
Perspectieven geleide bemesting in de open teelten: van deskstudie naar onderzoek

Kees Lokhorst (IMAG)
Peter Dekker (PPO-agv)
Kees Grashoff (PRI)
Theo Guiking (PPO-bomen)
Susan van 't Riet (PPO-bollen)

Perspectieven geleide bemesting in de open teelten: van deskstudie naar onderzoek

Opdracht is uitgevoerd voor Ministerie van LNV (programma 398-I)

Kees Lokhorst (IMAG)
Peter Dekker (PPO-agv)
Kees Grashoff (PRI)
Theo Guiking (PPO-bomen)
Susan van 't Riet (PPO-bollen)

Juni 2003

Nota 2003-51

© 2003

Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG)
Mansholtlaan 10-12, Postbus 43, 6700 AA Wageningen
Telefoon 0317 – 476300
Telefax 0317 – 425670
www.imag.wageningen-ur.nl

Interne mededeling IMAG. Niets uit deze nota mag elders worden vermeld, of vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IMAG of de opdrachtgever.
Bronvermelding zonder de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van de volledige vermelding van: auteursnaam, instituut en notanummer en de toevoeging: 'niet gepubliceerd'.
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of IMAG.

Inhoud

Inhoud	5
1. Inleiding	7
2. Het principe van geleide bemesting	9
2.1 Waarom is geleide bemesting belangrijk?	9
2.2 De stikstofbalans: de verhouding tussen N-opname en N-aanbod	11
2.3 Afstemming van N-opname, N-behoefte en N-aanbod bij diverse gewassen	12
2.4 N-opname van het gewas in de tijd	14
2.5 Systemen voor geleide bemesting	14
2.5.1 Geleide bemesting in de ruimte	15
2.5.2 Geleide bemesting in de tijd	15
2.5.3 Bemesting op basis van actuele gemeten data of voorspellende gegevens	15
2.5.4 Aard van de meststof als onderdeel van een systeem met geleide bemesting	16
3. Geleide bemestingssystemen	18
3.1 Algemeen	18
3.2 Geleide bemesting in de tijd	18
3.2.1 Perceelsgericht advies voor de hoogte van de basisbemesting	18
3.2.2 Stikstofbijmeststelsysteem: NBS-bodem	19
3.2.3 Bijbemesting op basis van stikstofvensters	21
3.2.4 Bijbemesting op basis van nitraatanalyse van bladsteeltjes: NBS-gewas	21
3.2.5 Bijbemesting op basis van meting van bladkleur of gewasreflectie	22
3.3 Geleide bemesting in ruimte	23
3.3.1 Rijenbemesting	23
3.3.2 Beddenbemesting	24
3.3.3 Precisiebemesting	25
3.3.4 Bladbemesting	26
3.3.5 Plantgat- of plantplaatsbemesting	26
3.3.6 Fertigatie	26
3.4 Aangepaste mestsoorten	28
3.4.1 Slow release meststoffen	28
3.4.2 Nitrificatieremmer (Entec)	29
3.4.3 Cultan methode	31
3.4.4 Mengteelt met vlinderbloemigen	32
3.5 Bemestingsbegeleidingssystemen	33
4. Perspectieven geleide bemesting	34
4.1 Integraal geleide bemesting systeem	34
4.2 Bewijsvoering geleide bemestingssystemen	34
4.3 Consequenties	35
4.3.1 Gewas	35
4.3.2 Meetmethoden als basis voor geleide bemesting	36
4.4 Belemmeringen	37
5. Acceptatie en toepasbaarheid in de praktijk	38
6. Aanbevelingen voor onderzoek	40
Geraadpleegde literatuur	42

1. Inleiding

Om nutriëntenemissies (met name stikstof en fosfaat) uit de Nederlandse landbouw terug te dringen is op zowel nationaal (MINAS) als internationaal niveau (EU-Nitraatrichtlijn) regelgeving ontwikkeld en geïmplementeerd. Inzicht in effecten en neveneffecten van maatregelen is van belang voor verdere beleidsontwikkeling, -implementatie en -evaluatie. Om ondernemers in staat te stellen op kosteneffectieve wijze aan de regelgeving te voldoen dienen managementmaatregelen en -instrumenten te worden beoordeeld, ontwikkeld en geoptimaliseerd. Met het oog op de middellange termijn moeten deze maatregelen en instrumenten ook verdergaande regelgeving mogelijk kunnen maken. Dit is het kader waarin Wageningen Universiteit en Researchcentrum in opdracht van het ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Visserij het onderzoekprogramma 'Maatregelen beperking nutriëntenverliezen' (LNV onderzoekprogramma 398) uitvoert.

Het onderzoekprogramma 398 geeft invulling aan de aanbevelingen van de commissie Spiertz II ("Advisering Prioritering Onderzoek en Monitoring Fosfaat en Stikstof, november 2000), en aan het thema 1 van de DWK-notitie "Maatschappelijk verantwoord ondernemen en bevordering duurzame productie" (Breimer, d.d. 12-01-2001). Het programma beoogt kennisproducten op te leveren die landbouwbedrijven in staat stellen om te voldoen aan MINAS-normen en tevens handreikingen te bieden om verdergaande normering op bedrijfsniveau mogelijk te maken. Het programma kwantificeert t.b.v. inzicht voor beleid ook de milieuresultaten die met maatregelen en verdergaande maatregelen kunnen worden gerealiseerd, en de economische effecten daarvan. Daarnaast ontwikkelt het programma ook in meer algemene zin kennis en technologie waarmee nutriëntenbenutting verbeterd kan worden. Producten hebben o.a. betrekking op geleide bemesting, organische bemesting en bodemkwaliteit, vermindering van beweidingverliezen, gewasveredeling en innovatieve ideeën uit de praktijk om nutriëntenverliezen terug te dringen.

Er is de laatste jaren veel onderzoek op proefbedrijven en praktijkbedrijven verricht om efficiënter met stikstof en fosfaat om te gaan en de verliezen te beperken. Voorbeelden zijn 'De Marke', 'Praktijkcijfers I', 'MDM', 'Mineralen op scherp', 'BIOVEEM', 'BIOM', 'PPO-bedrijfssystemenonderzoek', 'Koeien & Kansen', 'Praktijkcijfers II' en 'Telen met Toekomst'. Deze projecten vormen een stevige basis voor ontwikkeling en toetsing van nieuwe managementopties die de ondernemer ten dienste staan ter vermindering van mineralenverliezen. Het deelprogramma 398-I 'Ontwikkeling van maatregelen om mineralenverliezen te beperken' richt zich op de beleidsvraag 'ontwikkel en toets maatregelen op bedrijfsniveau en perceelsniveau om mineralenverliezen uit de landbouw naar het milieu te verminderen'. Binnen het onderzoekprogramma zijn de volgende samenhangende thema's onderscheiden:

- Ontwikkelen en toepasbaar maken van systemen voor geleide bemesting (Thema 1)
- Vermindering van mineralenverliezen bij beweiding (Thema 2)
- Organische bemesting, bodemkwaliteit en mineralenverliezen (Thema 3)
- Sturing en optimalisatie van gras-klavermengsels (Thema 4)
- Ontwikkelen van geïntegreerde maatregelenpakketten (Thema 5)
- Innovaties uit Praktijklab Nederland (Thema 6)
- Verbetering van de nutriëntenbenutting via veredeling (Thema 7)

Binnen het thema 1 (ontwikkelen en toepasbaar maken van systemen voor geleide bemesting) is het de bedoeling om het instrumentenkader voor de ondernemers verder uit te breiden. Veel wordt verwacht van bemestingsstrategieën die inspelen op de specifieke gewasbehoefte door het in tijd en plaats geleid toedienen van specifieke meststoffen. Dit wordt geleide bemesting genoemd. Het doel van geleide bemesting is om de hoeveelheid benodigde nutriënten te verminderen door de efficiëntie van nutriënten te verhogen en zo het verlies naar het milieu te reduceren.

De deskstudie die in dit rapport verslagen wordt, richt zich op het in kaart brengen van de huidige stand van zaken met betrekking tot geleide bemesting. De deskstudie geeft tevens richting aan vervolgonderzoek op het gebied van geleide bemesting.

Vanuit de opdracht richt de deskstudie zich in hoofdzaak op de toediening van 'synthetische' meststoffen. Binnen het concept van geleide bemesting kan echter ook gewerkt worden met organische meststoffen. Waar dit relevant is, wordt dit opgenomen in de deskstudie. Verder heeft de deskstudie zich voornamelijk gericht op toepassing bij 'eenjarige' teelten in het open veld.

Het principe van geleide bemesting wordt in hoofdstuk 2 nader uitgewerkt. Na lezing van hoofdstuk 2 heeft u een beeld van het principe, waarom het interessant is om geleide bemesting toe te passen, en wat er bij komt kijken om het te realiseren. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens vrij uitgebreid ingegaan op de huidige systemen van geleide bemesting. Waar mogelijk wordt per systeem ingegaan op:

- (a) korte beschrijving van het systeem voor teelt en bedrijfsniveau
- (b) bewijsvoering van bereikte effecten op 1) vermindering nutriënten 2) opbrengst gewas, en 3) kwaliteit gewas, bij welke gewassen al toegepast (nationaal-internationaal), en stadium van ontwikkeling waarin het zich bevindt (idee, in onderzoek, in praktijktoetsing, in praktijk) en hoe het toegepast wordt
- (c) voor- en nadelen en/of verwachte consequenties in technische, economische en organisatorische zin (vooral beschrijvend, bijv welke organisaties er bij betrokken zijn, of er extra werkgangen noodzakelijk zijn, of er een sterke afhankelijkheid is met de weer- en bodemomstandigheden, of er extra energie voor nodig is, of het voor een beperkt aantal mestsoorten geschikt is, etc).
- (d) belangrijkste barrières die ervoor kunnen zorgen dat het niet opgepakt wordt door de betrokken actoren: Welke investeringen in machines, sensoren, tijd, etc. moeten door wie gedaan worden om het in de praktijk op een perceel toe te kunnen passen, hoe vaak kan of moet bijbemest worden, en wat zijn de mogelijkheden om ervoor te zorgen dat het wel een succesverhaal wordt.

De resultaten van hoofdstuk 3 worden gebruikt om in hoofdstuk 4 in te gaan op de potentiële toepassingen, en in hoofdstuk 5 op de verwachte acceptatie en toepasbaarheid in de praktijk. Afgesloten wordt met een hoofdstuk over de gewenste vervolgstappen. Dit zal het kader vormen voor de 'onderzoeksagenda' in het vervolg van het onderzoekprogramma op het gebied van geleide bemesting.

2. Het principe van geleide bemesting

2.1 Waarom is geleide bemesting belangrijk?

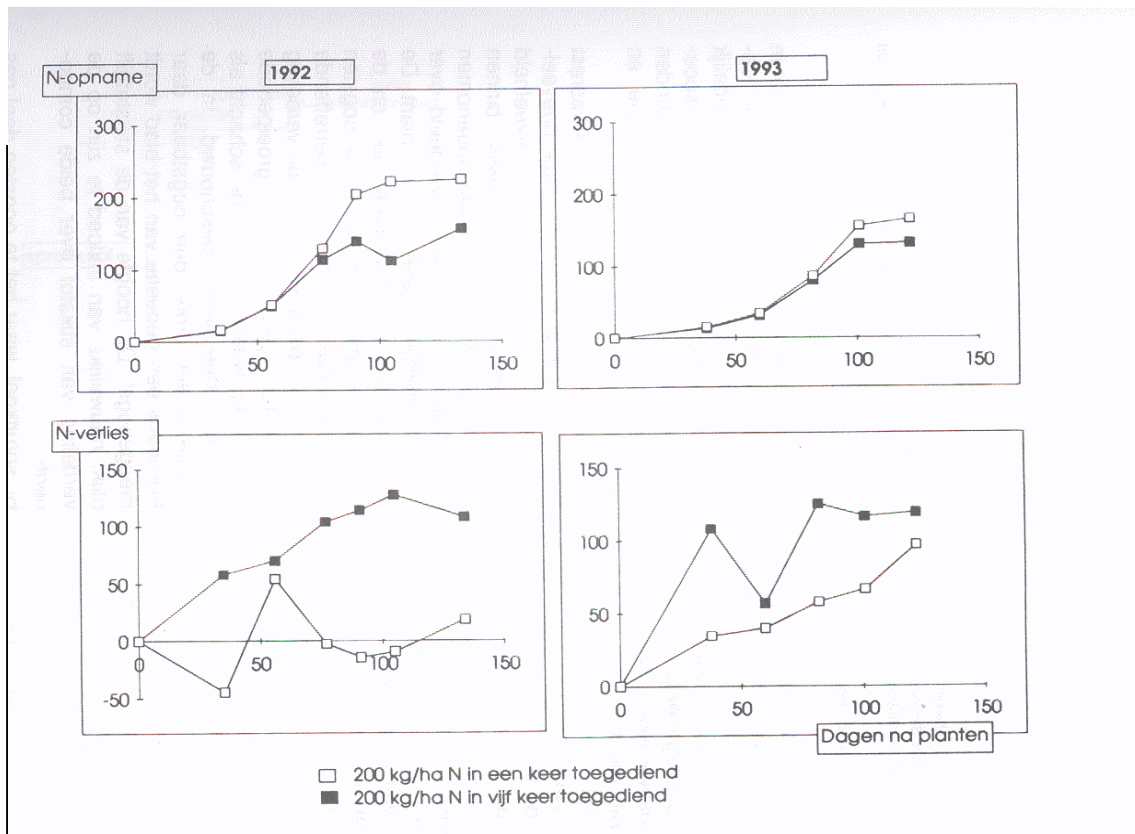
Gedurende de afgelopen decennia is de productiviteit in de land- en tuinbouw zeer sterk gestegen. In de jaren tachtig werd het de samenleving steeds meer duidelijk dat er van de moderne land- en tuinbouw negatieve effecten uitgaan op het milieu. In de jaren negentig kreeg tevens de zorg om instandhouding van natuur- en landschapswaarden toenemende aandacht. De opgave waarvoor we staan is het vinden van een maatschappelijk optimale afstemming van belangen van land- en tuinbouw, natuur en milieu. In dat kader is het te verwachten dat er aanpassingen in de land- en tuinbouw nodig zijn. Emissie van nutriënten, voornamelijk stikstof in de vorm van nitraat, vraagt in dit verband grote aandacht (Vos, 1994). De aanwending van stikstof in de teelt is vooral een belangrijk maatschappelijk aandachtspunt vanwege de belasting van het grondwater (Schroder et al., 2000).

Stikstof (N) is een essentieel onderdeel van een gewas in celwanden, aminozuren en enzymen. In vergelijking met andere nutriënten reageren vrijwel alle gewassen dan ook sterk op stikstofbemesting, zowel in opbrengst als in kwaliteit (Smit, 1994). Bij stikstoftekort wordt de fotosynthese, en daarmee de productie, van het gewas direct negatief beïnvloed. Andere invloeden van stikstof, bijvoorbeeld op de snelheid van bladontwikkeling, de oppervlakte die de bladeren krijgen, en de snelheid van het in bloei komen, maken stikstof tot een van de belangrijkste nutriënten.

In het verleden werd de hoogte van de N-gift voornamelijk bepaald op grond van economische motieven (financiële opbrengst per hectare). De relatief lage prijs van stikstofmeststoffen maakte dat zelfs supra-optimale N-giften gerechtvaardigd waren gezien het risico van opbrengst- en kwaliteitsverlies bij een te lage gift. De schadelijke gevolgen van te hoge giften werden echter langzamerhand duidelijk: via uitspoeling van de niet-benutte N trad N-verrijking van het oppervlaktewater en de Noordzee op en stegen op veel plaatsen nitraatgehalten in het drinkwater boven de norm van 50 mg per liter. Daarom formuleerde in 1990 de commissie stikstof concrete doelstellingen om de N-belasting van grond- en oppervlaktewater terug te dringen. Het MINAS-systeem en de nitraatrichtlijn van de EU zijn de actuele ontwikkelingen, waarmee de telers geconfronteerd worden.

Telers hebben daarom steeds meer behoefte aan een instrumentarium dat hen in staat stelt om de N-bemesting te sturen en te controleren. Het doel is om overmatige N-bemesting te voorkomen, en toch voldoende rendement te halen met betrekking tot opbrengst en productkwaliteit. Er zal dus scherper gestuurd moeten worden, waarbij het risico toeneemt dat er een keer te weinig bemest zal worden. Het instrumentarium moet erop gericht zijn om deze risico's voor de telers beheersbaar te maken. Dit instrumentarium wordt gebundeld in de term **geleide bemesting**. Het betreft systemen waarbij de toediening van N als 'verzekeringsstrategie' wordt vervangen door een in tijd en ruimte gedifferentieerde bemesting, teneinde de N-benutting te verbeteren en de emissie van N naar het milieu te minimaliseren.

Ter illustratie van de potentiële voordelen van geleide bemesting toont Figuur 2.1 dat een gedeelde N-gift bij prei leidt tot een verhoogde opbrengst, terwijl tegelijkertijd de N-verliezen naar het milieu met meer dan 70% kunnen afnemen. Dit is een voorbeeld van slechts één gewas en één techniek van geleide bemesting, en laat tevens al zien dat het effect sterk afhankelijk is van bijvoorbeeld het jaar (Booij, 1994).



Figuur 2.1 Effecten van geleide bemesting op opbrengst en berekende N-verliezen in prei (Booij en Biemond, 1994).

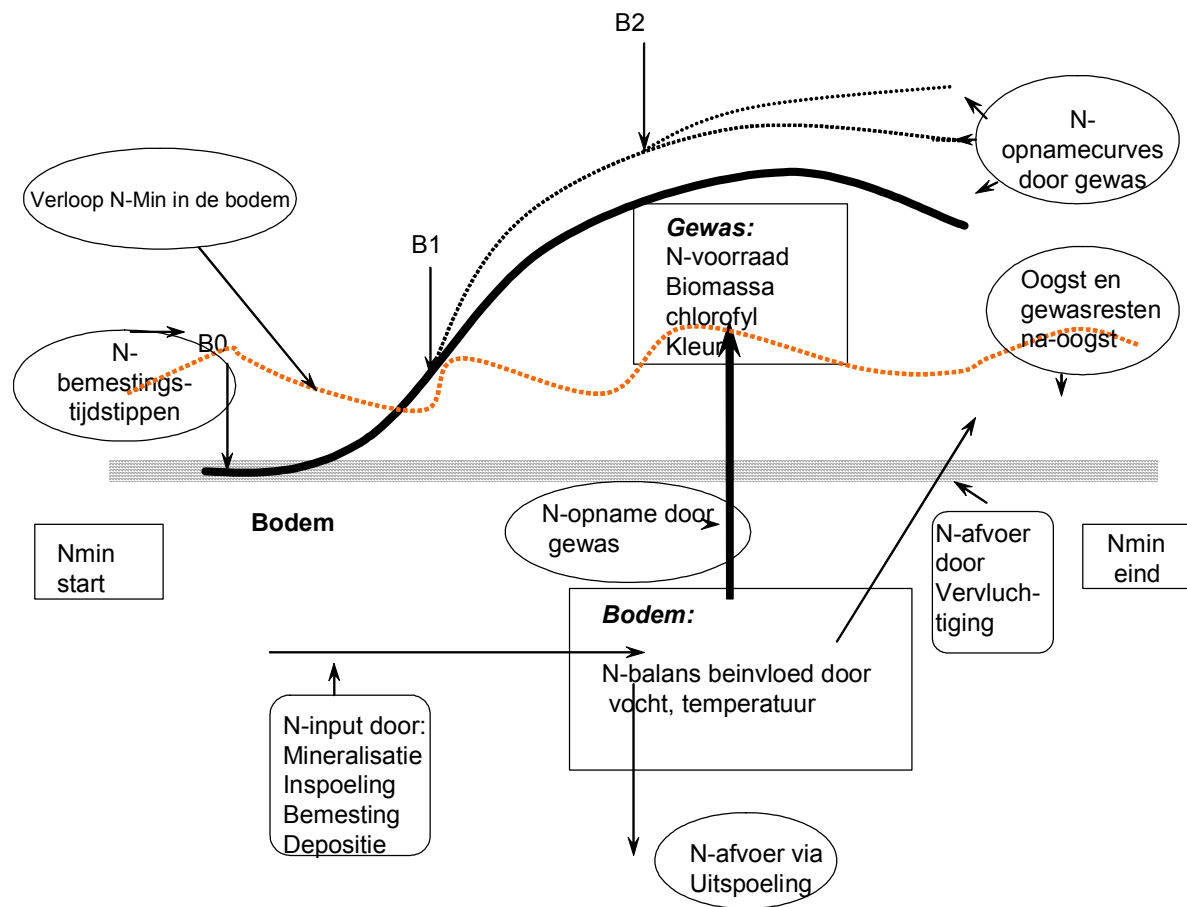
Voor een verder inzicht is het noodzakelijk om het principe van geleide bemesting en de aspecten daarvan nader te definiëren

Onder geleide bemesting verstaan we kennis en technieken die gebaseerd zijn op het doelgericht geleid (in tijd en/of in ruimte) toedienen van meststof, zodanig dat het N-aanbod zo goed mogelijk in overeenstemming is met de N-opname van het gewas en de N-behoefte van het gewas.

