergisting met of zonder scheiding en alleen scheiding) en -verwerking (mineralenconcentraten en vaste fractie; onder andere Velthof, 2011; Van Geel et al., 2011a en b). Zo is er in 2009 en 2010 een groot aantal veldproeven uitgevoerd met mineralenconcentraten die uit drijfmest zijn geproduceerd door een combinatie van ultrafiltratie en omgekeerde osmose. De proeven waren gelegen op verschillende grondsoorten (zand-, dal- en kleigrond) in verschillende regio's en verschillende gewassen (aardappelen en granen). Uit de resultaten van Van Geel et al. (2011a en b) blijkt dat de N-werking van mineralenconcentraten in het

algemeen gelijkwaardig was aan kalkammonsalpeter en hoger dan die van de gangbare drijfmest. Wel waren er verschillen tussen grondsoorten, gewassen en andere omstandigheden (o.a. toedieningstijdstip en –wijze). Zo was de N-werking verkregen bij de teelt van aardappelen op de zandgrond te Rolde hoger dan op de kleigrond te Lelystad (tabel 5.10). In het uitgevoerde additionele onderzoek was de N-werking vrijwel steeds gelijkwaardig aan KAS bij toepassing van het mineralenconcentraat via bouwlandinjectie voor poten of zaaien van het gewas. De enige uitzondering hierop was de zomergerstproef op zand in 2010 (Tabel 5.9).

Tabel 5.9. N-werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in verschillende bouwlandproeven in het kader van additioneel onderzoek (Van Geel et al., 2011b).

Proef	Toedienings-moment	Toedienings-methode	Stikstofwerkings-coëfficiënt, %	Beoordeling
Zetmeelaard. dalgrond, 2010	basisbemesting	bouwlandinjectie	126	gelijkwaardig aan KAS
	bijbemesting	slangen	130	gelijkwaardig aan KAS
Consumptieaard. ZO zand, 2010	basisbemesting	bouwlandinjectie	123	gelijkwaardig aan KAS
	bijbemesting	slangen	82	gelijkwaardig aan KAS
Consumptieaard. ZW klei, 2010	basisbemesting	oppervlakkig	95	gelijkwaardig aan KAS
	idem i.c.m. drijfmest	oppervlakkig	48	lager dan KAS
	bijbemesting	slangen	52	lager dan KAS
Wintertarwe zware zeeklei, 2009	2 <sup>e</sup> gift	sleufkouter	69	lager dan KAS
	2 <sup>e</sup> gift	slangen	119	gelijkwaardig aan KAS
	2 <sup>e</sup> gift i.c.m. 3 <sup>e</sup> gift KAS	sleufkouter	95	gelijkwaardig aan KAS
Wintertarwe zware zeeklei, 2010	2 <sup>e</sup> gift	sleufkouter	102	gelijkwaardig aan KAS
	2 <sup>e</sup> gift	slangen	46	lager dan KAS
	2 <sup>e</sup> gift i.c.m. 3 <sup>e</sup> gift KAS	sleufkouter	95	gelijkwaardig aan KAS
Zomergerst dalgrond, 2009	basisbemesting	bouwlandinjectie	128	gelijkwaardig aan KAS
	basisbemesting	oppervlakkig	102	gelijkwaardig aan KAS
Zomergerst zandgrond, 2010	basisbemesting	bouwlandinjectie	40	lager dan KAS
	basisbemesting	oppervlakkig	9	lager dan KAS
Snijmaïs ZO zand, 2010	vóór zaaien	bouwlandinjectie	129	lijkt beter dan KAS
	bij zaai	kouter	94	gelijkwaardig aan KAS
	na opkomst	kouter	95	gelijkwaardig aan KAS
	na opkomst i.c.m. startgift KAS bij zaai	kouter	70	lager dan KAS

Tabel 5.10. N-werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat en vloeibare ammoniumnitraat ten opzichte van kalkammonsalpeter (kas) bij aardappelen op basis van N-opname in de knollen (Van Geel et al., 2011a).

Meststof	Toedieningstijdstip	Lelystad		Rolde	
		2009	2010	2009	2010
Mineralenconcentraat	Basisbemesting	78	81	86 (n.s.)	98 (n.s.)
Vloeibare ammoniumnitraat	Basisbemesting	-	65	-	-
Mineralenconcentraat	Rugopbouw	58 (n.s.) <sup>1</sup>	121 (n.s.)	-	-
Mineralenconcentraat	Knolzetting	44 (n.s.)	104 (n.s.)	40	112 (n.s.)

<sup>1</sup> n.s. = niet significant verschillend van KAS c.q. van 100.

Uit onderzoek met de dikke fractie die vrijkomt bij mestverwerking blijkt dat die een aanzienlijk lagere N-werking heeft dan de dunne fractie (tabel 5.11). De N-werking zoals die op klei- en zandgrond bij de teelt van aardappelen werd vastgesteld was aanzienlijk lager dan werd verwacht op basis van de samenstelling (Van Geel et al., 2011a; Ehlert & Hoeksma, 2011). Als mogelijke verklaring werd de wijze van toediening (bovengronds en daarna in aparte werkgang ingewerkt) genoemd, aangezien dat een relatief hoge NH<sub>3</sub>-vervluchtiging tot gevolg kan hebben gehad.

Tabel 5.11. N-werkingscoëfficiënt (in %) in dikke fractie na mestscheiding ten opzichte van kalkammonsalpeter (kas) op basis van N-opname in de knollen (Van Geel et al., 2011a).

Meststof	Toedieningstijdstip	Lelystad		Rolde	
		2009	2010	2009	2010
Dikke fractie	Basisbemesting	34	32	55	34

### 5.7.3 Praktijkervaringen met meststofkeuze:

Er is in de akkerbouwpraktijk de nodige interesse voor producten van mestverwerking, wat o.a. blijkt uit het grote aantal artikelen dat daarover de laatste tijd in vakbladen verschijnt. De producten bieden de nodige voordelen ten opzichte van onverwerkte mest, omdat beter gedefinieerde fracties worden verkregen die verschillen in samenstelling. Zo is de dikke fractie interessant voor de voorziening van P en organische stof en de dunne fractie voor N en K.

Opmerkingen vanuit de workshop met teeltadviseurs (zie Hoofdstuk 6):

- Vloeibare stikstof wordt veel gebruikt als hoofdgift omdat het gemakkelijk en nauwkeurig toe te dienen is. Wel is de kans op vervluchtiging, afhankelijk van omstandigheden, groter dan bij korrelvorm. Hierdoor wordt de benutting verlaagd.
- Het verschil in benutting tussen vloeibare N- en/of P-meststoffen (goed toegepast en snel ingewerkt) en korrelvormige N- en/of P-meststoffen is in het algemeen klein.
- De benutting van nutriënten bij gebruik van organische meststoffen kan worden verhoogd, door het gebruik van be- en verwerking van mest.

#### 5.7.4 Conclusie meststofkeuze:

- Met nieuwe minerale meststoffen wordt vrijwel nooit een hogere N- en/of P-benutting gerealiseerd dan met de referentiemeststoffen KAS en TSP of NP's, terwijl je dat bij N-meststoffen met een nitrificatieremmer en/of langzame werking op basis van de theorie vooral onder natte omstandigheden wel zou verwachten.
- Het mineralenconcentraat dat vrijkomt bij mestverwerking leidde tot een hogere N-benutting dan die van onbewerkte dierlijke mest en veelal tot dezelfde benutting als KAS. De dikke fractie leidde daarentegen tot een lagere benutting dan van onbewerkte mest. Deze fracties zullen relatief minder (mineralenconcentraat) en meer (dikke fractie) bijdragen aan de organische stofvoorziening en nutriëntenlevering van de bodem dan onbewerkte mest.



## 6. WORKSHOP NUTRIËNTEN- EN BODEMMANAGEMENT ONTSLUITEN

De resultaten van de inventarisatie, zoals die zijn beschreven in de voorgaande twee hoofdstukken, zijn in een workshop voorgelegd aan teeltadviseurs. Het doel van de workshop was om een expert-beoordeling over de maatregelen te verkrijgen ten aanzien van de volgende aspecten:

- Inpasbaarheid in de praktijk;
- Verwacht effect op de benutting;
- In onderzoek of praktijkrijp; en
- Niveau waarop beslissingen worden genomen (strategisch, tactisch, operationeel).

De workshop is gehouden op 12 oktober 2011, bij BLGG AgroXpertus te Wageningen. Er waren 7 teeltadviseurs van DLV Plant, Agrifirm, Triferto en CropSolutions, een vertegenwoordiger van PA/MMM en de leden van het projectteam (DLV Plant, BLGG AgroXpertus en NMI) aanwezig.

Het programma bestond uit een aantal inleidingen, waarin de resultaten van de inventarisatie zijn gepresenteerd. Daarna zijn twee brainstormrondes gehouden, waarbij in twee groepen werd gediscussieerd over mogelijke (nieuwe) maatregelen waarmee de N- en P-benutting kan worden verhoogd. Daarvoor is een formulier gebruikt, waarop een aantal maatregelen werden genoemd (dit is gebruikt in Hoofdstuk 8). Per maatregel diende aangegeven te worden i) op welk besluitvormingsniveau daarover een beslissing genomen diende te worden (strategisch, tactisch, operationeel), ii) wat het verwachte effect is van de maatregel op de benutting, iii) voor welke situaties (gewas, nutriënt, grondsoort) de maatregel toepasbaar is en iv) in welke fase van de ontwikkeling de maatregel zich bevindt (praktijkrijp/in onderzoek). Tevens is een concept-stappenplan voor het verbrede bemestingsplan gepresenteerd, waarop feedback is gevraagd (zie synthese).

Een eerste, breed gedragen opmerking betrof het belang van de strategische, bodemgerichte maatregelen. De teeltadviseurs waren van mening dat daaraan in de presentatie van de resultaten van de inventarisatie te weinig aandacht was besteed. Men is er van overtuigd dat er op dat terrein meer te halen is, door er in de bedrijfsvoering meer aandacht aan te besteden. Strategische, bodemgerichte maatregelen (dit zijn dus de maatregelen die zijn behandeld in Hoofdstuk 4, zoals een ruimer bouwplan, de teelt van groenbemesters, de inzet van compost en/of bodemverbeteraars, niet-kerende grondbewerking en een vaste rijpadensysteem) vormen de basis voor een goede bodemkwaliteit (o.a. via een goede structuur en bodemgezondheid), gewasgroei en ook voor de benutting van nutriënten. Dit mag in de studie duidelijker naar voren komen. Vooral de aspecten die betrekking hebben op bodembiologie/-gezondheid en structuur verdienen meer aandacht.

