

Minder en Anders Bemesten

*Naar een bedrijfsspecifieke
duurzame bemestingsstrategie*

- literatuurstudie -

*Geert-Jan van der Burgt
Sjef Staps*

In Nederland vindt het meeste onderzoek voor biologische landbouw en voeding plaats in voornamelijk door het ministerie van LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's. Aansturing hiervan gebeurt door Bioconnect, het kennisnetwerk voor de Biologische Landbouw en Voeding in Nederland (www.bioconnect.nl). Hoofduitvoerders van het onderzoek zijn de instituten van Wageningen UR en het Louis Bolk Instituut. Zij werken in de cluster Biologische Landbouw (LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's) nauw samen. Dit rapport is binnen deze context tot stand gekomen.

De resultaten van de onderzoeksprogramma's vindt u op de website www.biokennis.nl. Vragen en/of opmerkingen over het onderzoek aan biologische landbouw en voeding kunt u mailen naar: info@biokennis.nl.

© 2008 Louis Bolk Instituut

Minder en Anders Bemesten. Naar een bedrijfsspecifieke duurzame bemestingsstrategie. Geert-Jan van der Burgt, Sjef Staps, 37 pagina's, Bemesting, duurzaam, mineralenbenutting, zelfvoorziening. Bestelnummer LD16

Inhoud

Inhoud	3
Samenvatting	5
Summary	9
1 Inleiding	11
2 Bodemvruchtbaarheid en bemesting	13
3 Mineralenhuishouding en mineralenbenutting	15
4 Bedrijfsstrategieën	19
4.1 Akkerbouw op klei zonder dierlijke meststoffen	20
4.2 Intensieve groenteteelt op klei met evenwichtsbemesting fosfaat	21
4.3 Extensieve groenteteelt op zand met eigen stikstofvoorziening als basis	22
4.4 Intensieve groenteteelt op zand met minimale stikstofverliezen	23
5 Berekeningsmethoden en toetsingsinstrumentarium	25
5.1 Mineralenbalans	25
5.2 Stikstof zelfvoorziening	27
5.3 Mineralen efficiëntie.	27
5.4 Organische stof balans	29
5.5 Toetsing van de berekeningen	29
6 Conclusies	31
Literatuur	33

Samenvatting

Bodemvruchtbaarheid is in de biologische landbouw een essentieel begrip. Voor behoud of verhoging van bodemvruchtbaarheid hebben telers twee hoofdinstrumenten ter beschikking: een goed opgezette vruchtopvolging en een uitgebalanceerde bemesting

Binnen akker- en tuinbouw is de nutriëntenvoorziening op gewasniveau afhankelijk van enerzijds gewasgerichte bemesting en anderzijds lange termijn processen en dus vruchtwisseling. Bij biologische teeltsystemen ligt, anders dan bij gangbare teelt, het accent op de lange termijn processen omdat de mogelijkheden voor een gewasgerichte (bij)bemesting met snelwerkende meststoffen zeer gering zijn. Dit benadrukt het belang van het inpassen van de bemestingsstrategie in het kader van de totale vruchtwisseling en integrale benadering van de bodemvruchtbaarheid. Biologische vruchtwisselingen hebben daarom doorgaans een groter aandeel groenbemesters en leguminosen en hebben een groter aandeel grasklaver dan gangbare bedrijven, factoren die sturend zijn in de mineralenbeschikbaarheid op langere termijn. Vele studies tonen aan dat biologische landbouw leidt tot een toename van organisch stof- en totaal stikstofgehalte, wederom factoren die de beschikbaarheid van in dit geval stikstof op langere termijn mede bepalen. Het verhogen van het organisch stofgehalte is, naast het in de vruchtwisseling opnemen van organische stof inbrengende gewassen, mede afhankelijk van de kwantiteit en kwaliteit van input van organische stof van buiten het bedrijf.

Een belangrijk verschil tussen bemesting in de gangbare en de biologische landbouw is niet alleen de aard van de gebruikte meststof – minerale mest of organische mest – maar ook het doel van de bemesting. Naast het verkrijgen van een optimale kwaliteitsproductie met minimale nutriëntenverliezen, is bemesten in de biologische teeltsystemen een belangrijke schakel om de bodemvruchtbaarheid – fysisch, chemisch én biologisch – op peil te houden of te verhogen.

Uitspoeling van stikstof is een belangrijke verliespost op biologische bedrijven. Telers hebben veel mogelijkheden om nitraatuitspoeling te beperken, maar dat betekent niet dat het eenvoudig is. Net als bij de mineralenvoorziening van de gewassen liggen maatregelen ter voorkoming van uitspoeling zowel op het terrein van bemesting als op het terrein van gewassenkeuze en vruchtvolgorde.

Binnen de doelstellingen van de biologische landbouw zijn normen geformuleerd waaraan voldaan moet worden wil met het product als 'biologisch' op de markt kunnen brengen. Deze normen laten nog een grote speelruimte over waar de teler accenten legt, welke doelstelling meer en welke minder gewicht krijgt, en de wegen waarlangs dat doel bereikt kan worden. De afwegingen die hierbij mede een rol spelen kunnen thematisch gegroepeerd worden waarbij binnen een bedrijf meerdere thema's opgepakt kunnen worden:

- Wel of geen inzet van dierlijke meststoffen
- Zelfvoorziening van stikstof
- Toewerken naar evenwichtsbemesting voor met name fosfaat
- Rol van compost en groenbemesters in zowel stikstofvoorziening als organische stof dynamiek
- Toewerken naar 100% biologische mest

- Optimaliseren van stikstofbenutting
- Optimaliseren mineralenopname door structuurverbetering
- Teeltoptimalisatie door inzet van (verantwoorde) hulp meststoffen
- Instandhouding van bodemvruchtbaarheid en organische stof gehalte.

Hierbij zal op bedrijfsniveau rekening worden gehouden met hoofdcomponenten in de bedrijfsvoering:

- Bodemtype: zandgronden versus de zwaardere gronden. Over het algemeen ligt de stikstofvoorziening op zandgrond iets ingewikkelder dan op de zwaardere gronden vanwege het sterkere risico van nitraatuitspoeling. Daarmee moet rekening worden gehouden bij de inrichting van het productiesysteem.
- Bedrijfstype: groenteteelt versus akkerbouw. Gemiddeld vraagt de groenteteelt méér stikstof, méér stikstof in korte tijd en/of meer stikstof vroeg in het voorjaar of juist laat in de herfst dan de traditionele akkerbouwgewassen. Dit heeft zijn weerslag op de gewenste stikstofdynamiek op korte termijn, in termen van weken.
- Bedrijfsintensiteit: intensief versus extensief. Groenteteelt is intensief ten opzichte van akkerbouw. Binnen die bedrijfstypen zijn echter nog vele keuzes mogelijk die het systeem meer of minder intensief maken. Met name de plaats en het relatieve aandeel van extensieve gewassen en/of bodemverzorgende gewassen in de rotatie is een factor van belang.

Op grond van bovenstaande thema's en bedrijfsstructuren kan in algemene zin een aantal vraagstukken geschetst worden waar in de praktijk van de biologische land- en tuinbouw in Nederland mee geworsteld wordt. Deze vraagstukken worden in onderstaande tekst geclusterd en geherformuleerd in de vorm van een strategie: zó wordt het vraagstuk onder deze omstandigheden en voorwaarden benaderd en wordt er naar een oplossing gezocht.

Dat is uitgevoerd voor vier mogelijke en in de praktijk relevante combinaties van bodemtype, bedrijfstype en bedrijfsintensiteit:

1. akkerbouw op klei zonder dierlijke meststoffen
2. intensieve groenteteelt op klei met evenwichtsbemesting fosfaat
3. extensieve groenteteelt op zand met eigen stikstofvoorziening als basis
4. intensieve groenteteelt op zand met minimale stikstofverliezen.

Enkele methoden worden besproken om veranderingen in de bedrijfsvoering kwantitatief te meten en te beoordelen: de mineralenbalans, de mate van stikstof zelfvoorziening, de mineralen efficiëntie en de organische stof balans.

Indien het computermodel NDICEA hiervoor wordt ingezet dient toetsing van voorgaande berekeningen op veldniveau plaats te vinden.

Er wordt geconcludeerd dat de (gewas)bemesting in toenemende mate benaderd wordt als een multidimensioneel, locatiespecifiek en dynamisch vraagstuk. De bestaande kennis moet daarom op deze drie punten verfijnd worden, wat zes concrete vraagstukken voor verder onderzoek oplevert.

- Optimaliseren van stikstof uit grasklaver / luzerne op andere plekken in het bedrijf
- Optimaliseren van stikstofopname door bodemstructuur / beworteling

- Optimaliseren van stikstofoverdracht uit grasklaver en luzerne door timing en inwerktechniek
- Inzet van stikstofbinders in mengteelt
- Eigenschappen en inzetbaarheid van 'nieuwe' mestsoorten zoals digestaat van vergistinginstallaties.
- Ontwikkeling van andere nieuwe meststoffen met hoge N/P verhouding en stuurbare N-fractie.

Summary

Soil fertility is essential in organic farming. Two instruments are available for managing soil fertility: an adequate crop rotation and a balanced manure scheme.

The nutrient availability at crop level in arable farming and horticulture depends on short-term crop-oriented fertilizer application and on long-term processes in the crop rotation. Within the organic systems the emphasis lies on the long-term processes because of the few number of possibilities for crop-oriented (additional) fertilizer applications. This indicated the importance to integrate the fertilisation plan with the rotation plan and the overall soil fertility planning. Because of this, organic rotations usually contain more green manures, leguminous crops, clover grass and alfalfa than conventional ones, all influencing nutrient availability on the long term. Many studies show an increase of soil organic matter and soil N in organic systems, influencing long-term nitrogen availability. Increase of the soil organic matter is dependant on both own crops and quantity and quality of external inputs.

There is an important different aim of fertilizer application between conventional and organic farming systems, besides differences in used fertilizers: artificial or organic. In organic farming the application of manures and composts is an important factor for maintaining soil fertility: physical, chemical and biological.