De cursieve kernwoorden in deze definitie worden hieronder nader toegelicht.

- *N-opname*: de hoeveelheid N die een gewas (per dag of gedurende een periode) daadwerkelijk opneemt.
- *N-behoefte*: de hoeveelheid (of concentratie) N die in een bodem aanwezig moet zijn, zodat een gewas deze N onbelemmerd kan opnemen. In een aantal gevallen is de N-behoefte aanzienlijk verschillend van de N-opname.
- *N-aanbod*: het totaal van minerale N dat in de bodem aanwezig is door voorraad, vrijkomen uit bodemprocessen en bemesting
- *Geleid in de tijd*: Geleide bemesting die is afgestemd op de schatting en/of meting van (actuele) ontwikkeling van N-opname en N-behoefte van het gewas en N-aanbod vanuit de bodem gedurende het groeiseizoen.
- *Geleid in de ruimte*: Geleide bemesting die rekening houdt met lokale verschillen binnen een perceel, of op de plaats waar de wortels deze N kunnen opnemen.

Figuur 2.2 toont de diverse tijdsaspecten van geleide bemesting, waar in het onderstaande nader op ingegaan zal worden.



Figuur 2.2 Schematische weergave van het concept van geleide bemesting.

2.2 De stikstofbalans: de verhouding tussen N-opname en N-aanbod.

Centraal in Figuur 2.2 staat de hoeveelheid minerale N in de wortelzone van de bodem. Deze hoeveelheid wordt aangevuld door een aantal natuurlijke processen en door een aantal typen kunstmatige bemesting. Aan de andere kant van de balans staan de 'afvoerposten': enerzijds de gewenste opname door het gewas en anderzijds de ongewenste afvoer door uitspoeling, denitrificatie, vervluchting enzovoort. In dit complexe systeem worden de volgende processen onderscheiden.

Aanvoer naar de Nmin-voorraad

- Mineralisatie: het vrijkomen van ammonium uit de bulkvoorraad N uit dode organische stof en uit bodemleven. De netto mineralisatie van N gedurende het groeiseizoen kan variëren van 0,25-1.5 kg per hectare per dag afhankelijk van weer, bodemcondities, en het type van en wijze van omgaan met gewasresten en bodembedekkers (Bundy & Andranski, 1993).
- Bemesting: toevoer van minerale kunstmest-N en organische bemesting. NB: Organisch gebonden N uit deze laatste post moet eerst vrijkomen via mineralisatie/nitrificatie.
- Stikstofdepositie: toevoer van N uit de atmosfeer (voornamelijk via regenval)

Afvoer vanuit de Nmin-voorraad

- Stikstofopname: Slechts de gemineraliseerde stikstof (ammonium of nitraat) kan worden opgenomen door een gewas. Het patroon van opname en de totale hoeveelheid opgenomen N hangt sterk af van gewas en opbrengstniveau (zie volgende paragraaf).
- Immobilisatie: de hoeveelheid minerale N wordt verlaagd (soms tijdelijk) door immobilisatie (vastlegging van minerale N door het bodemleven).

- Denitrificatie en ammoniakvervluchtiging: omzetten van nitraat in gasvormige verbindingen (vooral onder natte omstandigheden). Ook via ammoniakvervluchtiging treedt afvoer op.
- Uitspoeling: in perioden met een neerslagoverschot kan het verticale transport van N zo groot zijn, dat nitraat buiten het bereik van de wortels in het grondwater terecht komt en voor een volgend gewas verloren gaat.

2.3 Afstemming van N-opname, N-behoefte en N-aanbod bij diverse gewassen.

Op basis van deze definities wordt ingegaan op het doel van geleide bemesting: het matchen van behoefte en aanbod. *Deze uitgebreide analyse is noodzakelijk om de perspectieven van geleide bemesting voor verschillende gewassen in kaart te brengen.* Figuur 2.2 toont de diverse aspecten van het samenspel tussen behoefte en aanbod.

De *totale* N-opname van het gewas, hangt af van het (gewenste) opbrengstniveau, en is veelal in grote lijnen bekend. Er zijn aanzienlijke gewasverschillen in opname, van 50 kg N/ha voor radijs tot 360 kg N/ha voor rode kool). Van groot belang is de verhouding tussen totaal opgenomen N (*totale N-opname*) en *totaal N-aanbod* ofwel de N-benuttingsindex NBI (Nopgenomen/Naanbod). Naarmate dit getal lager is, is de benutting slechter. Deze waarde varieert, op basis van gemiddelde schattingen, van 0.44 (uien, sla, spinazie) tot waarden van meer dan 0.9 (knolvenkel, rode kool) en in bijzondere gevallen zelfs 1.30 (doperwtten). Gemiddeld over alle gewassen is de NBI ongeveer 0.6, ofwel 60% van de aangeboden N wordt opgenomen. Indien een volggewas de resterende 40% N niet benut, bestaat de mogelijkheid van uitspoeling of denitrificatie.

Een tweede aspect is het lot van de stikstof in de gewasresten. Tabel 2.2 toont dat sommige gewassen weliswaar een goede benutting hebben van de aangeboden N, maar toont ook dat vervolgens veel N in de vorm van gewasresten op het veld achterblijft. Deze N kan in de winter na mineralisatie uitspoelen voordat het door een volggewas kan worden benut.

Tabel 2.2 NBI index van verschillende gewassen (Naar B. Smit, N-stromen in de vollegrondsgroenteteelt)

NBI	N in gewasresten (kg N/ha)			
	0-50	50-100	100-150	>150
<0.4	radijs			
0.4-0.5	sla ui spinazie schorseneer			
0.5-0.6	koolrabi aardappel	knolselderij koolraap prei	bloemkool	broccoli
0.6-0.7	mais	boerenkool Chin. kool ijsbergsla stamslaboon		
0.7-0.8	wortel witlof andijvie		witte kool spruitkool suikerbiet	
>0.8	wintertarwe bospeen	kroot	knolvenkel	rode kool doperwt

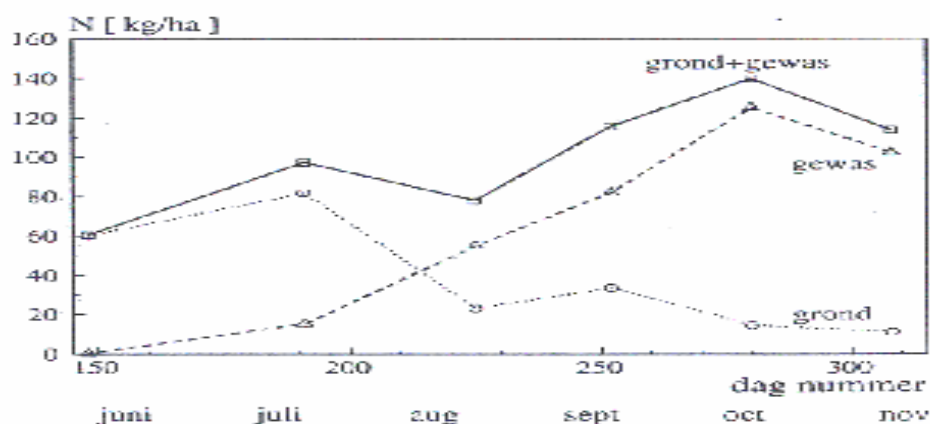
Op grond van deze tabel zijn vier gewastypen te onderscheiden.

- A. Gewassen met een hoge benutting van N, maar ook een grote hoeveelheid N in de gewasresten. Dit zijn de gewassen rechtsonder in de tabel: enkele koolgewassen, knolvenkel en suikerbieten.
- B. Gewassen met een hoge benutting en geringe hoeveelheden N in de gewasresten. Dit zijn de gewassen links onder in de tabel. Vanuit milieukundig oogpunt gezien zijn dit de ideale gewassen, zoals witlof en wintertarwe.
- C. Gewassen met een lage benutting doordat de oogst plaatsvindt op het moment dat het gewas nog erg snel groeit: op dat moment zijn zowel de N-behoefte als de N-opname erg groot, tot meer dan 10 kg per ha per dag. Hieronder vallen sla, spinazie en radijs. Deze gewassen staan bovenin de tabel. Goede sturing van bemesting maakt het mogelijk om ook bij deze gewassen een relatief lage N_{min} over te houden.
- D. Gewassen met een (relatief) lage benutting veroorzaakt door een suboptimale beworteling, eventueel in combinatie met andere factoren. Er kan onderscheid gemaakt worden in:
 - D1. Gewassen die een suboptimale bewortelingsdiepte en bewortelingsintensiteit (vooral in het begin van het groeiseizoen) hebben, maar ook van nature een laag N-gehalte van de groeiende gewasdelen bezitten. Hieronder vallen ui en prei.
 - D2. Gewassen die een suboptimale bewortelingsdiepte en bewortelingsintensiteit (vooral in het begin van het groeiseizoen) hebben, maar waarbij tevens een hoog N-gehalte van de groeiende gewasdelen noodzakelijk is. Hieronder vallen aardappel en maïs.

Bij D1 is een lage N-opname in overeenstemming met een lage N-behoefte. D2-gewassen echter hebben aan het begin van het groeiseizoen een hoge N-behoefte: er is een hoge concentratie vrij opneembaar N nodig voor een ongeremde groei.

2.4 N-opname van het gewas in de tijd

Het bovenstaande maakt al duidelijk dat naast het totaalplaatje over een groeiseizoen ook de verhouding tussen aanbod, opname en behoefte in verschillende periodes gedurende het groeiseizoen belangrijk is. Hoe dit verloopt is, vooral voor groentegewassen, veel minder bekend. Een voorbeeld is te zien in Figuur 2.3, waar de N-voorraad in de bodem en de cumulatieve gewasopname zijn weergegeven voor spruitkool (in dit voorbeeld zonder bemesting).



Figuur 2.3 Verloop van de N-voorraad in bodem en gewas (spruitkool) voor een onbemest veldje.

Duidelijk is dat de hoeveelheid N die *potentieel* uit kan spoelen, in dit voorbeeld sterk daalt met toenemende accumulatie in het gewas. Ieder gewas zal ook hier weer een eigen karakteristiek hebben en de werkelijke uitspoeling is sterk afhankelijk van de weers- en bodemomstandigheden.

De groei van een gewas is op verschillende manieren afhankelijk van de hoeveelheid mineraal N (N_{min}) in de bodem. De beschikbaarheid van N beïnvloedt bladaanleg, bladgroei, bladgrootte en de afstervingsnelheid van het bladoppervlak, en via deze factoren de opbrengst. Ook de omzettingsefficiëntie van straling in drogestof (en daarmee de opbrengst) is afhankelijk van de N-inhoud van de bladeren. Er zijn relatief weinig opnamecurves gemaakt, vooral niet bij giften die lager zijn dan de giften die voor optimaal worden gehouden. Opnamecurves zijn ook bij lagere giften van belang, omdat bekend is dat er dan terugkoppelingsmechanismen gaan werken, zoals extra wortelgroei, of dat het gewas zijn N anders over het bladapparaat verdeelt.

Bij het streven naar een betere benutting van N door geleide bemesting moet in het onderzoek meer aandacht geschonken worden aan het behoeftepatroon van het gewas, omdat anders geen nauwkeurige afstemming van vraag en aanbod in de tijd plaatsvindt. Naarmate de gewasvraag en de gewasbehoefte in de tijd beter bekend zijn, kan de N ook nauwkeuriger in de tijd toegediend worden. Op die manier worden uitspoeling, en denitrificatie tijdens het groeiseizoen voorkomen. Hoe meer kennis er verzameld wordt over de behoefte in de tijd, hoe minder het nodig is om het N-aanbod in een overmaatsituatie te houden.

2.5 Systemen voor geleide bemesting

Vanuit het streven naar een betere afstemming tussen N-opname, N-behoefte en N-aanbod zijn verschillende systemen voor geleide bemesting ontwikkeld. Er worden een aantal basisvragen onderscheiden.

1. Richten de bijmestsystemen zich op de *ruimte* (Waar, i.v.m. beworteling, meststof toedienen? Rekening houden met variatie binnen percelen?) of op de *tijd* (ontwikkeling en N-vraag van het gewas in het seizoen)
2. Geven ze bemestingsadvies op basis van actuele gemeten waarden of zijn ze voorspellend op basis van afgeleide of verwachte informatie?

3. Is het bemestingsadvies gebaseerd op metingen in gewas of bodem, en op welke aspecten daarvan?
4. Beperkt het bemestingsadvies zich tot de actuele teelt (tactisch), of wordt er ook rekening gehouden met meerjarige gewasrotatie-effecten (strategisch)?

2.5.1 Geleide bemesting in de ruimte

Geleide bemesting in de ruimte heeft twee aspecten. Het eerste is het toedienen van de meststof daar, waar de wortels het kunnen bereiken. Dit kan worden bereikt met plantbemesting, beddenbemesting en rijenbemesting. In hoofdstuk 3 wordt hierop nader ingegaan.

Het tweede is het afstemmen en fijnregelen van bemesting op de behoefte van het gewas in heterogene akkers. De bemesting worden dan gekoppeld aan de variërende bodemeigenschappen van heterogene akkers. Deze informatie is beschikbaar in GIS-systemen (opslag, analyse en presentatie van ruimtelijke gegevens). In combinatie met een Global Positioning Systeem (GPS) vormt dit de basis voor dit type van geleide bemesting in de ruimte (Bouma, 1997).

2.5.2 Geleide bemesting in de tijd

Geleid bemesten in de tijd begint met het analyseren van de voorgeschiedenis van het perceel, vooral de invloed hiervan op de mineralisatie, en (eventueel) het schatten van de te verwachten effecten van textuur, waterafvoer en regenval. Vervolgens is er een strategie nodig waarbij de bemesting kan worden bijgesteld op basis van de gewasopname en – behoefte gedurende het groeiseizoen (Figuur 2.2). Deze stap-voor-stap bemesting (Bullock & Anderson, 1998) vereist tijdige detectie van naderende N-tekorten, teneinde opbrengstverlies te voorkomen. In het begin van het seizoen is, zoals eerder gezegd, in vele gewassen voldoende N nodig voor een hoge bladgroeisnelheid en een grote oppervlakte van de volwassen bladeren. Dit geeft een groot bladoppervlak per plant en een snelle en volledige bodembedekking (Biemond, 1994). Aan het eind van het seizoen leidt een hoge bemesting in diverse (groente)gewassen tot een te hoog nitraatgehalte in het gewas. Bij aardappel leidt een late bijbemesting tot een voor de praktijk ongewenste latere afsterving van het blad. Ook hier is dus een gewasspecifieke benadering en fijnregeling noodzakelijk. Verder zijn geschikte technieken, bodemcondities en weersomstandigheden vereist om een eventuele gedeelde N-gift toe te dienen zonder dat het gewas beschadigd wordt en om te garanderen dat deze N de wortelzone bereikt. Deze aspecten zijn nog belangrijker indien de N wordt toegediend in de vorm van dierlijke mest.

2.5.3 Bemesting op basis van actuele gemeten data of voorspellende gegevens

De N-behoefte en de N-opname in de tijd is niet een volledig vaststaand gegeven voor elk gewas. Het zal sterk afhangen van de uitwendige (groei)omstandigheden. Een techniek als fertigatie bijvoorbeeld, het gedoseerd toedienen van N zoveel mogelijk synchroon aan de gewasvraag/gewasbehoefte, zal dan ook meer succes kunnen hebben met op de achtergrond draaiende modelberekeningen, of tussentijdse metingen. De invloed van de actuele klimaatomstandigheden (straling en temperatuur) op de groei, en daarmee op de behoefte, kan hiermee worden geschat. Een voorbeeld van deze analyses met behulp van modellen is weergegeven in tabel 2.3, waarin voor prei de gewasopname, de N-uitspoeling en de achtergebleven N zijn berekend met een simulatiemodel. Duidelijk blijkt (zie hoofdstuk 3 voor nadere detaillering) dat diverse vormen van geleide bemesting tot een aanzienlijke besparing op stikstof en een verlaging van achterbleven N kunnen leiden. De methodes en modellen worden in de volgende hoofdstukken meer specifiek behandeld.

Tabel 2.3 Opgenomen, uitgespoeld en in het profiel achtergebleven hoeveelheid nitraat in kg per ha in modelsimulaties als functie van verschillende toediening van stikstof.

Behandeling	opname	uitgespoeld	Achtergebleven
250 voor uitplanten	247	65	71
240 in drie keer (Nmin methode)	247	57	56
200 na 60 dagen	247	45	41
150 na 60 dagen	245	27	-1
126 in drie keer (NBS)	235	18	5

2.5.4 Aard van de meststof als onderdeel van een systeem met geleide bemesting

Bovengenoemde technieken kunnen soms goed gecombineerd worden (en krijgen soms dan pas hun waarde) met het gebruik van specifieke meststoffen, hetzij voor het bijmesten hetzij voor de basisbemesting. De teler komt dan voor de vraag in welke vorm hij de stikstofbemesting wil toedienen: o.a. als nitraat, ammoniak of ureum. Gewassen nemen stikstof hoofdzakelijk als nitraat op, hoewel ze het ook in de vorm van ammonium op kunnen nemen. Organisch gebonden stikstof kan door de planten meestal niet opgenomen worden (*zeker in N-arme omstandigheden worden sommige organische-N vormen ook door bepaalde aangepaste planten opgenomen*). Ammonium wordt in bepaalde mate gebonden aan het klei-humuscomplex en is daardoor minder uitspoelingsgevoelig dan nitraat. Door nitrificerende bacteriën wordt ammonium in de bodem snel omgezet in nitraat. In de zomermaanden gebeurt dit al in enkele dagen. Om uitspoeling van stikstof te beperken is ammoniumbemesting, eventueel in combinatie met een nitrificatieremmer, interessant. Het werkelijk perspectief om zo op stikstof te kunnen besparen (lagere N-gift), is echter nog onduidelijk en zal afhankelijk zijn van bodemsoort.

Op kalkrijke gronden met een pH > 7,0 kan ammoniak vervluchtigen. Direct inwerken van de meststof kan de vervluchtiging beperken. Ureum moet eerst in ammonium worden omgezet alvorens het door het gewas kan worden opgenomen. Het is een minder snel werkende meststof en het is evenals nitraat uitspoelingsgevoelig.

Meststoffen kunnen in korrelvorm (granulair) en in vloeibare vorm (bladbespuiting of fertigatie) worden toegediend. Een duidelijk verschil in werking is nooit aangetoond. Wel wordt verondersteld dat vloeibare meststoffen meer uniform zijn toe te dienen.

Dierlijke mest. Een veel gehoorde opmerking is dat de werking van dierlijke mest zo onvoorspelbaar is. Een aantal oorzaken ligt hieraan ten grondslag:

- het type mest (de organisch gebonden N in rundermest mineraliseert langzamer dan die van varkens en kippen),
- kennis over de werkelijk hoeveelheid mest die is uitgereden (de flowmeters van mestmachines blijken onbetrouwbaar),
- de verdeling van de mest over het veld laat te wensen over (plaatsen waar minder mest is gekomen, gaan eerder tekenen en dat neemt de teler waar),
- het stikstofgehalte van de mest is anders dan van waar is uitgegaan (verschil in N-gehalte tussen mestpartijen van een factor 2 komt regelmatig voor),
- de stikstofsamenstelling is afwijkend (de hoeveelheid N en Norg in de mest kan per mestpartij sterk verschillen).