Het is voor adviseurs niet altijd gemakkelijk om bij akkerbouwers voldoende aandacht te vragen voor strategische beslissingen, omdat tactische/operationele beslissingen in de praktijk vaak een hogere urgentie krijgen. Hiervoor is overtuigingskracht nodig. Lastig punt is dat voor strategische beslissingen vaak investeringen nodig zijn, dat je vaak pas voordeel ziet op de lange termijn (na enkele jaren), maar dat dit vaak ook niet zo hard aantoonbaar is. Met andere woorden: "je moet er in geloven".

Aandacht vragen voor bodemkwaliteitseffecten wordt makkelijker als er knelpunten worden ervaren, zoals wormenproblematiek/harde kluiten in Flevoland, vette grond door veelvuldig gebruik varkensdrijfmest in Zuidwesten, het voorkomen van slemp en schurft op de Noordelijke klei, etc.

Nieuwe maatregelen op het gebied van nutriëntenmanagement krijgen een wisselende beoordeling. Over het algemeen verwacht men niet heel veel winst ten aanzien van de N- en P-benutting, en soms zijn er bezwaren die betrekking hebben op de bewerkelijkheid van de maatregelen (vooral bij bijmestsystemen). Enkele bevindingen van de adviseurs zijn:

- N-bijmestsystemen: deze systemen zijn in veel gevallen wel praktijkrijp (NBS, bladstelen en aardappelmonitoring), maar praktisch minder goed inpasbaar op de praktijkbedrijven. Systemen op basis van sensoren en/of rekenmodellen zijn nog grotendeels in ontwikkeling/onderzoek. Het verwachte effect van deze systemen op de N-benutting is relatief goed;
- Plaats specifieke bemesting: komt in de praktijk voor een belangrijk deel overeen met het voorgaande punt, omdat de focus tot dusver ligt op plaats specifieke bemesting met N en het kan worden gezien als een bijzondere vorm van bijbemesting. Voor zover daarbij gebruik wordt gemaakt van sensoren (near en/of remote sensing) is deze maatregel nog in onderzoek/ontwikkeling. De inpasbaarheid op praktijkbedrijven is relatief goed i.v.m. het gebruiksgemak van de sensorgestuurde apparatuur. De kosten zijn (nog) relatief hoog, wat een grootschalige introductie belemmert;
- Rijenbemesting is een interessante techniek die goed inpasbaar is in de praktijk (vooral in combinatie met vloeibare meststoffen), maar de verwachtingen ten aanzien van de nutriëntenbenutting zijn beperkt, omdat dit niet altijd even duidelijk uit het onderzoek naar voren is gekomen;
- Meststofkeuze:
  - Er is een toenemende aandacht voor het gebruik van vloeibare stikstofmeststoffen (o.a. ureum, urean), omdat het makkelijk en nauwkeurig toe te dienen is. Wel is de kans op vervluchtiging groter dan bij de meeste korrelmeststoffen (KAS, etc.). Dit is dan negatief voor de benutting. De vervluchtiging is wel afhankelijk van grondsoort en omstandigheden. Er moet een afweging worden gemaakt tussen deze aspecten (gemak en nauwkeurigheid toediening versus benutting);
  - In Zuidwest Nederland ervaart men dat veelvuldig gebruik van varkensdrijfmest leidt tot een teruglopende bodemkwaliteit ("vette grond"). Daarom is daar meer aandacht voor de meststofkeuze, zoals het type dierlijke mest;
  - Er zijn mogelijkheden om de benutting van stikstofmeststoffen te verhogen door nieuwe producten met hulpstoffen/toevoegingen. Voorbeelden hiervan zijn nitrificatie- en ureaseremmers. Voor P-meststofmeststoffen wordt gewerkt met humuszuren, en dergelijke; en
  - Het verschil in benutting tussen N-vloeibaar (goed toegepast en snel ingewerkt) N korrel, P vloeibaar en P-korrel is erg klein. Het is zeker bijna nihil ten opzichte van (deels) organische meststoffen. De inzet van mestverwerkingsproducten (mineralenconcentraten, kunstmestvervangers) kan positieve effecten hebben op de benutting ten opzichte van dierlijke mest. Dit zal vooral het geval zijn als de toediening ervan ook verder wordt geoptimaliseerd (bijvoorbeeld toedieningstijdstip en -wijze). Deze maatregel is praktijkrijp en goed inpasbaar; en
- Verbetering van bemestingsadviezen:
  - Door betere methoden voor de N- en P-levering in te bouwen in de bemestingsadviezen is nog winst te behalen. Het voorspellen van de N-levering blijft echter lastige materie, aangezien de ideale indicator nog niet is gevonden, en omdat het weer een onzekere factor blijft.

Als er sprake is van tegengestelde belangen van bodemmanagement (bijvoorbeeld OS-voorziening) en nutriëntenmanagement anderzijds (voldoende aanbod nutriënten), wint de laatste het in de praktijk vaak. Dan gaat het korte termijn belang (gewasgroei/economisch resultaat) voor op het lange termijn belang (handhaven goede bodemkwaliteit/OS-voorziening). Het is moeilijk om daar iets aan te doen, omdat het begrijpelijk is dat een teler prioriteit geeft aan de korte termijn, zeker als dat niet direct leidt tot een duidelijk voelbaar nadeel op de langere termijn.

## 7. ANALYSE BODEM- EN NUTRIËNTENMANAGEMENT IN DE PRAKTIJK

In de periode november-december 2011 is het bodem- en nutriëntenmanagement van vijf praktijkbedrijven in verschillende regio's geanalyseerd. Daartoe heeft een adviseur van DLV Plant de bedrijven bezocht en is een gesprek gevoerd aan de hand van een vast format (Bijlage 1). Daarbij zijn vragen gesteld over:

- De huidige besluitvorming/werkwijze (hoe wordt bemesting gepland en uitgevoerd);
- Strategische beslissingen (bouwplan, organische stofvoorziening, etc.);
- Tactische beslissingen (hoe wordt de hoogte en wijze van bemesting bepaald? Wat is rol van gebruiksnormen? Welke bijmestsystemen worden gebruikt?);
- Operationele beslissingen. Welke keuzes worden tijdens het seizoen gemaakt voor het bijstellen van de bemesting en welke instrumenten worden daarbij gebruikt?; en
- Bewustwording algemeen. Welke mogelijkheden zijn er volgens de ondernemer om de benutting van N en P te vergroten en wordt bij de bemesting gebruik gemaakt van de plan-do-check-act cyclus?

De bedrijven verschilden in de regionale ligging, de grondsoort en het bouwplan. Een verslag van de gesprekken is opgenomen in Bijlage 2.

Opvallende zaken die uit de gesprekken naar voren kwamen zijn als volgt:

- Hoe doen ze het nu
  - Bouwplan vormt de basis en staat meestal niet ter discussie. Economische overwegingen zijn doorslaggevend voor de gewassen in het bouwplan en bodemkwaliteit is meestal geen belangrijke overweging;
  - Bemesting op bedrijfsniveau wordt gepland met behulp van het bemestingsplan;
  - Meststofkeuze (gebruik organische mest en andere meststoffen) is een belangrijk element;
  - Organische stofbalans (organische mest, groenbemesters, gewasresten/stro) wordt vaak al toegepast; en
  - Soms is er aandacht voor specifieke bodemproblemen (bijvoorbeeld voorkomen schurft en/of slechte structuur).
- Knelpunten waar men tegenaan loopt
  - In het algemeen loopt men wel tegen scherper wordende gebruiksnormen aan, aangezien men niet meer mest in het najaar toe kan dienen en het de mogelijkheden beperkt om het organische stofgehalte op peil te houden;
  - Soms is er sprake van specifieke knelpunten t.a.v. de bodemkwaliteit (bijvoorbeeld schurft en/of slechte structuur (Noordelijke Klei), plakkerigheid grond door wormen (Noordoostpolder); en
  - Nieuwe technieken met potentie zijn soms nog niet praktijkrijp. Dat geldt bijvoorbeeld voor gebruik/interpretatie van sensoren als basis voor adviezen voor plaatsspecifieke bemesting.
- Suggesties voor verbeteringen
  - De bewustwording kan vaak worden vergroot, vooral ten aanzien van het maken van plannen op strategisch niveau. Er gebeurt nog vrij veel op het gevoel. Bij het maken en evalueren van de strategische plannen kunnen het stappenplan en de PDCA-cyclus worden gebruikt als hulpmiddel (zie verder). Voor het bodemmanagement dienen daarvoor indicatoren, streefwaarden en maatregelen beschikbaar te komen. Ook voor nutriëntenmanagement is er soms behoefte aan praktisch werkbaar handvatten, bijvoorbeeld voor de N-bijbemesting in aardappelen (bijvoorbeeld zand, Gelderland); en

- Soms wordt dierlijke mest in najaar toegediend i.v.m. angst voor structuurschade bij toediening in voorjaar (bijvoorbeeld in Zuid Limburg). Toediening in voorjaar leidt echter tot hogere N-benutting. Ook kan men in zo'n geval overwegen de onbewerkte mest te vervangen door producten van mestverwerking (dikke fractie en mineralenconcentraat).

## 8. SYNTHESE

### 8.1 Algemeen

In de vorige hoofdstukken zijn achtereenvolgens i) mogelijke maatregelen geïnventariseerd waarmee de N- en P-benutting kan worden verhoogd en de N-en P-emissies naar grond- en oppervlaktewater kan worden verlaagd, ii) nagegaan welke van die maatregelen volgens adviseurs de meeste perspectieven hebben en praktisch inpasbaar zijn en iii) is in gesprekken met akkerbouwers in verschillende regio's het bodem- en nutriëntenmanagement gespiegeld aan een concept-blauwdruk van het bodem- en nutriëntenplan dat in dit project is ontwikkeld. Op basis van de verrichte activiteiten wordt hierna achtereenvolgens ingegaan op:

- De beoordeling van de maatregelen ten aanzien van de relevante aspecten;
- De wijze waarop de maatregelen kunnen worden opgenomen in een stappenplan dat kan worden gebruikt voor het opstellen van een verbreed bemestingsplan op bedrijfsniveau; en
- De wijze waarop de maatregelen kunnen worden opgenomen in een planning- en controle-cyclus.

### 8.2 Samenvatting beoordeling maatregelen

De mate waarin maatregelen kunnen bijdragen aan het verhogen van de N- en P-benutting is beschreven in de Hoofdstukken 4 (bodemmanagement) en 5 (nutriëntenmanagement). Daarbij is ook zoveel mogelijk aangegeven of de maatregel praktijkrijp is of nog in de onderzoeksfase verkeert. Dit aspect is samen met de inpasbaarheid op praktijkbedrijven tevens gecheckt in de workshop met teeltadviseurs (Hoofdstuk 6) en de gesprekken met de individuele akkerbouwers (Hoofdstuk 7). Een samenvatting van het resultaat van die beoordeling is weergegeven in Tabel 8.1.

