

# Mogelijkheden voor verhoging van de stikstofefficiëntie

# stelsysteem



# innovatie



# Mogelijkheden voor verhoging van de stikstofefficiëntie

Deskstudie in het kader van het project Nutriënten Waterproof  
LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III)

Brigitte Kroonen-Backbier (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving)  
Geert-Jan Molema en Vincent Achten (Agrotechnology & Foodinnovations)  
Kees Grashoff (Plant Research International)

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen Wageningen UR dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Dit rapport is gefinancierd door Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit: vanuit de LNV-programma's 400-I en 400-III.

Projectnummer: 530133

**Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.**

Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad

: Postbus 430, 8200 AK Lelystad

Tel. : 0320 – 29 11 11

Fax : 0320 – 23 04 79

E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)

Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING .....	5
2	WERKWIJZE .....	7
3	SYSTEMEN VOOR GELEIDE BEMESTING .....	9
3.1	Geleide bemesting in ruimte .....	9
3.2	Geleide bemesting in de tijd.....	10
3.3	Geleide bemesting door aangepaste mestsoorten.....	11
3.4	Bemestingsbegeleidingssystemen.....	13
3.5	Inpassen mineralisatie in geleide bemestingssystemen .....	13
4	INSPELEN OP RUIMTELIJKE VARIABILITEIT .....	15
4.1	Ruimtelijke variabiliteit .....	15
4.2	Ruimtelijke variabiliteit en bemesting .....	17
4.2.1	On-line bepalen van de bemestingsbehoefte en toedienen van meststoffen.....	17
4.2.2	Off-line bepaling van de bemestingsbehoefte.....	21
4.3	Discussie .....	23
4.4	Conclusies .....	24
4.5	Aanbevelingen .....	25
5	RIJBANENTEELT .....	27
5.1	Inleiding .....	27
5.2	Stuursystemen .....	27
5.3	Mechanisatie .....	28
5.4	Effecten rijbanenteelt op stikstofverliezen .....	29
5.4	Effecten rijbanenteelt op stikstofverliezen .....	30
6	MOGELIJKHEDEN GELEIDE BEMESTING PER GEWAS.....	31
6.1	Gewaskarakteristieken .....	31
6.2	Aardappel .....	33
6.2.1	Gewaskarakteristiek aardappel .....	33
6.2.2	Huidige toepassing geleide bemesting in de praktijk bij aardappel .....	34
6.2.3	Toepasbare geleide bemestingssystemen bij aardappel.....	34
6.2.4	Vergelijking van diverse geleide bemestingssystemen bij aardappel.....	35
6.2.5	Conclusies geleide bemestingssystemen aardappel.....	36
6.3	Prei .....	36
6.3.1	Gewaskarakteristiek prei .....	36
6.3.2	Huidige toepassing geleide bemestingssystemen in de praktijk bij prei.....	36
6.3.3	Toepasbare geleide bemestingssystemen bij prei.....	37
6.3.4	Vergelijking van diverse geleide bemestingssystemen bij prei.....	38
6.3.5	Conclusies geleide bemestingssystemen prei .....	38
6.4	Tulp.....	38
6.4.1	Gewaskarakteristiek tulp .....	38
6.4.2	Huidige toepassing geleide bemestingssystemen in de praktijk bij tulp.....	38
6.4.3	Toepasbare geleide bemestingssystemen in tulp.....	39
6.4.4	Vergelijking en toetsing van geleide bemestingssystemen bij tulp .....	40
6.4.5	Conclusies bijmestsystemen tulp.....	40

6.5	Spinazie.....	40
6.5.1	Gewaskarakteristiek spinazie.....	40
6.5.2	Huidige toepassing geleide bemestingssystemen bij vollegrondsteelten.....	40
6.5.3	Conclusies geleide bemestingssystemen spinazie.....	41
6.6	Sla.....	42
6.6.1	Gewaskarakteristiek sla / ijsbergsla.....	42
6.6.2	Huidige toepassing geleide bemestingssystemen bij ijsbergsla.....	42
6.6.3	Toepasbare geleide bemestingssystemen in sla.....	42
6.6.4	Conclusies geleide bemestingssystemen sla.....	42
6.7	Broccoli.....	43
6.7.1	Gewaskarakteristiek broccoli.....	43
6.7.2	Huidige toepassing geleide bemesting in de praktijk bij broccoli.....	43
6.7.3	Toepasbare geleide bemestingssystemen bij broccoli.....	43
6.7.4	Conclusies geleide bemestingssystemen broccoli.....	43
7	CONCLUSIES.....	45
8	REFERENTIE.....	47

# 1 Inleiding

Stikstof (N) is een bouwsteen voor celwanden, aminozuren en enzymen en dus zeer belangrijk voor gewasgroei. Gewassen reageren dan ook sterk (in opbrengst en kwaliteit) op stikstofbemesting in vergelijking met andere nutriënten. Het is dan ook zaak om het gewas van voldoende stikstof te voorzien. In het verleden waren zelfs supra-optimale stikstofgiften gerechtvaardigd door de relatief lage prijs van meststoffen en het risico van kwaliteits- of opbrengstverlies bij een te lage gift. Omdat deze manier van handelen leidde tot een overmatige uitspoeling van niet benutte stikstof trad stikstofverrijking van oppervlaktewater op. Daarnaast steeg op veel plaatsen het nitraatgehalte van het grondwater boven de norm van 50 mg L<sup>-1</sup>.

Overmatige bemesting moet dan ook voorkomen worden zonder het risico van onderbemesting te lopen. Dit betekent dat de bemesting scherp gestuurd moet worden. Er is dan ook behoefte aan een instrumentarium dat telers in staat stelt om de risico's beheersbaar te maken. Dit instrumentarium wordt gebundeld in de term geleide bemesting.

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 aanbod zo goed mogelijk in overeenstemming is met de opname en de behoefte van het gewas.