Vooral kennis over de hoeveelheid N en Norg die is uitgereden maakt een betere inschatting mogelijk van de te verwachten N-levering voor het gewas. Door voor het uitrijden van drijfmest de mestsamenstelling te meten, kan hier beter op worden ingespeeld. Meetapparatuur hiervoor is ontwikkeld. Ondanks alle maatregelen om dierlijke mest zo goed mogelijk toe te dienen, blijft het een feit dat de voorspelde werking minder zal zijn dan die van kunstmest en soms sterk kan afwijken van die van kunstmest. Daarom is het juist bij gebruik van dierlijke mest raadzaam om via tussentijdse grond- of gewasbemonstering of via gewasreflectiemeting de noodzaak tot bijbemesting(en) te volgen. Een nieuwe ontwikkeling is het gebruik van effluent, product van mestscheiding, als meststof voor de basisbemesting en ook voor bijbemesting tijdens de teelt. De eerste ervaringen zijn goed.

3. Geleide bemestingsystemen

3.1 Algemeen

Geleide bemesting is het meest zinvol bij gewassen met een hoge bemestingsbehoefte, waar de bemestingsbehoefte in het begin van de groeiperiode betrekkelijk gering is, en waar een tekort in de stikstofvoorziening tijdens de teelt hersteld kan worden. Vanuit milieuoogpunt zijn vooral de gewassen die een hoge N_{min}-rest bij de oogst achterlaten interessant.

Tussen gewassen bestaan grote verschillen in de behoefte om bij de start over voldoende stikstof te beschikken. Aardappel, spinazie en koolgewassen zijn voorbeelden van gewassen waar al bij de start een hoge voorraad aan direct opneembare stikstof beschikbaar moet zijn, en prei en uien zijn voorbeelden waar dit minder speelt. Dit bepaalt mede het perspectief om met gedeelte giften op bemesting te besparen. Deling van N-gift is bij een gewas als prei daarom belangrijker dan bij koolgewassen. Bij een hogere N-gift wordt N bij prei niet meer opgenomen, waardoor er vlugger N-verliezen kunnen optreden. De geringe N-opname zou verband houden met de trage ontwikkeling van het bladoppervlak en het beperkte, oppervlakkige wortelstelsel. N-voorziening beïnvloedt de loofontwikkeling, de opbrengsten de groeiduur van aardappelen. Onvoldoende N beperkt loofontwikkeling, groeiduur en opbrengst. Een te ruim N-aanbod te vroeg in het seizoen bevordert de loofontwikkeling te sterk en vertraagt daardoor de knolzetting. Laat in het seizoen vertraagt een te ruime stikstofvoorziening de afrijping bij late rassen en heeft een negatief effect op het onderwatergewicht en daarmee op de uitbetalingsprijs. Verhoging van de kg-opbrengst door een hogere N-bemesting wordt dan genivelleerd en is daardoor minder interessant. Stikstofdeling bij aardappelen biedt een goede basis voor een juiste bemesting. Onderzoek heeft aangetoond dat er grote rasverschillen bestaan in N-behoefte. Deze verschillen hebben te maken met vroegheidsverschillen tussen de rassen, maar ook de bewaarduur van de aardappelen speelt een rol. Een hoge stikstofbemesting verlaagt de bewaarbaarheid.

Toepassing van geleide bemesting in uien kan naar verwachting (op zavel- en kleigrond) 20 tot 30 kg N per ha besparing opleveren ten opzichte van het N_{min}-advies. Dit is vooral het geval als er in mei een sterke mineralisatie optreedt (onderzoek De Visser, PAGV).

Bij de meeste koolgewassen wordt geen geleide bemesting toegepast. Koolgewassen hebben een goed ontwikkeld wortelstelsel waarmee ze in de grond aanwezige stikstof goed weten te benutten. Bij hantering van de N_{min}-richtlijn en niet-bovenmatige mineralisatie laten ze weinig minerale stikstof na. Bovendien reageren ze neutraal of soms zelfs negatief op deling van de stikstofgift. Soms loopt door deling het gewas in de begingroei een achterstand op, die niet meer wordt ingehaald. Alleen bij bloemkool en broccoli is het op sterk mineraliserende gronden zinvol een bijmeststelsel te hanteren. Dan kunnen besparingen van meer dan 50 kg N per ha gehaald worden (onderzoek van o.a. Everaarts, PAGV).

3.2 Geleide bemesting in de tijd

Onder geleide bemesting in de tijd zijn verschillende systemen te onderscheiden die gemeenschappelijk hebben dat ze een of meerdere keren specifiek bijbemesten in het groeiseizoen. Ze onderscheiden zich in de mate waarin gebruik wordt gemaakt van ondersteunende waarnemingen, het tijdstip waarop deze waarnemingen worden gedaan, de technologie die daarbij wordt gebruikt en de manier waarop gestructureerd gebruik gemaakt wordt van algemene en perceelsspecifieke opgebouwde kennis.

De volgende systemen van geleide bemesting in de tijd worden behandeld:

- Perceelsgericht advies voor de hoogte van de basisbemesting
- Bijbemesting op basis van tussentijdse bodembemonsteringen (NBS)
- Bijbemesting op basis van stikstofvensters
- Bijbemesting op basis van nitraatanalyse van bladsteeltjes
- Bijbemesting op basis van meting van bladkleur
- Bijbemesting op basis van meting van gewasreflectie

3.2.1 Perceelsgericht advies voor de hoogte van de basisbemesting

Om de basisbemesting op maat uit te voeren wordt geadviseerd om voor het zaaien of planten een N_{min}-bepaling uit te voeren. De adviesbemesting wordt gerelateerd aan de gemeten hoeveelheid minerale stikstof (nitraat en ammonium) en op een aantal perceelsspecifieke kenmerken, die iets zeggen over het stikstofleverendvermogen van de grond. Dit wordt afgestemd op de gewas-opname en gewas-behoefte. Bij een aantal gewassen wordt de gift bovendien afgestemd op het ras of de bestemming van het product.

Afhankelijk van het gewas wordt geadviseerd om alle stikstof in één keer bij het zaaien of planten/poten te geven (bijvoorbeeld bij snijmais) of om een gedeelde bemesting toe te passen (bijvoorbeeld bij prei). Als alle stikstof in één keer wordt gegeven, moet men bij de start al een goede inschatting maken van gewasbehoefte en beschikbaarheid van stikstof in de tijd gezien (stikstofleverendvermogen van de grond). Dit geldt ook voor situaties waarin men een van tevoren bepaald gedeelte van de bemesting niet bij de start, maar later tijdens het groeiseizoen als gedeelde bemesting inzet.

De N_{min}-richtlijnen zijn afgeleid uit gegevens van veldproeven. Omdat de landelijke stikstofbemestingsadviezen nog verder perceelsspecifiek moeten worden ingevuld, spreekt men ook wel van landelijke richtlijnen. Bij de N_{min}-bemonstering zijn een aantal zaken van belang: het bodemonster wordt direct na de winter of vlak voor de teelt (o.a. bij een aantal groentegewassen) genomen, de bemonsteringsdiepte moet zijn afgestemd op de bewortelingsdiepte, de gemeten N_{min} voor de teelt (met gewasafhankelijke correctiefactor) moet in mindering worden gebracht op de bemesting en de streefwaarde is gewas- en soms ook rasafhankelijk. Bij vollegrondsgroenten bijvoorbeeld variëren de streefwaardes van 100 kg N per ha voor peen en witlof tot 300 kg N per ha voor koolgewassen.

De bemesting moet vervolgens perceelsspecifiek worden aangepast aan de levering van stikstof uit groenbemesters, gewasresten van de vorige teelt, bodemgebonden organischestof en toepassing van dierlijke mest of andere organische meststoffen. Voor de stikstoflevering uit groenbemesters (vlinderbloemigen en niet vlinderbloemigen), oogstresten, gescheurd grasland en dierlijke mest worden in de adviesbasis bemesting van de commissie BAB rekenregels gegeven. Ook bodemfysische factoren, zoals lutumgehalte en bodemstructuur, bepalen mede de hoogte van de uiteindelijke adviesgift. Op basis van deze landelijke adviezen (men spreekt in geval van stikstof ook wel over landelijke bemestingsrichtlijnen die nog verder perceelsspecifiek ingekleurd moeten worden) zijn er door DLV en andere instanties regio- en rassespecifieke invullingen aan dit advies gegeven.

Bij het schatten van de stikstofwerking uit dierlijke mest moet rekening worden gehouden met de lengte van het groeiseizoen (groenten) of de lengte van de N-opnameperiode van het te telen gewas (akkerbouw). In de praktijk worden deze nuanceringen veelal niet aangebracht. Bij najaarstoepassing van dierlijke mest wordt in de praktijk vaak zelfs voorbij gegaan aan de stikstofwerking van de mest. Meting van N_{min} in de periode zes weken na mesttoepassing is niet mogelijk. Bij voorjaarstoepassing van mest moet de N_{min}-bemonstering daarom voor het uitrijden van de mest plaats hebben.

De kosten van monsternamen en analyse van een N_{min}-bepaling zijn ongeveer € 40 per perceel.

3.2.2 Stikstofbijmeststelsel: NBS-bodem

Het NBS-bodem is een Geleid Bemestingssysteem waarin bijmestgiften zijn gebaseerd op tussentijdse bodembemonstering en stikstofanalyse tijdens het groeiseizoen. De beschikbare minerale bodemstikstof (nitraat-N en afhankelijk van de bepalingsmethode wel/niet ammonium-N) wordt tijdens de teelt één of meerdere malen bepaald en vormt de basis voor het adviseren van een N-bijbemesting tot een streefwaarde die overeenkomt met de N-behoefte tot de volgende analyse of de oogst. De stikstofopnamecurve en de bewortelingsdiepte van een gewas moeten bekend zijn.

Afhankelijk van het type NBS-systeem wordt wel of niet rekening gehouden met de verwachte mineralisatie in de voorliggende periode. In de meest geavanceerde vorm ziet NBS er als volgt uit:

N-bijbemesting = de N-opname door het gewas in de nog resterende groeiperiode of tot het volgende moment van bemonsteren minus de hoeveelheid N_{min} in de grond bij de tussentijdse bemonstering minus de verwachte hoeveelheid stikstof die in de komende periode door mineralisatie beschikbaar komt plus een buffervoorraad¹.

¹ Er is een buffervoorraad in de grond nodig om het gewas te voorzien in de dagelijkse stikstofbehoefte, maar ook om onzekerheden over extra verliezen en onzekerheden in de N-opname te kunnen opvangen.

Het nitraatgehalte van de bodem kan door de teler zelf gemeten worden met 'Merckoquant' teststrips of met de 'Nitracheck' reflectometer. Het is belangrijk dat de Nitracheck geijkt wordt. Werken volgens het bemonsterings- en analyseprotocol is zeer essentieel. Nitraatbepaling met ion-specifieke electrodes is ook mogelijk, maar is voor NBS-doeleinden niet verder ontwikkeld. Door laboratoria wordt minerale stikstof (nitraat- en ammonium-N) bepaald na CaCl₂-extractie. In het groeiseizoen is de bijdrage van ammonium-N verwaarloosbaar klein en kan volstaan worden met alleen bepaling van nitraat-N zoals met de Merckoquant test strips of met de Nitrachek reflectometer gebeurt.

De kosten van bemonstering en analyse van een NBS-monster zijn bij uitvoering door een laboratorium ongeveer € 45 per monster. Wanneer de bemonstering en analyse door de teler zelf wordt gedaan, moet gerekend worden op 1 uur per monster voor bemonstering plus analyse. De eenmalige aanschaf van de Nitracheck is ongeveer € 500 en de kosten van de teststrips bedragen € 2 per monster. Het voorbereiden van het analysemonster kost op kleigrond wat meer tijd dan op een zandgrond, vanwege het trager doorlopen op het filter. Wanneer het monster door de teler zelf wordt genomen en geanalyseerd, kan nog dezelfde dag bijbemest worden. Bij analyse door een laboratorium kan er een aantal dagen zitten tussen het nemen van het monster en het krijgen van de analyseuitslag.

Toepassing van gedeelde bemesting op basis van NBS-bodem leidt niet bij voorbaat tot besparing op de N-gift ten opzichte van het systeem waarbij op basis van N_{min} voor zaaien/planten bemest wordt en er met bijbestedingen gewerkt wordt waarvan de hoogte van tevoren vaststaat. Het resultaat is afhankelijk van het gewas en van het niveau van de stikstoflevering tijdens het groeiseizoen (mineralisatie uit organisch stofgehalte, dierlijke mest, groenbemesters, gewasresten).

Bij een volgteelt van ijssla bijvoorbeeld is het N_{min}-advies voor ijssla al laag geformuleerd en is nauwelijks meer een besparing mogelijk. Besparing op stikstofbemesting is vooral te verwachten in situaties met meer dan gemiddelde mineralisatie. Op stikstofarme percelen kan het toepassen van NBS leiden tot verantwoordde hogere N-bemesting. Modelberekening door van Geel (PAV-themaboekje nr.22, december 1999 "Naar maatwerk in bemesting") laten zien dat bij een 2^e teelt van ijssla in een situatie van een lage mineralisatiegraad (0,5 kg N per ha/dag) er geen besparing mogelijk is op N-gift in vergelijking met bemesting volgens N_{min}-richtlijn terwijl in een situatie met een hoge mineralisatiegraad (1,5 kg N per ha/dag) een besparing van 20 kg N per ha mogelijk is. Bij aardappelen zijn in sommige situaties besparingen tot 50 kg N/ha mogelijk.

NBS-bodem is vooral zinvol op sterk mineraliserende gronden (humeuze gronden of percelen waarop in het recente verleden veel dierlijke mest is aangewend), wanneer een basisgift van dierlijke mest is toegediend en/of na het onderwerken van gewasresten van een voorafgaande teelt in hetzelfde jaar.

Ook is toepassing van NBS zinvol bij teelten met een verhoogde kans op stikstofuitspoeling (grofzandige percelen en teelt in de herfst). Verder is NBS van belang voor gewassen waarbij omwille van de kwaliteit nauwkeurig moet worden bemest (nitraatgehalte in het product, beperking ziektegevoeligheid etc.). Een optimaal effect van het NBS-systeem wordt veelal bereikt wanneer er kort na de bemonstering kan worden bijbemest en een beregeningsinstallatie beschikbaar is. Een nevenvoordeel van NBS is dat de teler na enkele jaren zijn grond beter leert kennen met betrekking tot de mineralisatie en de uitspoelingsgevoeligheid.

Nadelen van het NBS-systeem zijn de beperkte ervaringen tot op heden en het beperkte aantal teelten waarvoor een uitgewerkt systeem beschikbaar is. Nadelen van NBS zijn ook de extra kosten voor bemonstering en analyse, de extra arbeid die gemoeid is met de bemonsteringen en de bijbestedingen en de gewasschade die kan optreden door de N-bemesting tijdens de teelt (bladverbranding/bladbreek).

Wanneer stikstof bij de start als rijenbemesting is gegeven (o.a. bij de cultanmethode of bij fertigatie) is het nemen van een representatief grondmonster tijdens het groeiseizoen lastig. Ook als bij de start een meststof met een nitrificatieremmer is gebruikt, kent het NBS-bodem een beperking. In dat geval is een bepaling van alleen nitraat minder zinvol. De analyse met o.a. de Nitracheck is dan niet mogelijk.

Er is een buffervoorraad in de grond nodig om het gewas te voorzien in de dagelijkse stikstofbehoefte, maar ook om onzekerheden over extra verliezen en onzekerheden in de N-opname te kunnen opvangen. Extra verliezen kunnen optreden door uitspoeling. Ook onzekerheden over het tijdstip van oogsten en daarmee onzekerheid over de N-opnameperiode van een gewas worden vertaald in de hoogte van de buffer. De hoogte van de buffer is gewasafhankelijk en afhankelijk van de periode van het jaar of de teeltwijze varieert het van 20 tot 80 kg N per ha. Bij groenten die in de volle groei geoogst worden, is deze buffer ten minste de hoeveelheid stikstof in de grond bij de oogst bij optimale N-bemesting. De keuze van de hoogte van de buffer is slecht gedocumenteerd. Wanneer vaker bemonsterd wordt, zou de buffervoorraad omlaag kunnen. Dit leidt uiteraard wel tot hogere kosten voor bemonstering en analyse.

In het NBS-bodem voor aardappelen wordt een inschatting gemaakt van de verwachte mineralisatie in de resterende groeiperiode. Deze hoeveelheid N die door mineralisatie nog beschikbaar komt, wordt gekort op de streefwaarde van de N-bijbemesting. Bij NBS van vollegrondsgroenten (zie BAB) wordt geen inschatting van de verwachte mineralisatie gemaakt. Hier wordt uitgegaan van gemiddelde situaties. Wel wordt uiteraard door de tussentijdse bemonstering ingespeeld op het niveau van mineralisatie in de voorbije periode.

Meting van de potentiële mineralisatie met incubatieproeven kan meer inzicht verschaffen in de te verwachten perceelsspecifieke N-mineralisatie. Dit verkeert echter nog in een onderzoeksfase. Ook met het model Minip (LUW) kan de verwachte mineralisatie worden geschat.

Het Bgg-Oosterbeek hanteert voor bijbemesting in o.a. prei het Stikstofplus-adviesstelsel. In Stikstofplus wordt ook de verwachte mineralisatie geschat op basis van perceelsgegevens, voorvrucht, gebruik van dierlijke mest etc. Bgg hanteert hogere streefwaardes (hoogte van de N-opname en van de buffer) dan waarvan in de landelijke richtlijnen van de commissie BAB wordt uitgegaan; er wordt een correctie uitgevoerd op het te verwachten opbrengstniveau. De berekeningen van de mineralisatie en de opbrengstresponscurve van dit adviesstelsel zijn niet openbaar.

3.2.3 Bijbemesting op basis van stikstofvensters

Het systeem van stikstofvensters is in de jaren zestig in Duitsland ontwikkeld voor graangewassen. Het aangelegde venster (= een deel van een perceel met een oplopende reeks van N-bemestings-nivo's (N-trappen)) met verlaagde N-gift geeft aan of een aanvullende N-bemesting nodig is. Het grote voordeel van gebruik van stikstofvensters is dat het specifiek is voor het betreffende gewas op het betreffende perceel bij de veld- en weersomstandigheden zoals ze op dat moment zijn.

In de praktijk wordt echter niet met stikstofvensters gewerkt. Men vindt de aanleg van vensters te omslachtig. Bovendien blijkt de variabiliteit op een perceel zodanig groot dat niet met één venster volstaan kan worden. Dit maakt het systeem nog omslachtiger. Punt van aandacht is daarom het automatiseren van de vensteraanleg. Met computergestuurde kunstmeststrooiers zou dit mogelijk moeten zijn. Er zijn echter nog relatief weinig telers die over een dergelijke computergestuurde strooier beschikken.

Een nieuwe, maar nog beperkt getoetste gedachte is om te werken met **omgekeerde stikstofvensters**. Het perceel wordt bemest met een basisbemesting van ca 50 tot 70%. In de vensters worden N--trappen aangelegd die tot 100% gaan. Tijdens de groeiperiode wordt de ontwikkeling van het gewas vergeleken met de ontwikkeling in de aangebrachte vensters. Als er teveel verschillen gaan ontstaan (= als het venster tekent en de beschikbare N dus aan het opraken is) wordt er bijgestrooid. Als er dan een beperkte hoeveelheid bijgestrooid wordt, kan dit een aantal keren herhaald worden. Uitgangspunt is dat de vensters op een representatieve plaats in het perceel liggen. Met dit principe wordt voorkomen dat de basisbemesting eigenlijk al te hoog is en wordt er op een verantwoorde manier minder bemest.

Stikstofvensters kunnen ook een aanvulling betekenen bij gebruik van andere systemen van geleide bemesting. Nadeel van werken met stikstofvensters is dat bij veel neerslag en uitspoeling het verschil in beschikbare hoeveelheid stikstof tussen venster en de rest van het perceel nivelleert. Het venster geeft dan geen aanvullende informatie.