Uit het overzicht in Tabel 8.1 blijkt dat er niet heel veel “nieuwe” maatregelen zijn die zowel een positief hebben op de benutting, én die praktijkrijp zijn én die inpasbaar zijn in de bedrijfsvoering van praktijkbedrijven. In de tabel zijn de maatregelen die een positief effect hebben op de benutting en tevens praktijkrijp zijn grijs gearceerd. Dit zijn de maatregelen die op dit moment de meeste perspectieven bieden om op praktijkbedrijven de benutting te verhogen en de emissies te verlagen. Aangezien de inpasbaarheid op de praktijkbedrijven in afhankelijkheid van de omstandigheden een knelpunt kan zijn, zal per individueel bedrijf in samenspraak met teeltadviseurs moeten worden bekeken welke maatregelen in een bepaalde situatie in aanmerking komen. Daarbij zal de voorkeur van de ondernemer tevens een belangrijke rol spelen.

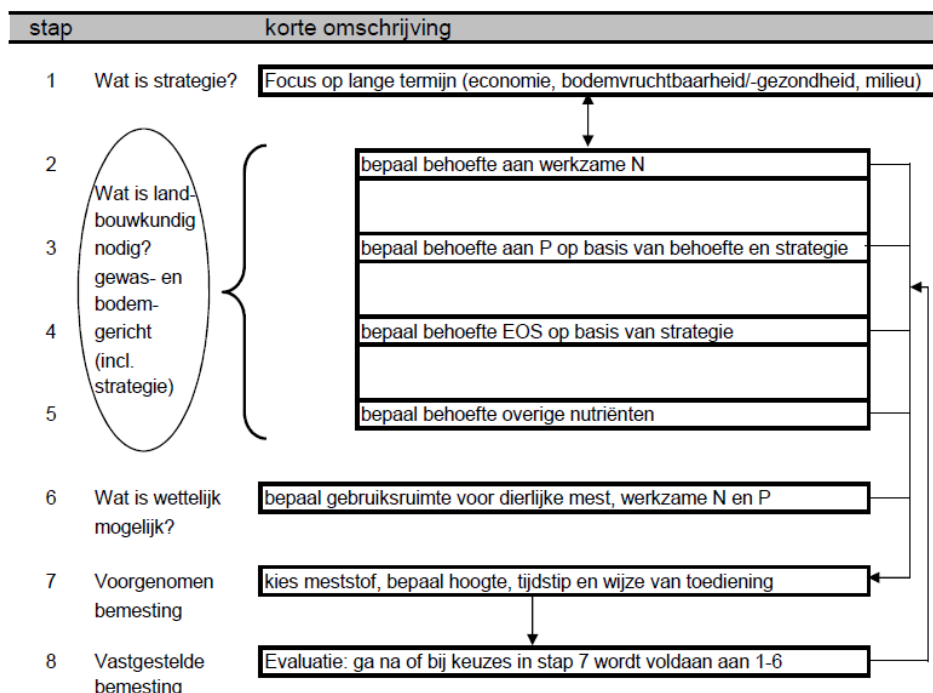
Tabel 8.1. Samenvatting beoordeling maatregelen voor het verhogen van de benutting van nutriënten. De grijs gearceerde maatregelen hebben een positief verwacht effect op benutting en zijn praktijkrijp.

Maatregel	verwacht effect op benutting (+, +/-, -)	fase ontwikkeling (Praktijkrijp/Onderzoek)	Inpasbaarheid in praktijk (+, +/-, -)	opmerking
<b>Bodemgericht</b>				
• Optimale vruchtwisseling	+	P	+/-	Ingrijpend, strategisch
• Teelt groenbemesters	+	P	+/-	Afhankelijk van oogsttijdstip hoofdgewas en aaltjesdruk
• NK-grondbewerking	+/-	O	+	Effect op benutting beperkt
• Vaste rijpaden	+	O	+/-	Aangepaste machines nodig
• Organische meststoffen	+/-	P	+	Wel verhoging bodemvruchtbaarheid, maar risico van toename emissies
<b>N-bijmeststelsysteem</b>				
• NBS-bodem	+	P	+/-	} Bewerkelijkheid is nadeel; toepasbaar bij aardappelen
• bladstelen	+	P	+/-	
• aardappelmonitoring	+	P	-	Zeer bewerkelijk
• sensoren	+	O	+	Nog veel vragen bij meting & interpretatie
• rekenmodellen	+	O	+/-	Betrouwbaarheid nog vraag
<b>Plaatsspecifiek</b>				
• - Near sensing	+	O	+	} Nog veel vragen bij meting & interpretatie
• - Remote sensing	+	O	+	
<b>Rijenbemesting</b>				
• N in rij	+	P	+	} Interessant als startgift bij gewas met grote rijafstand en beperkt wortelstelsel
• P in rij	+	P	+	
<b>Meststofkeuze</b>				
• bijzondere N-meststoffen	+/-	P	+	} Beperkt effect t.o.v. referentie meststoffen KAS en/of TSP
• bijzondere P-meststoffen	+/-	P	+	
• mineralenconcentraat mestverwerking	+	P	+	Hoge benutting t.o.v. onbewerkte mest; bijdrage aan bodemvruchtbaarheid beperkt
• dikke fractie mestverwerking	-	P	+	Lage benutting t.o.v. onbewerkte mest; grote bijdrage aan bodemvruchtbaarheid

### 8.3 Opnemen van maatregelen in een stappenplan

De maatregelen die zijn beschreven in de Hoofdstukken 4 en 5 en zijn samengevat in Tabel 8.1 moeten voor het toepassen in de praktijk worden ingepast in de besluitvorming over bodem- en bemestingsmaatregelen. Uitgangspunt hiervoor is het bemestingsplan, dat tot nu toe door teeltadviseurs wordt gebruikt voor gesprekken met akkerbouwers over de uit te voeren bemesting. Vooral in de workshop met teeltadviseurs kwam heel duidelijk naar voren dat de bodemgerichte maatregelen in de huidige bemestingsplannen niet of onvoldoende aan bod komen. Gezien het grote belang van een vruchtbare en gezonde bodem voor de groei en opbrengst van gewassen, is het van belang de gangbare werkwijze voor het opstellen van bemestingsplannen uit te breiden met deze bodemgerichte maatregelen. Het lijkt dan ook belangrijk om dit als eerste stap op te nemen in de planvorming voor het bodemmanagement en de bemesting. Aangezien de bodemgerichte maatregelen vooral op de langere termijn effect zullen hebben, moeten ze worden beschouwd als strategische maatregelen. Een besluit hierover vormt de basis voor de

verdere invulling van het hier voorgestelde stappenplan om te komen tot een verbreed bemestingsplan (Figuur 8.1).



Figuur 8.1. Schematische weergave van het stappenplan om te komen tot een verbreed bemestingsplan. Voor een toelichting zie tekst.

In stap 1 dient de strategie te worden vastgesteld, waarbij nagegaan wordt of de focus voor de bedrijfsvoering wordt gelegd bij het economisch rendement (waarbij nog onderscheid kan worden gemaakt naar korte en lange termijn), de bodemvruchtbaarheid en/of –gezondheid of bij het minimaliseren van negatieve milieu-effecten (beperken emissies). Op basis van de keuzes die worden gemaakt ten aanzien van de strategie, worden bijbehorende maatregelen geselecteerd die o.a. betrekking hebben op de vruchtwisseling (van belang voor zowel rendement, bodemkwaliteit als milieu), maar ook ten aanzien van de andere bodemgerichte maatregelen, zoals die zijn beschreven in Hoofdstuk 4 en Tabel 8.1. Voor het vaststellen van de strategie en bijbehorende maatregelen ten aanzien van het bodemmanagement, kan het behulpzaam zijn als doelen kunnen worden geformuleerd ten aanzien van de gewenste situatie. Hiervoor zijn in het ideale geval indicatoren en streefwaarden bekend en is tevens informatie beschikbaar over de mate waarin die indicatoren via maatregelen kunnen worden beïnvloed (zie paragraaf 8.3). Als voorbeeld noemen we hier het organische stofgehalte en de P-toestand van de bodem, als indicatoren. Als de actuele situatie op (een deel van) de percelen lager is dan de streefwaarde, kan een ondernemer er op strategisch niveau voor kiezen om die indicatoren te verhogen. In dat geval moet meer organische stof en P worden aangevoerd dan afgevoerd (positieve balansen). Als dat beleid gedurende meerdere jaren wordt aangehouden, zal het gewenste effect bereikt kunnen worden.

In stap 2-5 wordt vervolgens op perceelsniveau vastgesteld wat de landbouwkundige behoefte is van de geteelde gewassen in afhankelijkheid van de resultaten van grondonderzoek. Daartoe kan gebruik worden gemaakt van de gangbare bemestingsadviezen en een organische stofbalans (Van Dijk & Van Geel, 2010), voor P en organische stof aangevuld met de strategie zoals die in stap 1 is vastgesteld.

In stap 6 wordt dan nagegaan wat de wettelijk toegestane doseringen van N, P en dierlijke mest zijn op perceels- en bedrijfsniveau. Dit wordt gedaan op basis van de gebruiksnormen.

In stap 7 wordt de voorgenomen bemesting op basis van de landbouwkundige behoefte per perceel (stap 2-5) concreet ingevuld door een keuze te maken voor de beoogde meststof, de gift, het tijdstip en de wijze van toediening. Daarbij kan de voorkeur voor een bepaalde meststofkeuze (bijvoorbeeld omdat die op het eigen bedrijf of in de regio beschikbaar is) een belangrijke rol spelen.

Stap 8 is een evaluatiestap, waarbij wordt nagegaan of de beoogde keuzes in stap 7 mogelijk zijn binnen de gebruiksnormen (op bedrijfsniveau). In deze stap kunnen de maatregelen voor het verhogen van de benutting naar voren komen. De uitwerking van stap 8 is hierna beschreven met een adviseur en/of akkerbouwer als doelgroep.

“Als de keuzes van 7 niet mogelijk zijn binnen gebruiksnormen (vastgesteld in stap 6), ga dan na wat knelpunt is door een evaluatie van de dierlijke mestgift, de werkzame N-gift en de P-gift als volgt uit te voeren.

#### *Evaluatie dierlijke mestgift*

Als voorgenomen gebruik van dierlijke mest te hoog is, vervang deel dierlijke mest door andere organische meststof of kunstmest

#### *Evaluatie werkzame N-gift*

Als voorgenomen gebruik van werkzame N te hoog is, ga na of en zo ja waar die kan worden verlaagd

Is voorgenomen gift aan werkzame N per perceel hoger dan N-advies?

- Zo ja, verlaag tot advies en ga na of knelpunt is verholpen
- Zo nee,
  - maak keuze voor gewas en perceel waar N-gift lager wordt dan advies (schuiven tussen percelen/gewassen binnen bedrijf)
  - overweeg inzet geavanceerde bemestingstechniek, waarmee N-benutting kan worden verhoogd en lagere N-gift kan worden opgevangen, zoals:
    - dien dierlijke mest in voorjaar toe i.p.v. in najaar
    - vervang een 'normale' voorraadbemesting door N-bijbemesting, eventueel plaats specifiek
    - vervang een normale breedwerpige bemesting door rijenbemesting
    - gebruik meststoffen met hogere werking, b.v. mineralenconcentraten of kunstmest ipv dierlijke mest.