De toediening van stikstof als 'verzekeringsstrategie' wordt vervangen door een in tijd en ruimte gedifferentieerde bemesting, teneinde de stikstofbenutting te verbeteren en de emissie van stikstof naar het milieu te minimaliseren.

De voorliggende deskstudie is uitgevoerd ten behoeve van het project Nutriënten Waterproof. Het doel van deze deskstudie is in kaart brengen van de mogelijkheden van geleide bemestingsstrategieën. Deze strategieën moeten leiden tot minimale emissies van nutriënten. De strategieën dienen vervolgens te worden uitgewerkt voor de diverse systemen die in Nutriënten Waterproof worden aangelegd.

Verder is het doel van deze deskstudie te bekijken hoe de ruimtelijke variabiliteit van de diverse percelen in kaart gebracht kan worden en hoe met deze variabiliteit omgegaan dient te worden in de bemestingsstrategieën.

Deze deskstudie richt zich op stikstof. Dit omdat van fosfaat veel minder bekend is. Ook is de verwachting dat met fosfaat minder kan worden bereikt.

Voor het tot stand brengen van deze deskstudie is ook medewerking verleend door Willem van Geel en Simone Radersma (PPO-AGV); Anne Marie van Dam (PPO-B&B) en Annete Pronk (PRI).



## 2 Werkwijze

Mogelijkheden van geleide bemestingsstrategieën om de stikstofefficiëntie te verhogen zijn door Lokhorst e.a. (2003) al beschreven in een publicatie. Deze publicatie is leidend geweest bij de beschrijving van diverse mogelijkheden in deze deskstudie. De te onderscheiden systemen worden in hoofdstuk 3 in het kort beschreven. Hoe omgegaan kan worden met de ruimtelijke variabiliteit in het veld en hoe dit ingepast kan worden in de diverse strategieën om tot verdere stikstofefficiëntie te komen zal in hoofdstuk 4 aan de orde komen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op het rijpadensysteem als mogelijkheid om de stikstofefficiëntie te verbeteren.

In hoofdstuk 6 wordt, aan de hand van bijlage 3 uit het projectplan “Nutriënten Waterproof”: Karakterisering gewassen, per gewas aangegeven of met stikstofefficiëntie verhoging het doel van het project (minimale emissie van nutriënten) bereikt kan worden. Met name bij gewassen die gekarakteriseerd worden door een (zeer) lage stikstofefficiëntie zullen mogelijkheden liggen voor geleide bemesting. Van alle gewassen (gewasgroepen), die genoemd staan zal aangegeven worden of er aanknopingspunten zijn in de bemestingsstrategie om te komen tot vermindering van verliezen en waar deze aanknopingspunten liggen. Het gaat hierbij om teeltwijze, geleide bemesting, aanpak na de teelt (b.v. groenbemesters, beheer gewasresten). Gewassen waar de aanknopingspunten liggen bij geleide bemestingsstrategieën zullen nader uitgewerkt worden.

Aan het einde worden conclusies getrokken en keuzes gemaakt voor welke strategieën er toegepast kunnen gaan worden in de systemen.

Daarbij wordt aangegeven:

- Welke strategieën al operationeel zijn.
- Welke strategieën mogelijkheden bieden maar nog in onderzoek liggen.
- Welke strategieën of technologieën nog verder onderzocht of ontwikkeld moeten worden.





## 3 Systemen voor geleide bemesting

Systemen voor geleide bemesting spelen allen in op het afstemmen van stikstofopname, stikstofbehoefte en stikstofaanbod. Verschillende systemen kunnen worden onderscheiden.

### 3.1 Geleide bemesting in ruimte

Het uitgangspunt van geleide bemesting in ruimte is dat de benutting van nutriënten beter is als de meststoffen toegediend worden waar deze bereikbaar zijn voor de wortels van het gewas. Daardoor kan worden volstaan met een netto lagere dosering per ha dan bij breedwerpige toediening. Bemesting in ruimte kan op verschillende manieren worden uitgevoerd.

#### **Rijenbemesting**

Rijenbemesting is de meest bekende en meest toegepaste vorm van geleide bemesting in ruimte. Met relatief eenvoudige apparatuur kunnen meststoffen bij de gewasrijen worden gebracht. Of de meststof moet worden ingewerkt hangt af van de oplosbaarheid van de meststof; minder goed oplosbare meststoffen dienen te worden ingewerkt.

Doordat de meststof bij de plant wordt geplaatst, wordt uitspoeling van mobiele nutriënten (als stikstof) beperkt omdat de grond in het niet bewortelde gedeelte niet wordt 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.

Naast rijenbemesting met kunstmest wordt ook wel rijenbemesting door injectie van drijfmest toegepast. Om wortelschade door de kouters van de injecteur te voorkomen wordt vaak relatief ver van de rij bemest waardoor de voordelen van rijenbemesting afnemen. Dit kan beperkt worden door het gelijktijdig met zaaien toe te passen zoals bij maïs. Relatief hoge doseringen zijn vaak niet mogelijk zonder dat uitvloeiing van de mest plaatsvindt. Door rijenbemesting toe te passen kan bijvoorbeeld in de teelt van snijmaïs tot 30% op de gift bespaard worden.

#### **Beddenbemesting**

Beddenbemesting wordt toegepast op bedden bestaande uit een aantal rijen, die zo dicht naast elkaar liggen dat er niet tussendoor gereden kan worden. Tussen de bedden bevinden zich rijstroken die bij breedwerpige toediening gewoon bemest worden. Winst is te halen door deze stroken en kopakkers niet te bemesten. Dit vergt aanpassingen in de mechanisatie (beddenstrooiers) maar kan besparingen opleveren op de stikstofgift tot 20 – 30%. Vooral bij de teelt van bloembollen blijkt dit tot goede resultaten te leiden.