Nitrate leaching is an important loss in organic systems. There are many ways to reduce nitrate leaching, but this does not mean it is easy to realize. As is the case in nutrient management at crop level, measurements can be found in the range of crop fertilizer applications and in the range of crop choice and crop sequence: rotation.

Within the aims of organic farming, norms are set to allow produce to be sold as 'organic'. These norms still give much opportunities for farmers to make choices in relative importance of different aims and in ways how to reach these aims. The items in this process of decision making can be clustered as follows:

- Yes or no input of animal dung
- Self-sufficiency of nitrogen
- Equilibrium in phosphate balance
- Importance of composts and green manures in both nitrogen and soil organic matter dynamics
- Use of 100% certified organic manures
- Optimization of nitrogen efficiency
- Optimization of mineral efficiency by soil structure improvements
- Optimization of crop yields by use of commercial fertilizers
- Maintenance of soil fertility and soil organic matter

In this process, the main components in the farm structure will be considered:

- Soil type: Sandy soils versus clayish soils. In general the nitrogen dynamics on Sandy soils is more complicated because of the increased risk of nitrate leaching. This needs to be reflected in the farm management.

- Enterprise type: vegetable farming versus arable farming. Overall, vegetables contrary to arable crops need more nitrogen, more nitrogen in shorter time and sometimes more nitrogen early in the season or very late in autumn. This demands adequate short-term nitrogen dynamics.
- Enterprise intensity: intensive versus extensive. Vegetable farming intensive compared to arable farming. Within these two systems the intensity can vary widely. Especially the importance and the place of extensive crops or soil-nourishing crops is essential.

Based on the themes and types of enterprises, some general questions can be formulated which actually play a role in the Dutch organic farming and gardening practice. In this report these questions are clustered and elaborated into strategies. This is done for four in practice relevant combinations of soil type, enterprise type and enterprise intensity:

1. arable farming on clay without use of animal dung
2. intensive vegetable production on clay with soil phosphate equilibrium
3. extensive vegetable production on sandy soils, based on self-sufficiency in nitrogen
4. intensive vegetable production on sandy soils minimizing nitrogen losses.

At the end some methods are discussed to measure the effect of changes in the production system: mineral balance, nitrogen self-sufficiency, mineral efficiency and soil organic matter balance. If the computer model NDICEA is used for assessment, the calculations should be checked at field level.

It is concluded that crop manure strategy is becoming more and more a multidimensional, location-specific and dynamic question. Existing knowledge must therefore be fine-tuned on these three aspects, resulting in six actual questions for further research:

- Optimization of nitrogen from clover / alfalfa on other locations in the rotation
- Optimization of nitrogen uptake by improvement of soil structure and root development
- Optimization of nitrogen transfer from clover / alfalfa by timing and incorporation techniques.
- Use of leguminous crop in mixed cropping
- Properties and use of 'new' fertilizers such as the effluents of biogas installations.
- Development of other new fertilizers with a high N/P ratio and known nitrogen release pattern.

1 Inleiding

Onder het door het Ministerie van LNV gefinancierd beleidsondersteunend onderzoek wordt binnen het cluster BO-04 Biologische landbouw het project “Minder en Anders Bemesten” uitgevoerd. Doel van het project is het verder ontwikkelen van nieuwe strategieën voor inzet van mest van biologische oorsprong.

Het project richt zich op “Minder en Anders Bemesten” in diverse bedrijfstypen met:

- Gelijke of hogere opbrengsten
- Verbetering van de productkwaliteit
- Handhaven of verbeteren van de duurzame bodemvruchtbaarheid.

De projectresultaten zullen input en onderbouwing vormen voor advies.

Voorliggend rapport is het resultaat van de literatuurstudie die binnen het kader van het project “Minder en Anders Bemesten” is uitgevoerd en vormt mede een basis voor de veldexperimenten die de komende jaren zullen worden uitgevoerd.

Biologische landbouw is internationaal gebaseerd op vier principes (IFOAM, 2004):

- Gezondheid: biologische landbouw moet duurzaam zijn en de gezondheid bevorderen van bodem, plant, dier, mens en de aarde als geheel (de gezondheid van individuen en leefgemeenschappen kan niet worden gescheiden van de gezondheid van ecosystemen); gezonde bodems produceren gezonde gewassen die de gezondheid van mens en dier ondersteunen.
- Ecologie: biologische landbouw moet gebaseerd zijn op levende ecologische systemen en kringlopen, hiermee samenwerken en hun ondersteunen.
- Billijkheid: biologische landbouw moet gebaseerd zijn op relaties die billijkheid verzekeren.
- Zorg: biologische landbouw moet worden bedreven op een beschermende en verantwoorde wijze om de gezondheid en het welzijn van de huidige en toekomstige generaties en het milieu te beschermen.

Vergeleken met gangbare landbouw richt biologische landbouw zich meer op het gebruik van bedrijfsinterne inputs in plaats van externe bronnen ten behoeve van bodemvruchtbaarheid, nutriëntenvoorziening en plantbescherming (Voit et al., 1980).

Binnen de biologische landbouw zijn zelfregulatie binnen een agroecosysteem, meerjarige kringlopen en een focus op preventie in plaats van reactie, sleutelprincipes die de biologische gewas- en dierlijke productie ondersteunen. Kernelement binnen de gewasproductie is het in de tijd en of de ruimte afwisselend telen van gewassen met wisselende profielen wat betreft nutriëntenvraag, groeiperiode, ruimtelijke groeiwijze boven en onder de grond en ziektegevoeligheid.

Vruchtwisseling in de breedste betekenis van het woord wordt in de biologische landbouw ingezet voor vele doelen (Shi-ming M.A. en Sauerborn J. 2006):

- Instandhouden en verbeteren van het organische stofgehalte in de bodem
- Instandhouden en verbeteren van bodemvruchtbaarheid
- Maximalisatie van symbiotische stikstofbinding door toepassing van vlinderbloemigen
- Productie van voldoende voedsel en stro voor het vee
- (Re)mobilisatie van nutriënten door gewassen met een hoge worteldichtheid en –diepte
- Beheersing en reductie van ziektes
- Beheersing van onkruid
- Verbetering van arbeidsprofiel over het jaar
- Handhaving en verbetering van de economische situatie van het bedrijf.
-

Bij de optimalisatie van de biologische akker- en tuinbouw dient een multifunctionele vruchtwisseling de basis te zijn, en niet een gewasgerichte optimalisatiebenadering (Vereijken en Kropff, 1992; Vereijken et al., 1998; Wijnands, 2000; Dekking, 2002). Vanuit bodemvruchtbaarheid en nutriëntenbenutting bezien is er binnen een vruchtwisseling een noodzaak voldoende opbouwende componenten op te nemen zoals grasklaver voor organische stof opbouw, stikstofbinding en bodemrust, vlinderbloemigen voor stikstofaccumulatie, granen of andere diep- en intensief wortelende gewassen, en groenbemesters voor voldoende nutriëntentransport van voorvrucht naar volgvrucht. Aanvullend op het onderhoud van bodemvruchtbaarheid en de verbetering van het nutriëntenmanagement, draagt een goed ontworpen vruchtwisseling bij aan het voorkómen van ziektes en onkruidproblemen.

Ten behoeve van duurzaamheid is het streven binnen biologische landbouw er op gericht om waar mogelijk zelfvoorzienend te zijn voor nutriënten en organische stof door productie op het eigen bedrijf en hergebruik van mineralen. Deze zelfvoorziening en bedrijfskringlopen kunnen ook ingericht worden op regionaal niveau (Bos, 2005; Prins, 2005).

In de biologische landbouw vormt de spanning tussen korte termijn (economische) eisen en lange termijn (ecologische) eisen voor boeren een uitdaging. Een bedrijfsvoering met een vruchtwisseling die zowel voorziet in directe inkomsten als in indirecte ecologische diensten vereist een evenwichtige behartiging van deze concurrerende belangen.

In het vervolg van dit rapport komt de focus te liggen op één aspect van de biologische bedrijfsvoering in de akkerbouw en tuinbouw: de rol van bemesting in relatie tot gewasgroei, vruchtwisseling en duurzame bodemvruchtbaarheid.

2 *Bodemvruchtbaarheid en bemesting*

Bodemvruchtbaarheid

Bodemvruchtbaarheid is een essentieel begrip in de biologische landbouw. Voor behoud of verhoging van bodemvruchtbaarheid hebben telers twee hoofdinstrumenten ter beschikking: een goed opgezette vruchtopvolging en een uitgebalanceerde bemesting. Binnen het begrip bodemvruchtbaarheid kan onderscheid worden gemaakt in de onderling samenhangende aspecten van fysische, chemische en biologische bodemvruchtbaarheid. Binnen de landbouw zijn streefwaarden beschikbaar voor met name chemische parameters (Anonymus, 2002; van Dijk, 2003). Voor fysische parameters, bijvoorbeeld structuur, zijn diverse methodieken ontwikkeld maar is geen algemeen geaccepteerde methode aanwezig (Bokhorst en Heeres, 2006; Shepherd, 2000). Per methodiek zijn streefwaarden aanwezig, maar uniforme streefwaarden ontbreken, zo ze al mogelijk zijn door de diversiteit aan gronden. Ook over biologische bodemvruchtbaarheid is veel bekend maar ontbreken streefwaarden (van Eekeren et al., 2003; Smeding et al., 2005). Binnen de biologisch landbouw zijn de mogelijkheden om een tekort aan bodemvruchtbaarheid of bodemkwaliteit te compenseren met additionele (kunst)mestgiften zeer beperkt (Zanen et al., 2003). Dat betekent dat de biologische teler, meer nog dan de gangbare collega, leunt op de basiskwaliteit van zijn bodem. Er bestaat dus behoefte aan goede bodemkundige streefwaarden en aanvullende indicatoren voor bodemkwaliteit voor uiteenlopende bodems en bedrijfstypes. Aan opbouw en verzamelen van materiaal voor keuze van indicatoren en streefwaarden wordt gewerkt (Bokhorst et al., 2008; Bloem, 1999; Bloem en Breure, 2003, Koopmans et al., 2006; Schouten et al., 2002; Rutgers et al., 2007)