#### *Evaluatie P-gift*

Als voorgenomen gebruik van P te hoog is, ga na of en zo ja die kan worden verlaagd

Is voorgenomen gift aan P per perceel hoger dan P-advies?

- Zo ja, verlaag tot advies en ga na of knelpunt is verholpen
- Zo nee,
  - maak keuze voor gewas en perceel waar P-gift lager wordt dan advies (schuiven tussen percelen/gewassen binnen bedrijf)
  - overweeg inzet bemestingstechniek, waarmee P-benutting kan worden verhoogd en lagere P-gift kan worden opgevangen, zoals rijenbemesting



Als de keuze van 7 onvoldoende tegemoet komt aan 2: verhoog werkzame N-gift tot advies, mits mogelijk binnen gebruiksnorm. Zo niet, kies voor geavanceerde bemestingstechniek.

Als de keuze van 7 onvoldoende tegemoet komt aan 3: verhoog P-gift tot advies en/of strategie, mits mogelijk binnen gebruiksnorm. Zo niet, kies voor geavanceerde bemestingstechniek.

Als de keuze van 7 onvoldoende tegemoet komt aan 4: verhoog EOS-aanvoer tot advies en/of strategie, mits mogelijk binnen gebruiksnorm. Gebruik groenbemesters, gewasresten, organische mest.

Als de keuze van 7 onvoldoende tegemoet komt aan 5: verhoog gift aan overige nutriënten tot advies.”

#### **8.4 Opnemen van maatregelen in een planning- en controle-cyclus**

Na de planvorming dient in het ideale geval aan elk besluit en elke maatregel een evaluatie en bijstellingstraject (de plan-do-check-act cyclus) gekoppeld te worden. Daarbij spelen indicatoren en streefwaarden een belangrijke rol en is bij voorkeur informatie beschikbaar over de mate waarin die indicatoren via maatregelen kunnen worden beïnvloed. In Tabel 8.2 is een aanzet gegeven voor de wijze waarop maatregelen kunnen worden toegepast om bepaalde bodemkenmerken te beïnvloeden. Daartoe wordt gebruik gemaakt van de eerder genoemde indicatoren en streefwaarden.

Het betreft hier slechts een aanzet, maar het lijkt zeer zinvol om inzicht te verwerven in kwantitatieve informatie over indicatoren, streefwaarden en de wijze waarop die door maatregelen kunnen worden beïnvloed. Het voert te ver om die informatie in dit project te verzamelen. Er zijn echter andere, lopende projecten die zich richten op de afleiding van indicatoren en streefwaarden voor bodemkwaliteit. Het betreft o.a. een project dat in 2011/2012 door PPO is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van EL&I en een PA-project over indicatoren voor bodembiodiversiteit dat wordt uitgevoerd door NMI, BLGG AgroXpertus en Alterra. Op het moment dat die informatie beschikbaar is, lijkt het zinvol na te gaan of en zo ja hoe die kan worden gecombineerd met het verbrede bemestingsplan dat hier is beschreven.

De elementen uit het stappenplan voor het verbrede bemestingsplan (Figuur 8.1) en tabel 8.2 kunnen terugkomen in een checklist die adviseurs meenemen in hun gesprekken met akkerbouwers. Op deze wijze kan meer aandacht worden gevraagd voor strategische, bodemgerichte thema's. Op basis van ervaringen van adviseurs is bekend dat het in het algemeen moeilijk is om daarvoor bij akkerbouwers voldoende aandacht te vragen. Door na te gaan of er sprake is van knelpunten ten aanzien van de bodemkenmerken die in Tabel 8.2 worden vermeld (bijvoorbeeld ten aanzien bodemgezondheid, organische stofgehalte en/of bodemstructuur) kan een eventuele strategie en bijbehorende maatregelen worden besproken. Ook kan worden gevraagd naar de prioriteiten die voor de ondernemer doorslaggevend zijn voor de keuzes die op de verschillende niveaus worden genomen. Daarbij kunnen eventueel risico's van bepaalde keuzes inzichtelijk worden gemaakt in de checklist en/of het Bodem- en nutriëntenplan, zoals:

- Bij keuze voor intensief bouwplan met gewassen die weinig OS achterlaten is er een verhoogd risico van ziektedruk en achteruitgang bodemvruchtbaarheid; en
- Bij keuze voor veelvuldig gebruik organische mest in nazomer is er een verhoogd risico van N-verliezen door uitspoeling.

Tabel 8.2. Aanzet voor de wijze waarop bodemkenmerken kunnen worden gekarakteriseerd door indicatoren en bijbehorende streefwaarden en mogelijke maatregelen waarmee die kunnen worden beïnvloed.

Chemisch/ fysisch/ biologisch	Duurzaamheids- kenmerk bodem	Indicator	Streefwaarde of -traject	Mogelijke maatregelen
Chemisch+ fysisch+ biologisch	OS-voorziening (voor meerdere bodemkenmerken)	OS-balans	>0	Verhogen OS-aanvoer met compost, achterlaten stro, telen groenbemesters.
		OS-gehalte	>2-5%	
Chemisch	pH of zuurgraad	pH-CaCl <sub>2</sub> , pH-KCl	Zie voor streeftrajecten het bemestings- advies	Bekalking (na grondonderzoek)
	N-beschikbaarheid	Nmin, N-totaal, NLV		N-bemesting (na grondonderz.)
	P-beschikbaarheid	Pw, P-CaCl <sub>2</sub> , P-AL		P-bemesting (na grondonderz.)
	K-beschikbaarheid	K-HCl, K-CaCl <sub>2</sub> , K- getal		K-bemesting (na grondonderz.)
	Overige nutriënten	S, Mg, Mn, B, Cu, Zn, etc		Bemesting overige nutriënten
fysisch	Slempgevoeligheid (alleen op lichte klei en/of zavel)	Wel/geen vorming slempkorst (visueel); Ca/Mg-bezetting CEC	Geen korst- vorming, Ca- bezetting > 80- 90%	Grondbewerking, OS-aanvoer, groenbemesters, bekalking/gips
	bewerkbaarheid	Trekkraft, kluit- vorming, verkrui- mel- baarheid	Goede verkrui- mel- baarheid (visueel)	Grondbewerking, OS-aanvoer, groenbemesters, bekalking/gips
	bewortelbaarheid	Wel/geen storende laag, dichtheid, indringingsweerstand	Geen storende laag/goede beworteling, indr. weerstand niet te hoog	Mechanisch opheffen storende laag (b.v. met woelpoot), telen groenbemester
	Ontwatering	Wel/geen plasvorming na regen	Geen plaspvorming	Aanleg drainage, verbetering structuur en vochtbergend vermogen door bewerking, OS- aanvoer
	Vochtlevering/droogte- gevoeligheid	mm hangwater en capillaire opstijging	Voldoende vocht, goede beworte- ling, geen schade	Verhoging OS-gehalte, vergroten bewortelbare zone, verhoging grondwaterstand
	Draagkracht/berijd- baarheid	indringingsweerstand	indr. weerstand voldoende hoog, lang goed berijdbaar	Bij beperkte draagkracht anticiperen door goede timing, aanpassen bandendruk of b.v. vaste rijpaden
	biologisch	Bodemgezondheid	# plantparasitaire aaltjes	Zie o.a. Actieplan aaltjesbeheersing
pathogene schimmels				
Vertering organisch materiaal		vertering gewasresten	Geen onverteerde gewasresten	Goed organische stofbeheer
	Plantgezondheid	Ziektegevoeligheid planten voor met name zwakteparasieten.	Gezonde planten	Bemesting, grondbewerking, rassenkeuze, vruchtwisseling.

Als er op basis van knelpunten ten aanzien van bepaalde bodemkwaliteitsaspecten na een zorgvuldige afweging op strategisch niveau wordt gekozen voor bepaalde maatregelen, is het verstandig om

realistische doelen te stellen en na te gaan wanneer die gerealiseerd moeten zijn. Dat zal voor het ene bodemkenmerk gemakkelijker zijn dan voor het andere. Zo kan een bepaalde druk aan plantparasitaire aaltjes (wat blijkt uit grondonderzoek) aanleiding vormen om een strategische keuze voor extensivering van het bouwplan te maken. Het ligt dan voor de hand om na een aantal jaren (bijvoorbeeld 3-6 jaar) nadat de maatregel is ingesteld, na te gaan wat het effect is geweest van de genomen maatregel (door resultaat van nieuw grondonderzoek te toetsen aan streefwaarde) en of die verder bijgesteld moet worden. Daarentegen zal een gewenste pH-verhoging via bekalking veel sneller gerealiseerd kunnen worden. Daarbij kan al na enkele weken/maanden nagegaan worden of de gewenste pH-verhoging is gerealiseerd. Als dat niet het geval is kunnen vervolgens aanvullende maatregelen worden genomen.