#### **Plantgatbemesting**

Plantgat- of plantplaatsbemesting kan worden toegepast tijdens het planten of zaaien van gewassen. Tegelijkertijd met de plant of het zaad worden meststoffen in het plantgat gebracht. De bemesting moet worden gezien als een startgift om het gewas op weg te helpen; grote hoeveelheden meststoffen kunnen niet worden toegediend met het oog op zoutschade. Plantgatbemesting lijkt, met de mechanisatiemogelijkheden en de plantafstanden in de Nederlandse landbouw, geen voordelen te bieden boven een gecombineerde werkgang van zaaien en rijenbemesting. Plantgatbemesting is waarschijnlijk zinvoller voor fosfaat dan voor stikstof.

#### **Fertigatie**

Fertigatie is een manier van bemesten waarbij een opgeloste meststof toegediend wordt door irrigatieslangen. Door de uitstroomopeningen precies bij de plant te leggen kan er zelfs sprake zijn van bemesting van individuele planten. De slangen worden ondiep naast het gewas gelegd gelijktijdig met het planten van het gewas. Meestal worden slangen na de teelt opgerold en hergebruikt. Er zijn ook eenjarige slangsystemen die na de teelt worden afgevoerd en gerecycled. De totale kosten van fertigatie liggen hoog, boven de €2000 ha<sup>-1</sup> (gegevens Daily Drip) waardoor het toepassen van fertigatie economisch alleen kan

concurreren met breedwerpige bemesting in hoog salderende gewassen als de opbrengst voldoende toeneemt (bijvoorbeeld hyacint). Bij gewassen die een lange periodieke oogstperiode hebben kan met fertigatie goed op de stikstofvoorziening worden ingespeeld.

### **Bladbemesting**

Bladbemesting wordt toegepast wanneer een correctie op nutriëntengebrek niet kan worden verholpen door toediening van meststoffen via de grond. Opname vindt dan plaats via de celwanden in het blad. Bladbemesting wordt toegepast om een acuut stikstofgebrek op te heffen of om een gewas visueel aantrekkelijker te maken (het gewas krijgt een diepere groene of blauwe kleur).

Bladbemesting wordt met de veldspuit toegediend en daardoor zijn zeer kleine giften mogelijk. Dit biedt mogelijkheden om de hoogte van de stikstofgift te beperken.

## **3.2 Geleide bemesting in de tijd**

Bij geleide bemesting in de tijd wordt de bemesting gedifferentieerd in de tijd. Dit betekent concreet dat één of meerdere keren wordt bijbemest in een groeiseizoen. Systemen onderscheiden zich door de mate waarin gebruik wordt gemaakt van ondersteunende waarnemingen, het tijdstip en de technologie van deze waarnemingen en de mate waarin gebruik wordt gemaakt van perceelsspecifieke opgebouwde kennis.

### **Perceelsgerichte advisering voor de basisbemesting**

Perceelsgerichte advisering voor de basisbemesting is gebaseerd op N-min (minerale stikstof) bepalingen voor het zaaien of planten. Belangrijke punten bij de monsternamen zijn het tijdstip (na de winter of voor de teelt) en de diepte (op wortelniveau van het geplande gewas). De advies-basisbemesting wordt vervolgens gerelateerd aan de hoeveelheid minerale stikstof (nitraat en ammonium) en eventueel op een aantal perceelsspecifieke kenmerken die iets zeggen over het stikstofleverend vermogen van de grond. Dit wordt afgestemd met de verwachte gewasopname en -behoefte. Ook kan de gift afgestemd worden op het ras of zelfs op de bestemming van het gewas. Streefwaarden geven aan wat de totale stikstofbehoefte is van het gewas gedurende het komende groeiseizoen. Om aan de streefwaarden te voldoen moet de (potentieel) aanwezige stikstof in de bodem in de vorm van N-min en organische stikstofleveranciers (gewasresten, groenbemesters) aangevuld worden met de basisbemesting. Afhankelijk van het gewas wordt vervolgens de basisbemesting in één keer (bij snelle stikstofopname door het gewas in het voorjaar) opgebracht of gedeeld in de tijd.

### **NBS-bodem**

NBS-bodem is een Stikstof Bijmest Systeem (NBS) dat gebaseerd is op bodembemonstering en stikstofanalyse tijdens het groeiseizoen. De hoeveelheid N-min wordt één of meerdere keren tijdens het groeiseizoen bepaald en vormt de basis voor de bijmestgift tot een streefwaarde die overeenkomt met stikstofbehoefte tot de volgende monsternamen of tot de oogst. Hiervoor worden standaard stikstofopnamecurves en bewortelingsdieptes van het gewas gebruikt. Afhankelijk van het type NBS systeem wordt rekening gehouden met mineralisatie (het vrijkomen van ammonium uit organische stof en uit bodemleven) in de daaropvolgende periode. Vaak wordt ook voorzien in een buffervoorraad die onzekerheden in stikstofopname moet opvangen.

### **Stikstofvensters**

Bijbemesting op basis van stikstofvensters is in de jaren zestig in Duitsland ontwikkeld. Door in het perceel een aantal in stikstofgift oplopende 'trappen' (een trap is een deel van het perceel met een bekende, verlaagde stikstofgift) aan te leggen ontstaat een zogenaamd venster. Aan de hand van deze stikstofvensters kan bepaald worden of bijbemesting noodzakelijk is. Het voordeel van deze methode is dat bij redelijk uniforme percelen een gift bepaald kan worden die goed past bij de lokale omstandigheden (gewas, bodem en weer). Het perceel moet daarom vrij homogeen zijn. Het aanleggen van de vensters is omslachtig en omdat in de vensters de opbrengst lager kan zijn wordt deze methode in de praktijk weinig toegepast.

Een nieuwere, nog beperkt getoetste methode is de aanleg van omgekeerde stikstofvensters. Hierbij wordt een basisbemesting uitgevoerd van 50 - 70% over het gehele perceel en in de vensters

worden stikstoftrappen aangelegd die tot 100% gaan. Tijdens de groeiperiode wordt het gewas telkens vergeleken met de trappen. Als er verschillen ontstaan, wordt bijbemest met een beperkte gift. Dit wordt iteratief herhaald totdat de verschillen tussen perceel en venster acceptabel zijn. Ook hier geldt dat percelen redelijk uniform moeten zijn.