De kosten van het systeem met stikstofvensters bestaan uit de benodigde tijd voor de aanleg van de vensters, het monitoren tijdens het groeiseizoen en de mogelijke opbrengstreductie van de vensters. Bij hoog salderende gewassen is deze opbrengstreductie een duidelijk knelpunt.

3.2.4 Bijbemesting op basis van nitraatanalyse van bladsteeltjes: NBS-gewas

Het NBS-gewas, ook wel bladsteeltjesmethode in aardappelen genoemd, is een Geleid Bemestingssysteem waarin bijmestgiften zijn gebaseerd op bemonstering van blad(steeltjes) en stikstofanalyse daarvan tijdens het groeiseizoen. Uit onderzoek is gebleken dat de N-toestand van aardappelen kan worden beschreven door de nitraathoeveelheid in de bladsteeltjes. De nitraathoeveelheid in de bladsteeltjes geeft een beschrijving van de N-toestand van het betreffende gewas. De bemonsteringen dienen ongeveer 4 weken na opkomst van het gewas te beginnen en worden gedurende 4 weken wekelijks uitgevoerd. Verspreid over het perceel of perceelsgedeelte worden tenminste 40 samengestelde bladeren geplukt. Van elke stengel wordt steeds het eerste volgroeide samengestelde blad van boven genomen. De bladmonsters moeten bij voorkeur tot de analyse koel worden bewaard. In het sap van de bladsteeltjes wordt het nitraatgehalte gemeten met

Merckoquant teststrips of de Nitracheck reflectometer. Ook is het mogelijk om het nitraatgehalte in de drogestof van de bladsteeltjes te meten. De gevonden waarde wordt vergeleken met de normlijn van het betreffende aardappelras. Vervolgens wordt bemest wanneer de gemeten waarde onder de normlijn ligt. Bij analyse in de drogestof geldt een andere normlijn dan bij analyse in het sap. Analyse op basis van drogestof is betrouwbaarder, maar is bewerklijker en dus duurder. In proeven met consumptie-aardappelen op klei- en zavelgrond werd met bijbemesting volgens de bladsteeltjesmethode vaak een besparing behaald van 40 tot 50 kg N per ha ten opzichte van een eenmalige gift volgens het Nmin-advies. In proeven met zetmeelaardappelen op zand- en dalgrond bedroeg de besparing met bijbemesting op basis van nitraatgehalte in bladsteeltjes dan wel op basis van de stikstofvoorraad in de grond 25 tot 40 kg N per ha. Op basis van de ervaringen opgedaan bij aardappelen is het systeem van bladsteeltjesbemonstering ook verder beproefd bij andere gewassen (o.a. bij spruitkool, witlof en peen) en is het verder verfijnd.

ALTIC BV uit Dronten heeft adviesprogramma's in de markt gebracht voor N-bijbemesting in aardappelen, peen, spruitkool en witlof gebaseerd op monitoring van bladmassa ontwikkeling en N-analyse van bladsteeltjes. De adviezen voor aardappelen zijn gebaseerd op meting van het nitraatgehalte in het perssap van bladsteeltjes, algemene kennis over gewasontwikkeling en gewasgroei op het moment van bemonsteren. De kosten voor "gewasmonitoring" bedragen ongeveer € 150 per perceel. Een tweede commerciële toepassing is het bureau Eijkpunt. Dit bureau voert bladsteeltjesbemonsteringen en analyses uit op basis van bladsteeltjes bij aardappelen en spruitkool. Blgg voert nitraatonderzoek uit op drogestofbasis van de bladsteeltjes.

3.2.5 Bijbemesting op basis van meting van bladkleur of gewasreflectie

Het NBS-gewas op basis van bladkleur of gewasreflectie is een groep Geleide Bemestingssystemen waarin bijmestgiften zijn gebaseerd op metingen van bladkleur of gewasreflectie tijdens het groeiseizoen. Bladkleur of gewasreflectie is een goede indicator voor de stikstofstatus van een gewas. Meting met het oog of gebruik maken van een kleurenkaart, is goed mogelijk, maar is zeer subjectief. Daarom zijn hulpmiddelen ontwikkeld.

Hydro-N-Tester, Chlorofylmeter, SPAD-meter De chlorofylmeter meet de lichttransmissie door een blad die afhankelijk is van het chlorofylgehalte. Het chlorofylgehalte is hoog gecorreleerd met het stikstofgehalte, maar de relatie is ook van andere factoren afhankelijk (o.a rasverschillen). Op deze manier geeft het een objectieve beoordeling van de kleur van het blad. Om een representatieve waarde te verkrijgen moeten bij wintertarwe dertig metingen worden verricht aan het laatst volgroeide blad. Aan de hand van een tabel wordt de uitslag van de meting vervolgens vertaald naar het gewenste niveau van bijbemesten. Van minstens vier rassen wintertarwe is bekend hoe de uitslag van de chlorofylmeter voor Nederlandse omstandigheden vertaald moet worden in een bemestingsadvies. Op basis van kleurmeting zullen andere rassen ook gekarakteriseerd moeten worden.

Bij consumptieaardappelen bleek het lastig om een betrouwbare normlijn te construeren. De uitslag wordt sterk beïnvloed door ras en door de omstandigheden. Verbetering is wellicht mogelijk door referentieveldjes aan te houden (N-vensters).

De chlorophylmeter kost ongeveer € 1200. De tijd om de kleur van 30 bladeren in een perceel te meten is minder dan een half uur. De meters zijn al enkele jaren in de handel. Vooral voorlichters van de cooperaties werken er mee, graantelers zelf hebben het tot nu toe niet gekocht. Naar de toekomst toe is het onderhouden van het systeem een zorgpunt. De gemeten waarde moet vertaald worden naar een bemestingsadvies waarbij rekening wordt gehouden met kleurverschillen tussen rassen. Het verloop in het rassensortiment bij granen is echter groot. Werken met omgekeerde stikstofvensters als referentie zou hierbij een uitkomst zijn.

Cropscan. De Cropscan bestaat uit een dragende constructie met daarop een meetkop en een computer. De meetkop wordt op ca 2 meter hoogte boven het gewas gehouden en meet aan de bovenkant het invallende licht en aan de onderkant het door het gewas gereflecteerde licht. Dit alles bij 8 verschillende golf lengtes. Op basis hiervan wordt een reflectiekarakteristiek berekend. Deze karakteristiek heeft een relatie met de stikstofinhoud van het gewas. Op grond van deze stikstofstatus en de uit een rekenmodel voorspelde opbrengsttoename in een opvolgende periode wordt een N-bijbemestingsadvies geformuleerd voor die periode. Bij toepassing in aardappelen moet de bodem volledig bedekt zijn. Dit is in praktijksituaties niet altijd het geval. De CropScan is in 2002 door Plant Research International nader beproefd bij

aardappel, prei, tulp, hyacint en er heeft een oriëntatie plaatsgevonden bij rozen. Bij slecht licht is de meting met de Cropscan niet goed. Er is een Amerikaanse sensor met gebruik van extra belichting ontwikkeld.

Voordeel van Cropscan boven de NBS-bladsteeltjes methode is dat vrij snel bekend is of en hoeveel er bijbemest moet worden. Bovendien is deze methode minder gevoelig voor variatie tussen afzonderlijke planten of bladeren, omdat er een groter oppervlakte gemeten wordt. Advisering op basis van de Cropscan gebeurt commercieel alleen voor aardappelen door het Blgg-Oosterbeek. Een complete set voor handmatige meting met behulp van een Cropscan kost ca. € 3500.

N-sensor van Hydro Agri International combineert bij het uitvoeren van de bemesting de detectie van de N-behoefte op basis van gewasreflectiemeting en de aansturing van de gewenste dosering van de kunstmeststof. Het is ontwikkeld voor granen en wordt sinds 2000 ook beproefd in o.a. aardappelen en suikerbieten. Het wordt toegepast in granen voor het bepalen van de hoogte van de derde N-gift. De sensor werkt, net als de Cropscan, het beste bij een gesloten gewas en kan dus alleen voor bijbemesting in een wat later groeistadium gebruikt worden. De sensor meet per seconde een oppervlakte van ca. 50 m² en geeft daarbij een waarde voor de biomassa en het chlorofylgehalte.

De gebruiker moet de N-sensor in het veld eerst iken door een baantje met de sensor te rijden, zonder kunstmest te strooien. Vervolgens kan op basis van de reflectiemeting plaatsspecifiek bemest worden, waarbij plekken met een lichtere gewaskleur een hogere bemesting krijgen dan plekken met een donkergroene kleur. Het totaal stikstofgebruik verandert niet door gebruik van de N-sensor; de stikstof wordt anders over het veld verdeeld. De aangepaste verdeling leidt gemiddeld tot 1 à 2 % hogere opbrengst.

Berekeningen geven aan dat de N-sensor voor graanbedrijven rendabel te maken is vanaf 100 ha. Graan. De huidige aanschafprijs is ongeveer € 20.000. Door het ook op aardappelen en suikerbieten toe te passen en onregelmatige werking van drijfmest op te vangen, is er meer winst te behalen.

3.3 Geleide bemesting in ruimte

Het uitgangspunt van geleide bemesting in de ruimte is dat de benutting van nutriënten door het gewas beter is als de mest naar de plant wordt gebracht of delen van een perceel, in plaats van een redelijk egale verspreiding over het gehele teeltoppervlak. Bij mobiele nutriënten, zoals stikstof, is het bijkomende doel uitspoeling zo veel mogelijk te beperken. Bij minder mobiele nutriënten, zoals fosfaat, is plaatsing vooral een methode om de jonge wortels tijdig van het betreffende nutriënt te voorzien.

Bij plaatsing van de meststof nabij de plant kan doorgaans worden volstaan met een bruto lagere dosering per hectare dan bij breedwerpige toediening. Bij meststoffen die – van nature of door bewerking – langzaam oplossen, heeft plaatsing bovendien als voordeel dat door de lokaal hogere concentratie van het betreffende nutriënt de plant minder snel last zal hebben van concurrentie in de vorm van chemische vastlegging door de bodem of biologische vastlegging door andere organismen (bodemorganismen en onkruiden).

In de hieronder gegeven voorbeelden van geleide bemesting in de ruimte is vooral ingegaan op de horizontale component, waarbij plaatsing van meststof in de buurt van de plant centraal staat. Daarnaast is de verticale component van belang voor de oplosbaarheid of vluchtigheid van de meststof, maar daar wordt hier verder geen aandacht aan besteed. Een bijzondere vorm van geleide bemesting is de situatie waarbij rekening wordt gehouden met bestaande verschillen binnen een perceel. Hier wordt nader op ingegaan in hoofdstuk 3.3.3 (precisiebemesting).

3.3.1 Rijenbemesting

Rijenbemesting is de meest bekende en meest toegepaste methode van geleide bemesting in de ruimte. Vereist is dat het gewas in rijen staat. Met betrekkelijk eenvoudige apparatuur kan gekorrelde meststof langs de rijen worden aangebracht. De afstand tot de rij is afhankelijk van de verwachte wortelontwikkeling van het gewas. Al dan niet inwerken van de meststof is afhankelijk van de oplosbaarheid van de meststof; minder goed oplosbare meststoffen moeten worden ingewerkt.

Voor het toedienen van snelwerkende stikstofmeststoffen heeft rijenbemesting doorgaans alleen zin bij gewassen met een ruime afstand tussen de rijen en met een hoge stikstofbehoefte in een relatief korte periode. N-rijenbemesting kan N-verlies door uitspoeling beperken. De grond in het niet bewortelde gedeelte wordt immers niet bemest. Rijenbemesting heeft het

meeste perspectief op stikstofarme gronden, bij zwakwortelende gewassen, bij gewassen die op ruime rijenafstand worden geteeld, bij slechte bodemstructuur, bij koude tijdens de begingroei, en bij combinaties van deze factoren. Gezien de fosfaattoestand van de meeste percelen in Nederland is rijenbemesting met fosfaat minder relevant geworden.

Rijenbemesting leidt lang niet bij alle gewassen tot een voordeel. Rijenbemesting met snelwerkende stikstof vindt vooral plaats in (vooral jonge) maïs; een besparing van 20 tot 30 % op de kunstmestgift is hier mogelijk. Er kan niet meer dan 120 kg N per ha in de rij kan worden toegediend met het oog op zoutschade. Bij suikerbieten geeft stikstofrijenbemesting alleen voordeel op stikstofarme percelen bij vroege zaai en lage temperaturen. In die gevallen leidde rijenbemesting tot een besparing van 30 % op de N-gift en werd zelfs ook een 5 % hogere opbrengst gehaald. In andere situaties (stikstofrijke grond, bij later zaaien en bij hogere temperaturen) bood rijenbemesting geen voordeel ten opzichte van breedwerpige bemesting. In proeven met aardappelen, uien, sluitkool, bloemkool en spruitkool is geen voordeel door rijenbemesting gevonden. Bij broccoli (zomerteelt) pakte rijenbemesting wel gunstig uit, vermoedelijk omdat broccoli een veel hogere N-opname per dag heeft dan die van andere koolgewassen. Met rijenbemesting zou de N-gift met 40 kg per ha omlaag kunnen.

Bij injectie van drijfmest in een gewas in het veld is het doorgaans minder terecht te spreken van rijenbemesting. Om wortelbeschadiging te voorkomen zal in de meeste gevallen worden gekozen voor een toepassing midden tussen de rijen, waarbij de meststof zich verder vanzelf verspreidt. Bij een grotere afstand tussen de rijen kan het wel nut hebben een vorm van mechanisatie te kiezen die het mogelijk maakt de drijfmest – met daarin snel beschikbare nutriënten – dicht langs de rij aan te brengen. Bij hoge doseringen van drijfmest blijkt het lastig te zijn om dit toe te dienen in rijen, zonder dat dit vervolgens weer uitvloeit over het oppervlak. Bovendien is er kans op versmering van de grond door de kouters van de injecteur. Bijbemesting tijdens het groeiseizoen kan leiden tot bladverbranding en in geval van droogte tot geen of onvoldoende werking. Dit kan opgevangen worden door de meststof tussen de rijen aan te brengen. Een ander nadeel is dat de stikstof niet homogeen door de grond wordt verdeeld, waardoor het moeilijk wordt om voor de bijbemesting een representatief grondmonster te nemen.

Mest in oplossing of het effluent van gescheiden mest kan ook worden toegediend door gebruik te maken van irrigatieslangen (fertigatie). De mestgift kan in dat geval zeer gedoseerd worden aangeboden. Door eventuele bijmenging kan de samenstelling voor elk toedieningstijdstip worden afgestemd op de behoefte van het gewas. Omdat de afstand tussen de uitvloeioopeningen in de slangen is af te stemmen op de plantafstand binnen de rij, is zelfs eerder sprake van plantplaatsbemesting (zie hoofdstuk 3.3.5) dan van rijenbemesting. Fertigatie maakt geleide toepassing in zowel ruimte als tijd mogelijk. Deze techniek wordt verder besproken in Hoofdstuk 3.3.6.

Een bijzondere vorm van rijenbemesting is het gebruik van de Cultan-methode: een methode waarbij een stikstofmeststof met nitrificatieremmer bij het planten langs de rij, of na enkele weken tussen de rijen, wordt aangebracht (zie Hoofdstuk 3.3.3). Een redelijk hoge concentratie van het product is een voorwaarde voor een goede werking. Rijenbemesting in combinatie met langzaam werkende stikstof speelt vooral in de groenteteelt (vooral bij prei), evenals rijenbemesting met fosfaat (stamslaboon en tuinbonen). De besparing moet komen uit het weglaten van de extra buffer die men anders gewend is te geven om risico's van een te lage gift uit te sluiten. Dit kan variëren van 20% voor stikstof tot 50% voor fosfaat.

Rijenbemesting met snelwerkende stikstof is vooral geschikt voor gewassen met een rijenafstand van 75 cm of meer. De besparing komt uit een betere benutting van de stikstof, waardoor de gift lager kan uitvallen. Rijenbemesting met langzaamwerkende meststof is geschikt voor gewassen waar gedurende het gehele groeiseizoen aanbod van stikstof moet zijn. De besparing komt uit de plaatsing van N bij de wortels, waardoor de planten het gemakkelijker op kunnen nemen, met verminderde uitspoeling als gevolg.

Rijenbemesting met fosfaat speelt alleen een rol in groentegewassen, met een relatief klein wortelstelsel en een lage fosfaattoestand van de grond.

Producten als compost en vaste dierlijke mest lenen zich door hun fysieke eigenschappen doorgaans minder goed voor toepassing in een smalle strook langs de rij. Bovendien worden deze producten ook ingezet om het organische-stofgehalte op peil te houden, waarbij een creëren van heterogeniteit minder wenselijk wordt geacht.

3.3.2 Beddenbemesting

Bedden bestaan uit een aantal rijen, die zo dicht naast elkaar liggen, dat er vrijwel niet tussendoor kan worden gereden. Tussen de bedden zijn wel rijstroken uitgespaard, maar die worden doorgaans gewoon meebemest bij breedwerpige

toediening. In de bollenteelt is inmiddels ervaring opgedaan met het zodanig aanpassen van de apparatuur dat alleen de bedden worden bemest. De strooipijpen worden tussen de rijen gebracht. De kosten worden veroorzaakt door aanpassing van de apparatuur. De winst zit bij deze methode in het achterwege laten van de bemesting op de paden. In principe kan het achterwege laten van bemesting worden toegepast op alle niet beteelde stukken, zoals kop- of wendakkers. Proeven in de bollenteelt laten een besparing zien die kan oplopen tot 20%, louter doordat een kleiner oppervlak wordt bemest. Binnen de fruitteelt ontstaan bedden door het gebruik van grasbanen tussen de rijen bomen. De bemesting vindt alleen plaats op de zwartstrook; dit kan door toedienen van de bemesting rond de boom (plantplaatsbemesting; zie Hoofdstuk 3.3.5) of middels fertigatie (zie Hoofdstuk 3.3.6), wat doorgaans ook neerkomt op plantplaatsbemesting.

3.3.3 Precisiebemesting

Heterogeniteit in een perceel verdraagt zich, zowel uit economisch als milieukundig oogpunt, slecht met een uniforme toepassing van bemesting. Divers onderzoek in het kader van precisielandbouw in Nederland heeft aangetoond dat ook onder Nederlandse omstandigheden er dermate grote bodemverschillen zijn binnen de percelen dat het de moeite waard is om daar op in te spelen. In dit kader is het noodzakelijk om de handelingen met betrekking tot bodem- en gewaswaarnemingen, en toediening van meststoffen niet alleen meer aan percelen te koppelen, maar ook aan specifieke locaties binnen die percelen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van unieke coördinaten die met Global Positioning Systemen (GPS) eenvoudig vastgelegd kunnen worden. Sensorsystemen voor gewas (N-sensor van Hydro-Agri) en bodem (Pandora) die gebruik maken van deze coördinaatsystematiek zijn al in ontwikkeling of worden toegepast. Verwerking van deze coördinaatgegevens gebeurt veelal in een omgeving die gekoppeld is met een Geografisch Informatie Systeem (GIS-module). Voor het toedienen van meststoffen is het mogelijk dat moderne strooiers aangestuurd worden vanuit een elektronische strooikaart. De vertaling van verschillende plaatsspecifieke bodem- en gewasinformatie tot een plaatsspecifiek bemestingsadvies verdient nog nader onderzoek. Vooral de rol die de mens in dat traject zal en moet hebben moet nader uitgewerkt worden.

Samen met de Rijksuniversiteit Groningen heeft de Soil Company het bodemdetectiesysteem 'Pandora' ontwikkeld. Met dit systeem is het mogelijk snel en gedetailleerd de samenstelling van de bodem van landbouwpercelen te karteren. Het meet de homogeniteit van een bodem. Kennis over de homogeniteit/variabiliteit van een perceel maakt het mogelijk om plaatsspecifiek te bemesten. De scan wordt uitgevoerd voor het zaaien of planten, zodat met de basisbemesting met deze gegevens rekening kan worden gehouden. Variabiliteit in bemestingsbehoefte wordt op deze wijze al voor het groeiseizoen genivelleerd en niet pas later als verschillen tijdens het groeiseizoen naar voren komen.