Binnen akker- en tuinbouw is de nutriëntenvoorziening op gewasniveau afhankelijk van enerzijds gewasgerichte bemesting en anderzijds lange termijn processen en dus vruchtwisseling. Bij biologische teeltsystemen ligt, anders dan bij gangbare teelt, het accent op de lange termijn processen omdat de mogelijkheden voor een gewasgerichte (bij)bemesting met snelwerkende meststoffen zeer gering zijn (Zanen et al., 2003; Koopmans en Van der Burgt, 2001). Dit benadrukt het belang van het inpassen van de bemestingsstrategie in het kader van de totale vruchtwisseling en integrale benadering van de bodemvruchtbaarheid. Biologische vruchtwisselingen hebben daarom doorgaans een groter aandeel groenbemesters en leguminosen en hebben een groter aandeel grasklaver dan gangbare bedrijven, factoren die sturend zijn in de mineralenbeschikbaarheid op langere termijn. Vele studies tonen aan dat biologische landbouw leidt tot een toename van organisch stof gehalte en totaal stikstof gehalte (Mäder et al., 2002), wederom factoren die de beschikbaarheid van in dit geval stikstof op langere termijn mede bepalen. Het verhogen van het organisch stofgehalte is, naast het in de vruchtwisseling opnemen van organische stof inbrengende gewassen, mede afhankelijk van de kwantiteit en kwaliteit van input van organische stof van buiten het bedrijf: dunne rundveemest werkt anders dan GFT compost (Bokhorst en ter Berg, 2001).

Bemesting

Een belangrijk verschil tussen bemesting in de gangbare en de biologische landbouw is niet alleen de aard van de gebruikte meststof – minerale mest of organische mest – maar ook het doel van de bemesting. Naast het verkrijgen van een optimale kwaliteitsproductie met minimale nutriëntenverliezen, is bemesten in de biologische teeltsystemen een belangrijke schakel om de bodemvruchtbaarheid – fysisch, chemisch én biologisch - op peil te houden of te

verhogen. Voor dit laatste is m.n. de koolstof belangrijk als voeding voor talrijke bodemorganismen. Een adequaat bemestingsplan is dus gericht op zowel het duurzaam vruchtbaar houden van de bodem als op het voeden van het gewas (Koopmans en Van der Burgt, 2001).

Het gebruik van organische (vaste) mest, compost en groenbemesters leidt in het algemeen tot een toename van organische stof en positieve effecten op diverse andere bodemeigenschappen (Mäder et al., 2002). Met vaste mestsoorten wordt naar verhouding minder N aangevoerd dan met drijfmestsoorten. Vaste mest wordt door biologische telers als positief ervaren vanwege het humusopbouwende karakter, met de kanttekening dat met name de te verwachten stikstoflevering in de tijd uitgesmeerd en minder stuurbaar is. Voor compostsoorten geldt dat in nog sterkere mate.

Biologische rundermest heeft vaak een lager stikstofgehalte (door minder eiwit in het voer) en dus een hogere C/N verhouding dan gangbare rundermest. De hoeveelheid stikstof die vrijkomt uit organische mest is echter moeilijk te synchroniseren met de behoefte aan stikstof van het gewas. Een tweede knelpunt is de beperkte beschikbaarheid van biologische mest op het bedrijfsverstijgende niveau (De Wit en Prins, 2002).

Bodem organische stof

Uitzonderingen daargelaten mag gesteld worden dat de biologische bedrijfsvoering er op is gericht het bestaande organische stof gehalte van de bodem ten minste in stand te houden: aanvoer en afbraak dienen met elkaar in evenwicht te zijn. De organische stof afbraak hangt af van het bodemtype en het gebruik van de grond en varieert tussen 2 en 4% afbraak per jaar. De afbraak gaat richting 4% op lichtere gronden bij een hoge pH-waarde en bij veel en intensieve bewerkingen van de grond. Op een zwaardere, kalkloze grond met relatief weinig bewerking kan met een afbraak van 2% gerekend worden (Bokhorst en Koopmans, 2001). Op basis hiervan kan een inschatting worden gemaakt van de benodigde hoeveelheid organische stof aanvoer die nodig is om de afbraak ten minste volledig te compenseren. Voor deze berekening wordt gebruik gemaakt van het begrip 'effectieve organische stof' waarvan voor vele gewassen en mestsoorten een empirisch bepaalde waarde bekend is (Koopmans en Van der Burgt, 2001). In andere landen worden andere rekenmethoden toegepast om een organische stof balans op te stellen, en soms blijkt er noodzaak om de bestaande systematiek aan te passen voor biologische bedrijfsvoering (Brock en Leithold, 2007).

3 Mineralenhuishouding en mineralenbenutting

Mineralen algemeen

In de voorgaande tekst is vanuit algemene principes van de biologische landbouw via het algemene begrip bodemvruchtbaarheid toegewerkt naar de rol van bemesting. In dit hoofdstuk focussen we nog verder op één aspect van bemesting namelijk de rol van mineralen in de bemesting, en dan met name stikstof. De nadruk op stikstof betekent niet dat de overige nutriënten minder belangrijk zouden zijn. De huishouding van de overige nutriënten is echter makkelijker op orde te brengen of te houden, en wijkt waarschijnlijk minder af van wat er onder niet-biologische teeltomstandigheden gebeurt dan bij stikstof. Onder de huidige Nederlandse bemestingsstrategieën en –niveaus is zelden sprake van tekorten aan fosfaat, kalium, magnesium of zwavel (Koopmans en van der Burgt, 2001; van Eekeren et al., 2005; van der Burgt en van Eekeren, 2006). Waar sprake is van potentiële tekorten zijn voldoende meststoffen beschikbaar om op basis van balansberekeningen (niveau rotatie) of op basis van gewasbehoefte (niveau gewas) bij te bemesten. Ook de micronutriënten zijn, in termen van balans van aanvoer en afvoer, zelden limiterend. Wel kunnen lokale of tijdelijke tekorten optreden door slechte beschikbaarheid, bij voorbeeld door lage temperatuur, structuurproblemen of onjuiste pH. Voor fosfaat is over het algemeen geen sprake van een tekort maar van een overschot op de balans. Hieraan wordt elders voldoende aandacht besteed (Bos, 2005; Prins, 2005; Koopmans en van der Burgt, 2001).

Stikstof

In organische meststoffen zijn de nutriënten voor het grootste deel aanwezig in organische verbindingen. Voordat deze nutriënten beschikbaar zijn voor gewassen is er eerst een mineralisatieproces noodzakelijk.

Stikstofmineralisatie is het proces waarbij, tijdens de afbraak van organische stof, organische stikstof wordt omgezet in ammonium. Ammonium wordt vervolgens omgezet in nitraat (nitrificatie).

Een intermediaire pool is het bodemleven zelf. De snelheid van mineralisatie is afhankelijk van de aard en activiteit van het bodemleven, en dat is weer afhankelijk van grondsoort, pH, vochttoestand en temperatuur (van der Burgt et al., 2006a). Bij berekeningen van de mineralisatie wordt in Nederland veelal gebruik gemaakt van de algoritmes van Janssen (1984), al dan niet gemodificeerd volgens Yang (1996) waarbij het bodemleven als geheel als een black box wordt beschouwd. De Ruijter et al. (1994) hebben een rekenmethode voor stikstofmineralisatie waarbij de afzonderlijke stappen in het bodemvoedselweb worden doorgerekend, waarvoor gedetailleerde kennis van het lokale voedselweb nodig is.

Of bij de mineralisatie van organische materialen zoals humus, mest, gewasresten en groenbemesters stikstof vrijkomt hangt af van de aard van de organische stof (meer of minder makkelijk afbreekbaar) en van de C/N verhouding ervan: bij een lagere C/N verhouding komt sneller stikstof vrij voor opname door gewassen. Omgekeerd kan materiaal met een hoge C/N verhouding (stro) juist tijdelijk minerale stikstof vastleggen: immobilisatie. Het bodemleven zelf, als intermediair én variabele stikstofpool, kan door plotseling afsterven fluctuaties in de mineralisatie teweegbrengen (de Wit et al., 2006).

Door *denitrificatie*, *uitspoeling* en *ammoniakvervluchtiging* kan stikstof gedurende de teelt verloren gaan. In het onderstaande wordt dit verder toegelicht.

Denitrificatie is de omzetting van nitraat in stikstofgas of stikstofoxiden. Het is een microbiologisch proces dat optreedt onder zuurstofloze of zuurstofarme omstandigheden bij de afbraak van organische stof. De grootte van denitrificatie wordt vooral bepaald door de hoeveelheden makkelijk afbreekbare organische stof, door het niveau van aanwezige minerale stikstof en door vochtgehalte en is sterk temperatuurafhankelijk (Heinen, 2006).

In de biologische landbouw zal door het gebruik van organische mest en een intensivering van de organische stofkringloop de denitrificatie versterkt worden. Vaak is de structuur op biologisch beheerde gronden echter weer beter en daardoor zal de denitrificatie weer verminderen omdat er meer zuurstof in de grond aanwezig is (Bokhorst & Koopmans, 2001). Andersom wordt de denitrificatie bij gebruik van kunstmest tijdelijk bevorderd door hoge pieken minerale stikstof direct na bemesting terwijl in de biologische teelt de stikstof vaak geleidelijker beschikbaar komt en dus minder pieken kent. Kwantitatief bezien is de hoeveelheid stikstofverlies door denitrificatie gemiddeld genomen aanzienlijk lager dan verlies door uitspoeling, en de mogelijkheden voor telers om door teeltmaatregelen gericht de denitrificatie te verminderen zijn beperkt.