### **NBS-gewas**

NBS-gewas is een bijmeststelsel dat is gebaseerd op bemonstering van blad(steeltjes) en stikstofanalyse daarvan tijdens het groeiseizoen. De stikstofstatus van aardappelen kan bijvoorbeeld goed worden afgeleid van de nitraathoeveelheid in de bladsteeltjes. Het nitraatgehalte in het sap kan worden bepaald met Merckoquant teststrips of de NitraCheck reflectometer. Daarnaast kan ook het nitraatgehalte in de drogestof worden bepaald. De laatste methode is betrouwbaarder, maar ook duurder en bewerklijker. Het nitraatgehalte wordt vergeleken met normlijnen voor sap-nitraat of drogestof-nitraat. Als het nitraatgehalte onder de norm ligt wordt bijbemest. ALTIC brengt adviesprogramma's op de markt voor stikstofbijbemesting in o.a. aardappelen op basis van monitoring van bladmassa ontwikkeling en bladsteelanalyse van het sap.

### **Meting van bladkleur of gewasreflectie**

Metingen van bladkleur of gewasreflectie kunnen ook worden gebruikt voor het bepalen van de hoogte van de bijmestgift. Bladkleur of bladreflectie is namelijk een goede indicator voor de stikstofstatus van een gewas. Metingen met het oog, eventueel gebruik makend van een kleurenkaart, zijn subjectief. Daarom zijn diverse hulpmiddelen ontwikkeld.

De Hydro-N-Tester, de Chlorofylmeter en de SPAD-meter zijn meters die op bladniveau meten. De groenheid van het blad is afhankelijk van het chlorofylgehalte in het blad. Het chlorofylgehalte is een goede maat voor de stikstofstatus van het gewas. De genoemde meters meten de lichttransmissie van het blad. Aan de hand van de hoeveelheid geabsorbeerd licht door het chlorofyl wordt het chlorofylgehalte van het blad bepaald. Aan de hand van rassen-specifieke tabellen kan vervolgens de hoogte van de bijmestgift bepaald worden. Naast meetsystemen die op bladniveau meten zijn er ook meetsystemen die op gewasniveau meten.

De CropScan is een multi-spectrale reflectiemeter die op gewasniveau meet. Het systeem bestaat uit een meetkop en een computer. De kop wordt ca. 2 m boven het gewas gehouden en met behulp van lichtgevoelige cellen en een computer wordt de gewasreflectie in 8 golflengten gemeten en opgeslagen. Omdat ook de hoeveelheid invallend licht wordt gemeten is de gewasreflectie min of meer onafhankelijk van de hoeveelheid zonnestraling. Voorwaarde is dat tussen 11.00 en 16.00 uur wordt gemeten om voldoende signaalsterkte te hebben. Uit de gewasreflecties wordt een zogenaamde reflectie karakteristiek berekend die gerelateerd is aan de stikstofstatus van het gewas. Op grond van de stikstofstatus en een rekenmodel wordt vervolgens een bijmestgift bepaald. Het CropScan systeem is minder gevoelig voor variaties tussen individuele planten omdat een oppervlakte van ca. 2 m<sup>2</sup> wordt gemeten. Er zijn rekenregels voor o.a. aardappelen en prei. Commercieel (Blgg) wordt alleen in prei gemeten. (In aardappelen is Blgg ermee gestopt en in prei dit jaar gestart.)

De N-Sensor van Yara (voorheen Hydro-Agri) is een reflectiemeter die op het dak van een trekker gemonteerd wordt. De sensor meet een oppervlakte van ca. 50 m<sup>2</sup> en is nog ongevoeliger voor variaties tussen (groepen) van planten. Aan de hand van de reflectie van het gewas wordt on-line een bijmestadvies uitgerekend. Het systeem is ontwikkeld voor granen, maar inmiddels kunnen ook aardappelen gemeten worden. Hiervoor moet de sensor geïkald worden met een meting van de Hydro-N-Tester. Het systeem is in staat om tijdens het scannen een kunstmeststrooier aan te sturen zodat meten en toedienen in één werkgang uitgevoerd kunnen worden.

## **3.3 Geleide bemesting door aangepaste mestsoorten**

Slow en controlled release meststoffen zijn meststoffen die nutriënten bevatten in een vorm die de beschikbaarheid voor plantopname vertraagd of die significant langer aanwezig is dan een gemiddelde meststof. Er zijn een aantal principes die hiervoor kunnen zorgen:

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.

De meststof komt geleidelijk beschikbaar; meestal in een periode van 2 – 9 maanden. De weersinvloeden (temperatuur en neerslag) zijn hierbij van grote invloed. Als gevolg van de verminderde toxiciteit en zoutconcentratie van de substraten zijn grotere mestgiften mogelijk (waardoor gifrequentie omlaag kan). 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 hoger is dan de prijs van de gangbare meststoffen. Er kunnen verschillende werkingsprincipes worden onderscheiden bij deze meststoffen.

### **Nitrificatieremmers**

Nitrificatieremmers remmen de omzetting van ammonium naar nitraat. Het doel van nitrificatieremmers is om de uitspoeling van nitraat te voorkomen door stikstof langer in de minder uitspoelinggevoelige ammoniumvorm te houden, denitrificatie van nitraat-stikstof te voorkomen en de efficiëntie van gegeven stikstof te verhogen. Nitrificatieremmers werken 6 – 8 weken.

De effectiviteit van de nitrificatieremmers hangt af van bodemtype, pH waarde, temperatuur, regenval, stikstofbemestingsregime, 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 kan gehaald worden uit de positieve effecten op het nitraatgehalte in de gewassen en de bodem (laag) en op verminderde uitspoeling en emissie. Een meststof als Entec bestaat grotendeels uit ammoniumstikstof in combinatie met een nitrificatieremmer.