De scanner meet de hoogte van de natuurlijke gammastraling, die o.a. nuclidien als kalium, thorium, uranium en caesium afgeven. De hoogte van deze straling hangt af van de samenstelling en geaardheid van de bodem. Uit de gemeten nuclidienconcentraties worden bodemfysische en bodemchemische eigenschappen van de betreffende bodem afgeleid (o.a. lutum- en zandfracties, pH, calcium, magnesium, fosfaat, kation exchange capacity en de algehele bodemvruchtbaarheid). Ondersteund door GPS en GIS-technologie wordt deze informatie volledig en nauwkeurig in kaart gebracht.

De scanner kan eenvoudig op een trekker worden gemonteerd. Bij een bevestiging op 75 cm boven de grond is het bereik een cirkel met een diameter van 6 meter. De scandiepte is 30 tot 50 cm. De werksnelheid van de scanner ligt op 40 ha per dag. Door de gegevens van de Cropscan en de N-Sensor (bladreflectiemetingen) te koppelen aan die van de bodemscan kan een relatie gezocht worden tussen afwijkingen in het groeigedrag (bemestingsbehoefte) en plaatselijke bodemgesteldheid. Met GPS en GIS kunnen de meetgegevens van Pandora, Cropscan en N-Sensor visueel worden gemaakt. Na analyse kunnen zomogelijk plaatsspecifieke maatregelen genomen worden. Het systeem bevindt zich nog in een testfase.

Bij precisiebemesting behoort ook de inzet van betrouwbare bemestingsmachines. Betrouwbaar wat betreft de gewenste hoeveelheid en wat de verdeling betreft. Kunstmeststrooiers moeten periodiek worden gekeurd. Tussen typen machines bestaan grote verschillen in instelbaarheid van de dosering en de betrouwbaarheid van toediening van meststoffen.

In gevallen waar de heterogeniteit een gevolg is van moeilijk aan te pakken problemen (bijvoorbeeld slecht ontwaterde plekken), kan de lokale opbrengstderving als gegeven worden beschouwd, en de mestgift navenant worden aangepast. Maar als de heterogeniteit door bemesting kan worden teruggedrongen, kan worden besloten de mindere plekken tijdelijk juist wat zwaarder te bemesten. Overigens is het denken nog steeds gericht op het bereiken van uniformiteit binnen het

gewas. Met precisielandbouw ondersteund door GPS zijn besparingen van 15-25% ten opzichte van de conventionele aanpak mogelijk (Van Alphen, 2002).

3.3.4 Bladbemesting

Bladbemesting is een wel heel speciale vorm van geleide bemesting in de ruimte. Wanneer correctie van een nutriëntengebrek niet kan worden verholpen door toediening van mest via de grond en de wortel, wordt een nutriëntoplossing direct op het blad gespoten. Opname vindt dan plaats via de celwanden in het blad.

Een bekend voorbeeld is bespuiting met ureum van gewassen die op zeer korte termijn behoefte hebben aan extra stikstof. Ook om een gewas visueel aantrekkelijker te maken, worden bladbespuitingen toegepast ter verkrijging van een diepe groene kleur (of bij prei: blauwe kleur). Een combinatie van ureum met bitterzout (magnesium) wordt in de boomteelt gebruikt voor afharding van blad.

Wanneer grotere hoeveelheden ureum worden toegediend via een bespuiting van het blad (30 kg ureum bij aardappelen), is in feite geen sprake van bladbemesting; een groot deel van de meststof spoelt af, en bereikt het gewas via de grond en de wortels. Bijkomend nadeel is de mogelijkheid van ammoniakvervluchtiging, of uitspoeling. Ook de mogelijkheid van bladverbranding vormt een risico; bij gewassen als sla kan dit al bij hoeveelheden van 10-15 kg N/ha.

Bladbemesting kan plaats vinden in combinatie met andere bespuitingen. Maar de problemen zitten vaak in de logistiek: speciale opslagtanks zijn nodig en corrosie vormt een probleem.

Toediening van sporenelementen, zoals borium, vereist zulke kleine hoeveelheden dat het niet mogelijk is een gelijkmatige verdeling over het veld te krijgen. De enige mogelijkheid is dan gebruik te maken van een oplossing die als bladbemesting wordt toegediend. Bij een hoge pH worden de meeste sporenelementen slecht beschikbaar. Zolang die oorzaak niet wordt weggenomen, heeft toediening van sporenelementen aan de bodem geen zin. Bladbemesting is dan een oplossing.

Het is niet reëel om voor bladbespuiting een opgave te doen van besparing op meststof; de gebruikte hoeveelheden zijn klein en de beoogde resultaten zouden niet bereikt kunnen worden door toediening van grote hoeveelheden op een andere wijze.

3.3.5 Plantgat- of plantplaatsbemesting

Zaad bevat genoeg nutriënten om een kiemplant te laten ontstaan. De jonge wortels moeten vervolgens in hun nabijheid voldoende nutriënten vinden. Vooral voor minder mobiele nutriënten, zoals fosfaat, is het zaak deze op korte afstand aan te bieden. Een logische gedachtegang is dan om tegelijk met het zaad wat meststof in het plantgat aan te brengen. Bijkomend voordeel is dat slechts één werkgang nodig is voor zaaien en bemesten. Grote hoeveelheden meststof kunnen niet worden toegediend, omdat anders zoutschade kan ontstaan.

Plantgatbemesting moet worden gezien als een startgift om de jonge plant op weg te helpen. Nog afgezien van mogelijke zoutschade, heeft het geen zin om grote hoeveelheden nutriënten – al dan niet in de vorm van langzaamwerkende meststof – in de directe nabijheid van het zaad te brengen, aangezien in de loop van de tijd de wortels verder weg groeien.

Bij boomgewassen kan met de kluit van het plantgoed een hoeveelheid bemeste grond meekomen. Bovendien kunnen boomgewassen per boom worden bemest. In de fruitteelt is dit al gebruikelijk, al dan niet met fertigatie.

Plantgatbemesting lijkt, met de mechanisatiemogelijkheden en de plantafstanden in de Nederlandse landbouw, geen voordelen te bieden boven een gecombineerde werkgang van zaaien en rijenbemesting.

3.3.6 Fertigatie

Fertigatie is de gecombineerde en gelijktijdige toediening van meststoffen en water. Hierbij worden aan het irrigatiewater vloeibare meststoffen toegevoegd. De irrigatievorm die gebruikt wordt is druppelirrigatie via slangen.

De slangen worden gelijktijdig met het uitplanten van het gewas ondiep langs de planten gelegd, met de gleufvormige druppelopening naar de zijkant. De slangen hebben een diameter van 16 mm en een druppelafstand van 20-30 cm (afhankelijk van het gewas). Ze zijn van polyethyleen en compact oprolbaar. De slangen worden na de teelt met een eenvoudig oprol systeem achter de trekker verwijderd. Er zijn echter ook eenjarige slangen die bij oogst van het gewas verwijderd worden en weggegooid. Deze worden wel weer gerecycled. Tijdens de teelt werkt het arbeidsbesparend omdat geen beregeningsbuizen meer geplaatst hoeven worden.

Bij volveldsirrigatie verbeterde de homogeniteit van het gewas (**ijsbergsla, spinazie, kool en prei**) en werd met minder meststof dezelfde opbrengsten verkregen. In het algemeen had fertigatie een geringe invloed op de opbrengst of de kwaliteit (nitraatgehalte in de gewassen). Een kanttekening is wel dat opnamepatronen van gewassen bekend moeten zijn om een fijnafstemming van de gift mogelijk te maken.

Bij druppelfertigatie in **broccoli** zit naast de efficiëntere benutting van water, dat zouter kan zijn dan bij beregening, en stikstof, de winst vooral in een gelijkmatige schermontwikkeling. De rendabiliteit dient over meerdere jaren bekeken te worden, daar fertigatie in drogere jaren meer oplevert dan in nattere jaren.

In vergelijking met buizenberegening vraagt druppelirrigatie minder arbeid en het systeem is makkelijk te automatiseren (van Dam, 2001).

Bij gewassen die een lange periodieke oogstperiode hebben (zoals **augurk en courgette**) kan met fertigatie goed op de stikstofvoorziening worden ingespeeld. Een ander voordeel is dat het gewas droog blijft waardoor de ziektedruk vermindert (vooral schimmels).

Het voordeel van fertigatie bij **kool** is dat de waslaag van de kool intact blijft. Echt financieel voordeel voor de kool valt er pas te halen als drijfmest gebruikt kan worden als meststof. Nu is het scheiden van drijfmest in een vloeibare en een vaste fractie nog een duur proces (€ 3,60 per kubieke meter).

Bij **tulpen** hielp druppelirrigatie bij het tegengaan van Botrytis, omdat vuur minder kans heeft bij een droog gewas. Hier werd de opbrengst niet verbeterd door fertigatie (duinzandgronden). Opbrengsten bij **lelies** waren hoger, vooral door een besparing op water en stikstof (58-89 kg/ha) (duinzandgrond). Op een humeuze zandgrond werd geen effect op de opbrengst gevonden en evenmin een besparing op water en N-gift. Wel was er bij fertigatie minder onkruid dan bij beregening, wat kan komen doordat er bij fertigatie geen water en stikstof in de paden gegeven worden. Bij **hyacint** op duinzandgronden met fertigatie zijn ook hogere opbrengsten gevonden waarbij ook de bloemkwaliteit hoger lag (een grotere bloemtros). Beregening leidt in het algemeen tot meer witsnot dan fertigatie. Bij recent onderzoek in de biologische bollenteelt werd een 50% hogere aanwas gevonden. Het voordeel, vooral voor de biologische teelt, voor voorjaarsbloei is dat met fertigatie via ondergronds liggende slangen het mogelijk is om binnen alle regels stikstofrijk filtraat van drijfmest vroeg in het voorjaar toe te dienen. Bij veel bolgewassen begint het wortelstelsel rond 10 a 15 cm diepte. Het tijdig inregenen van kunstmest is daardoor van groot belang voor de efficiëntie van de opname. Een kwantitatieve schatting van de mogelijke besparingen zijn echter niet te geven.

De grootste winst bij **laanbomen** komt uit de verbetering van de kwaliteit. Meer bomen komen in een hogere dikteklasse en brengen dan meer geld op. Bovendien is er minder uitval en lijken de bomen gezonder en zien er goed uit. Als kanttekening kan worden gemeld dat fertigeren wel op zandgronden werkt maar niet op kleigrond, bovendien moet het water niet teveel ijzer bevatten (Vliet van, 1999).

Uit proeven met de **aardappel** blijkt dat het voorlopig nog te duur is. De efficiëntie van water en N-gift was hoger, maar de opbrengst bleef achter. Belangrijk was dat de hoeveelheid en het tijdstip van toedienen worden afgestemd op de gewasbehoefte en de stikstoftoelevering door de bodem. Een Hydro Terra (ammonium polyfosfaat) toediening resulteerde in een geringere toename van het aantal knollen en een hoger uitbetalingsgewicht bij de eindoogst. De aantasting door schurft verminderde wel. Opname van met name fosfaat is door fertigatie makkelijker en dat is weer goed voor de wortelontwikkeling. Hierdoor zou schade door aardappelpycnostenaltjes beperkt worden.

Op zavelgronden met het ras Bintje leek een betere opbrengst met N-fertigatie mogelijk te zijn, maar er was nog te weinig duidelijkheid over de optimale verdeling van de giften. Een lage N-startgift aangevuld met een geleidelijk aanbod tijdens het seizoen leek de beste perspectieven te bieden. (Postma, 2000)

De totale kosten per jaar zijn ongeveer € 2.135 per ha. (gegevens Daily Drip). De besparing in kosten van bemesting alleen weegt niet op tegen deze kosten. Zelfs bij een besparing van 30% op de bemesting is de financiële besparing in aanschaf van meststoffen en reductie in heffing bij GLP slechts €45 tot € 90 per ha.

Wil fertigatie economisch interessant zijn dan moet het een extra opbrengst opleveren van 3-6% voor tulp en 2-4% voor lelie en hyacint om de meerkosten ten opzichte van een beregeningsinstallatie goed te maken.

Hoewel er bij verschillende gewassen wel een lichte opbrengst stijging is waargenomen, evenals een daling van de benodigde meststoffen en de grootte van de watergift, wegen deze factoren echter nauwelijks op tegen de kosten. Wel was er het positieve effect van een gelijkmatiger groeiend gewas, verminderde onkruidgroei, door gericht water en nutriëntengift en een mindere kans op aantasting door ziekten, waardoor er misschien minder bestrijdingsmiddelen gebruikt hoeven te worden. Hierover is echter nog onvoldoende bekend, omdat onderzoek gericht was op opbrengstverhoging en reductie in meststofgebruik. Voor gewassen die moeite hebben binnen de MINAS normen aan voldoende stikstof te komen (biologische tulpen, winterprei) is fertigatie een uitkomst. Of fertigatie het gewenste resultaat oplevert hangt samen met de uitgangstoestand van het perceel, bodemvruchtbaarheid, temperatuur en neerslag gedurende het seizoen. Bij een lagere bodemvruchtbaarheid en bij droogte heeft fertigatie eerder positieve resultaten, doordat het naar de plant toebrengen van water en mineralen efficiënter werkt. In gronden die rijk is aan nutriënten en bij een goed gespreide regenval is niet veel te winnen met fertigatie. .

Voor fertigatie is het ook van belang dat de teler zijn gewas en grond goed kent om op de juiste manier in te spelen op de opnamebehoefte van het gewas.

3.4 Aangepaste mestsoorten

3.4.1 Slow release meststoffen

Slow en Controlled-release meststoffen zijn meststoffen die nutriënten bevatten in een vorm die of a) de beschikbaarheid voor plantopname en het gebruik vertraagt, of b) die significant langer voor de plant aanwezig is dan een gemiddelde 'snel beschikbare nutriënt meststof'. Een meststof mag pas beschreven worden als slow-release als de nutriënt(en) die worden aangegeven als slow-release, onder bepaalde omstandigheden, waaronder een temperatuur van 25°C, aan de volgende drie criteria voldoen:

- Niet meer dan 15% komt vrij in 24 uur
- Niet meer dan 75% komt vrij in 28 dagen
- Minstens ongeveer 75% komt vrij in de vermelde vrijkomingsstijd. (Trenkel, 1997)

Er worden 6 principes onderscheiden die zorgen voor een langzame afgifte van voedingsstoffen uit meststoffen:

1. Lage oplosbaarheid van de meststof in de bodem;
2. Langzame afbraak van de meststof door micro-organismen in de bodem (biodegradatie)
3. Coating van de meststof;
4. Opsluiten van de voedingsstoffen van een meststof in een matrix;
5. Toevoeging van remstoffen van natuurlijke bodemprocessen aan de meststof;
6. Gebruik van ionenwisselaars

Doorgaans worden alleen meststoffen onder 4 en 5 aangeduid met controlled release meststoffen (NMI, 2000). De gecoate meststof kan omgeven zijn met zwavel, was en een anti-kleeflaag (Gold-N), of een zwavellaag met daaroverheen een waterdoorlatende beschermlaag van polymeren (Agroblen Base). Een dikkere beschermlaag geeft de meststof een langdurige werking. Zowel de waslaag als de polymeeromhulling remmen het binnendringen van vocht af, waardoor het ureum trager vrijkomt. Zwavelomhulde meststoffen werken sterk verzurend. Dit vertraagt de omzetting van ureum in ammonium en daarna in nitraat. Bij hogere bodemtemperaturen breekt de waslaag sneller af en gaat ureum sneller in oplossing. Volgens de producenten heeft de bodemtemperatuur onder Nederlandse omstandigheden nauwelijks invloed op het vrijkomen van de voedingsstof.

Meststoffen met een coating van hars geven de voedingsstoffen via diffusie af. Het huidje is gemaakt van biologisch afbreekbaar materiaal dat naast vocht ook voedingsstoffen doorlaat. Als de grond voldoende vochtig is, dringt het water de korrel binnen. De voedingsstoffen in de korrel lossen op en er ontstaat binnen de omhulling een hooggeconcentreerde vloeistof. Door concentratie verschil binnen en buiten de korrel verlaten de voedingsstoffen langzaam maar zeker de omhulling. De afgifte van voedingsstoffen is doorgaans regelmatig dan bij meststoffen met een zwavelomhulling. Bij lage temperaturen kan het vrijkomen van voedingsstoffen echter onvoldoende zijn.

Ten slotte zijn er nog kunstharcoatings (Bascote, multicote, nutricote, osmocote en plantacote). De dikte van de harslaag en de bodemtemperatuur bepalen grotendeels hoe snel de voedingsstoffen vrijkomen. Bij warm weer kunnen de voedingsstoffen zelfs zo snel vrijkomen dat er zoutschade kan ontstaan. (Berg, 1998)

De meststof komt geleidelijk beschikbaar, meestal over een periode van 2 tot 9 maanden. Hierbij zijn de weersinvloeden (temperatuur en neerslag) echter wel van groot belang. Agroblen komt onder invloed van de temperatuur wisselvallig vrij, wat nadelig kan zijn voor de plant, door te grote dan wel te lage beschikbaarheid van N. Als het vrijkomen van de meststof goed is afgestemd op de behoefte van het gewas, kan de concentratie aan minerale nutriënten (van bijvoorbeeld stikstof) in het bodemvocht laag blijven, wat de kans op verliezen door uitspoeling beperkt. Gewassen die een hoge stikstof behoefte aan het begin hebben zoals aardappelen, maïs en sla, hebben geen voordeel van slow release meststoffen, tenzij er een extra startgift gegeven wordt. Tijdens het seizoen kan ook weinig meer gestuurd worden: de gift is al aan het begin van het seizoen gegeven. Er kunnen alleen extra giften gegeven worden, maar dan gaat het arbeidsbesparende effect en de besparing op stikstof verloren. Meting van minerale stikstof in het bodemvocht bij gebruik van langzaam werkende meststoffen zegt niet veel over de beschikbaarheid. Het deel van de meststof dat nog niet is vrijgekomen wordt niet gemeten. Metingen aan gewasmateriaal zijn daardoor geschikter om te bepalen of er genoeg N beschikbaar vrijkomt uit de slow release meststoffen.

De langzaam werkende meststoffen verminderen de toxiciteit (voornamelijk voor zaailingen), die veroorzaakt wordt door hoge ion concentraties als gevolg van de snelle oplossing van gangbare meststoffen (in sommige gevallen ook van ammonium, bv na de gift van urea). Op deze wijze dragen ze bij aan betere landbouwveiligheid. Als gevolg van de verminderde toxiciteit en zoutconcentratie van de substraten zijn grotere mestgiften mogelijk (depot bemesting waardoor gifrequentie omlaag kan) in vergelijking tot gangbare oplosbare meststoffen. Dit resulteert in duidelijke besparingen in arbeid, en leidt tot een gemakkelijker gebruik van de mest. Deze laatste factor bevat het grootste voordeel voor het merendeel van de huidige gebruikers van slow en controlled release meststoffen. Daar staat tegenover dat de prijs van deze meststoffen vaak een stuk hoger ligt dan de prijs van de gangbare meststoffen (Agroblen kost €185-250 per 100 kilo product)

Het eerste tijdstip van vrijkomen van zwavel gecoate controlled release meststoffen kan te snel zijn, wat schade aan de plant kan veroorzaken. Ook zijn sommige korrels zo dik gecoate dat het nutriënt dat zich in de korrels bevindt niet vrijkomt gedurende de vraagperiode van het gewas. Grote hoeveelheden van zwavel gecoate urea kunnen de pH van de bodem laten dalen, daar zowel zwavel als urea bijdragen aan een verlaagde pH. Polymeer gecoate of ingekapselde controlled release meststoffen kunnen ongewilde residuen van synthetisch materiaal op de velden achter laten.

Ondanks de voordelen van slow of controlled release meststoffen in het significant verbeteren van de nutriënt efficiëntie (vnl. van N) en het minimaliseren van ongewenste verliezen naar het milieu, is het onwaarschijnlijk dat deze types meststoffen wijdverbreid gebruikt gaan worden bij lage-opbrengstgewassen, tenzij de kosten van deze meststoffen duidelijk omlaag gaan.