Nitraatuitspoeling is een fysisch proces, waar stikstof in minerale vorm, voornamelijk als nitraat aan blootstaat. Uitspoeling vindt voornamelijk plaats in het late najaar, winter en vroege voorjaar omdat in die periode er sprake is van een neerslagoverschot en dus netto watertransport uit de bewortelbare zone. Echter, ook in voorjaar en zomer kan uitspoeling optreden met name indien sprake is van braak of gewassen met een zeer korte groei-duur. Een overschot van nitraat in de grond in het najaar loopt een grote kans verloren te gaan door uitspoeling. De EU heeft een nitraatnorm voor grondwater: maximaal 50 mg nitraat (11 mg nitraat-N) per liter (Anonymus, 1991). Verliezen door uitspoeling kunnen oplopen tot meer dan 200 kg ha⁻¹ jaar⁻¹.

Anders dan bij denitrificatie, hebben telers veel mogelijkheden om nitraatuitspoeling te beperken, maar dat betekent niet dat het eenvoudig is. Alles wat bijdraagt aan verlaging van de nitraathoeveelheid in het najaar of wat bijdraagt aan transfer van stikstof van najaar naar voorjaar draagt bij aan vermindering van uitspoeling. Net als bij de mineralenvoorziening van de gewassen liggen maatregelen ter voorkoming van uitspoeling zowel op het terrein van bemesting als op het terrein van gewassenkeuze en vruchtvolgorde. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een verhoogd organische stofgehalte van de bodem met dito verhoogde mineralisatie in het najaar potentieel de uitspoeling verhoogt.

Mogelijke maatregelen zijn er in het algemeen op gericht de stikstofbeschikbaarheid zowel in ruimte als in tijd nauwkeurig af te stemmen op gewasbehoefte en gewasopname (Koopmans et al., 2001; de Wit et al., 2006; Zanen et al., 2003; Hatch et al., 2004; Zanen, 2008; Christiansen et al., 2006):

- Zorgvuldige opbouw van de vruchtwisseling om de lange termijn stikstofbeschikbaarheid af te stemmen op gewasbehoefte
- Vanggewassen / groenbemesters na de teelt van het hoofdgewas of als onderzaai.
- Vermijden van gewassen waarvan de oogst valt in september en oktober: te laat voor inzaai groenbemester
- Nauwkeuriger afstemmen van gewasvraag en (bodem- en) bemestingsaanbod
- Optimalisering van bodemstructuur en beworteling van zowel hoofdgewassen als groenbemesters
- Inwerken van stikstofvastlegend materiaal (stro)
- Diepwortelende gewassen die een deel van de naar diepere lagen uitgespoelde stikstof kunnen terughalen
- Voorkómen van (late) najaarsbemestingen (grotendeels al bij wet verboden)

- Zorgvuldige afstemming van het scheuren van gras(klaver) op de volgteelt(en)

Ammoniakvervluchtiging uit verse, organische mest kan zowel optreden bij de mestopslag als na toediening op het land. De verliezen zijn na toediening vooral hoog als de mest niet wordt ondergewerkt en kunnen oplopen tot 70% van de in de mest aanwezige ammonium-N (Starmans en Van der Hoek, 2007). Bij een goed composteringsproces is de ammoniakvervluchtiging beperkt en bevat het eindproduct nog maar weinig ammonium (Bokhorst en ter Berg, 2001). Bij het gebruik van gecomposteerde mest zal de ammoniakvervluchtiging na toediening dan ook zeer beperkt zijn. Aanpassingen in het voederrantsoen kunnen het aandeel ammonium-N in de mest verlagen (Reijs, 2007).

Op basis van voorgaande beschouwingen is duidelijk dat in de biologische landbouw, als het gaat om minder , anders en nauwkeuriger bemesten, de grootste vragen openliggen op het gebied van stikstofdynamiek en stikstofbenutting. Het omgekeerde actuele probleem, een overschot op met name de fosfaatbalans, vertaalt zich vaak naar een stikstof (tekort)-vraagstuk indien het overschot wordt teruggebracht naar nul. Ook vragen rondom N/P verhouding van mestsoorten hangen samen met de stikstofdynamiek, stikstofbalans en stikstofbenutting.

4 Bedrijfsstrategieën

Binnen de doelstellingen van de biologische landbouw zijn normen geformuleerd waaraan voldaan moet worden wil met het product als 'biologisch' op de markt kunnen brengen (Anonymus, 2008; Anonymus, 1992). Deze normen laten nog een grote speelruimte over waar de teler accenten legt, welke doelstelling meer en welke minder gewicht krijgt, en de wegen waarlangs dat doel bereikt kan worden.

De afwegingen die hierbij mede een rol spelen kunnen thematisch gegroepeerd worden waarbij binnen een bedrijf meerdere thema's opgepakt kunnen worden:

- Wel of geen inzet van dierlijke meststoffen
- Zelfvoorziening van stikstof
- Toewerken naar evenwichtsbemesting voor met name fosfaat
- Rol van compost en groenbemesters in zowel stikstofvoorziening als organische stof dynamiek
- Toewerken naar 100% biologische mest
- Optimaliseren van stikstofbenutting
- Optimaliseren mineralenopname door structuurverbetering
- Teeltoptimalisatie door inzet van (verantwoorde) hulpmeststoffen
- Instandhouding van bodemvruchtbaarheid, organische stof gehalte

Hierbij zal op bedrijfsniveau rekening worden gehouden met hoofdcomponenten in de bedrijfsvoering:

- Bodemtype: zandgronden versus de zwaardere gronden. Over het algemeen ligt de stikstofvoorziening op zandgrond iets ingewikkelder dan op de zwaardere gronden vanwege het sterkere risico van nitraatuitspoeling. Daarmee moet rekening worden gehouden bij de inrichting van het productiesysteem.
- Bedrijfstype: groenteteelt versus akkerbouw. Gemiddeld vraagt de groenteteelt méér stikstof, méér stikstof in korte tijd en/of meer stikstof vroeg in het voorjaar of juist laat in de herfst dan de traditionele akkerbouwgewassen. Dit heeft zijn weerslag op de gewenste stikstofdynamiek op korte termijn, in termen van weken.
- Bedrijfsintensiteit: intensief versus extensief. Groenteteelt is intensief ten opzichte van akkerbouw. Binnen die bedrijfstypen zijn echter nog vele keuzes mogelijk die het systeem meer of minder intensief maken. Met name de plaats en het relatieve aandeel van extensieve en/of bodemverzorgende gewassen in de rotatie is een factor van belang.

Op grond van bovenstaande thema's en bedrijfsstructuren kan in algemene zin een aantal vraagstukken geschetst worden waar in de praktijk van de biologische land- en tuinbouw in Nederland mee geworsteld wordt. Deze vraagstukken worden in onderstaande tekst geclusterd en geherformuleerd in de vorm van een strategie: zó wordt het vraagstuk onder deze omstandigheden en voorwaarden benaderd en wordt er naar een oplossing gezocht.

Dat doen we voor vier mogelijke en in de praktijk relevante combinaties van bodemtype, bedrijfstype en bedrijfsintensiteit aan de hand van drie punten:

- De uitgangspunten
- De mogelijke oplossingen
- De vraagstukken die daarbij opduiken
- Bij de behandeling worden voornamelijk die aspecten benoemd die specifiek zijn voor de betreffende strategie. Er zijn vele andere teelthandelingen mogelijk die de stikstofdynamiek en andere aspecten van de bemesting beïnvloeden; die worden niet benoemd maar spelen uiteraard wel een rol als het gaat om concrete bedrijven en teelten.

4.1 Akkerbouw op klei zonder dierlijke meststoffen

Uitgangspunten

Zowel binnen Nederland als in andere landen (Huxham et al., 2002; Welsh and Philipps, 2002; Cormack, 1999) bestaat de wens om plantaardige productie te realiseren zonder daarbij gebruik te maken van dierlijke meststoffen. Deze wens gaat vaak samen met de wens relatief weinig aanvullende meststoffen van buiten het bedrijf naar binnen te halen. Dat betekent in praktijk dat een groot deel van de benodigde stikstof op het eigen bedrijf gewonnen moet worden, en dat lijkt op voorhand vooral mogelijk op grotere oppervlaktes en met relatief extensieve teelten, oftewel binnen de (extensieve) akkerbouw. In principe is dit mogelijk op zand- en kleigrond.

Mogelijke oplossingsrichting

- De vrijkomende stikstof na het scheuren van grasklaver of luzerne moet optimaal benut worden. Dat vraagt een nauwkeurige afstemming van moment van scheuren, type en timing van het volggewas, inzet van groenbemesters na het eerste hoofdgewas en type en timing van het tweede volggewas in het tweede jaar na scheuren. Dit vraagstuk is niet specifiek voor dit systeem maar speelt overal waar grasklaver of luzerne in een rotatie met akkerbouw of tuinbouw liggen.
- Indien er voor gekozen wordt het product grasklaver / luzerne te oogsten en op een ander perceel en/of op een ander moment als meststof in te zetten zijn er verschillende mogelijkheden:
 - Inzet van vers materiaal op een ander perceel direct na het oogsten.
 - Oogsten en inkuilen en later op een ander perceel uitrijden
 - Oogsten, vergisten en effluent gebruiken
 - Oogsten, drogen en pellets van laten maken voor bemesting op maat
- Voor de organische stof voorziening is compost in principe een volwaardig alternatief voor dierlijke meststoffen
- Voor de overige mineralen zijn er, voor zover ze niet in voldoende mate worden aangevuld met compost, voldoende (hulp)meststoffen beschikbaar.

Vraagstukken

Een belangrijk vraagstuk is de stikstofvoorziening. Als onderdeel van de strategie voor de stikstofvoorziening wordt vaak gekozen voor het zelf winnen van stikstof op het bedrijf door inzet van luzerne en grasklaver waarbij het de

kunst is de vrijkomende stikstof in de volgteelten optimaal te benutten. Bij verkoop van het geoogste product is de stikstofwinst minimaal en de afvoer van overige mineralen aanzienlijk. Dat is dus geen optie voor dit systeem. Traditioneel blijft het maaisel op het land (mulching) om de stikstof zodoende op en in het perceel te houden. Nadeel daarvan is dat de stikstofmineralisatie al tijdens de teelt van de grasklaver of luzerne op gang komt, wat ten koste gaat van de stikstoffixatie. Relatief nieuw is dat luzerne en grasklaver niet alleen ingezet worden als instrument binnen de vruchtwisseling (stikstoflevering op het zelfde perceel na afloop van de teelt), maar dat het product geoogst wordt en direct of later als bemesting op een ander perceel ingezet wordt. Dit levert vooralsnog vele vragen op: hoe is de timing en logistiek bij de oogst, hoe snel komt de stikstof vrij uit het materiaal (vers, geconserveerd, gedroogd, vergist), wat zijn de kosten en baten.