### **Cultan**

Cultan staat voor Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition. Het is in feite rijenbemesting door injectie van een geconcentreerde oplossing van ureum en ammoniumsulfaat dichtbij de wortels. Als gevolg van de hoge concentratie kunnen nitrificatiebacteriën de ammoniumstikstof niet onmiddellijk omzetten tot nitraatstikstof. Daardoor moet de plant een deel van de stikstof als ammonium opnemen en is er minder kans op uitspoeling. Het grootste voordeel van Cultan is de meer gelijkmatige gewasgroei omdat de stikstof geleidelijk beschikbaar komt voor het gewas. Over het algemeen is de nitraatconcentratie in de gewassen met Cultan bemesting lager dan bij de gangbare bemesting. De kosten van Cultan zijn echter hoger (€91 per 100 kg N) dan voor gangbare meststoffen.

### **Flex fertilizer**

Flex fertilizer is een vloeibare meststof, waarbij de nutriënten zijn gebonden in complexe molecuulstructuren. De meststof bindt zich aan de grond, lost niet op in water en is daardoor minder gevoelig voor uitspoeling. De nutriënten komen geleidelijk vrij. De werking is het beste indien de meststof als rijenbemesting wordt toegediend. Flex fertilizer kan ook als bladmeststof worden gebruikt.

### **Groenbemesting**

Mengteelt met vlinderbloemigen wordt ook wel groenbemesting genoemd. Vlinderbloemigen gaan een verbintenis (symbiose) aan met rhizobium bacteriën. De rhizobium bacteriën binden stikstof uit de lucht. Hun energie halen ze uit het vlinderbloemige hoofdgewas. De natuurlijke stikstoffixatie is vanuit energetisch oogpunt weinig efficiënt waardoor de economische opbrengsten van vlinderbloemigen over het algemeen laag zijn. De waarde zit in de achtergebleven stikstof in de gewasresten die benut kan worden door de volgteelt. Dit kan oplopen tot 185 kg N/ha bij luzerne als groenbemester. Een nadeel is echter dat vlinderbloemigen een hoge behoefte aan fosfor en kalium hebben en dit moet worden toegediend. In de meeste gevallen worden vlinderbloemigen als rotatiegewas of braakgewas gebruikt.

## 3.4 Bemestingsbegeleidingssystemen

Bemestingsbegeleidingssystemen is een groep van systemen die op basis van modelberekeningen de balans tussen stikstofaanbod in de bodem en stikstofvraag van het gewas voorspellen. Veel van deze systemen zijn nog in de onderzoeksfase. De meeste systemen maken gebruik van in de praktijk beproefde vuistregels, bodem-, gewas- en weersgegevens. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn TipStar (zetmeelaardappelen), NDICEA, ROTASK, XCLNCE en N-expert.

## 3.5 Inpassen mineralisatie in geleide bemestingssystemen

Wanneer de mate van mineralisatie van een perceel bekend is, kan hiermee bij de bemesting rekening gehouden worden. De mineralisatiegraad van een bodem/perceel wordt vastgesteld door de potentiële mineralisatie te meten. Daarna wordt via een model (bijvoorbeeld XCLNCE) de mineralisatie per maand vastgesteld. Bij de bemesting wordt als volgt te werk gegaan:

$N\text{-gift} = N\text{opname} - N\text{-min} - N\text{-mineralisatie}$ . Voor zowel de gift als de N-min en de N-mineralisatie worden recoveryfactoren ingerekend. Bij deze methode wordt afhankelijk van het gewas de bemesting opgedeeld in de tijd zoals aangegeven bij NBS. Deze methode is toegepast in Meterik (2002-2003) en Vredepeel (2003) bij diverse gewassen. Een besparing van 20 – 30 kg stikstof bleek bij diverse gewassen mogelijk afhankelijk van de perceelssituatie.

Een goede inschatting van de mineralisatie van het betreffende perceel en de stikstofopname van het gewas is van essentieel belang bij deze methode.



## 4 Inspelen op ruimtelijke variabiliteit

Wanneer de afweging moet worden gemaakt of inspelen op ruimtelijke variabiliteit de moeite waard is, is het van belang te weten 1) wat ruimtelijke variabiliteit is, 2) hoe groot die is en 3) hoe hierop ingespeeld kan worden. Deze drie punten worden in dit hoofdstuk toegelicht.

### 4.1 Ruimtelijke variabiliteit

Ruimtelijke variabiliteit kan omschreven worden als eigenschappen van een perceel (of gewas) die variëren van plaats tot plaats. Ruimtelijke variabiliteit is de oorzaak van het ontstaan van verschillen in gewasopbrengst en -kwaliteit bij een uniforme behandeling van percelen.

Ruimtelijke variabiliteit wordt op macroschaal beïnvloed door klimaat en bodemsoort. Op microschaal wordt deze beïnvloed door onder meer bodemstructuur, water- en nutriëntenvoorziening. Het bestaan van ruimtelijke variabiliteit is al lange tijd bekend. In de oudheid wisten mensen plekken waar een hoge opbrengst kon worden gehaald te benutten en plekken met een lage opbrengst te mijden. Omdat men de beschikking had over voldoende grond en slechts beperkte middelen om deze te bewerken werden veldgrenzen zo gekozen dat alleen de delen met een hoge opbrengstpotentiaal werden bewerkt.

Omdat door de bevolkingsgroei en de grotere behoefte aan voedsel de hoeveelheid landbouwgrond schaarser werd is men ook de gronden met een minder hoge opbrengstpotentiaal gaan bewerken. Door de groeiende vraag naar voedsel is men ook steeds meer gaan mechaniseren. Mechanisatie stelt eisen aan zowel perceelsgrootte en -vorm. Grote rechthoekige velden zijn het gemakkelijkst te bewerken met de steeds groter wordende machines. Daarom is in de vorige eeuw het landschap sterk veranderd door ruilverkaveling. Een lappendeken van kleine, veelvormige, redelijk uniforme percelen werd veranderd in een blokkenstructuur met grote rechthoekige percelen, sloten en kanalen. Het gevolg van deze herindeling is dat de ruimtelijke variatie in percelen behoorlijk toenam.