Hun invloed kan voornamelijk groot zijn met betrekking tot milieu aspecten. Als milieuwetgeving beperkingen legt op de toediening van stikstof op het land, waar de mogelijkheid bestaat van vervuiling van grondwater, stroompjes of meren kunnen telers gedwongen worden deze typen meststoffen te gebruiken (Trenkel, 1997) Er moet dan echter wel meer onderzoek gedaan worden naar de invloed van weersinvloeden op het vrijkomen van de nutriënten Het meeste onderzoek dat tegenwoordig gedaan wordt naar langzaam werkende meststoffen wordt gedaan door de producenten.

Korrelgrote, hardheid van de korrel en de omhulling hebben invloed op de snelheid van vrijkomen van de voedingsstoffen. Daarom is een goed beeld van de opname van het gewas vereist. Sommige meststoffen hebben zowel snel als langzaam vrijkomende voedingsstoffen in zich, waardoor een startgift overbodig is. Sommige meststoffen werken beter in zure gronden (Compo Triabon).

3.4.2 Nitrificatieremmer (Entec)

Van een aantal meststoffen is bekend dat deze de omzetting van ammonium in nitraat remmen. Entec (€ 30-100 per kilo) meststoffen bestaan uit stikstofmeststof in combinatie met de nitrificatieremmer. De gebruikte nitrificatieremmer is DMPP (3,4 dimethylpyrazolofosfaat). Er zijn vele andere nitrificatie remmers, waarvan twee commercieel geslaagden: Nitrapyrin: 2-chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine (gebruikt in graan) en DCD: dicyandiamide, (CMP is alleen gebruikt in combinatie met

DCD). Nitrificatieremmers zijn stoffen die de bacteriële oxidatie van het ammonium-ion (NH_4^+) in nitraat (NO_3^-) vertragen door gedurende een bepaalde periode de activiteiten van Nitrosomonas- bacteriën in de bodem te onderdrukken. Het doel van het gebruik van nitrificatieremmers is de uitspoeling van nitraat te controleren, door stikstof langer in de ammonium vorm (minder uitspoelingsgevoelig) te houden, denitrificatie van nitraat-N te voorkomen en de efficiëntie van gegeven stikstof te verhogen. Nitrificatieremmers werken 4 tot 8 weken.

In onze humusrijke gronden zetten bacteriën de ammonium-stikstof in de bodem zeer snel om tot nitraat-stikstof. Het nadeel van nitraat-stikstof is dat deze door zijn negatieve lading zeer slecht gebonden wordt aan het klei-humus-complex en veel gevoeliger is voor uitspoeling dan het positief geladen ammonium-stikstof.

Het is door deze uitspoeling te beperken dat men aan de vereiste lage nitraatconcentratie in het grondwater denkt te kunnen voldoen. Het voordeel van ammonium-meststoffen t.o.v. de langzaam werkende meststoffen is dat de volledige stikstof-bemesting de hele teelt ter beschikking is van de planten.

Bij bemesting van **kropsla** met Entec werd geen zichtbare verhoging van de opbrengst gevonden in vergelijking met bemesting met KAS (Kell, 2000 en De Rooster, 2002). Bij bemesting van **broccoli** door verschillende langzaamwerkende meststoffen (Kalkstikstof, Piamon 33, KAS, Alzon 47 en Hoornmeel) lag de opbrengst bij Entec ruim 20% hoger. N-metingen voor oogst gaven een hoog ammonium gehalte aan in de grond in vergelijking tot de andere meststoffen en een gemiddeld nitraat gehalte. Entec bleek bij langere regenperiodes ook uitspoelingszeker te zijn. Piamon en Alzon hadden niet heel veel hogere nitraat waarden in de bodem dan Entec, maar wel een stuk lagere ammonium concentratie (vooral Alzon). Bij Alzon was er erg veel uitval van planten. Bij zowel Alzon als Piamon lagen de opbrengsten een stuk lager dan Entec en ook lager dan KAS. (K.Kell, 2001)

Stikstof met toevoeging van nitrificatie remmers kan gebruikt worden in de lente. Speciaal in bodems met een lage watervasthoudende capaciteit. Ook in gewassen zoals **biet** en **aardappel**, met een relatief lang vroeg groeiseizoen kunnen nitrificatieremmers de stikstof beschermen tegen misplaatsing. (Wozniak, H. 1999).

In proeven met **prei** gaf de Cultan-methode een meeropbrengst van 8-10% t.o.v. proeven met Nitrophoska Stabil en Perfect (DCD) op humusrijke gronden. De kwaliteit en houdbaarheid van de prei geteeld met nitrificatieremmers was minder dan met Cultan. Op het gebied van nitraatresidu in het gewas was er weinig verschil tussen de bemestingen. (De Rooster, 1997)

In diverse studies (Follet, 1989) is vastgesteld dat bij najaarstoediening de stikstofefficiëntie verhoogd kan worden als nitrificatieremmers worden gebruikt, maar het is niet bekend of dat ook in de bloembollenteeltsystemen geldt. Op een heel najaars- en winterseizoen is een aantal weken vertraging van de omzetting in veel gevallen niet voldoende om uitspoeling te voorkomen. Een grote efficiëntiewinst is dus niet te verwachten.

In **wintergraan** werd, bij toediening van ammonium sulfaat nitraat + DCD, een verhoogde N-efficiëntie gevonden wat leidde tot hogere opbrengsten en financiële voordelen (Pasda, 1995). In Duitsland vond Scheffer (1991) in een experiment van 7 jaar dat de uitspoeling van nitraat substantieel af kon nemen met DCD- gestabiliseerde meststoffen in vergelijking tot Kalk ammonium nitraat (27% reductie op een podsol/gley bodem en een 40% reductie op een leem bodem). Amberger (1993 en 1991) en Gutser (1991) benadrukten ook dat de uitspoeling van nitraat, voornamelijk in een vochtige lente, en onder gewassen zoals maïs en suikerbiet, konden worden voorkomen. (Amberger en Germannbauer, 1990).

Bij breedwerpige toediening in de zomer van Entec 26 kan de omzetting van ammonium in nitraat in 2 weken verlopen en kan stikstof alsnog uitspoelen, vergelijkbaar met KAS. De omzetting naar nitraat, en daarmee de gevoeligheid voor uitspoeling, wordt sterk geremd naarmate de concentratie van de meststof hoger is. Entec injecteren in geultjes langs het gewas gaf daardoor de beste resultaten, met een goede productie en een langdurige aanwezigheid van stikstof in de vorm van ammonium in de teeltzone. Bovendien is het mogelijk dat planten ammonium heel goed kunnen opnemen (De Rooster, 1997). De aanmaak van eiwitten kost de plant met ammonium minder energie dan met nitraat. Ammonium zorgt daarnaast voor een verlaging van de pH, wat de opname van mangaan vergemakkelijkt.

De effectiviteit van de nitrificatieremmers hangt af van bodem type, pH waarde, temperatuur, regenval, N-bemestingsregime, type gewas en bedrijfsvoering. Opbrengsten lijken licht te stijgen met de diverse nitrificatie remmers (tot 6%) en nitraatgehalten in de bodem te verminderen. De grootste winst van Entec kan gehaald worden uit de positieve effecten op het nitraat gehalte in de gewassen en de bodem (laag) en op verminderde uitspoeling en emissie. Meer onderzoek hiernaar is echter nog nodig. De toegediende stikstof lijkt ook beter benut te worden, maar dat vertaalt zich niet direct in de mogelijkheid tot het geven van minder meststoffen. Dit zou kunnen wijzen op een extra buffer. Voor grotere bedrijven in het bijzonder, is het gebruik van nitrificatie remmers attractief. Het geeft een grotere flexibiliteit in wanneer de gift wordt toegediend (niet bij bollen) en er hoeft minder vaak bemest te worden, wat besparing in arbeidstijd oplevert. De prijs lijkt in ieder geval niet echt een bezwaar te zijn om Entec te gebruiken

3.4.3 Cultan methode

Cultan staat voor Controlled Uptake Long term Ammonium Nutrition. Deze manier van stikstof bemesten werd ontwikkeld aan de universiteit van Bonn. Het omvat een rijenbemesting dichtbij de plantenrij met een zeer geconcentreerde oplossing van ureum en ammoniumsulfaat. Een pomp en een schaarinjector doseren de meststof dichtbij de wortels. Als gevolg van de hoge concentratie kunnen nitrificatiebacteriën de ammoniumstikstof niet onmiddellijk omzetten tot nitraatstikstof; waardoor de plant een deel van de stikstof als ammonium op moet nemen en er tevens minder kans is op uitspoeling. In 100 liter oplossing zit 40 kg ammoniumsulfaat en 35kg ureum of 24,5 kg N per 100 liter.

In proeven met **prei** gaf de Cultan-methode een meeropbrengst van 8-10% t.o.v. proeven met Nitrophoska Stabil en Perfect op humusrijke gronden. Ook bleken op een paar plaatsen de bladkleur van de prei blauwer. De houdbaarheid van de prei geteeld met de Cultan-methode was beter. Ook vertoonde de prei minder roest-aantasting en minder bruine lengte strepen in het witte schachtgedeelte. Op het gebied van nitraatresidu in het gewas is er weinig verschil tussen de bemestingen. (De Rooster, 1997). Late herfststeelt **prei** op zandgrond leverde een betere groei op met cultan dan met KAS. Kwaliteit en kleur waren minstens zo goed als bij KAS. Bij ammoniuminjectie en KAS spoelde evenveel stikstof uit, wat aangeeft dat ammoniumwater toch niet ongevoelig is voor uitspoeling (Geel, W. van 2001).

Bij **ijsbergsla** op zand- en zavelgronden gaf ammoniumwater geen duidelijke opbrengstverschil met KAS bemesting. Met ammoniumwater lijkt bij ijsbergsla een lichte besparing op de stikstofgift mogelijk, maar niet bij een lage stikstofgift (Geel, W. van 2001). Bij **kropsla** gaf bemesting met cultan (130 kg N/ha) een verhoging van de opbrengst zolang het in combinatie werd gegeven met KAS (30 kgN/ha). De onkruidbezetting t.o.v. Entec bemesting was minder, wat verklaard kan worden doordat bij de Cultan methode de meststof vlak bij de wortels wordt gegeven (Kell, 2000).

Bij bemestingsproeven in **witte kool** tussen Praxis (KAS), Cultan en Entec gaf Praxis de hoogste opbrengst (11% meer), zowel totaal als per kool bij een gift van 335 kgN/ha voor alle 3. Tussen Cultan 100 % (335 kg N/ha) en Cultan 80 % (278 kg N/ha) zat een verschil in opbrengst van 5% in het nadeel van de 80%. Het verschil tussen Cultan 100% en Entec 100% was miniem. (Arold, 2001). Bij bemestingsproeven bij **rode kool** tussen Praxis en Cultan gaf Cultan bij een 100% (335 kg N/ha) gift een hogere opbrengst van 4%. Bij een 80% gift lag de opbrengst bij Cultan 4% hoger dan de 100% Cultan gift en 13% hoger dan 80% Praxis gift. De marktwaarde verschilde echter nauwelijks (Arold, 2000)

Knolvenkel opbrengsten zijn getest met Praxis, Cultan en zonder bemesting. Hierbij bleek de opbrengst van zowel Praxis 100% (180 kg N/ha) als Praxis 80% hoger dan de Cultan 100 en 80 % met zo'n 20%. Deze winst zat vooral in de opbrengst van grotere knollen. Cultan opbrengsten zaten zelfs licht onder de gangbare bemesting van 50 kg N/ha aan het begin van het groeiseizoen. Geen bemesting gaf erg lage waarden, 40% onder Cultan. (Arold, 2000)

In de **fruitteelt** wordt het Cultan-systeem gebruikt om '*Lime induced iron chlorosis*' te voorkomen. Met deze techniek wordt een deel van de wortels van de fruitboom naar een bepaalde plek in de wortelzone geleid door ammonium aantrekking. Daar wordt voor elke boom ongeveer 1 liter kalkgrond vervangen door compost materiaal dat verrijkt is met ijzer en ammonium, en dat verzuurd is door zwavelzuur om een pH waarde van 3,0 te krijgen. Het ammonium in deze mix wordt gestabiliseerd met een nitrificatie remmer. Van deze plekken nemen de bomen ammonium, ijzer en zwavel op, waarbij de zwavel in de boom reageert met het calcium. Deze techniek wordt met succes in een aantal landen gebruikt om de ziekte te overwinnen. (K. Sommers; ISHS symposium))

Cultan bemesting bij '**tuinboon**' gaf een duidelijke reductie van drogestof productie van wortels en bovengrondse delen. De wortels werden zwart en werden ernstig beschadigd. Cultan bemesting zorgde voor een pH toename dat het gevolg kan zijn van hydrolyse van urea dat wordt gegeven tijdens de Cultan bemesting. Het wordt aangenomen dat het voorkomen van hoge NH₃ concentraties in de bodem als gevolg van Cultan bemesting toxisch kan zijn voor 'broad bean'. (Yan, F. et al)

Alleen bij **spruitkool** is bekend dat Cultan geen positief effect heeft. In extreem natte jaren stelde Cultan teleur, de N-benutting was aanzienlijk slechter en de productie lag lager dan bij gedeelde KAS. Dit gold voor zowel prei als Chinese kool. Onder stikstofrijke omstandigheden bood Cultan nauwelijks voordeel in sla en Chinese kool, wat zomogelijk ook geldt voor andere korte groenteteelten. Alleen op armere gronden en na een voorvrucht die een lage Nmin achterlaat kan naar verwachting het meeste voordeel gehaald worden. (Geel, 2002)

Het grootste voordeel van Cultan is de meer gelijkmatige gewasgroei, doordat de N geleidelijk beschikbaar komt voor het gewas. Over het algemeen is de nitraatconcentratie in de gewassen met Cultan bemesting een stuk lager dan bij de gangbare bemesting. De resterende Nmin in de bodem na oogst is meer variabel. Omdat een meeropbrengst of de

mogelijkheid van minder N-gift bij gelijke opbrengst nog niet echt aangetoond is, zal toepassing van het Cultan systeem vooral afhangen van eventuele arbeidsbesparing en het feit dat minder nitraat in de gewassen beter is voor de volksgezondheid. Ook vermindering van onkruiden kan een positieve factor zijn. De kosten van Cultan zijn echter hoger (€91 per 100 kgN) dan voor gangbare meststoffen, en in sommige gevallen huurt de teler een loonwerker in om de bemesting uit te voeren. De kosten van een montage-unit zijn tussen de € 4500 en € 6800, inclusief een computer voor automatische dosering.

Vooraf onderwerpen zoals plaats van injectie, de stabiliteit van het depot na veel regen, de mogelijke stikstofbesparing en het eventueel later in de teelt injecteren (bijbemesting) moeten nog meer onderzocht worden. Ook combinaties met andere meststoffen zijn een optie.

3.4.4 Mengteelt met vlinderbloemigen

Vlinderbloemigen gaan een verbintenis aan met Rhizobium bacteriën in de bodem (symbiose). Deze rhizobium bacteriën gebruiken energie van het hoofdgewas en binden vervolgens stikstof uit de lucht. De bacteriën zijn echter geen efficiënte omzeters van de energie, en de natuurlijke N-fixatie gaat dan ook vaak ten koste van het gewas, waardoor opbrengsten van vlinderbloemigen over het algemeen laag zijn.

Vlinderbloemigen binden per ton bovengrondse droge stof maximaal zo'n 40 kg N per ha. De waarde van vlinderbloemigen is gelegen in de N die met stro, stoppels en wortels achter blijft. Niet alle gebonden N komt ten goede aan niet-vlinderbloemige volgteelten. Bij erwten en bonen gaat het om circa 90 kg N/ha, bij luzerne om 125 tot 185 kg N/ha, afhankelijk van de onder te werken stoppel. Het is vervolgens de C/N verhouding die bepaalt of de N op tijd vrij komt. Bij lage C/N waarden vindt er mineralisatie van N plaats, bij hogere C/N verhoudingen vindt net immobilisatie van N plaats. De C/N van gewassen van klavers en luzerne ligt rond de 16. Voor raaigras is dit ruim 20 en voor graan meer dan 60. Klavergroenbemesters hebben daarom, ondanks hun soms minder massale bovengrondse groei, een verrassend hoge N-werking. Na een geslaagde vlinderbloemige groenbemester is een besparing van 60 kg N/ha mogelijk.

Een nadeel is echter dat vlinderbloemigen een hoge behoefte aan fosfor en kalium hebben en dit moet toegediend worden. In de meeste gevallen worden vlinderbloemigen als rotatiegewas of braakgewas gebruikt, en vooral ook in de veehouderij als inzaai in weidegronden. Weinig onderzoek is gedaan naar mengteelten.

Een begroeide boomstrook (**fruitteelt**) heeft veel voordelen voor bodemstructuur, bodemleven en humusopbouw. Overal waar de concurrentie van een ondergroei acceptabel is of gecompenseerd kan worden met mest en water, heeft een boomstrookbegroeiing perspectief voor het biologische systeem.

Ondergroei blijkt beslist geen oplossing te zijn voor fruitelers, die moeite hebben met mechanische onkruidbestrijding. Er vindt minder concurrentie plaats dan met onkruid, maar wel meer dan zonder ondergroei (water geven compenseert deels). Het beheren van ondergroei vraagt minstens zoveel inzet van mechanisatie. In een jonge boomgaard kan vanaf 2^e of 3^e jaar klaver worden ingezaaid. Permanente klaver lijkt geschikt voor percelen waar de klaver in een aantal jaren mag vergrassen. Bij klaver wordt significant meer stikstof, kalium en calcium gevonden (ook meer pitten). Er werd geen verschil in groei-kracht of bladkleur van de bomen gezien. De verhoging van calcium en droge stof is gunstig voor de bewaarkwaliteit. Bomen die het eerste jaar op de kale grond zijn gehouden hebben in het derde jaar duidelijk een voorsprong in volume en dracht, regelmaat en bekleding. (LBI, 2000)

In **bollen** kan klaver(/gras) als tussenteelt plaats vinden als het land langer dan een maand niet in gebruik is. De combinatie gras/klaver gaf goede resultaten wat betreft bodembedekking en voldeed in het systeem. Echter dit mengsel heeft wel een stimulerende werking op de ontwikkeling van bepaalde bodempathogenen (trichodoride-aaltje, tabaksratelvirus, het wortellesieaaltje en het wortelknobbelaaltje).

Bij **granen** worden vlinderbloemigen wel tussen het graan gezaaid zodat er na oogst van het graan bodembedekking blijft. De meer opbrengst is echter dusdanig laag dat het niet echt populair is.

Als er toch al groenbemesters in de vruchtwisseling zijn opgenomen kunnen vlinderbloemigen extra stikstof aanvoer geven. De timing van vrijkomen van de stikstof is echter moeilijk te controleren. Ook moet er rekening gehouden worden met

uitbreiding van wortelonkruiden en aaltjes. Van mengteelt is alleen wat bekend bij fruitteelt waar het positieve effecten kan hebben. Bij andere gewassen is het de vraag of de mindere opbrengst opweegt tegen extra stikstofaanvoer.

3.5 Bemestingsbegeleidingssystemen

Bemestingsbegeleidingssystemen zijn gebaseerd op modelberekeningen die de balans tussen N-aanbod vanuit de bodem en N-vraag vanuit het gewas voorspellen. Ze hebben momenteel nog geen praktische waarde voor de boer en tuinder en worden vooral in het onderzoek gebruikt om de processen van stikstofmineralisatie, stikstofverliezen en N-gewasopname te beschrijven en te kwantificeren.

Tipstar; decision support system voor zetmeelaardappelen dat in project Agrobiocom wordt beproefd. Tipstar houdt rekening met:

- Variabiliteit van locatiemarkers zoals beschikbaarheid van nutriënten in de bodem, grondwater, en weersfactoren (temperatuur, neerslag en straling)
- Dynamiek van gewasmarkers (groeipotentie en opname van nutriënten door het gewas)
- Gewenste en gerealiseerde managementactiviteiten (toediening van dierlijke mest, voorvrucht etc.)
- Doelstellingen en randvoorwaarden gesteld aan de productie (productieniveau, nitraatuitspoeling etc.)