Voor andere voedingsstoffen is aanvulling van buiten het bedrijf nodig, en dit kan deels gewasgericht, deels rotatiegericht ingezet worden. Aankoop van compost kan de fosfaatbalans sluitend maken, en eventueel aanvullende aankoop van K-rijke hulp meststoffen (met name op zandgronden met weinig K-voorraad en relatief veel K-uitspoeling) kan de K-behoefte dekken. Wat betreft de organische stof voorziening is het de vraag, op basis van het rotatieschema inclusief luzerne of grasklaver, hoeveel er van buiten (compost?) of van binnen (gewasresten, groenbemesters) aangevuld moet worden.

4.2 Intensieve groenteteelt op klei met evenwichtsbemesting fosfaat

Uitgangspunten

Een intensief groenteteelt bedrijf zal in praktijk bemesten tot de maximaal toegestane hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest. Daarbij wordt de wettelijke norm voor aanvoer van fosfaat niet overschreden. Er is echter wel sprake van een flink overschot op de P-balans op bedrijfsniveau (Zanen et al., 2003; Koopmans en Van der Burgt, 2001).

Tegelijkertijd treden er gedurende de teelt toch vaak stikstoftekorten op. Het streven is er op gericht met behoud van de bedrijfsstructuur het fosfaatoverschot sterk terug te dringen waarbij de stikstofvoorziening verbeterd wordt door verschillende maatregelen op het niveau van zowel rotatie als gewas.

Mogelijke oplossingsrichtingen

- De vrijkomende stikstof na het scheuren van grasklaver of luzerne moet optimaal benut worden. Dat vraagt een nauwkeurige afstemming van moment van scheuren, type en timing van het volggewas, inzet van groenbemesters na het eerste hoofdgewas en type en timing van het tweede volggewas in het tweede jaar na scheuren. Dit vraagstuk is niet specifiek voor dit systeem maar speelt overal waar grasklaver of luzerne in een rotatie met akkerbouw of tuinbouw liggen.
- Binnen bovenstaande richting kan nog gekeken worden of de N-overdracht hoger kan zijn door niet te ploegen maar te frezen, of door stroken te frezen en in de gefreesde stroken het volggewas te planten.
- Optimale verzorging van de bodemstructuur om mineralisatie en beworteling te optimaliseren. Instrumenten hiervoor zijn bodembewerking en timing daarvan, en bodemverzorgende gewassen zoals grasklaver.
- Inzet van N-rijke en P-arme hulp meststoffen, nauwkeurig afgestemd op gewasbehoefte.

Vraagstukken

Indien de inzet van dierlijke mest of compost sterk teruggedrongen wordt om toe te werken naar een werkelijke P-balans zal de stikstofvoorziening daar sterk onder lijden. Dat zal opgevangen moeten worden door zowel in de rotatie als in de teelt zelf de stikstoftoevoer en –benutting te optimaliseren. Een zeer gerichte overdracht van stikstof uit grasklaver of luzerne naar het volggewas is een belangrijke, nog niet volledig doorgronde schakel. Daarnaast is gerichte inzet van N-rijke hulpmeststoffen een belangrijk instrument waarbij timing, plaatsing en werkzaamheid nog verder uitgewerkt moeten worden.

Een optimale bodemstructuur en beworteling bevorderen de stikstof benutting. Inpassen in de bedrijfsvoering van maatregelen om de bodemstructuur en beworteling te bevorderen is een uitdaging.

4.3 *Extensieve groenteteelt op zand met eigen stikstofvoorziening als basis*

Uitgangspunten

Een extensief groenteteeltbedrijf heeft een speciale stikstofdynamiek. Op bedrijfsniveau is de stikstofhuishouding relatief extensief, maar op teeltniveau is de stikstofdynamiek in sommige jaren juist intensief. Uitgangspunt is om te investeren in organische stof om zodoende zowel de algemene bodemkwaliteit als de jaarrond mineralisatie van stikstof te verhogen. Daarnaast wordt geïnvesteerd in eigen stikstofbinding om op die manier de inzet van aangevoerde meststoffen verregaand terug te dringen. Introductie van een vlinderbloemige extensieve voorvrucht vóór de teelt van een hoofdteelt groente kan een deel van het antwoord zijn.

Mogelijke oplossingsrichtingen

- Intensivering van de organische stof dynamiek met nadruk op bedrijfsinterne stromen: grasklaver, graangewassen, groenbemesters
- Aanvulling met organische stof van buiten het bedrijf
- Introductie van mengteelt graan – vlinderbloemige in plaats van puur graan als extensief tussengewas om stikstofbinding te verhogen en stikstofoverdracht aan het opvolgende groentegewas te bevorderen.

Vraagstukken

Intensivering van de organische stof dynamiek en de overall stikstofdynamiek heeft een risico: stikstof kan ook vrijkomen op momenten dat er weinig of geen behoefte aan bestaat. Dat stelt dus hoge eisen aan de rotatie en de inzet van groenbemesters (die zelf weer een bijdrage aan de organische stof voorziening leveren).

Vlinderbloemige voorvruchten dragen bij aan de eigen N-voorziening en kunnen een tijdelijke intensivering van de stikstofmineralisatie teweegbrengen. Dat varieert van zeer sterk (bij voorbeeld na doperwt) tot een beetje (bij voorbeeld na graan/vlinderbloemige mengteelt). Details daarvan zijn nog niet bekend, evenmin als het inpassen ervan in een extensieve groenteteeltrotatie.

Het is de vraag of op basis van organische stof en eigen stikstofvoorziening de stikstofmineralisatie op teeltniveau op een voldoende hoog niveau komt. De vraag luidt dan welke gewassen (gewasgroepen) wél, en welke niet passen binnen deze opzet. En als dat in de bedrijfsvoering niet uitkomt zal alsnog bij sommige teelten naar stikstofrijke helpmeststoffen gegrepen moeten worden.

4.4 Intensieve groenteteelt op zand met minimale stikstofverliezen

Uitgangspunten

Intensieve groenteteeltbedrijven op zandgrond hebben, bij de bestaande N- en P-normeringen, een structureel N-tekort. De verwachte aanscherping van de normering maakt het vraagstuk alleen maar groter. Op lichte gronden treden makkelijk N-verliezen door uitspoeling op, wat de problematiek deels verklaart en in elk geval vergroot. Uitgangspunt is hier behoud van kwantiteit (hoe voldoende stikstof beschikbaar te krijgen voor het gewas) met minimalisering van verliezen door uitspoeling. Hiervoor zijn nodig verantwoorde meststoffen met een gunstige N/P verhouding en met een hoog aandeel snel opneembare stikstof, die bovendien gedurende de teelt getimed en gedoseerd toegediend kunnen worden. Inzet van digestaten als alternatief voor dunne mest zou hieraan kunnen bijdragen hoewel de N-dynamiek hiervan nog niet duidelijk is.

Mogelijke oplossingsrichtingen

- Inzet van (nieuw te ontwikkelen?) meststoffen met de volgende eigenschappen:
 - Hoge N/P ratio
 - Hoge stikstofinhoud
 - Snelle stikstofbeschikbaarheid
 - Mogelijkheid van nauwkeurig timen en doseren
- Afvoer van gewasresten
- Waar mogelijk introductie van (stikstof)vanggewassen.

Vraagstukken

Dit is vanuit de stikstofdynamiek bezien de tegenpool van de extensieve groenteteelt met organische stof en eigen stikstofvoorziening als basis. Organische stof moet voldoende aanwezig zijn voor de algemene bodemkwaliteit maar speelt geen cruciale rol in de stikstofvoorziening. Dat gebeurt vanuit een zeer gerichte inzet van meststoffen voor en tijdens de teelt met als doel de gewasvraag te kunnen dekken maar na afloop vrijwel niets over te laten in de bodem. Het is de vraag welke meststoffen voor deze benadering het meest geschikt zijn. Veel organische meststoffen kenmerken zich door een vertraagde stikstofbeschikbaarheid, en dat verlaagt de effectiviteit binnen dit systeem. Gewasresten in een groenteteeltbedrijf zijn over het algemeen stikstofrijk en relatief snel afbreekbaar. Dat verhoogt de kans op uitspoeling van stikstof in de winter. Afvoer van gewasresten van het veld voorkomt dit maar roept weer andere vragen op, zoals haalbaarheid in praktijk, kosten, en hoe deze gewasresten weer terug in het bedrijf te brengen: composteren, vergisten?.

5 *Berekeningsmethoden en toetsingsinstrumentarium*

Er bestaan vele methoden om veranderingen in de bedrijfsvoering kwantitatief te meten en beoordelen, en om bedrijven onderling te kunnen vergelijken. In onderstaande tekst worden enkele methoden kort besproken die in principe een rol kunnen spelen bij het meten en beoordelen van bedrijven die de in hoofdstuk vier genoemde strategieën toepassen.

5.1 *Mineralenbalans*

Methode

Een gebruikelijke kwantitatieve benadering op het aspect van mineralen is het opstellen van een mineralenbalans: het verschil tussen wat er in gaat en wat er uit gaat. Zo'n balans kan op meerdere manieren en op verschillende niveaus opgesteld worden.