In de praktijk wordt echter een perceel als een uniforme eenheid behandeld. Bij het bepalen van een dosering wordt vaak uitgegaan van een gemiddelde behoefte voor het hele perceel. In het geval van bemesting betekent dit dat sommige delen worden overbemest en andere delen te weinig krijgen. De benutting van de meststoffen is hierdoor suboptimaal en op de overbemeste delen treden stikstofverliezen op die kunnen worden voorkomen. In de praktijk komt het ook voor dat niet het gemiddelde, maar de slechte plekken als maat dienen voor de hoogte van de gift. Dit leidt vanzelfsprekend tot nog hogere verliezen naar het milieu. Met het inspelen op ruimtelijke variabiliteit kunnen deze verliezen geminimaliseerd worden.

Als er van wordt uitgegaan dat het opbrengstpotentieel van een perceel een normale verdeling volgt, is de inputbehoefte van de helft van het veld lager dan de gemiddelde behoefte en heeft de andere helft van het veld een grotere inputbehoefte. De ruimtelijke variabiliteit kan gezien worden als de breedte van de 'klokvorm' van de normale verdeling. De variatiecoëfficiënt (Coëfficiënt of Variation, CV) is een maat voor de breedte van de klokvorm. Hoe groter de CV, hoe groter de 'klokvorm' en hoe groter de ruimtelijke variabiliteit.

Wanneer er volgens de gemiddelde behoefte wordt toegediend krijgt de ene helft van het veld teveel toegediend en de andere helft te weinig. Het totaal aan verliezen in economische zin is afhankelijk van de opbrengst responsecurve (Engels: yield response curve). De curve geeft aan hoe het gewas reageert op een bepaalde inputhoeveelheid. Een typische gewas responsecurve heeft een parabolische vorm. Dat betekent dat onderbemesting, maar ook overbemesting leidt tot een suboptimale opbrengst. In het geschetste voorbeeld leiden zowel de onder- als overbemeste delen tot financiële verliezen. In het geval van bemesting zijn de stikstofverliezen geconcentreerd in de overbemeste delen. Er wordt meer bemest dan er door het gewas kan worden opgenomen, met als gevolg dat de overtollige stikstof uit kan spoelen. Over het algemeen geldt hoe groter de CV, hoe groter de financiële- en milieuverliezen.

Wanneer met technieken wordt gewerkt waarmee expliciet rekening wordt gehouden met deze verschillen kunnen verliezen geminimaliseerd worden. Omdat de veronderstelling was dat het



opbrengstpotentieel van het perceel een (symmetrische) normale verdeling volgt is de totale input van de ruimtelijk gedifferentieerde methode gelijk aan de input die gegeven wordt wanneer er volgens het gemiddelde toegediend wordt. Door aan te passen aan de ruimtelijke variabiliteit neemt de totale gift niet af, maar is alleen de verdeling anders geworden.

In de praktijk zal de opbrengstpotentiaal echter zelden of nooit een normale verdeling volgen. Dit betekent echter niet dat de totale gift afneemt of toeneemt t.o.v. een gift gebaseerd op het gemiddelde. Verschillen in de totale gift ontstaan alleen wanneer in de standaard situatie niet volgens het gemiddelde van het perceel wordt bijbemest. Wanneer in de standaard situatie een bovengemiddelde gift wordt gegeven om de mindere plekken in het perceel extra input te geven kan met een ruimtelijk gedifferentieerde methode winst gehaald worden.

Of er voordelen te halen zijn met het aanpassen aan de ruimtelijke variabiliteit hangt samen met de grootte van de variatie in een perceel. Wanneer de grootte van de ruimtelijke variabiliteit niet bekend is kan deze worden geschat door af te wegen in hoeverre er elementen in percelen zijn die van invloed zijn op die variabiliteit:

- Variatie in bodem. De samenstelling van de bodem (zowel chemisch als fysisch) heeft een relatief grote invloed op de gewasgroei.
- Hoogte van de grondwaterspiegel. Deze heeft invloed op de beschikbaarheid van bodemvocht voor het gewas.
- Voorgeschiedenis van het perceel. Door het samenvoegen van percelen met een verschillende geschiedenis (bijvoorbeeld de samenvoeging van historisch grasland met akkerbouwgrond) kunnen grote verschillen ontstaan in gewasgroei.
- Aanwezigheid en locatie van sloten en kanalen. Op plaatsen in het perceel kan afwatering problematisch zijn en gewasgroeiomstandigheden kunnen hierdoor sub-optimaal zijn.
- Mesthopen, bietenbulten, etc. Op plekken waar gewassen of meststoffen opgeslagen hebben gelegen kunnen variaties in gewasstand optreden.
- Oude infrastructuur zoals gebouwen en sloten. Op plekken waar het bodemprofiel verstoord is door de aanleg van infrastructuur wordt vaak een slechte gewasgroei waargenomen.
- Hoogteverschillen in het perceel. Variaties in hoogte kunnen leiden tot andere gewasgroeiomstandigheden door onder meer een verschil in beschikbaarheid van bodemvocht.
- (Laan)bomen naast het perceel. Deze kunnen vocht onttrekken aan het perceel zodat gewassen sneller verdrogen. Ook kunnen bomen de lichtinval belemmeren.
- Organische mest. Partijen organische mest zijn vaak verschillend in samenstelling waardoor er bemestingsverschillen kunnen ontstaan.
- Variaties in voorvrucht. Een ruimtelijke variatie in de voorvrucht kan doorwerken in de volgteelt.