Met Tipstar wordt niet op basis van actuele metingen maar op basis van modelberekeningen geleid bemest. Met behulp van het model wordt de N-status van het bodem-plantsysteem geschat en op basis daarvan bijbemest. Tipstar is nog in een toetsingsfase en wordt nog niet commercieel gebruikt.

NDICEA. In Nederland is door de LUW (Jansen) het systeem Ndicea ontwikkeld. Het is een dynamisch simulatiemodel dat rekent op weekbasis. Het maakt gebruik van Excel spreadsheets en het voorspelt de hoeveelheid Nmin tijdens de teelt. Het is afgelopen jaren door een aantal instellingen op proeflocaties beproefd en is nog niet praktijkrijp.

ROTASK. Rotask is een dynamisch simulatiemodel op dagbasis gebaseerd op rekenregels van het IKC.

XCLNCE (Excellence). Door Alterra is op basis van spreadsheets het voorspellingsmodel XCLNCE ontwikkeld. Het beschrijft de stikstof- en koolstofdynamiek in de bouwvoor tijdens de teelt. Het model moet nog verder getoetst en verbeterd worden. Het is nog niet voor de praktijk beschikbaar.

N-expert (Grossbeeren in Duitsland). Perceelsspecifieke bemestingsadviesing op basis van een eenvoudig gewasgroeimodel en bodemmodellen. Er wordt gerekend op basis van 6 componenten: stikstofopname, vereiste Nmin bij de oogst, stikstofverliezen, Nmin bij de start, N-mineralisatie vanuit organische stof en N-mineralisatie vanuit gewasresten.

Conseil-Champs en Agri-Champs zijn twee Canadese bemestingsadviesprogramma's. Zij volgen ook de balansmethode; bodemmineralisatie, mineralisatie uit dierlijke mest en uit gewasresten, maar houden geen rekening met N-uitspoeling.

Well_N is in Engeland ontwikkeld door HRI in Wellesbourne. Het gebruikt meteorologische data, bodem- en gewasgegevens om de beschikbare bodemvoorraad te berekenen en risico van nitraatuitspoeling te berekenen voor verschillende meststoffen. De voorspellende waarde is nog niet accuraat genoeg om er in de praktijk op te kunnen sturen.

N-Able is een voorbeeld van een Engels simulatiemodel. Parameters die in modellen gebruikt worden, zijn o.a.: hoogte van Nmin in verschillende bodemlagen, sterk en langzaam afbreekbare organische stof in de bodem, veldcapaciteit voor verschillende bodemlagen, mineralisatiesnelheid, N-opname door het gewas, wateropname door het gewas en vocht karakteristieken (neerslag, luchtvochtigheid, wind, lichtcondities etc.)

Registratiesystemen. Ten behoeve van afnemers, wettelijke regels en ook voor verbetering van de bedrijfsvoering werken al meer telers met een registratiepakket waarin bemesting en analyse-uitslagen van bemonsteringen worden vastgelegd. Deze gegevens kunnen een waarde hebben om perceelsspecifieke parameters te onderscheiden. Dit behoeft verdere uitwerking.

4. Perspectieven geleide bemesting

4.1 Integraal geleide bemesting systeem

Uit de analyse van hoofdstuk 3 blijkt dat er in de Nederlandse praktijk met zeer veel verschillende bemestingssystemen gewerkt wordt. In hoofdstuk 3 zijn de meeste systemen beschreven. In de praktijk zijn er echter nog veel meer mixvormen die toegepast worden. Dit geeft aan dat er gewerkt wordt met een soort toolbox van maatregelen die ingezet kan worden. Opvallend is echter dat de beschreven technieken alle ingaan op een of meerdere deelaspecten als we kijken naar het beeld dat in hoofdstuk 2 geschetst is voor geleide bemesting. Een integraal beeld voor de bemesting ontbreekt bij de verschillende systemen, en ook bij de gebruikers.

De toolbox is er op gericht dat de teler bewust bezig is met zijn **bodem-, gewas-, en bedrijfsomstandigheden** en dat de beslissingen die hij neemt rondom bemesting daarin moeten passen. De beslissingen hebben dan ook veel te maken met 1) het goed kunnen definiëren van je (korte en lange termijn) doel dat je met bemesting hebt, 2) het in kunnen schatten en het omgaan met onzekerheden, het al dan niet beschikbaar hebben van tijdige en betrouwbare informatie, en de mogelijkheid om op verschillende tijdstippen en plaatsen in te kunnen grijpen middels keuze van mestsoort, en hoeveelheid. Afhankelijk van de gereedschappen die de teler kiest is hij in meer of mindere vorm in staat om onzekerheden te reduceren.

4.2 Bewijsvoering geleide bemestingssystemen

In hoofdstuk 3 is op verschillende plaatsen aangegeven dat geleide bemesting in het algemeen tot een besparing van nutriënten kan leiden. De analyse is echter wel beperkt tot stikstof. De indruk bestaat dat men nog zeer terughoudend is bij het besparen op de basisgift. Dit is echter wel bepalend voor de mogelijke ruimte in de besparingen in nutriënten. Als het tegen zit met het weer en de gewasontwikkeling kan er niets bereikt worden. In andere jaren kunnen er echter bij hetzelfde gewas en perceel wel besparingen bereikt worden. Met andere woorden, besparingen van 20 tot 30 % op stikstof zijn in voorkomende gevallen gemakkelijk haalbaar. In het algemeen wordt gezegd dat er zoveel verschillende gewassen, jaren, vruchtwisselingen, etc. zijn dat er geen eenduidig beeld en bewijs is van de toegevoegde waarde van bemestingsstrategieën.

Uit de resultaten van hoofdstuk 3, en uit de internationale bronnen, komt het beeld naar voren dat er op het gebied van opbrengstverhoging geen al te hoge verwachtingen mogen leven. Dit is mede ingegeven door het relatief hoge bemestingsniveau waar we vandaan komen. Op het gebied van N-efficiency zijn er wel vorderingen mogelijk.

Aan de relatie tussen kwaliteit van de producten en het toepassen van geleide bemesting is nog zeer weinig onderzoek gedaan. De bewijsvoering is dan ook erg lastig. Als er al over gesproken wordt dan is het eerder ingegeven door beleving van negatieve kwaliteit dan door het sturen op positieve kwaliteit. De indruk is ook dat de kwaliteit bij te hoge N-giften, voorkomend in de huidige bemestingsstrategieën, in bepaalde gewassen (aardappel, granen) slechter is dan bij wat lagere N-giften. In andere gewassen (bv veel groenten, bollen) neemt de kwaliteit echter niet af en heeft een kleine opbrengstderving door N-tekort zeer grote economische gevolgen voor de teler. In aardappel en granen zal een teler dus eerder geneigd zijn tot een scherpere N-bemesting dan in bv de meeste groenten.

In bedrijfseconomische zin is bij een aantal geleide bemestingsmethoden aangegeven wat mogelijke kosten zijn voor sensoren en analyses. De beoordeling in bedrijfsverband ontbreekt in nagenoeg alle gevallen. Ook is het vaak kwantitatief onbekend hoeveel werk het kost die toe te rekenen valt aan de specifieke geleide bemesting.

Het testen van geleide bemestingssystemen is voornamelijk gericht op het sturen van de bemesting in de tijd. Daarna is er aandacht voor verschillende mestsoorten en de plaatsing t.o.v. de planten. Het inspelen op variatie binnen percelen is onder Nederlandse omstandigheden nog niet gebruikelijk, ondanks dat er wel concrete aanwijzingen zijn dat er ook onder Nederlandse omstandigheden voldoende variatie is om zinnig op in te kunnen spelen. Bijvoorbeeld omdat een teler een perceel vaak dusdanig bemest dat de slechtste plekken niet gaan afsteken, wat inhoudt dat de minder slechte perceelsdelen overbemest worden.

Uit de informatie uit hoofdstuk 3 valt te destilleren dat de algemene trend is dat er steeds minder nutriënten ingezet worden, en dat men eigenlijk steeds scherper gaat bemesten. In deze situatie is het mogelijk dat ook andere productiefactoren belemmerend voor de groei kunnen gaan werken. Een paar keer is aangestipt dat het in dit kader belangrijk is om te kijken

naar o.a. structuurschade in de bodem, aanwezigheid van ziekten en plagen en weersomstandigheden. In het algemeen wordt gesteld dat de bemesting zo dynamisch is dat het eigenlijk continu de aandacht vraagt. Dit vergt inspanning in tijd en energie, en in kennis van de boer. Uit de analyse komt naar voren dat het huidige kennisniveau rondom de mogelijkheden van geleide bemesting om deze dynamiek ten voordele te beheersen nog ontoereikend is.

4.3 Consequenties

4.3.1 Gewas

Een algemene conclusie uit de vorige hoofdstukken is dat met bij het streven naar een lagere emissie van stikstof naar het milieu rekening dient te worden gehouden met het gewastype. Op basis van Tabel 2.1 en 2.2 laat tabel 4.1 het verband zien tussen gewastype en de perspectieven van diverse mogelijke (geleide) bemestingstechnieken/strategieën voor een betere N-benutting.

De gewassen van **gewastype A** (hoge benutting, veel gewasresten, zie tabel 2.2) laten al een hoge benutting van N zien. Het is daarom weinig zinvol om te proberen dit nog hoger te maken. Er is voor deze gewassen dus minder te verwachten van Geleide Bemesting. Het is dan beter om zowel in het onderzoek als in de praktijk zich te richten op het lot van de stikstof in de gewasresten. Bij **gewassen van type B** die nu al een hoge benutting laten zien en weinig gewasresten hebben, moet het onderzoek zich richten op verfijning van de huidige adviezen door het perceelsgericht voorspellen van mineralisatie en behoefte op basis van klimaatsomstandigheden. Bij deze vorm van *geleide bemesting* zullen simulatiemodellen een belangrijke rol kunnen spelen.

Bij **gewastype C**, waar de oogst plaatsvindt in een periode met hoge N-opname, zal de nadruk moeten liggen op het, *door geleide bemesting*, zo goed mogelijk synchroon laten lopen van vraag en aanbod. De (vrijwel niet te vermijden) reststikstof in het profiel na de oogst zal dan door andere gewassen moeten worden opgenomen. Een goede keuze (snelheid en diepte van beworteling, N-opname capaciteit) van volg- of vanggewas is dan van belang.

Bij **gewastype D** speelt waarschijnlijk speciaal de diepte van de beworteling een rol.

Bij gewastype D1, zoals prei en ui met geringe bewortelingsdiepte en (aanvankelijk) lage N-concentratie in het gewas) dienen de N-opname en het N-aanbod door *geleide bemesting* zo goed mogelijk te worden gesynchroniseerd. Bij gewastype D2 zoals aardappelen en maïs dient door *geleide bemesting* het N-aanbod te worden afgestemd op de aanvankelijk hoge N-behoefte. Bij gewastype D2 hebben, naast synchronisatie van vraag en aanbod, 'geleide bemestings in de ruimte' als rijen- of plantbemesting een grote kans op succes.

Tabel 4.1 Enkele mogelijke bemestingsstrategieën en onderzoeksvragen in relatie tot gewastype. De vetgedrukte onderwerpen zijn diverse systemen van geleide bemesting (Naar Smit).

gewas- type	karakteristieke gewassen	strategieën	onderzoeksvragen
A	rode/witte kool, spuitkool	- compostering van gewasresten - voeren van gewasresten aan vee - N-vanggewassen	- veredeling op rassen met minder N in gewasresten - lot van N in gewasresten in re- latie tot: vanggewassen, inwerken resten, samen- stelling van gewasresten enz.
B	tarwe witlof	- huidig advies opvolgen	- verfijning advies door perceelsgericht voorspel- len van mineralisatie en behoefte op basis van klimaatsomstandigheden
C	spinazie, radijs sla, bloemkool	- fertigatie gecombineerd met gewas- groei modellen om de behoefte in de tijd te schatten - deling van N-giften - gewasopvolging binnen het seizoen (N-rest op ruimen) - vanggewassen I	- opname van achtergebleven N door volggewassen - beworteling en opnamepatroon door volggewassen - verdere ontwikkeling van gewasgroei modellen (behoefte in de tijd)
D	ui, prei aardappel	- rij/band/plant bemesting - gedeelde bemesting - fertigatie	- veredeling op bewortelings- diepte - wortelkwaliteit - synchronisatie van bemesting en behoefte

Uit de resultaten en de discussies rondom hoofdstuk 3 is naar voren gekomen dat er in veel gevallen nog onduidelijkheid bestaat over de werkelijke behoefte van de planten, en de voorwaarden waaronder planten in staat zijn om nutriënten op te nemen. Algemene normen zijn vaak wel beschikbaar, maar de concrete vertaling naar praktijksituaties en de relatie met het gebruik van geüniformeerde meetmethoden ontbreekt in veel gevallen.

4.3.2 Meetmethoden als basis voor geleide bemesting

Geleide bemesting vereist meetmethoden van de N-status van het gewas-bodem systeem (Figuur 2.2). Deze methoden verschaffen informatie over noodzakelijke bijstelling van bemesting in volgende seizoenen (learning by doing-strategie), of ondersteunen beslissingen op het gebied van bemesting tijdens het actuele groeiseizoen (precies genoeg strategie). Verscheidene methoden zijn de afgelopen 10 jaar ontwikkeld en getest. Deze methoden hebben betrekking op de N-status van de bodem, individuele planten of het gehele gewas.

Bodemgerelateerde methoden

- Capaciteitstests. Een algemene indicator die exact voorspelt hoeveel N in het seizoen vrijkomt uit de verschillende organische bronnen bestaat nog niet en het is de vraag of dit ooit zal lukken. Wel is vooruitgang geboekt door in schattingen meer rekening te houden met de historie van het veld (vroegere bemesting, residuen) en bodemeigenschappen (organische stof, effecten van hydrologische eigenschappen van de bodem op opname-efficiency).
- Intensiteitstests. Deze maken gebruik van meting van het N_{min} gehalte in de bodem. Er wordt onderscheid gemaakt tussen
 - (1) N_{min}-bepalingen voorafgaande aan zaai/opkomst van het gewas;
 - (2) N_{min}-bepalingen tijdens de ontwikkeling van het gewas, op momenten dat bijstelling met bemesting nog mogelijk is;
 - (3) N_{min}-bepalingen na de oogst (deze dienen om te bepalen of extra maatregelen voor het tegengaan van verlies in de winterperiode, bijvoorbeeld door tijdige inzaai van een vanggewas, dienen plaats te vinden).

Gewasgerelateerde methoden

Door de veelzijdige invloed van N op gewasgroei en opbrengst zijn er diverse meetssystemen ontwikkeld, op basis van nitraatgehalte, totaal N-gehalte en kleur van het gewas.

- Nitraatconcentratie. Hierbij wordt de nitraatconcentratie in bladeren of bladstelen gebruikt om de noodzaak voor bijbemesting vast te stellen. Bij sommige gewassen vindt analyse van N-totaal plaats.
- Gewaskleur. De ontwikkeling van meetssystemen heeft zich geconcentreerd op het gebruik van kleur als indicator. Men onderscheidt: kleur van individuele bladeren of kleur van het gewas als geheel. De gewaskleur wordt bepaald met draagbare reflectometers of reflectometers in een vliegtuig. De bladkleur wordt bepaald met de SPAD-meter.
 - (1) Gewasreflectie. De gewasreflectie van golflengtes in het rode (of groene) gebied in combinatie met nabij-infrarood lijkt de beste schatting te geven van groenheid in combinatie met bladmassa, en kan zo gebruikt worden voor het schatten van de N-inhoud van het gewas. Voorwaarde is het gebruik van referentiegegevens van verschillende gezonde gewassen met bekende (gemeten) N-inhoud.
 - (2) SPAD. Deze methode maakt gebruik van doorvallend kunstlicht voor het bepalen van de groenheid van een individueel blad. Het doorvallende rode licht is een maat voor de hoeveelheid chlorofyl en de hoeveelheid infrarood licht wordt gebruikt om te corrigeren voor bladdikte en watergehalte. Ook hiervoor zijn referentiegegevens van verschillende gezonde gewassen met bekende (gemeten) N-inhoud nodig.

Modelgerelateerde methoden

Ondersteuning van geleide bemestingsbeslissingen middels modellen staat nog in de kinderschoenen. Modellen zijn veelal nog in een onderzoeksstadium en zijn nog onvoldoende gevalideerd om in praktische situaties ingezet te kunnen worden. Gebruikersvriendelijkheid verdient aandacht zodat ook de telers er mee kunnen gaan werken. Nu is het voor hen nog een 'speeltje' van de adviseurs.

4.4 Belemmeringen

Bij de analyses in hoofdstuk 3 zijn de belemmeringen voor vergaande implementatie in de praktijk niet goed aangegeven. Dit hoeft niet te betekenen dat ze er niet zijn. In de praktijk komt het erop neer dat iedereen met zijn eigen geleide bemestingstool bezig is en dat probeert verder te krijgen. Het gemis aan een integraal kader en het elkaar stimuleren in verder ontwikkeling ontbreekt dan.

Een belangrijke belemmering is de beeldvorming over de mogelijkheden en de te verwachten extra inspanningen en kosten. Deze zijn echter veelal niet goed onderbouwd. De stellingen 'onbekend maakt onbemind', en 'de kosten gaan voor de baat uit' gaan hier waarschijnlijk op, en vormen onbewust grote barrières in verdere toepassingen van geleide bemesting.

Er zijn momenteel drie prikkels die relevant zijn voor de telers:

- 1) Overdaad schaadt, te hoge N-giften werken nadelig voor kwaliteit
- 2) Besparing op N levert direct geld op
- 3) Binnen de nitraatnormen en MINAS blijven om heffingen te voorkomen.

Deze prikkels kunnen echter de angst voor de risico's van scherp bemesten bij de telers vaak nog niet wegnemen, vooral bij gewassen waar een te lage bemesting en opbrengst derving veel grotere negatieve financiële gevolgen heeft dan de bovengenoemde punten positieve gevolgen kunnen hebben.

Hieruit komt naar voren dat er van buitenaf nog geen belangrijke prikkels zijn om voor te gaan. Je wordt bijvoorbeeld nog niet beloond voor het voorkomen van N-uitspoeling, het telen volgens duurzaamheidsprincipes, en het leveren van kwaliteit.

5. Acceptatie en toepasbaarheid in de praktijk

In 2002 is in een aantal gewascommissies vollegrondsgroenten van LTO-Groeiservice en in de CVA (Commissie Vaktechniek Akkerbouw)) gediscussieerd over de perspectieven van geleide bemesting. In de komende paragrafen wordt kort ingegaan op de huidige praktijksignalen.

5.1 Ervaring met geleide bemesting in aardappelen

In de landelijke CVA is gesproken over geleide bemesting in aardappelen. Daaruit is de volgende informatie gekomen:

- Voor poten is het standaard om een Nmin bepaling uit te voeren.
- Stikstof wordt of allemaal in een keer gegeven of in een gedeelde gift. De basisgift is dan maar 50 kgN/ha minder.
- Als er bijbemest wordt, wordt ingespeeld op de actuele situatie van de stand van het gewas, de temperatuur en de gevallen neerslag. De hoogte van de gift wordt gebaseerd op een eigen inschatting.
- Er wordt momenteel nog geen gebruik gemaakt van ondersteunende methoden om de hoogte van de bijbemesting te bepalen. Men vindt ze te omslachtig (bijv. Bladsteeltjesmethode) en te onbetrouwbaar.
- Ook bij andere gewassen maken deze telers nog geen gebruik van geleide bemestingsystemen. Wel ziet men voorlichters van o.a. coöperaties werken met chlorofylmeters in de tarwe.

5.2 Ervaring met geleide bemesting in de prei en asperge

Door de landelijke gewascommissies prei en asperge van LTO-groeiservice zijn de volgende bevindingen opgetekend:

Algemeen:

- Geleide bemesting wordt toegepast om financieel voordeel te behalen. Het maximale rendement uit de toe te passen bemesting wordt afgewogen tegen de meerkosten en de meststofkosten.
- Bij het gebruik van de langzaam werkende meststoffen (Entec, Cultan-methode) is het meten van wat er nog in de grond zit en wat de behoefte van de plant is minder zinvol.
- De ontwikkelingen op sensorgebied (Cropscan) om meer zicht te krijgen op de gewasbehoefte worden met zeer veel belangstelling gevolgd.