- De mineralenbalans 'aan de poort': de balans tussen aangevoerde en afgevoerde mineralen op bedrijfsniveau. Per jaar kunnen aan- en afvoer geboekt worden. Dat heeft als nadeel dat per jaar verschillende uitkomsten zullen optreden, afhankelijk van fluctuaties in het bouwplan of incidentele afwijkingen van de 'normale' bemesting. Vergelijking van de balans van één jaar met die van andere bedrijven wordt daardoor bemoeilijkt. Correcties zijn mogelijk door alle uitzonderlijke posten te normaliseren door aannames te maken en inschattingen te doen. Dat gaat uiteraard ten koste van de nauwkeurigheid. Ook kunnen de balansen van meerdere jaren gemiddeld worden, wat een realistisch beeld oplevert maar veel meer werk is.
- Een andere benadering is die op het niveau van vruchtvolgorde. De 'normale' bemestingen voor de gebruikelijke gewassen in hun gebruikelijke volgorde met gebruikelijke opbrengsten worden geboekt. Het beeld is abstracter dan bij de jaarbenadering maar wel vrij van fluctuaties. Als de aannames (wat is 'normaal' en wat is 'gebruikelijk') goed zijn gemaakt is de uitkomst zeer geschikt voor vergelijkingsdoeleinden zowel tussen bedrijven onderling als tussen verschillende vruchtwisselings- en bemestingsvarianten van één bedrijf.
- Ten derde is er de benadering op perceelsniveau. Dat kan gedaan worden per jaar of per teelt, maar ook over meerdere jaren of zelfs een volledige rotatie. Deze benadering ondersteunt afwegingen wat betreft bemesting op het niveau van perceel of gewas. Voor vergelijking met andere bedrijven of andere situaties (bij voorbeeld een ander perceel op het zelfde bedrijf) is altijd een vertaalslag nodig.

Een zeer bruikbaar en eenvoudig hulpmiddel om zicht te krijgen op mineralenbalansen is het computermodel NDICEA (van der Burgt et al., 2006b) (zie kader). Dit model brengt primair de stikstofdynamiek en de organische stofdynamiek in beeld, maar als resultante van het invoeren van bedrijf- of perceelgegevens wordt de mineralenbalans op het niveau van vruchtvolgorde en/of op het niveau van het perceel gegenereerd. In beide balansen worden de stikstofbinding door leguminosen en de stikstofdepositie meegerekend.

NDICEA

NDICEA is de acronym van Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture. Het model is ontwikkeld en beschreven binnen Wageningen Universiteit (Habets en Oomen, 1993) en verder ontwikkeld door het Louis Bolk Instituut (Van der Burgt et al., 2006a). Koopmans en Bokhorst (2002) hebben de bruikbaarheid van het model voor vraagstukken binnen de biologische landbouw aangetoond. Sindsdien wordt het model onder wisselende omstandigheden en met wisselende vraagstellingen ingezet (Van der Burgt et al., 2006b; Topp et al., 2006). Het is vrij beschikbaar op internet (Van der Burgt, 2008a). In een vergelijking met de prestaties van andere modellen zat NDICEA wat betreft voorspelling van stikstofniveau in de bouwvoor bij het beste derde deel (Kersebaum et al., 2007).

Aan het ontwerp van het model heeft het doel ten grondslag gelegen van bruikbaarheid in de praktijk zonder dat aanvullende metingen noodzakelijk zijn als input voor het model. NDICEA bestaat uit submodellen rond water, organische stof en gewasgroei. Het kent twee bodemlagen (bouwvoor en ondergrond) en rekent in tijdstappen van een week. Het gewasgroeimodel is 'target-oriented', wat wil zeggen dat de gewasgroei niet gemodelleerd wordt naar stikstofbeschikbaarheid maar dat de gewasgroei geïnterpoleerd wordt tussen nul (zaai) en een zelf ingesteld doel-niveau. Dit relatief eenvoudige groeimodel wordt voor alle gewassen toegepast. Een aantal parameters dat de bodemeigenschappen beschrijft kan niet of niet eenvoudig gemeten worden. Grondsoortafhankelijke default waarden zitten in het model, en deze waarden kunnen door een kalibratieproces locatiespecifiek aangepast worden. Daarbij wordt getoetst aan gemeten N-mineraal niveau's.

De berekening van de mineralenbalans op het niveau van vruchtwisseling of perceel is als volgt, voor N, P2O5 en K2O afzonderlijk:

$$\frac{\sum_1^i m * n_m - \sum_1^i p * n_p}{y}$$

m = aangevoerde mest i (ton ha⁻¹)

n_m = mineraleninhoud mest (kg ton⁻¹)

p = afgevoerd product i (ton ha⁻¹)

n_p = mineraleninhoud product (kg ton⁻¹)

y = aantal jaren van de rotatie (niveau vruchtwisseling) of van perceel (niveau perceel)

Beoordeling

Er bestaat geen eenduidige beoordelingsmethodiek.

Voor fosfaat waren er wettelijke normen voor het fosfaatoverschot per hectare. Dit wordt vervangen door een gebruiksnorm die een gewasafhankelijk maximum aan de aanvoer stelt. Dat zegt echter niets over een eventueel overschot.

Een norm zou kunnen zijn dat bij fosfaat aan- en afvoer in balans moeten zijn, met eventueel nuancering voor fosfaatfixerende grond, voor opbouw bodemvruchtbaarheid met extra organische stof toevoer en voor een nader te kwantificeren 'onvermijdbaar verlies'.

5.2 Stikstof zelfvoorziening

Methode

Biologische landbouw is in principe in staat de benodigde stikstof zelf te binden met behulp van leguminosen (Badgley et al., 2007). Dat kan aangevuld worden met stikstof uit retourstromen vanuit de maatschappij. De mate waarin een bedrijf zelf voor zijn stikstof zorgt kan gebruikt worden als graadmeter voor één aspect van kwaliteit van de biologische bedrijfsvoering (Van der Burgt en Bokhorst, 1997).

De stikstofbinding op het eigen bedrijf kan berekend met behulp van de modellering van de vruchtwisseling in NDICEA. Voor uitwisseling van grasklaver (afvoer) en mest (aanvoer) kan een eenvoudige correctiefactor worden toegepast op de mestaanvoer (van der Burgt, 2002).

De stikstof zelfvoorziening wordt als volgt berekend:

$$\frac{\sum_1^i n_f}{\sum_1^i n_f + \sum_1^i m * n_m} * 100\%$$

waarbij

- n_f = stikstoffixatie van gewas i
- m = aangevoerde (gecorrigeerde) hoeveelheid van mest i (ton ha⁻¹)
- n_m = stikstofinhoud mest (kg ton⁻¹)

Beoordeling

Er bestaat geen absolute maatstaf. Een veehouderij zou meer dan 100% zelfvoorzienend kunnen zijn indien geen stikstof wordt aangekocht (voer, stro) en wel mest wordt verkocht (NB bovenstaande formule is niet voor dierlijke productiesystemen). Akkerbouwers en tuinders kunnen een biologische bedrijfsvoering hebben met 0 % zelfvoorziening. Het streven is er op gericht een deel van de op het bedrijf benodigde stikstof op het bedrijf zelf te binden. Een vergelijking van bedrijven onderling op de mate van stikstof zelfvoorziening kan wel uitgevoerd worden.

5.3 Mineralen efficiëntie.

Methode

Nauw gerelateerd aan de mineralenbalans maar daar niet mee samenvallend is de beoordeling op mineralenbenutting of efficiëntie. Mineralenbalans en efficiëntie vallen als criterium samen indien mutaties in

bodemvoorraad of bedrijfsvoorraad nihil zijn. In een begrensde tijdvak kunnen er echter verschillen optreden doordat er sprake is van voorraadvorming in de grond (wel aangevoerd, niet opgenomen maar niet verloren) of uitmijnen van de grond (niet aangevoerd, wel opgenomen en afgevoerd), of op bedrijfsniveau door veranderingen in aanwezige voorraad mest.

Voor fosfaat leidt een overschot op de balans op korte termijn tot voorraadvorming in de bodem en op langere termijn tot uitspoeling. Voor kalium treedt uitspoeling sneller op, met name op lichtere gronden en gronden met een laag organische stof gehalte. De voorraadpost 'bodem organische stof' bevat wel fosfaat maar weinig kalium. Er zijn geen eenvoudige rekenmethodes beschikbaar om voor fosfaat en kalium rekening te houden met mutaties in bodemvoorraad. Theoretisch kan het wel gemeten worden (P-totaal, K-totaal) maar dat levert alleen over langere tijdvakken een meetbaar verschil op. Derhalve wordt voor fosfaat en kalium vaak volstaan met een balansberekening.

Voor stikstof kan met het model NDICEA wel een inschatting worden gemaakt van mutaties in bodemvoorraad. Dit leidt voor stikstof tot een verschil in uitkomst tussen de balans en de benutting. De stikstofbenutting in enge zin beschouwt alleen de met mest aangevoerde stikstof ten opzichte van de in product afgevoerde stikstof. Dat is feitelijk een balans benadering. Dit leidt voor sommige biologische bedrijven tot een benutting hoger dan 100% omdat een deel van de stikstof op het bedrijf zelf gebonden wordt en niet in de berekening van aanvoer terecht komt. Meer inzicht biedt een berekening van de benutting die stikstofbinding als aanvoerpost meerekent. De stikstofdepositie wordt niet in de berekening betrokken. Stikstofdepositie speelt wel een rol in de stikstofhuishouding maar valt buiten de invloedssfeer van de teler en daar kan dus ook niet op afgerekend worden. De berekening van de stikstofbenutting, rekening houdend met zowel stikstofbinding als voorraadmutatie, is als volgt:

$$\frac{\sum_1^i p * n_p}{\sum_1^i m * n_m + \sum_1^i n_f - \Delta n_b} * 100\%$$

Waarbij

- p = afgevoerd product i (ton ha^{-1})
- n_p = stikstofinhoud product (kg ton^{-1})
- m = aangevoerde hoeveelheid van mest i (ton ha^{-1})
- n_m = stikstofinhoud mest (N, kg ton^{-1})
- n_f = stikstoffixatie van gewas i (N, kg ha^{-1})
- Δn_b = mutatie in bodemvoorraad stikstof (N, kg ha^{-1})

Beoordeling

Theoretisch is een stikstofbenutting van 100% mogelijk; in praktijk is dat echter niet het geval. In principe geldt: hoe hoger de benutting, hoe beter. In de bedrijfsvoering spelen uiteraard veel meer factoren een rol dan maximalisering van de mineralenbenutting. Ook hier is dus geen sprake van een absolute of objectieve streefwaarde of drempel. Vergelijking tussen bedrijven is wel mogelijk.