Over de grootte van de ruimtelijke variabiliteit zijn niet veel cijfers bekend. Als er al cijfers bekend zijn wordt vaak de financiële winst besproken die met het aanpassen aan de heterogeniteit van percelen te behalen is. In de VS zijn vrij veel studies gedaan naar de economische kant van het inspelen op ruimtelijke variatie. De meeste studies zijn uitgevoerd door Purdue University. In een evaluatie van meer dan 100 artikelen werd in 63% van de artikelen over winst gesproken en in slechts 10% van de gevallen over verlies bij het inspelen op ruimtelijke variabiliteit (Mueller, 2002). In Duitsland worden bedragen van €25 tot €50 per ha genoemd die te behalen zijn door plaatsspecifiek te bemesten (Mueller, 2002).

In Nederland zijn cijfers bekend van variatie in opbrengst van 30 – 45 ton ha<sup>-1</sup> bij aardappelen die wordt toegewezen aan de variatie in bodem (Verhagen e.a., 1995). Door Booltink e.a. (2001) is een simulatie uitgevoerd op basis van een gemengd klei-zand perceel op de van Bemmelen hoeve in Noord-Holland. Hier kwam naar voren dat door plaatsspecifiek te bemesten de variatie in opbrengst van gerst slechts varieerde van 7 000 – 8 500 kg ha<sup>-1</sup>, terwijl bij een gangbaar systeem de opbrengst varieerde van 5 500 – 8 000 kg ha<sup>-1</sup>. In deze studie is ook gekeken naar de uitspoeling. Op de klei gedeelten van het perceel kon de nitraatnorm van 50 mg L<sup>-1</sup> met een waarschijnlijkheid van 95% gehaald worden, maar op het zand gedeelte was het in geen enkel geval mogelijk om de nitraatnorm te halen.

In een andere studie (van Alphen, 2002) op het bedrijf van van Bergeijk op Voorne-Putten is door plaatsspecifieke toediening van kunstmest een kleine opbrengstverbetering gehaald (opbrengst en hectolitergewicht) in graan met een 23% lagere kunstmestgift.

Dat in veel gevallen verbeteringen haalbaar zijn door plaatsspecifiek te handelen moge duidelijk zijn. De vraag wanneer het zinvol is om over te stappen van een de gangbare manier van telen naar een manier

waarbij rekening wordt gehouden met ruimtelijke variabiliteit is lastig te beantwoorden. Factoren die hierbij een rol spelen zijn:

- Grootte van de variabiliteit. Hoe groter de variabiliteit, hoe meer winst er te behalen valt met het inspelen hierop.
- Financiële belangen. Wanneer de financiële opbrengst van de gewassen door een lage opbrengst en een te hoge variatie in kwaliteit te laag is bij een gangbare manier van telen, kan het aanpassen aan ruimtelijke variabiliteit een oplossing bieden.
- Bedrijfsdoelen. Is de bedrijfsdoelstelling maximale financiële winst of minimale verliezen naar het milieu?
- Wet en Regelgeving. Hoe kan ik met een lage toegestane bemestingsinput een optimaal resultaat bewerkstelligen? Hoe kan ik aan de nitraatrichtlijn voldoen?
- Ethiek. Als bekend is dat er een grote ruimtelijke variabiliteit in percelen is en toch besluit een uniforme bemesting toe te passen is men bewust aan het overbemesten op de delen met een geringe opbrengstpotentiaal, mag dat?

Wanneer overgestapt moet of kan worden hangt sterk af van de lokale situatie. Van perceel tot perceel moet bepaald worden wat de variatie is. Het kan zijn dat op naastliggende percelen er een behoorlijke ruimtelijke variatie is, terwijl op het perceel zelf geen of nauwelijks variatie is. Als de omvang van de ruimtelijke variabiliteit niet bekend is kan door bijvoorbeeld plaats specifieke opbrengstmetingen of door bodembemonstering relatief eenvoudig een indicatie van de te verwachten variabiliteit verkregen worden.

Als er een inschatting is gemaakt van de variabiliteit kan bekeken worden of het de moeite waard is om over te stappen naar een systeem dat daar op inspeelt (financiële motieven, wet- en regelgeving en ethische motieven). Vervolgens kan worden nagedacht hoe men daar op in wil spelen. Welke technieken zijn er voorhanden, welke kosten zijn er aan verbonden en wat levert het op? Kortom, hoe en wanneer in te spelen op ruimtelijke variabiliteit is maatwerk.

## 4.2 Ruimtelijke variabiliteit en bemesting

Plaats specifieke bemesting is het afstemmen van de toediening van meststoffen aan lokale omstandigheden binnen het perceel. In tegenstelling tot 'conventionele' bemestingsstrategieën waarbij de hoogte van de gift wordt bepaald aan de hand van de gemiddelde omstandigheden in het veld wordt door de plaats specifieke benadering de gift gedifferentieerd over het perceel.

Er zijn twee vormen van plaats specifieke toediening te onderscheiden; 1) het on-line toedienen van meststoffen aan de hand van sensormetingen die 'on the fly' worden doorvertaald naar een gift en 2) het toedienen van meststoffen op basis van een off-line gecreëerde toedieningskaart. Beide vormen worden toegelicht.

### 4.2.1 On-line bepalen van de bemestingsbehoefte en toedienen van meststoffen

Het on-line toedienen van meststoffen is wellicht de meest eenvoudige manier van plaats-specifieke bemesting. Een sensorsignaal wordt aan de hand van rekenregels direct vertaald naar een gift. Het voordeel hiervan is dat geen plaatsbepalingssysteem noodzakelijk is en dat ook geen dataverkeer hoeft plaats te vinden van en naar het systeem. Het plaats specifiek vastleggen van de sensorsignalen en/of bemestingsbehoefte is optioneel, en kan vaak gedaan worden door middel van het aansluiten van een plaatsbepalingssysteem zoals het Global Positioning System (GPS).