## LITERATUUR EN INFORMATIEBRONNEN

- Alphen BJ van & Stoorvogel JJ (2000) A methodology for precision nitrogen fertilization in high-input farming systems. *Precision Agriculture* 2, 319-332.
- Bakermans WAP, Kuipers H & De Wit CT de (1970) Ervaringen met akkerbouw zonder grondbewerking. *Landbouwkundig tijdschrift* 80-12, 440-449.
- Bakker RF & Den Boer DJ (2004) Toevoegen van nitrificatieremmer aan dunne rundermest op grasland, 2003; Literatuurstudie en oriënterend veldonderzoek. Rapport 20, Koeien en Kansen. NMI-rapport 928.03, 40 pp.
- Balen D van (2009) De plus- en minpunten van niet ploegen; het fundament is gelegd. *Ekoland* 6, 25-26. Zie ook Biokennis nieuws, November 2009. <http://www.biokennis.nl/Nieuws/Pages/Deplus-enminpuntenvanniet-ploegen;hefundamentisgelegd.aspx>
- Balen D van (2010) Niet-kerende grondbewerking in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. [http://www.biokennis.nl/Dossiers/niet\\_kerende\\_grondbewerking\\_in\\_agv/Pages/default.aspx](http://www.biokennis.nl/Dossiers/niet_kerende_grondbewerking_in_agv/Pages/default.aspx)
- Bernaerts S, Muijtjens S & Van Iperen C (2008) Niet kerende grondbewerking (NKG) Biokennis bericht maart 2008, #15 akkerbouw en vollegrondsgroente).
- Bononomi, G., Antignani, V., Pane, C., Scala, F. (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *J. Plant Pathol.* 89: 311-340.
- Clevering OA (2002) Toepassingsmogelijkheden van vloeibare NPK-meststoffen in de akkerbouw. Projectrapport 1125246. PPO-AGV, Lelystad, 52 pp.
- Dekker P (2007) Rapportage Bemesting 2006, Sector Akkerbouw, Telen met Toekomst. Rapport 6, april 2007.
- Dekker PHM & Postma R (2008) Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting; bureaustudie in opdracht van Productschap Akkerbouw. PPO-rapportnr. 3250061800, 28 pp.
- Drenth H (2011) Opname fosfaat in rij drie tot vier keer efficiënter. *Akkermagazine* 3, 30-33. Zie <http://www.boerentaal.nl/referenties/2011/journalistiek/Artikel%20AM%20Opname%20fosfaat%20in%20de%20rij%20drie%20tot%20vier%20keer%20efficiënter,%20maart%202011.pdf> en <http://www.akkervijzer.nl/artikel/n/315/opname-fosfaat-in-rijen-is-drie-tot-vier-keer-efficiënter.html>
- Dijk TA van, Wander J & Veldhorst GJ (2010) Rijenbemesting in korrelmaïs; proefveld 2009. NMI-rapport 1324.09, 29 pp.
- Dijk W van, Conijn JG, Huijman JFM, Middelkoop JC van & Zwart K (2004) Onderbouw N-werkingscoëfficiënt organische mest. Studie t.b.v. onderbouwingsgebruiksnormen. PPO-publicatienr. 337, 63 pp.
- Dijk W van, Brinks H & Postma R (2011) Flexibilisering gebruiksnormen; Verkenning perspectieven voor de akkerbouw. PPO, 67 pp.
- Dijk W van & Geel WCA van (2010) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO-AGV, Lelystad, 100 pp + bijlagen.
- Ehlert, P. A. I. and P. Hoeksma (2011). Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten : deskstudie in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra Wageningen UR.
- Erp PJ van & Titulaer HHH (1992) Rijenbemesting in de akkerbouw met vollegrondsgroenteteelt. *Meststoffen* 1992, 10-15.
- Evert FK van, Van der Schans DA, Malda JT, Van den Berg W, Van Geel WCA & Nammen Jukema J (2011) Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen. PPO publicatie 423
- Geel WCA van (2008) Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op nitraatuitspoeling. Deelonderzoek voor Telers Mineraal Paraat uitgevoerd in 2005-2007 binnen project Nutriënten Waterproof. PPO-rapport nr. 32 500181, 72 pp.
- Geel W van (2011) Rijenbemesting op bouwland; algeheel beeld van een halve eeuw onderzoek. Presentatie gegeven tijdens MMM-kennisdag, 3 november 2011.
- Geel W van, Berg W van den, Dijk W van & Wustman R (2011) Aanvullend onderzoek mineralenconcentraten 2009-2010 op bouwland en grasland. Samenvatting van de resultaten uit de veldproeven en bepaling van de stikstofwerking. PPO, 40 pp.
- Geel WCA van & Brinks H (2011) Telen met toekomst bemesting 2010; Bemesting in de akkerbouw in relatie tot gebruiksnormen. PPO rapport nr. 3250117710, PPO-AGV, Lelystad, 26 pp.

- Geel, W van, W. van Dijk, et al. (2011). Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen : verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten, 68 pp.
- Geel W van, Kroonen-Backbier B, Schans D van der & Malda JT (2011) Nieuwe bijmestsystemen en – strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1a: Deskstudie. PPO-rapportnr 439, 87 pp.
- Geel W van & Oele C (2005) Stikstofwerking van organische mestsoorten en composten. Mest- en mineralenkennis voor de praktijk, Infoblad nr. 15 uit de serie plantaardig.
- Geel WCA van & Smit AL (2006) Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op nitraatuitspoeling. Deelonderzoek voor Telers Mineraal Paraat uitgevoerd in 2005-2006 binnen project Nutriënten Waterproof. PPO-rapport nr. 500181, 39 pp.
- Geel WCA van, Wijnholds KH & Grashoff C (2004) Ontwikkeling van geleide bemestingsystemen bij de teelt van zetmeelaardappelen 2002-2003. Project 510168, PPO-AGV, Lelystad, 81 pp.
- Goense D & Van Vliet P 2011 Het effect van precisiebemesting met stikstof op opbrengst en efficiëntie. Seizoen 2009-2010. HLB rapport 800.
- Goense, D. en J. de Boer. 2009. The development of a sensor and crop growth model based decision tool for site specific nitrogen application. Paper on the JIAC conference 2009 in Wageningen.
- Goffart JP, Olivier M & Frankinet M (2008) Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past – present – future. Potato Research 51, 355-383.
- Goossens FR & Meeuwissen PC (1990) Advies van de Commissie Stikstof. In opdracht van LNV, V&W en VROM. 93 pp + bijlagen.
- Greenwood DJ, Kubo K, Burns IG & Draycott A (1989) Apparent recovery of fertilizer N by vegetable crops. Soil Science and Plant Nutrition 35, 3, 367-381.
- Haan JJ de & Dekker P (2006) Best Practices Bemesting ; akkerbouw. PPO 338-1, 28 pp.
- Haan JJ de & Geel W van (2010) Nutriënten Waterproof ; Nitraatnorm op zand verdraagt geen intensieve landbouw. PPO-AGV, Lelystad, 23 pp; <http://edepot.wur.nl/134162>.
- Haan JJ de (2011) Geen verschillen in eerste opbrengsten tussen ploegen en niet-kerende grondbewerking op zandgrond. Biokennis nieuws augustus 2011, Wageningen UR.
- Havlin JL (1994) Role of fertilizer placement in improved productivity. In: Proceedings of a symposium on Nutrient Management on Highly Productive Soils, May 16-18, 1994, Atlanta, Georgia. PPI/FAR Special Publication 1994-1.
- Himken M (1995) Einfluss plazierter N-düngung zu Mais und Kartoffeln auf die N-Effizienz und das Spross- und Wurzelwachstum. Dissertation Universität Hannover, Verlag Ulrich E Grauer, Stuttgart, 157 pp.
- Hofman G, Van Meirvenne M & Demyttenaere P (1992) Stikstofbemesting. Toediening van N-meststoffen in de rij: potentiële voordelen. Landbouwtijdschrift – Revue de l'Agriculture 45, 2.
- Hofman G, Verstegen P, Demyttenaere P, Van Meirvenne M, Delanotte P & Ampe G (1993) Comparison of row and broadcast N application on N efficiency and yield of potatoes. In: Fragoso MAC & Van Beusichem ML (eds.) Optimization of Plant Nutrition, 359-365.
- IRS 2010 Eindverslag Perceelcentraal
- ITB 2001 Cahier Technique; Enfouissement localisé de l'azote au semis.
- Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic carbon. Plant and Soil 76, 297-304.
- Jukema, J. N., en F. van Evert. 2010. Adviesregel Bijbemesten Aardappelen.  
[http://www.precisielandbouw.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55:adviesregel-bijbemesten-aardappelen&catid=6:producten&Itemid=28](http://www.precisielandbouw.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=55:adviesregel-bijbemesten-aardappelen&catid=6:producten&Itemid=28)
- Korthals G, De Boer M, Visser J & Moolendijk L (2010) Bodemgezondheid binnen bedrijfssystemen. Gewasbescherming 41, 6, 281-284.
- Lumkes LM, Ovaa I & Preuter H (1983) Acht jaar grondbewerkingsonderzoek te Westmaas. PAGV-verslag nr. 9, Lelystad, 72 pp.
- Maidl FX (2005) Teilflächenspezifische N-Düngung. Final Symposium „Information system for site specific crop management – Dürrnast”.  
<http://ikb.weihenstephan.de/ikb2/deutsch/symposium/pdf/maidl3.pdf>
- Mierlo T van, Erp P van, Ehlert P & Peltjens J (2010) Quick scan bemestingsonderzoek akkerbouw. Rapport BLGG AgroXpertus, 39 pp.
- Mosquera J, Hol JMG, Rappoldt C & Dolfin J 2007 Precise soil management as a tool to reduce CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils. ASG rapport 28.
- Oenema O (1995) Ontwikkelingen in nutriëntenmanagement. Meststoffen 1995, 90-95.
- Paauw (2001) [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl)

- Postma R & Erp PJ van (2000) Stikstofbemesting van consumptieaardappelen via druppelfertigatie. Meststoffen 2000, 36-44.
- Postma R, Dekker P, Van Schöll L, Paauw J, Wijnholds K & Verstegen H (2009) Toetsing van meststoffen en bemestingssystemen in de aardappelteelt; veldproeven 2006-2008. NMI-rapport 1161, 49 pp.
- Postma R, Korthals GW, Termorshuizen AJ, Dekker P & Thoden T (2010) Effecten van verse organische stof. NMI-rapport 1326, 46 pp.
- Prins WH, Dilz K & Neeteson JJ (1988) Current recommendations for nitrogen fertilisation within the EEC in relation to nitrate leaching. Proceedings of the Fertiliser Society no. 276, 27 pp.
- Prummel J (1957) Fertilizer placement experiments. Plant and Soil 8, 213-253.
- Prummel J (1957) Fertilizer placement experiments. Plant and Soil 8, 213-253.
- Radersma S, W van Geel, C. Grashoff, G. Molema & N van Wees (2004) Geleide bemesting in de open teelten; ontwikkeling van systemen. PPO-rapport 334, 31 pp.
- Ros GH, Temminghoff EJM & Hoffland E (2011) Nitrogen mineralisation - a meta-analysis on the predictive value of soil tests. European Journal of Soil Science 61(1) pp. 162-173.
- Ruijter FJ de, Smit AL & Meurs EJJ (2009) Plaatsing als strategie voor efficiëntere fosfaatbemesting; 2 Veldproeven. PRI-rapport 314, 26 pp.
- Russchen HJ, Wander J & Van Dijk T (2011) Vloeibare meststofsysteem in consumptieaardappelen. - Resultaten veldproeven 2009 en 2010. DLV Plant, 69 pp. –www.Kennisakker.nl.
- Singh Gahoonia T, Claassen N & Jungk A (1992) Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. Plant and Soil 140, 241-248.
- Smit AL, Haan JJ de & Zwart KB (2005) Kan de akkerbouw en groenteteelt op zandgrond voldoen aan de nitraatnorm? Resultaten experimenteel onderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. Rapport Telen met toekomst OV0502, PRI, Wageningen, 65 pp + bijlagen.
- Smit AL, Willigen P de & Pronk AA (2009). Plaatsing als strategie voor een efficiëntere fosfaatbemesting; literatuur en modelonderzoek. PRI-rapport 216, 28 pp + bijlagen.
- Soon YK & Miller MH (1977) Changes in the Rhizosphere due to  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  fertilization and phosphorus uptake by corn seedlings (*Zea Mays L.*). Soil Science Society of America Journal 41, 77-80.
- Steltenpool JAN & Erp PJ van (1995) Schatting van de actuele N-opname door aardappelen. Meststoffen 1995, 45-50.
- Torres L & Link A (2011) Best management principles and techniques to optimise nutrient use efficiency. Proceedings International Fertiliser society 683, UK.
- Uenk D, Grashof C en Booi R (2002) Stikstofbijbemesting op aardappelen op basis van omgekeerde N Vensters in combinatie met CropScan. Jaarrapport 2002. Nota 266 PRI.
- Velthof, G. L. (2011). Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra Wageningen UR.
- Vermeulen B & Mosquera J (2011) Betere bodemkwaliteit door rijpadensysteem. <http://www.biokennis.nl/dossiers/vasterijpaden/Documents/Onderzoek%20effecten%20rijpadenteelt.ppt>
- Verhagen J (1997) Site specific fertiliser application for potato production and effects on N-leaching using dynamic simulation modelling Agriculture, Ecosystems & Environment Volume 66, Issue 2, 1 December 1997, Pages 165-175
- Villani EMA, Barros NF, Novais RF, Comerford NB, Costa LM, Neves JCL & Alvarez VH (1998) Phosphorus diffusive flux as affected by phosphate source and incubation time. Soil Science Society of America Journal 62, 1057-1061.
- Wang F, Bear J & Shaviv A (1998) Modelling simultaneous release, diffusion and nitrification of ammonium in the soil surrounding a granule or nest containing ammonium fertilizer. European Journal of Soil Science 49, 351-364.
- Werner W & Strasser B (1993) Phosphorus dynamics and mobility in the diffusion zone of band-applied phosphorus fertilizers. In: Fragoso MAC & Van Beusichem ML (eds.) Optimization of Plant Nutrition, 367-373.
- Weide R van der, Van Alebeek F & Van den Broek R (2008) En de boer, hij ploegde niet meer? Literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. PPO-rapport nr 3250128700, PPO-AGV, Lelystad, 45 pp.
- Willigen P de & Van Noordwijk M (1987) Roots, plant production and nutrient use efficiency. PhD thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 282 pp.
- Wijnholds, K, Van den Berg W & Jukema JN (2010) Resultaten Perceel Centraal.
- Wilting P (2007) Het effect van een niet-kerende hoofdgrondbewerking op de opbrengst en interne kwaliteit van suikerbieten. Resultaten van vier proefvelden van 2003 tot en met 2005. IRS.