Prei

- In de preiteelt is rijenbemesting algemeen geaccepteerd.
- In de preiteelt wordt veelal gebruik gemaakt van langzaam werkende meststoffen als Entec, ammoniumwater en Cultan-methode.
- Geleid bemesten in de tijd wordt toegepast, waarbij een aantal keer bijbemest wordt op basis van meetgegevens. Metingen concentreren zich op de behoefte van het gewas.

Asperge

- In de aspergeteelt wordt in principe altijd gewerkt met rijenbemesting, en in voorkomende gevallen wordt ook gebruik gemaakt van bladbemesting.
- Bijbemesting vindt plaats aan de hand van meetresultaten voor de behoefte van het gewas, waarbij aangetekend moet worden dat asperge in principe weinig (kunst)mest vraagt.

5.3 Ervaringen met geleide bemesting in ijssla en sluitkool

In de landelijke gewascommissie voor ijssla en sluitkool zijn de volgende ervaringen opgetekend:

Ijssla

- Geleide bemesting wordt alleen toegepast op zandgronden. Op zwaardere gronden speelt het niet.
- Geleide bemesting wordt toegepast als men een tekort aan N voor de plant vreest. Opbrengst gaat voor milieu.
- Extra benodigde arbeid voor geleide bemesting wordt voor lief genomen, zolang het de opbrengst vermeerderd.
- Er is behoefte aan goede meetapparatuur om snel en eenvoudig de beschikbaarheid, en het verloop in de tijd daarvan, van stikstof in de bodem vast te kunnen stellen.

Sluitkool

- Bijbemesting wordt in de sluitkoolteelt niet toegepast. De effecten zijn onvoldoende duidelijk en het wordt als gevaarlijk gezien in verband met kans op inwendige beschadiging van de kool.
- Bij teelt van kilokool en ook bij vroege spitskool of overwinterteelt van spitskool wordt een overmaat bemest.

5.4 Indrukken vanuit voorzittersoverleg LTO-vollegrondsgroente

Uit het voorzittersoverleg van LTO-vgg zijn de volgende kanttekeningen opgetekend:

- Geleide bemesting wordt in het algemeen nog sceptisch benaderd, waarbij het idee is dat er niet meer op bemesting bespaard hoeft te worden als we voldoen aan de huidige richtlijnen op het gebied van de 50 ppm-nitraatnorm en de MINAS normen.
- Er wordt gesteld dat de bodemstructuur belangrijker is dan precisiebemesting. Het idee bestaat dat we met geleide bemesting en bemesten van snel werkzame nitraatbemesting op het verkeerde spoor zitten. De bodem moet qua bodemvruchtbaarheid, structuur en textuur op peil gebracht worden en op peil gehouden worden. De bodem zorgt dan voor de plantenvoeding en correctie door geleide bemesting is dan niet of nauwelijks nodig. De bodemstructuur holt in Nederland achteruit (onvoldoende aanvoer van organische stof, zware machines etc.). De gewassen groeien hierdoor minder en zijn gevoeliger geworden voor ziekten en plagen. We kweken meer en meer waterige nitraatgewassen. We reageren hierop met het geven van nog meer nitraatvoeding.
- De indruk bestaat dat geleide bemesting meer iets is voor grote gespecialiseerde bedrijven. De kleinschalige volleggrondsgroenteteelt staat niet te wachten op inspanningen die veel geld en tijdskosten en maar weinig rendement opleveren.
- Er worden positieve ervaringen gemeld met Entec.
- Het is een illusie te menen dat je met het meten van één bodem- of gewasindicator een complex bodem/plantsysteem goed kan karakteriseren. De monitoring moet veel breder gebeuren. Daarom kloppen de adviezen ook zo vaak niet.
- Door verlaagde N-bemesting worden in de praktijk nu structuurplekken zichtbaar. De reactie daarop is om meer N te gaan geven. Het is echter de vraag of stikstof wel de beperkende factor is. Het zichtbaar worden van structuurplekken moet niet het signaal zijn om N bij te bemesten, maar om de bodemstructuur te gaan verbeteren. Ook de interactie met andere mineralen en de interactie mineralenvoorziening met verslechterende bodemstructuur behoeft meer aandacht.
- Boeren kennen hun grond en weten hoe de gewassen bij hen op het perceel groeien. Die ervaring is minstens even belangrijk, zometer belangrijker dan de uitslag van een bodem- of gewasanalyse. Het is jammer dat boeren zich al minder met de bodem als belangrijke productiefactor bemoeien. Landhuur en deeltijdboeren speelt hierbij ook een (negatieve) rol.

De indruk van telers uit het project Telen met Toekomst is dat na een aantal jaren intensief bemonsteren men zicht begint te krijgen op het stikstofleverend vermogen van het perceel. Daarna kan men in principe met een minder intensieve bemonsteringsstrategie toe.

6. Aanbevelingen voor onderzoek

Vanuit de ervaringen uit het onderzoek in hoofdstuk 3 en 4 kan geconcludeerd worden dat het concept van geleide bemesting min of meer wel onderschreven wordt. De praktijk vindt geleide bemesting echter nog onnauwkeurig en lastig. Er zit dus nog een groot gat tussen de theoretische mogelijkheden en de huidige praktijk. Vanuit dat gat komen de volgende onderwerpen in aanmerking voor nader onderzoek:

1) kenniscommunicatie

Kennis bij praktijk, voorlichters en onderzoekers vergroten over het integrale concept van geleide bemesting, zodat zij zichzelf een spiegel voor kunnen houden waar zij nu mee bezig zijn en wat zij er aan kunnen doen om vervolgstappen te maken. Een logische volgorde zou kunnen zijn:

- 1) bemestingsadvies baseren op GLP (goede landbouwkundige praktijk)
- 2) is het bemestingsadvies voor mijn situatie correct en hanteerbaar
- 3) welke risico's neem ik en welke zekerheden heb ik, en tot hoever ben ik bereid te gaan
- 4) stapsgewijs grenzen verkennen vanuit vraag, aanbod en beschikbare technieken en kennis

Het werk moet erop gericht zijn om de tools zo gebruikersvriendelijk te krijgen dat de telers er ook zelf mee kunnen werken. De afhankelijkheid van adviseurs is nu nog te groot. Dit kan betekenen dat er voor dit onderzoek geen verdiepende kennisvraag ligt, maar meer een vraag naar "hoe pas ik (de teler) dit toe in praktijk".

Onderhouden van nieuwe kennis moet voldoende aandacht krijgen. Er komen steeds nieuwe rassen en meststoffen bij waarvoor N-opnamecurves gemaakt zouden moeten worden. In de verantwoordelijkheidscultuur zouden leveranciers van nieuwe rassen en meststoffen zelf de benodigde informatie moeten verzamelen en communiceren met de uiteindelijke gebruikers.

2) bewijsvoering

Er dient nadrukkelijk gewerkt te worden aan uniformering van protocollen en het bijeen brengen van resultaten om de bewijsvoering vorm te geven. De kernvraag blijft hier of je in staat bent om omstandigheden te conditioneren, of dat je aangewezen bent op een epidemiologische benadering van de bewijsvoering. De geüniformeerde informatie kan gebruikt worden bij verdere verbetering van bemestingsstrategieën en bij het verder vormgeven van beleid.

3) Geleide Bemesting in interactie met kwaliteit, ziekte- en plagen en bodem(structuur)

Bij verdere toename van efficiency van het N-gebruik zal het meer en meer voor komen dat andere procesvariabelen beperkend worden voor de opbrengst en de kwaliteit van het product. Hier zal nadrukkelijker naar gekeken moeten worden, waarbij in onderzoekssituaties de grenzen van het (on)mogelijke opgezocht moeten worden. In deze benadering neemt de bodem als belangrijkste drager van bemesting weer een centrale positie in.

4) verfijning kennis

In hoofdstuk 4 is al aangegeven dat de perspectieven voor geleide bemesting afhankelijk zijn van de geschikte combinatie van gewastype en bijmeststelsel. Tabel 4.1 geeft daarvan de verschillende specifieke conclusies voor verder onderzoek.

In deze paragraaf wordt daar nog een aspect aan toegevoegd. De bestaande geleide bemestingssystemen maken gebruik van meetmethoden in het gewas **of** in de bodem. Uit het bovenstaande blijkt dat er argumenten zijn voor metingen in gewas **en** bodem. Vanuit een economisch gezichtspunt is de N-status van het gewas belangrijker voor een teler dan de N-status van de bodem. Daarbij zijn bodemgerelateerde analyse methoden vaak duur. Door het complexe samenspel van de N-balans in de bodem is ook de betrouwbaarheid een punt van discussie. De gewassen zelf zijn echter bij uitstek in staat om de afzonderlijke factoren als N_{min} in de bodem als geheel, de N-beschikbaarheid in de wortelzone, het weer en het gewasmanagement, te integreren (Binford et al., 1992). Bij vergelijking van een gewas op eenzelfde opbrengstniveau kunnen er wezenlijke verschillen bestaan in het niveau van N-opname; bij aardappelen wel tot een verschil van 100 kg N per ha. Voor een gedeelte zullen deze verschillen te maken hebben met luxe consumptie, maar ook andere factoren spelen daarbij een rol.

Bij gewasgerelateerde methoden is het bepalen van geschikte tijdvensters voor een geleide bemestingsstelsel van belang. Er zijn goede redenen om te betwijfelen of gewas in de eerste weken na opkomst een betrouwbare voorspelling geeft van de

N-status gedurende het gehele groeiseizoen. Voor gewasgerelateerde metingen is het daarom belangrijk om gedurende het groeiseizoen te meten in een aantal stadia die cruciaal zijn voor een juist inzicht de N-opname van het gewas, en waarin bijstelling door middel van bemesting nog mogelijk is. Een aantal gewassen zoals maïs en aardappel nemen in de groeifase tot bloei een overmaat stikstof op, die daarna in het gewas 'verdunt' wordt door verdere groei. Het is belangrijk dat gewasgerelateerde metingen van de N-status bij deze gewassen in ieder geval plaatsvinden tot de fase waarin het loof maximaal is.

In gewassen zoals prei, waarin een aantal achtereenvolgende bijmestmomenten worden onderscheiden, moet een bijpassend schema van gewasmetingen worden toegepast. N-analyse in het gewas is niet geschikt om een overschot aan N te detecteren, vooral omdat de opname van minerale N uit de bodem en de omzetting naar gewasonderdelen een plafond bereikt bij een hoog N-aanbod. Meetsystemen die gebaseerd zijn op uitsluitend gewasanalyse zijn onvoldoende in staat om de hoeveelheid N te schatten die nog kan worden geëxploreerd en benut door het wortelsysteem. Tenslotte geven deze meetsystemen geen compleet beeld van de minerale N-beschikbaarheid indien droogte de wortelgroei en/of de aanvulling van minerale bodemreserve heeft gehinderd. Voor de praktische inpasbaarheid is het raadzaam om bovenstaande ontwikkelingen rondom meettechnieken samen te laten komen in het integrale concept van geleide bemesting. Praktisch in het veld betekent dit dat er met lokale stikstofvensters gewerkt gaat worden. In mini vorm betekent dit informatie verzamelen en interpreteren van de lokale dynamische omstandigheden.

Dit is ook een belangrijke reden om in verder onderzoek een gestandaardiseerde vergelijking te maken van de verschillende methoden, en combinaties daarvan, in een experimentele situatie. Daarbij moet tevens rekening worden gehouden met de specifieke combinaties van gewastype en type geleide bemesting (zie tabel 4). Zowel de economische besparingen als de milieukundige voordelen moeten in deze vergelijking worden meegenomen.

5) bodembemonstering

Met betrekking tot analyse van bodemgegevens is het van belang om nadrukkelijk te gaan werken aan de bemonsteringsproblemen. Dit manifesteert zich op een aantal vlakken. Het eerst vlak heeft betrekking op de bemonsteringsplaats t.o.v. de plant en wortels. Vooral in combinatie met rijen- en plantgatbemesting levert dit nog vragen op. Het tweede vlak heeft betrekking op de meting van de bodemvariabelen. De totaal N zal moeilijk of niet te bepalen zijn. Wel verdient het aandacht om nadrukkelijk te gaan kijken naar de meetbaarheid van factoren die de beschikbaarheid van N beïnvloeden. Het derde vlak heeft betrekking op de meetcapaciteit en de kosten. Huidige technieken zijn allen gebaseerd op locatiemeting en op een beperkt aantal monsters per perceel. Verder onderzoek naar de 'volvelds' bemonsteringstechnieken maakt het mogelijk dat er nadrukkelijker een relatie gelegd kan worden met de gewaswaarnemingen. Die zijn daar al een stuk verder mee. Deze ingrediënten zullen samen er pas toe leiden dat er ook aandacht besteed gaat worden aan plaatsspecifieke dosering die inspeelt op perceelsvariabiliteit.

6) Modelbenadering

Bij verfijning van kennis is het ook aan te bevelen om aandacht te besteden aan de praktische toepasbaarheid, validatie en gebruikersvriendelijkheid van beslissingsondersteunende modellen. Deze staan nu nog te ver van de praktijk af. Er moet gewerkt worden aan een integrale benadering van de bemesting, zodat in een goede balans rekening gehouden kan worden met de bodem, de plant, de bemesting en de toedieningstechniek.

De uitdaging voor geleide bemesting is om precisie aan betrouwbaarheid te koppelen, en om het eenvoudig en goedkoop te houden. De betrouwbaarheid zou vergroot kunnen worden door een methode die zowel de plant-vraag als de bodem-aanbod meeneemt (alleen bodem neemt weer en andere effecten op plant-opname niet mee, en alleen plant kan geen schatting maken van N-overschot), en een goede schatting van de mineralisatie.

Aangezien de prikkels om geleide bemesting toe te passen in maar weinig gewassen opwegen tegen de kosten en risico's en de precisie en praktische uitvoerbaarheid van de huidige geleide bemestingssystemen nog te wensen overlaat, hangt de grootschaliger acceptatie van geleide bemesting in de praktijk af van een verbetering in deze factoren: precisie en uitvoerbaarheid en het opwegen van de baten tegen de kosten.

Geraadpleegde literatuur

- Alfs, D. (1997) Die irtschaftlichkeit ist auch bei niedrigen Produktpreisen gesichert. Ernährungsdienst vom 05-07-1997
- Alphen, J. van (2002) Soil processes as a guiding principle in precision agriculture : a case study for Dutch arable farming. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Arold, G. (2000) Knollenfenchel Düngung Freiland. LWG Würzburg-Veitshöchheim
- Arold, G. (2000) Rothkohl, Frischmarkt Düngung Freiland. LWG Würzburg-Veitshöchheim
- Arold, G. (2001) Weisskohl, Frischmarkt Düngung Freiland. LWG Würzburg-Veitshöchheim
- Berg, G.C. van den; Evers, M.A.A. (1998) Resultaten langzaamwerkende meststoffen lopen sterk uiteen. Uit: De boomkwekerij 7 p.15-19
- Blanke, M. en Bacher, W., Effects of Ammonium depot (Cultan) fertilisation on plant and soil nitrate content and metabolism of Kohlrabi plants. International Conference by ISHS, Acta Horticulturae 563.
- Booij R en Biemond H, (1994). Stikstofhuishouding bij de teelt van prei en spruitkool. In: Haverkort AJ, Zwart KB, Struik PC en Dekker PHM (eds): Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. PAGV themaboekje 18, PAGV Lelystad, 111 pp.
- Dam, A.M. van; Vreeburg, P; Vlaming-Kroon, E.A.C; Kater, L. (2001) Water optimaal. PPO
- De Rooster, L. en Spiessens, K. (1997) Stikstofbestedingsproeven prei. Proefstation Sint Katelijne Waver
- De Rooster, L.; Spiessens, K. (2002) Kropsla en ijsbergsla: stikstofbestedingsproef late teelt 2001. Uit Proeftuinnieuws 10, 17 mei 2002. p35-37.
- De Willigen P (1994) Een model voor de opname en uitspoeling van stikstof in de teelt van spruitkool en prei. In: Haverkort AJ, Zwart KB, Struik PC en Dekker PHM (eds): Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. PAGV themaboekje 18, PAGV Lelystad, 111 pp.
- Engels, A. (2001) Langzaamwerkende meststoffen vollegrond zijn goed voor gewas en milieu. Uit: De Boomkwekerij 18, p8-9
- Follet, R.F. (ed); (1989) Nitrogen management and ground water protection. Elsevier, Amsterdam. 395 pp.
- Geel, W. van (2001) Cultan beter in prei dan in ijsbergsla. Groenten en Fruit 11(2001) 24 p48-49
- Isherwood, K.F. (2000) Mineral Fertilizer Use and the Environment. International Fertilizer Industry Association
- Jaarverslag Fruitteelt (2001), Louis Bolk Instituut
- Jiancun, L (1996) Entwicklung eines systems zum anbau von gemüse in Fließrinnenkulturen nach dem "Cultan" verfahren; Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn
- Kasper, G.J., C. Lokhorst, R. Booij, (1999). (on)mogelijkheden van granulaire en vloeibare meststoffen bij toepassing van precisielandbouw, IMAG nota P99-58.
- Kell, K en Jaksch, T. (2001) Brokkoli Dünger Sommeranbau. Institut für Gemüsebau
- Kell, K. (2000) Einsatz von Entec 26 und Cultan bei Kopfsalat unter Vlies. Institut für Gemüsebau
- Lokhorst, C., C. Sonneveld, (2002). N-sensor capabilities for monitoring N-application differences in time in potatoes and sugar beets, VDI-Bericht 1716
- NMI (2000) Handboek Meststoffen. Elsevier
- Oele, C. en H. Spenkelink, (1995). Met fertigeren hogere opbrengsten bij siergewassen. De boomkwekerij 27-28.
- Pasda, G. en Strohm, M. (1995) N-stabilisierter Dü nger schont die Umwelt und spart Kosten. Neue Landwirtschaft 2, 24-25
- Postma, R.; Erp, P.J. van (2000) Meststoffen 2000. NMI
- Schröder, J. (2000) Nut en noodzaak van vlinderbloemigen in de biologische akkerbouw. Uit: Ekoland 2 p. 17-19
- Schumacher, H.J. en Sommer, K. (2001) Cultivation of potatoes by the "cultan"cropping system. Een poster bij IPNC 2001..
- Smit AL (1994). Stikstofbenutting. In: Haverkort AJ, Zwart KB, Struik PC en Dekker PHM (eds): Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. PAGV themaboekje 18, PAGV Lelystad, 111 pp
- Slabbekoom, H. (2001) PPO: geen effect Cultan. Oogst 14(2001)9 p.38
- Soil Company <http://www.soilcompany.nl/uk/diensten.htm>
- Sommer, K., Lime induced iron chlorosis in fruit trees prevented by the "cultan" system. International Conference by ISHS, Acta Horticulturae 448
- Sonneveld, C. en C. Lokhorst, (2000). Druppelirrigatie en -fertilisatie in open teelten, IMAG nota P2000-10.
- Sonneveld, C. en E.A. van Os, (1999). Druppelirrigatie en druppelfertilisatie in open teelten, IMAG nota P 99-41.

- Stallen, J. (2002) Lang blijvende stikstof verspreidt zich razend snel. *Groenten & Fruit* 12(2002)24 p 46-47, 49
- Trenkel, M. E. (1997) *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in agriculture*. International Fertilizer Industry Association, Paris.
- Veerman, A. (2001). *Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelrassen*. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Vliet, M. van (1999) *Investeringen in fertigatie verdienen zichzelf terug*. in: *De boomkwekerij* 19. p 20-21
- Wozniak, H. Michel, H.J. and Fuchs, M. (1999) *Nitrification inhibitors for economically efficient and environmentally friendly nitrogen fertilization*. SKW Stickstoffwerke Piesteritz, Germany (IFA Conference)
- Yan, F. , Eng, K. en Schubert, S., *Response of different plant species to Cultan fertilization*