5.4 Organische stof balans

Methode

Een van de criteria voor een duurzaam bodemgebruik is - uitzonderingen daargelaten - het instandhouden van het organische stof gehalte van de bodem. Een grove benadering hiervan biedt een berekening op basis van tabellen met effectieve organische stof (Koopmans en van der Burgt, 2001).

Binnen NDICEA wordt op basis van de ingevoerde perceel- en teeltgegevens een organische stof balans opgesteld: verschil in bodem organische stof tussen aanvang en einde van een volledige rotatie, in kg ha⁻¹. Deze berekening is anders dan de vuistregels voor een organische stofbalans. Een correctie voor grondsoort is geautomatiseerd, en de berekening van de afbraak gebeurt niet met forfaitaire waarden (effectieve organische stof) maar met afbraaklogaritmen (Janssen, 1984; Van der Burgt et al., 2006a). De uitkomst ervan kan op zich direct gebruikt worden ter vergelijking van bedrijven, al moet net als bij de berekening met effectieve organische stof een onzekerheidsmarge gehanteerd worden. Het verdient verder aanbeveling de lokale omstandigheden bij de oordeelsvorming te betrekken.

Beoordeling

Met uitzondering van specifieke omstandigheden zou de organische stof balans daadwerkelijk ten minste in evenwicht moeten zijn. Uitzonderingen kunnen zijn veengronden en recent in cultuur gebrachte gronden met een door de ontstaansgeschiedenis veroorzaakt hoog initieel organische stof gehalte (bijvoorbeeld percelen in Flevoland).

5.5 Toetsing van de berekeningen

Methode

De berekeningen in voorgaande tekst rusten zwaar op inzet van het model NDICEA. De modelbenadering met NDICEA op het niveau van de volledige rotatie wint aan kracht indien de modellering getoetst wordt op perceelniveau. Binnen NDICEA is de mogelijkheid te toetsen op het verschil tussen gemeten en berekend niveau N-mineraal in de bouwvoor en de ondergrond. Tevens kan getoetst worden op de hoeveelheid bodem organische stof, maar dat heeft alleen zin indien over een langere periode metingen aanwezig zijn (> 5 jaar) en indien de metingen nauwkeurig zijn uitgevoerd (Meting van C-totaal is dan te verkiezen boven gloeiverlies).

De toetsing vindt plaats met behulp van de Root Mean Squared Error (Wallach en Goffinet, 1989).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (sim - obs)^2}{n}}$$

Waarbij

n = aantal metingen N-mineraal

sim = gesimuleerde waarde N-mineraal op moment van meting i

obs = gemeten waarde N-mineraal van meting i

Beoordeling

Een absolute beoordeling is eenvoudig: hoe dichterbij nul de uitkomst, hoe beter het model de gemeten waarden beschreven heeft. Voor toepassing in de praktijk lijkt een waarde van 20 kg N ha⁻¹ als bovengrens aannemelijk. Dit komt voort uit ervaringen in het veld en gesprekken met telers gedurende de ontwikkeling van het model. Eenvoudig gezegd: als de fout tussen berekende en gemeten waarde gemiddeld groter is dan 20 kg N ha⁻¹ is de modellering voor de praktijk niet meer geloofwaardig.

6 Conclusies

Er is veel gepubliceerd over bemestingsstrategieën in de biologische landbouw, zowel internationaal als voor de Nederlandse situatie. Overduidelijk is dat in de biologische landbouw, sterker dan in de reguliere landbouw, de bemesting naast de korte termijn gewascomponent heel nadrukkelijk een lange termijn vruchtwisseling- en bodemcomponent heeft.

Dat heeft verschillende consequenties:

- Optimalisatie van bemesting en mineralenstromen zal niet plaatsvinden op gewasniveau maar op rotatieniveau
- Lokale (bodem)omstandigheden werken sterk door in de te ontwikkelen bemestingsstrategie
- De (recente) historie van het perceel speelt sterk door in de actuele bemesting
- Instrumenten voor managementondersteuning en voor beoordeling moeten zich richten op rotatieniveau.
-

Doordat de bemesting diverse dimensies omvat volstaan de traditionele bemestingsadviezen niet meer. De tendens om de perceelhistorie bij het actuele bemestingsadvies te betrekken is al gaande (steeds verdergaande en uitgesplitste tabellen voor nawerking van stikstof uit voorgeschiedenis) en zal zich verder voortzetten, waarbij modellen zoals NDICEA een grotere rol gaan spelen. Begrippen zoals 'gewasbehoefte' als het gaat om stikstofbemesting en 'effectieve organische stof' als het gaat om de bodem organische stof dynamiek zullen aangepast of vervangen worden omdat ze te statisch zijn.

Vanwege de toegenomen complexiteit van het bemestingsvraagstuk en vanwege de meer situationele toepassing van algemene kennis liggen er nog diverse vraagstukken open. Dat zijn dan vragen die de ruim aanwezige bestaande kennis gebruiken als basis voor een verfijning: gewasbemesting als een multidimensioneel, locatiespecifiek en dynamisch vraagstuk.

Uit de combinatie van de literatuurstudie (hoofdstuk 1, 2 en 3) en de vier verkende bedrijfsstrategieën (hoofdstuk 4) komt een aantal nader te onderzoeken vraagstukken te voorschijn waarvan we de belangrijkste hier noemen:

- Hoe kan de op het bedrijf gefixeerde stikstof uit grasklaver / luzerne optimaal ingezet worden binnen de rotatie, anders dan uitsluitend voor het vervolggewas op het zelfde perceel? Concepten als vrijheidsgraad van stikstof (van der Burgt, 2008b) en veldexperimenten zoals beschreven door Mölller (2008), Zanen (2008) en Cuijpers (2008) geven richting aan deze vraag.
- Hoe kan door gerichte bevordering van de bodemstructuur de mineralenefficiëntie verhoogd worden? Hier gaat het om het concept 'bereikbaarheid' (Koopmans en van der Burgt, 2001). Hieraan kan gewerkt worden door verzorging van organische stof en bodemleven en door bodemsparende grondbewerking (Zanen 2008).
- De stikstofoverdracht van een leguminoze voorvrucht aan de volgteelt zou bevorderd kunnen worden (van Eekeren et al., 2007) door aandacht te schenken aan timing (hoe lang te voren scheuren?) en techniek (ploegen, frezen, stroken frezen).
- De stikstofbehoefte van bijvoorbeeld graangewassen kan voor een deel gedekt worden door gelijktijdige groei van een legumineus (Prins, 2007), en de voorvruchtwaarde van deze mengteelt zal uit stikstofhoogpunt hoger zijn dan van puur graanteelt.

- 'Nieuwe' mestsoorten zoals digestaat uit een co-vergistingsinstallatie kunnen wellicht een rol vervullen in de biologische bemesting van de toekomst. De toepassingsmogelijkheden en de (stikstof)werking ervan zijn nog onvoldoende bekend (Möller, 2008; Cuijpers, 2008).
- Met behulp van bestaande technologische middelen zouden nieuwe, voor de biologische landbouw acceptabele mestsoorten ontwikkeld kunnen worden met een hoge N/P verhouding en een bekende en dus stuurbare stikstofwerking, als aanvulling op de stikstoflevering uit de basis bodemvruchtbaarheid.

Verder onderzoek aan deze vraagstukken dient uit de aard der zaak plaats te vinden in de context van concrete bedrijfsvoeringen. Dat zal dan ook plaatsvinden in het vervolg van het project Minder en Anders Bemesten. Er zijn voldoende berekeningsmethoden aanwezig om diverse aspecten van de bemestingsstrategie te kunnen meten en beoordelen. Vereniging van deze methoden in het computerprogramma NDICEA stikstofplanner maakt dit tot een geschikt instrument om op bedrijfsniveau in te zetten.

Literatuur

Anonymus, (1991): **Nitrates directive** (91/676/EEC). EU.

Anonymus (1992): **Verordening (EEG) Nr. 2092/91 voor de biologische productiemethoden**. www.skal

Anonymus (2002): **Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen**. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Anonymus (2008): **Skal normen**. www.skal.nl

Badgley C., Moghtader J., Quintero E., Zakem E., Chappell M.J., Avilés-Vásquez K., Samulon A. and Perfecto I. (2007): **Organic agriculture and the global food supply**. Renewable Agriculture and Food Systems: 22 (2): 86-108

Bloem J. (1999): **Indicator: microorganismen**. Landelijk meetnet bodemkwaliteit 1999. Alterra rapport.

Bloem J. en Breure A.M. (2003): **Microbial indicators**. In: Breure A.M., Markert B.A. en Zechmeister H.G. Bioindicators – Principles, assesment, concepts. Elsevier, Amsterdam, p 259-282.

Bokhorst J. en Berg C. ter (2001): **Handboek mest en compost**. Louis Bolk Instituut, 292 p.

Bokhorst J. en Koopmans C. (2001): **Bemesting en bodemgebruik in de biologische landbouw**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 80 p.

Bokhorst J. en Heers E (red) (2006): **Bodem in zicht. Beoordelen en verbeteren van de bodemkwaliteit**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 68 p

Bokhorst J., Berg C ter, Zanen M. en Koopmans C. (2008): **Mest, compost en bodemvruchtbaarheid: 8 jaar proefveld Mest als Kans**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 24 p

Bos J.F.F.P. (red) (2005): **Intersectorale samenwerking in de biologische landbouw: Bouwstenen voor een zelfvoorzienende biologische landbouw**. Rapport Wageningen UR / Louis Bolk Instituut, Wageningen / Driebergen, 54 p

Brock C. en Leithold G. (2007): **Humusbilanzmethoden als Prognose- und Bewertungsinstrumente im ökologischem Landbau – allgemeiner und spezieller Anpassungsbedarf**. In: Proceedings 9. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, 20-23 März 2007.