[www.nietkerendegrondbewerking.nl](http://www.nietkerendegrondbewerking.nl)

Zeeland M van, Paauw J & Timmer RD (2009) Literatuurstudie 'Teelt van groenbemesters in combinatie met niet-kerende grondbewerking' PPO rapport nr. 3250134408.

Zerulla W, Kummer KF, Wissemeier A & Rädle M (2000) The development and testing of a new nitrification inhibitor. Proceeding No. 455 of the International Fertiliser Society, London, 23 pp.



## BIJLAGEN



## Bijlage 1. Leidraad voor de interviews met de akkerbouwers, uitgevoerd door DLV Plant

Algemene beschrijving bedrijf: bouwplan, grondsoort, etc.

Huidige besluitvorming/aanpak/werkwijze:

- Hoe wordt de bemesting uitgevoerd op het bedrijf. Welke mestsoorten, waarom en wanneer.
- Hoe wordt de bemesting gepland. Wat zijn voor u criteria om besluiten te nemen
- Hoe wordt huidige bodemtoestand beoordeeld (bodemstructuur, vruchtbaarheid, etc.). Wat wordt er gedaan aan de bodemtoestand.

Strategisch:

- Welke lange termijn beslissingen neemt u of heeft u genomen met betrekking tot bodem en bemestingstoestand op uw bedrijf, en op basis waarvan
- Bemesting, bodem versus bouwplan. Wordt er in het bouwplan rekening gehouden met de bodem of wordt deze op andere overwegingen opgesteld.
- Is er bekend hoe de organische stof balans van het bedrijf eruit ziet bij het huidige bouwplan?
- Waarom wordt er bemest zoals nu en wat zijn de plannen voor de komende jaren?
- Hoe wil de akkerbouwer dat zijn bodemtoestand eruit ziet over een aantal jaren? (parameters aangeven: chemisch, fysisch en biologisch)
- Wat zijn de checkpunten voor het bedrijf of de gewenste bodemgezondheid behaald gaat worden? Inderdaad indicatoren en wat zijn dan normen, niveau's waar hij wil zitten

Tactisch:

- Hoe wordt de bemesting getoetst aan de wettelijke normen?
- Zijn er wijzigingen aangebracht in de bemesting door de regelgeving?
- Worden er instrumenten (bijvoorbeeld bemestingsadvies, grondonderzoek, etc.) gebruikt om de bemesting te bepalen?
- Wat voor bijmestsystemen worden er gehanteerd?
- Welke grondbewerkingsmethode is er gekozen en waarom?

Operationeel:

- Hoe worden de keuzes gedurende het groeiseizoen gemaakt om een bemesting bij te stellen?
- Welke instrumenten worden gebruikt om lopende het seizoen tot een beslissing te komen?

Algemeen(bewustwording ondernemer)

- Wordt de cyclus van plan-do-check-act telkens wel doorlopen om een keuze weloverwogen te maken? (Uiteraard uitleggen wat ermee bedoeld wordt)
- Welke mogelijkheden zijn er, volgens de ondernemer, op dit bedrijf aanwezig om de benutting van stikstof en fosfaat te vergroten (anders gesteld: welke mogelijkheden ziet hij om toegestane N- en P-gift zo efficiënt mogelijk in te zetten en daarnaast voldoende aandacht aan bodemkwaliteit te schenken?).
- Om welke reden worden alle mogelijkheden niet gebruikt? Wat zijn de knelpunten?



## Bijlage 2. Verslag van de interviews met akkerbouwers; uitgevoerd door DLV Plant.

### Bedrijf 1: Noordelijke zandgronden

Bouwplan: 25 ha zetmeelaardappelen  
18 ha suikerbieten  
20 ha zomergerst  
5 ha zomertarwe

Grondsoort: Vrijwel het gehele bedrijf is gelegen op een zandgrond met een bouwvoor van 25 – 30 cm. Hieronder bevindt zich leem. Een klein gedeelte van het bedrijf bevindt zich op een veengrond.

#### Huidige besluitvorming/aanpak/werkwijze:

De bemesting van de gewassen wordt uitgevoerd met dierlijke mest en kunstmest. Dit geldt voor alle gewassen. De dierlijke mest komt uit een silo en is een mix van varkenschijfmest en rundveedrijfmest. Deze silo is van een ondernemer uit de achterhoek die varkens en koeien heeft. Zo kunnen beide mestsoorten aangevoerd worden. De verhouding kan aangepast worden naar de wensen van de akkerbouwer en wel op die manier dat de inzet van dierlijke mest optimaal is. De samenstelling van de mest is zoveel mogelijk aangepast aan de behoefte van gewassen en de regelgeving. De fosfaat bemesting wordt volledig uitgevoerd met dierlijke mest. De stikstofbemesting wordt uitgevoerd met dierlijke mest en KAS. De dierlijke mest is economisch gezien zeer interessant en een andere stikstofmeststof dan KAS heeft volgens de akkerbouwer geen meerwaarde. De bemesting wordt gepland aan de hand van bouwlandonderzoeken naar bemesting. Op basis hiervan worden ook de besluiten genomen. De toestand van de bodem wordt beoordeeld op basis van de stand van de gewassen.

#### Strategisch:

De akkerbouwer kiest er bewust voor om het stro altijd op het land achter te laten. Ook met de hoge stroprijzen van nu. Dit om de organische stofvoorziening op peil te houden. Ook wordt er, indien mogelijk, altijd een groenbemester ingezaaid. In het verleden werd de bemesting van de groenbemester vrijwel altijd uitgevoerd met dierlijke mest. Door de aanscherping van de normen (fosfaat) is dat nu niet meer mogelijk. Afgelopen jaar is er na het graan een groenbemester gezaaid en is deze bemest met 200 kg KAS. In het verleden daalde het organische stofgehalte van de grond, maar de laatste jaren (15 – 20) is deze weer stabiel. Tevens is er bewust voor gekozen om de dierlijke mest zelf uit te rijden. Dit in verband met verdeling en structuurbederf. Hier zal naar verwachting de komende jaren niet veel aan veranderen, alleen zal de inzet van dierlijke mest nog verder terug gaan en zal er mee kunstmest gebruikt worden door het aanscherpen van de fosfaatsnormen. Het bedrijf heeft geen checkpunten of indicatoren waar zijn bodemtoestand over een aantal jaren aan zou moeten voldoen met uitzondering van organische stof. Het bouwplan is niet afgestemd op de bodemgezondheid, maar is een economische afweging. Aaltjes leveren in deze nog geen problemen op. Af en toe wordt hier op gecontroleerd.

#### Tactisch:

In de wintermaanden wordt een bemestingsplan opgemaakt voor het komende seizoen en dit bemestingsplan wordt getoetst aan de wettelijke normen. Om aan de wettelijke normen te kunnen voldoen wordt er de laatste jaren minder dierlijke mest en meer kunstmest stikstof gebruikt. Ook het gebruik van dierlijke mest in het najaar gaat niet meer. De bemesting wordt bepaald aan de hand van

grondonderzoeken. Alleen bij de aardappelen wordt een bijbemesting gepland lopende het groeiseizoen. In het voorjaar wordt de grond geploegd. Dit is volgens de akkerbouwer de beste methode voor deze grond om hem te bewerken. Bij ploegen blijft de structuur het beste gehandhaafd.

#### Operationeel:

In het voorjaar wordt de mest uitgereden als de grond bekwaam is en er spoedig na het uitrijden van de mest gezaaid of gepoot kan worden. Het bijbemesten van de aardappelen wordt gedaan op basis van de stand van het gewas. Er worden geen instrumenten gebruikt om tot deze beslissing te komen. Het afgelopen jaar is 1 perceel waar wel een bijbemesting was gepland niet bijbemest, omdat er al zoveel loof op zat. Achteraf is dat een goede keuze geweest.

#### Algemeen:

De cyclus PDCA wordt onbewust wel doorlopen. In het voorbeeld waarbij een bijbemesting van de aardappelen gepland stond, maar deze door de stand van het gewas niet uitgevoerd is, is dat het geval. Dat is een voorbeeld op operationeel niveau. Op strategisch niveau wordt dit ook gedaan. Een voorbeeld hiervan is de bemesting van de zomergerst. In het verleden werd dit alleen gedaan met dierlijke mest, maar omdat de start van het gewas te traag was is er overgestapt naar een bemesting van dierlijke mest en kunstmest. Dit bevalt goed en daarom is dat gehandhaafd.

De ondernemer ziet voor de toekomst mogelijkheden in GPS. Op die manier kan hij nauwkeuriger bemesten wat een besparing oplevert, dus een hogere benutting. Ook ziet hij een toekomst in plaats specifiek bemesten op basis van de stand van het gewas. Op welke manier dat dan gaat gebeuren (satelliet of sensoren in gewas) durft hij nog niet te zeggen. Op dit moment is deze akkerbouwer nog niet zover, maar het kan snel gaan. GPS was een paar jaren geleden ook nog niet van toepassing, Nu gebruiken veel akkerbouwers het al. Het vervolg om de bemesting binnen een perceel aan te passen is dan dicht bij. Een paar jaar geleden heeft hij al Mijnakker gebruikt, maar daar was toen niets uit te halen, dus is hij daar weer mee gestopt. Toevallig heeft hij volgende week een afspraak met een leverancier van GPS apparatuur, dus de eerste stap wordt gezet. Het vervolg is dan niet zo groot. Met GPS moeten de percelen in kaart gebracht worden dan is precisie bemesting een volgende zet.

#### **Bedrijf 2: Noordelijke kleigronden**

Bouwplan: 30 ha pootaardappelen  
5 ha consumptieaardappelen  
8 ha suikerbieten  
30 - 35 ha wintertarwe

Grondsoort: De grondsoort van het bedrijf is kleigrond. De lichtste gronden zijn 12-20 % afslibbaar.

#### Huidige besluitvorming/aanpak/werkwijze:

Op dit moment vindt de bemesting in hoofdzaak plaats met varkensdrijfmest KAS en NP 23-23. De varkensdrijfmest wordt in het voorjaar met de sleepslang uitgereden over de wintertarwe. Indien er nog mestruimte is in het najaar en de omstandigheden zijn goed, dan wordt er nog varkensdrijfmest in het najaar gebruikt op percelen waar het jaar erop pootaardappelen geteeld gaan worden. Daarnaast wordt er ook in het voorjaar 500 kg KAS gegeven aan de wintertarwe. In principe wordt er daarna niet weer bijbemest. Alleen bij een mindere stand (dit kan ook een gedeelte van het perceel zijn, bv kopakker) wordt er bijbemest. Bij de pootaardappelen wordt aan de basis 23-23 gegeven en wordt er tijdens de knolzetting

een bijbemesting gegeven. Ook voor de consumptieaardappelen geldt dat er aan de basis 23-23 wordt gegeven en dat er een bijbemesting wordt uitgevoerd tijdens de knolzetting. De overbestedingen worden allemaal uitgevoerd met KAS. De bemesting wordt gepland met behulp van grondonderzoeken, ervaring en een adviseur. De bijbestedingen in de aardappelen worden gepland. Voor de wintertarwe wordt er geen overbesteding gepland. Indien er later wel besloten wordt om een perceel (gedeeltelijk) over te bemesten, dan gebeurt dat op basis van gevoel en ervaring. De bodemtoestand wordt beoordeeld aan de hand van de structuur. Belangrijk item is de rooibaarheid van de aardappelen. Om die reden wordt er gips gestrooid. Hoe hoog het organische stofgehalte van de grond is, is niet exact bekend. Er wordt ook niet gekeken naar een organische stofbalans. Het stro wordt afgevoerd, groenbesteders worden niet geteeld. Toch bleef in het verleden de organische stof wel gelijk. Er wordt de afgelopen wel gediscussieerd of er verstandig is compost aan te voeren.

#### Strategisch:

Op dit vlak worden er weinig bewuste strategische keuzes gemaakt. De indruk bestaat dat Brussel het allemaal regelt en het geen zin heeft over lange termijn te kijken. Stro wordt afgevoerd, maar dat heeft ook te maken met het verminderen van het risico van schurft op de aardappelen. Een belangrijk instrument is de structuur van de grond. Bodemdruk, wijze grondbewerking, tijdstip grondbewerking en het geven van gips wordt allemaal gepland om een goede structuur van de grond te behouden of te verkrijgen. Op zich willen ze nog wel meer dierlijke mest geen gebruiken. Wat hier mee geëxperimenteerd is bevalt goed. Dit moet dan regelgevingstechnisch allemaal wel passen.

#### Tactisch:

Aan het begin van het groeiseizoen wordt een bemestingsplan gemaakt en dit wordt afgestemd met de wettelijke normen van stikstof en fosfaat. Er wordt gekozen voor gips in plaats van schuimaarde. Schuimaarde wordt niet meer gebruikt omdat hier teveel fosfaat inzit en dat heeft dan invloed op de rest van de bemesting. De bemesting wordt gepland aan de hand van grondonderzoeken. Het bijbesteden wordt ook opgenomen in het bemestingsplan. Het tijdstip van bijbesteden wordt bepaald uit ervaring en de stand van het gewas. Hier worden geen andere instrumenten voor gebruikt. In het najaar en de winter wordt alle grond geploegd. Gevoelsmatig is dit beter voor de structuur dan spitten en het geeft ook minder onkruiddruk.

#### Operationeel:

Gevoel met de gewassen hebben wordt heel belangrijk gevonden. Dit is ook het criterium waarop gedurende het seizoen wordt bijbested. Zowel geplande overbestedingen dan niet geplande overbestedingen.

#### Algemeen:

Onbewust wordt de cyclus pdca wel doorlopen. Met name het gevoel voor het gewas is een criterium waarin deze cyclus een belangrijke rol speelt. Deze cyclus wordt met name doorlopen op tactisch en operationeel niveau en minder op strategisch niveau. Alleen voor de structuur van de grond wordt deze cyclus ook op strategisch niveau doorlopen. (gips). Veel mogelijkheden om de benutting te verbeteren worden er momenteel niet gezien. Wel wordt aangegeven dat het zaak is om scherp te blijven en te blijven kijken naar mogelijkheden om de bemesting anders te doen. Het is uiteraard belangrijk dat het economische ook interessant is.

**Bedrijf 3: Kleigrond Flevoland**

Bouwplan: 13 ha consumptieaardappelen  
 6 ha suikerbieten  
 14 ha wintertarwe  
 6 ha sjalotten

Grondsoort: Dit bedrijf is gelegen op kleigrond.

Huidige besluitvorming/aanpak/werkwijze:

Consumptieaardappelen:

In het voorjaar wordt voor het poten en tijdens het poten geen fosfaat of stikstof bemest. Kort na het poten wordt er op het ras Innovator (in 2011 enige ras) 8-10 ton slachtkuikenmest gestrooid. Deze mest wordt dan ingefreesd en tegelijkertijd wordt er 100 ltr APP (50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en 100 ltr Urean (39 kg N) met 200 liter water in de rug ingebracht. Gedurende het groeiseizoen wordt de NDVI in het gewas gemeten met Crop circle. Met Crop circle wordt via sensoren aan de spuitmachine de NDVI in het gewas gemeten. Op basis hiervan wordt er een bijbemesting uitgevoerd. Plaatsspecifiek wordt dan meer of minder stikstof gegeven.

Wintertarwe:

In het voorjaar wordt op de wintertarwe 300 kg KAS en 40 ton rundveedrijfmest gegeven. De rundveedrijfmest wordt uitgereden met een sleepslang. Er wordt voor rundveedrijfmest gekozen, omdat de verhouding tussen fosfaat en stikstof in deze mest beter is dan de verhouding in varkensdrijfmest. Tevens zorgt varkensmest voor een meer plakkerige grond. Daarna wordt het gewas ook gemeten met crop circle en op basis daarvan wordt er bijbemest. Het stro wordt verhakseld. Na de oogst van de wintertarwe wordt er een grasgroenbemester gezaaid. Indien er ruimte is in de mestboekhouding wordt er voor het onderploegen van de grasgroenbemester structuurcompost uitgereden.

Suikerbieten:

Na het zaaien wordt er 400-500 kg KAS gestrooid. De stikstof wordt in het 6 bladstadium van de bieten aangevuld tot de behoefte van het gewas.

Sjalotten:

De sjalotten worden met 100 kg tripelsuper bemest voor het zaaien. Er wordt geen stikstof gegeven aan de sjalotten. In mei wordt een bodemonmonster genomen en indien deze erg laag is wordt er nog 100 kg KAS gegeven.

Strategisch:

De structuur van de grond is erg belangrijk. Op het moment vormen de verkeerde wormen (witte) een groot probleem. Deze scheiden een verkeerde stof af, waardoor de grond erg plakkerig wordt. Hier is nog geen goede oplossing voor.

Het stro wordt altijd verhakseld en achtergelaten op het land. Daarnaast wordt er compost aangevoerd indien mogelijk gezien de mestwetgeving en na de wintertarwe wordt een grasgroenbemester gezaaid.

Gras als groenbemester is goed mogelijk, omdat aaltjes geen probleem vormen. Het organische stofgehalte lag begin jaren '90 op ongeveer 2,3 %, nu is dat 3,0 – 3,2 %. Hoe de organische stofbalans er per jaar uit ziet is niet bekend. Ook wordt er bewust voor rundveedrijfmest gekozen in verband met de structuur.

Het bouwplan wordt uit economische overwegingen opgesteld en daar wordt niet gekeken naar de bodemvruchtbaarheid. Wel wordt er binnen het bouwplan gekeken wat er gedaan kan worden aan de



bodemvruchtbaarheid. De gehalten aan mineralen moeten op gewenst niveau blijven. Het org. stof gehalte mag zeker niet dalen en indien mogelijk moet er wat gedaan worden aan de verkeerde wormen. Belangrijk checkpunt voor het bedrijf is de structuur, bewerkbaarheid van de grond.

**Tactisch:**

Er wordt een bemestingsplan opgesteld en deze wordt getoetst aan de normen. Indien er ruimte overblijft dan wordt deze opgevuld met compost. Door de regelgeving is er gekozen voor een rijenbemesting met fosfaat. Door deze rijenbemesting wordt de helft minder fosfaat gegeven. Volgens deze akkerbouwer is dat heel goed mogelijk. Beginontwikkeling, wortelvorming en knolzetting zijn volgens hem zeker niet minder dan bij volvelds toedienen met de dubbele dosering.

**Operationeel:**

Lopende het groeiseizoen wordt er in de consumptieaardappelen en wintertarwe met sensoren op de spuitmachine gemeten wat er aan stikstof bijbemest moet worden. Hier wordt ook plaats specifiek op bijbemest. Uiteraard in de beperking de breedte van de spuitmachine of strooier. Afhankelijk van de weersomstandigheden vindt de bijbemesting plaats met korrels of vloeibaar. Wordt er droog weer voorspelt dan wordt gekozen voor vloeibaar, anders in korrelvorm.

**Algemeen:**

Op operationeel niveau wordt de cyclus pdca regelmatig doorlopen. Dat komt door het meten van de NDVI waar dan de bijbemesting op wordt gebaseerd. De vertaalslag tussen wat er gemeten wordt en de oplossing moet nog veel beter ontwikkeld worden. Alles wat je meet is niet met stikstof op te lossen. Hierin speelt structuur en bodemvruchtbaarheid ook een belangrijke rol.