Burgt, G.J.H.M. van der en Bokhorst J. (1997): **Discussiestuk beoordeling biologische bedrijfssystemen**. Intern rapport project Geïntegreerde en biologische productiesystemen, Louis Bolk instituut, Driebergen, 34 p.

Burgt, G.J. van der (2002): **Stikstofdynamiek OBS; niet rechtstreeks stuurbaar, toch efficiënt**. In: Wijnands F.G. en Dekking A.J.G. (red): Biologische akkerbouw – Centrale zeelei. PPO bedrijfssystemen 2002-1, Lelystad, 35-38.

- Burgt, G.J.H.M. van der, Oomen G.J.M., Habets A.S.J. and Rossing W.A.H. (2006a). **The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems**. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 275-294
- Burgt, G.J.H.M van der, Oomen G.J.M. and Rossing W.A.H. (2006b). **The NDICEA model as a learning tool: field experiences 2005**. In: proceedings European Joint Organic Congress, May 2006, Odense, Denmark.
- Burgt, G.J.H.M. van der en Eekeren, N. van (2006): **Fosfaatbemesting van grasklaver**. Bioveemrapport 17, WUR-ASG, Lelystad, 17 p.
- Burgt, G.J.H.M. (2008a). **NDICEA 5.4.4** . www.ndicea.nl
- Burgt, G.J.H.M. (2008b). **Nitrogen's degrees of freedom** . In: Soil Nitrogen: research and extension. Proceedings QLIF Seminar, 13-15 February 2008, Driebergen, the Netherlands, p 7-8.
- Christiansen J.S.; Thorup-Kristensen K. and Kristensen H.L. (2006): **Root development of beetroot, sweet corn and celeriac, and soil N content after incorporation of green manure** . Journal of Horticultural Science & Biotechnology 81(5): p 831-838.
- Cormack W.F. (1999): **Testing a stockless arable organic rotation on a fertile soil**. In: Olesen J.E., Eitun R., Gooding M.J., Steen Jensen E. and Köpke U. (Eds.): Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings international workshop. Danish Research Centre for Organic arming, p. 115-123.
- Cuijpers W. en Hospers-Brands M. (2008): **Hulpmeststoffen. Beschikbaarheid en opname van stikstof in de biologische teelt van zomertarwe**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 33 p.
- Dekking A. (2002): **Biologisch bedrijfssystemenonderzoek op het OBS**. In: Wijnands F.G. en Dekking A.J.G (Red): Biologische akkerbouw – centrale zeelei. Rapport PPO 306-1, p 8-11.
- Dijk W. van (2003): **Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen**. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Wageningen UR, 98 p.
- Eekeren N., Heeres E. en Smeding F. (2003): **Leven onder de graszode**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 149 p
- Eekeren N. van, Heeres E., Iepema G. en Meer H. van der (2005). **Kalibemesting van grasklaver op biologische melkveebedrijven**. Bioveem rapport 9, WUR-ASG, Lelystad, 26 p.
- Eekeren N., Prins U. en Oomen G.H.M. (2007): **Direct zaaien van mais in een partnergewas. Zoektocht naar een duurzame teelt**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 30 p.
- Habets A.S.J. en Oomen G.J.M. (1993): **Modellering van de stikstofdynamiek binnen gewasrotaties in de biologische landbouw**. Wageningen Universiteit, 50 p
- Hatch D.J., Chadwick D.R., Jarvis S.C. and Roker J.A. (2004) : **Controlling nitrogen flows and losses**. Wageningen Academic Publishers, 624 p.
- Heinen M. (2006): **Simplified denitrification models: Overview and properties**. Geoderma 133: 444-463

Huxham S. K., Sparkes D. L. and Wilson P. (2002): **Organic conversion strategies for stockless farming systems**. In: Powell J. et al., Eds. Proceedings of the UK Organic Research 2002 Conference, Organic Centre Wales, Institute of Rural Studies, University of Wales Aberystwyth, p. 51-52.

IFOAM 2004. **Principles of Organic Agriculture**. www.ifoam.org

Janssen, B.H. (1984): **A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter**. Plant Soil 76: 297-304

Kersebaum K.Ch., Hecker J.-M., Mirschel W. and Wegehenkel M. (2007). **Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems: a comparison of simulation models applied on common data sets**. In: Kersebaum K.Ch., Hecker J.-M., Mirschel W. and Wegehenkel M. (Editors). Modelling water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems. Springer, 272 p

Koopmans C. J. en Burgt G.J. van der (2001): **Mineralenbenutting in de biologische landbouw**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 118 p

Koopmans C.J. and Bokhorst J. (2002). **Nitrogen mineralization in organic farming systems: a test of the NDICEA model**. Agronomie 22: 855-862

Koopmans C.J., Smeding F.W., Rutgers M., Bloem J. en Eekeren N. van (2006): **Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw**. Louis Bolk Instituut, 69 p.

Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P. and Niggli U. (2002): **Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming**. Science 296, 1694-1697.

Möller K. (2008): **Rotation experiment with biogas digestion of slurry, cover crops and crop residues; effects on nitrogen dynamics**. In: Soil Nitrogen: research and extension. Proceedings QLIF Seminar, 13-15 February 2008, Driebergen, the Netherlands, p 25-27.

Prins U. (red)(2005): **Intersectorale samenwerking in de biologische landbouw: Verzelfstandiging van de biologische landbouw op het gebied van mest, voer en stro**. Rapport Wageningen UR / Louis Bolk Instituut, Wageningen / Driebergen, 64 p.

Prins, U. (2007): **Peulvruchten en krachtvoer. Krachtvoereiwit voor melkkoeien, melkgeiten, kippen en varkens**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 75 p.

Reijs J. (2007): **Improving slurry by diet adjustments : a novelty to reduce N losses from grassland based dairy farms**. PhD thesis, Wageningen University.

Ruijter P.C. de, Bloem J., Bouwman L.A., Didden W.A.M., Hoenderboom G.H.J., Lebbink G., Marinissen J.C.Y., Vos J.A. de, Vreeken-Buijs M.J., Zwart K.B. en Brussaard L. (1994): **Simulation of dynamics in nitrogen mineralization in the below-ground foodwebs of two arable farming systems**. Agriculture Ecosystems and Environment, 51: 199-208

Rutgers M., Mulder C., Schouten A.J., Bloem J., Bogte J.J., Breure A.M., Brussaard L., Goede R.G.M. de, Faber J.H., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H., Korhals G.W., Smeding F.W., Berg C. ter, Eekeren N van (2007): **Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referentieis voor biologische bodemkwaliteit**. RIVM, Bilthoven, 96 p.

Schouten A.J., Rutgers M. en Breure A.M. (2002): **Bobi op weg. Tussentijdse evaluatie van het project Bodembioologische Indicator**. RIVM, Bilthoven, 46 p.

Shepherd T.G. (2000): **Visual Soil assessment. Volume 1: Field guide**. Landcare Research, Palmerston North, New Zealand, 84 p.

Shi-ming M.A. and Sauerborn J. (2006): **Review of History and Recent Development of Organic Farming Worldwide**. In: Agricultural Sciences in China Volume 5, Issue 3, March 2006, p 169-178

Smeding F., Eekeren N. van en Schouten A.J. (2005): **Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven. Methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur**. Bioveem intern rapport 14, Wageningen UR / Louis Bolk Instituut, Wageningen / Driebergen, 36 p

Starmans D.A.J. en Hoek K.W. van der (2007): **Ammonia. The case of The Netherlands**. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 201 p

Topp C.F.E., Watson C.A., Burgt G.J.H.M. van der, Oomen G.J.M and Rossing W.A.H. (2006). **Predicting soil nitrogen dynamics for an organic rotation using NDICEA**. In: Aspects of Applied Biology 80, 217-223.

Vereijken P. en Kropff M.J. (1992): **Prototypering van ecologische bedrijfs- en teeltsystemen met een nieuwe balans tussen theoretisch en praktisch onderzoek**. AB-DLO Thema 3.

Vereijken P., Visser R.P. en Kloen H. (1998): **Innovatie van de EKO akkerbouw en groenteteelt met 10 voorhoedebedrijven (1991-1997)**. Wageningen, AB-DLO, rapport 88, 120 p

Voit H., Guggenberger E. en Willi J. (red.) (1980): **Biologische Land- und Gartenbau**. Verlag ORAC, Wenen, 368 p

Wallach D. and Goffinet B. (1989): **Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models**. Ecol. Modell. 44: 209-306.

Welsh J.P. and Philipps L. (2002): The long-term agronomic performance of organic stockless rotations. In: Powell J. et al., Eds. Proceedings of the UK Organic Research 2002 Conference, Organic Centre Wales, Institute of Rural Studies, University of Wales Aberystwyth, p. 47-50.

Wijnands F.G. (2000): **Vruchtwisseling basis voor kwaliteitsproductie op biologisch bedrijf**.
www.kennisakker.nl

Wit J. de en Prins U. (2002) : **Wordt biologische mest goud waard ?** Ekoland 9, p. 24-25.

Wit J. de, Eekeren N. van, en Burgt, G.J.H.M. van der (2006): **Optimalisatie van stikstofbenutting na het scheuren van grasklaver**. Bioveem rapport 15, WUR-ASG, Lelystad, 29 p.

Yang H.S. (1996): **Modelling Organic Matter Mineralisation and Exploring Options for Organic Matter Management in Arable Farming in Northern China**. Proefschrift, Wageningen UR, 159 p.

Zanen M., Koopmans C, Postma R. en Loon T. van (2003): **Optimalisering van de stikstofvoorziening in de biologische groenteteelt**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 59 p.

Zanen M. (2008 – in voorbereiding) : **Bijzondere bemesting. Kansrijke strategieën voor duurzame bodemkwaliteit**. Eindrapport project Bijzondere bemesting. Louis Bolk Instituut, Driebergen