Volgens de akkerbouwer zal in de toekomst de ontwikkeling van meten steeds verder gaan en daardoor moet dan de benutting beter. Ook deze ondernemer blijft hier mee bezig. Uitproberen vind hij mooi. Het meten van N-min in het voorjaar wordt niet gedaan, omdat hij daar niets in ziet in samenhang met het meten via de Sensor. In 2006 is er ook met Mijnakker gewerkt, maar hier kwamen veel te weinig bruikbare foto's gedurende het groeiseizoen.

**Bedrijf 4: Zandgronden Gelderland**

Bouwplan: 55 ha zetmeelaardappelen  
4 ha TBM pootgoed  
20 ha suikerbieten  
38 ha zomergerst  
12 ha zomertarwe

Grondsoort: Droogtegevoelige zandgronden

**Huidige besluitvorming/aanpak/werkwijze:**

In het voorjaar wordt getracht optimaal dierlijke mest in te zetten. De voorkeur gaat uit naar varkensdrijfmest, maar door de fosfaatsnormen wordt er ook al rosemest gebruikt op de granen en de bieten. De verhouding N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> van deze mest is mooier. Fosfaat is de beperkende factor voor de aanvoer van dierlijke mest. De Pw van de gronden is gedeeltelijk neutraal en gedeeltelijk laag. Hierdoor kan er iets meer fosfaat worden aangevoerd. Bijkomend voordeel van de rosemest is dat er meer organische stof in zit dan in varkensmest. Nadeel is dat de beschikbaarheid van de stikstof zeer onbetrouwbaar is. In het

voorjaar wordt een plan gemaakt om de dierlijke mest zo optimaal mogelijk in te zetten. De basisbemesting N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> vindt plaats met dierlijke mest aangevuld met KAS. Bijbemesting van stikstof vindt ook plaats via KAS. In het plan wordt een bijbemesting gepland voor zetmeelaardappelen op basis van ras. In het verleden zijn er bij de zetmeelaardappelen bladsteeltjes geplukt. Dit wordt niet meer gedaan, omdat de meerwaarde niet echt gezien wordt. Voor de zomertarwe wordt ook een bijbemesting gepland van 150 kg KAS. Zomergerst en suikerbieten worden in principe niet bijbemest. Indien het oog echter aangeeft dat dat wel nodig is, wordt er nog een bijbemesting gegeven. Dit kan zowel vloeibaar zijn als in korrelvorm. Het zijn droogtegevoelige zandgronden met een organische stofgehalte van rond de 5%. In droge perioden wordt er ook berekend. Voor de vruchtbaarheid van de grond is aanvoer van organische stof zeer belangrijk. Toch wordt het stro afgevoerd. Hiervoor is veel belangstelling en het levert geld op. Wel wordt op zoveel mogelijk graanstoppels een groenbemester ingezaaid (gele mosterd). Deze wordt gemest met KAS. De beoordeling van de bodemtoestand vindt plaats met grondonderzoeken. Het organische stofgehalte van de grond daalt vrijwel niet. Dit komt met name omdat het zeer stabiele organische stof is afkomstig van de heidegronden uit het verleden. De meeste gronden van het bedrijf zijn gelegen op gronden die in de tweede wereldoorlog zijn ontgonnen door de Duitsers. Er is in die periode een vliegveld aangelegd. Het zijn dus nog vrij jonge landbouwgronden.

#### Strategisch:

De ondernemer is zich ervan bewust dat stro achterlaten goed is voor de bodem en de organische stofvoorziening. Voor het stro is veel belangstelling in de omgeving en daarom wordt het toch afgevoerd. Wel wordt er dus een groenbemester gezaaid om organische stof aan te voeren. Bij optimaal slagen van de groenbemester is er organische stofbalans ongeveer sluitend. Indien de inzaai van de groenbemester niet lukt of dat de teelt niet slaagt dan is er een organische stof aanvoer tekort. De bodemtoestand zal in de toekomst niet veel veranderen. Chemische gezien moeten de waarden in het streeftraject liggen. Dit wordt in de gaten gehouden met grondonderzoeken. De fysische gesteldheid is eigenlijk nooit een probleem. De gronden zijn goed bewerkbaar. Het bodemleven wordt niet gecheckt.

#### Tactisch:

In het voorjaar wordt een bemestingsplan gemaakt. In dit plan wordt optimaal dierlijke mest ingezet op basis van de toegestane aanvoer van fosfaat en grondonderzoek. Door de regelgeving zijn hier al aanpassingen in gedaan. Varkensmest is vervangen door rosemest, in verband met de gunstige verhouding tussen fosfaat, stikstof en kali in rosemest. In het plan wordt voor zetmeelaardappelen een bijbemesting gepland op basis van ras en voor zomertarwe wordt ook een bijbemesting gepland. Deze bijbemestingen worden uitgevoerd op basis van de stand van het gewas. Hier worden geen instrumenten voor gebruikt. Daarnaast wordt er af en toe een bijbemesting uitgevoerd op basis van veldbeoordelingen. In een gewas niet optimaal groeit kan er gekozen worden om nog stikstof bij te geven.

#### Operationeel:

Gedurende het seizoen wordt op basis van gevoel af en toe een bijbemesting uitgevoerd. Dit is dan afhankelijk van de stand van het gewas.

#### Algemeen:

Op het bedrijf wordt niet bewust met de plan-do-check-act cyclus gewerkt. Uiteraard wordt deze onbewust wel gebruikt zowel op strategisch, tactisch als operationeel niveau. De check gebeurt meestal op basis van gevoel en niet op basis van onderzoek. De akkerbouwer zou wel interesse hebben in een handvat voor bijbemesting. Hij heeft echter nog niet het gevoel dat er voor hem een goed en betrouwbaar handvat is die

niet veel arbeid vraagt. Voor de komende jaren ziet de akkerbouwer vooral veel belang in de samenstelling van de dierlijke mest. Zo kan dit optimaal ingezet worden. Rijenbemesting ziet hij nog niet als een oplossing, maar hij is er zich van bewust dat zo iets snel kan veranderen. Dit soort zaken worden nog niet gebruikt omdat de noodzaak er nog niet is.

**Bedrijf 5: Lössgronden Zuid Limburg**

Bouwplan: 12 ha consumptieaardappelen  
 15 ha suikerbieten  
 25 ha wintertarwe  
 6 ha wintergerst  
 5 ha zomergerst

Grondsoort: Lössgronden

Huidige besluitvorming/aanpak/werkwijze:

Om de 5 á 6 jaar wordt een grondmonster genomen van een perceel. Op basis hiervan wordt de bemesting gepland en wordt in de gaten gehouden hoe de bodemtoestand is. (chemisch) De Pw van de grond ligt rond de 65 en valt dus binnen het hoge traject.

De dierlijke mest wordt allemaal ingezet in het najaar op de graanstoppel in de vorm van varkensdrijfmest. Na de dierlijke mest gift in het najaar wordt een groenbemester ingezaaid. Hier worden dan het volgende jaar aardappelen of suikerbieten geteeld. In het voorjaar wordt geen dierlijke mest gegeven in verband met de structuur van de grond. Er wordt ook geen kerende grondbewerking uitgevoerd. In het voorjaar worden de aardappelen dan bemest met zwavelzure ammoniak. De rest van de gewassen krijgen KAS. Voor de aardappelen wordt geen overbemesting gepland. Eventueel wordt in het groeiseizoen nog bijbemest via het blad. De wintertarwe wordt wel 2 keer bijbemest en de wintergerst 1 keer. Bij voorkeur wordt het stro verhakseld, maar het afgelopen jaar is het toch verkocht. Er was veel vraag naar en er werd een hoge prijs gegeven. Het organische stofgehalte van de grond is ongeveer 2 tot 2,5% en verandert niet.

Strategisch:

De bemesting van dierlijke mest in het najaar is een strategische keuze. De dierlijke mest wordt in het najaar gegeven, in verband met het behoud van de structuur van de grond. Bij toediening in het voorjaar is het risico te groot. Tevens wordt een niet kerende grondbewerking uitgevoerd in het voorjaar. De grond wordt losgemaakt met een Smaragd (15-20 cm). Daarna wordt het in 1 werkgang gewoeld en het zaaibed klaargelegd met een rotorkopeg. Tevens wordt er na de gift van dierlijke mest een groenbemester gezaaid. Deze groenbemester houdt mineralen vast, maar zorgt ook voor organische stof aanvoer. De organische stofbalans van het bedrijf is sluitend als het stro wordt verhakseld. Wordt het stro afgevoerd dan ontstaat er een gat. De komende jaren komt de gehanteerde strategie van mest in het najaar geven steeds meer in de verdrukking in verband met de stikstofnormen. Door de dierlijke mest in het najaar te geven is de benutting van de stikstof lager. De groenbemester legt wel een deel vast en ook de uitspoeling op de lössgronden is laag, maar er verdwijnt wel een deel. Indien de gewassen niet meer optimaal bemest kunnen worden, dan moet er mogelijk een wijziging in de strategie plaatsvinden. Hier wordt wel over gedacht, maar zolang dit systeem haalbaar is wordt dit nog gehanteerd. De controle of de waarden (chemisch) van de bodem goed blijven vindt plaats via grondonderzoek. De fysische gesteldheid wordt getoetst middels de bewerkbaarheid van de grond. Er wordt veel rekening gehouden met de structuur. Voor het bodemleven zijn er geen

checkpunten. Uiteraard is de opbrengst en de stand van het gewas ook een instrument om de gesteldheid van de bodem te checken.

**Tactisch:**

De geplande aanvoer wordt getoetst aan de wettelijke normen. Tot nu toe kan de gekozen strategie gehandhaafd blijven. De samenstelling van de mest wordt wel steeds belangrijker. Doordat de granen niet worden bemest met dierlijke mest blijft er voldoende ruimte over om in de stoppel dierlijke mest te gebruiken, voorafgaande aan de aardappel en bietenteelt. Tevens worden de bijbemestingen van de wintergerst en de wintertarwe gepland.

**Operationeel:**

Gedurende het seizoen vinden de geplande bijbemestingen van de wintergerst en wintertarwe plaats op basis van ervaring en stand van het gewas. Er worden geen hulpmiddelen meer gebruikt. Er is gewerkt met bladsteeltjes, maar hier werd geen voordeel in gezien. Een bijbemesting buiten de geplande bijbemestingen om wordt gedaan op basis van gewasbeoordelingen.

**Algemeen:**

Er zijn voor deze ondernemer nog wel mogelijkheden om de benutting van stikstof hoger te krijgen. Door de dierlijke mest in het voorjaar te geven kan hier nog veel winst behaald worden. Dit gaat, volgens deze ondernemer, ten koste van de structuur van de grond en deze maatregel wordt dan ook nog steeds uitgesteld. Bij verdere aanscherping van de normen kan een toedienen van dierlijke mest in het voorjaar aan de orde komen. Mogelijk eerst gedeeltelijk voorjaar en najaar.