Vrijwel alle systemen die on-line toediening van meststoffen mogelijk maken doen dit op basis van metingen aan het gewas en zijn dus bedoeld om bij te bemesten. Een systeem bestaat uit drie componenten: een sensor voor het meten van gewaseigenschappen, een computer die de sensorwaarnemingen aan de hand van rekenregels vertaalt naar een bijmestgift en een apparaat (in veel gevallen een kunstmeststrooier) die in staat is om via elektronische weg zijn debiet te wijzigen. In deze paragraaf worden een drietal op de markt zijnde systemen beschreven voor plaats specifieke bijbemesting op basis van metingen aan het gewas.

#### **GreenSeeker**

De GreenSeeker is een gewasreflectiesensor die kan worden gebruikt om on-line de stikstofbehoefte van gewassen in te schatten. De GreenSeeker is ontwikkeld in samenwerking met Oklahoma State University en

wordt gemaakt door N-Tech. De Sensor is ontwikkeld voor de toediening van vloeibare meststoffen met een spuitboom. De sensor meet een oppervlakte van ca. 1 m<sup>2</sup> bij een optimale meethoogte van 1 meter boven het gewas.

De meetkop (Figuur 4.1) gebruikt in tegenstelling tot veel andere systemen actieve belichting om gewasreflectie waar te nemen. In de meetkop geïntegreerde LED's zenden nagenoeg monochromatisch licht uit in het rood en het infrarood; dit gebeurt om en om. Een lichtgevoelige fotodiode neemt om en om de reflectie van het rode en het infrarode licht waar. Uit deze twee gewasreflecties kan de zogenaamde Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) worden berekend die een goede schatter is voor de hoeveelheid stikstof in de bovengrondse gewasdelen.

Bij het bepalen van de hoeveelheid stikstof die moet worden bijbemest dient gebruik te worden gemaakt van een omgekeerd stikstofvenster. De NDVI van dit supra-optimaal bemeste object, het aantal dagen sinds opkomst, een schatting van de stikstofefficiency en een schatting van de opbrengstpotentiaal van het perceel worden gebruikt om de bemestingshoeveelheid te berekenen. Op dit moment zijn er alleen 'standaard' rekenregels beschikbaar voor tarwe. Er wordt gewerkt aan rekenregels voor mais, gerst, katoen en gras, maar ook rekenregels voor suikerbieten, aardappels staan op het programma (N-Tech, 2003).



*Figuur 4.1 De GreenSeeker aan een spuitboom .*

Omdat de GreenSeeker een oppervlakte meet van ca. 1 m<sup>2</sup> worden meestal meerdere GreenSeekers gebruikt aan één spuitboom. Om de hoeveelheid meststof te sturen zijn twee opties voorhanden:

1. De GreenSeeker sensoren geven hun strooihoeveelheid door aan een centrale doseringscomputer; deze regelt de dosering voor de gehele spuitboom. GreenSeeker(s) kunnen op dit moment alleen worden gebruikt met doseringscomputers van Raven Industries. Het voordeel van deze methode is dat het systeem relatief simpel blijft. Het nadeel is echter dat de hoeveelheid over de gehele breedte van de boom constant is. Hierdoor is een differentiatie van de stikstofgift in de breedterichting niet mogelijk; in de lengterichting (rijrichting) kan wel de gift wel gedifferentieerd worden. Deze methode is wellicht het meest geschikt om met GreenSeekers een kunstmeststrooier (deze zijn meer gangbaar in Nederland) aan te sturen.
2. De GreenSeeker stuurt direct een aantal doppen aan. Aan elke GreenSeeker worden 3 doppen gekoppeld, een met een hoge, een met lage en een met een middelmaat dosering, Door een combinatie van doppen te openen kunnen 7 verschillende toedieningsniveau's worden bereikt. Het voordeel van het systeem is dat de dosering ook in de breedte van de boom kan worden gevarieerd waardoor een zeer exacte bemesting mogelijk is, Het nadeel is de grotere complexiteit waardoor de kans op storingen toeneemt. Deze methode is wellicht ook geschikt om pneumatische kunstmeststrooiers aan te sturen.

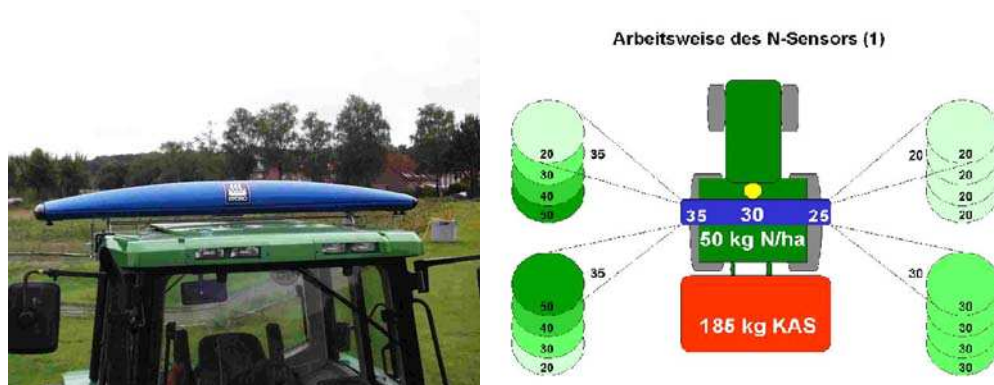
Met behulp van de GreenSeeker is men in principe in staat een ruimtelijk zeer gedetailleerde stikstofbijbemesting te geven. Het systeem is (nog) niet beschikbaar voor kunstmeststrooiers. Dat maakt het wat minder geschikt voor de Nederlandse omstandigheden. Omdat het systeem gebaseerd is op een omgekeerd venster, moet dit ook in elk perceel worden aangelegd. Het omgekeerde venster moet representatief zijn voor het gemiddelde van het perceel. De locatie van het venster is dus vrij kritisch. Daarnaast moet er nog een groot aantal parameters ingesteld worden. Het gebruik van het systeem vraagt

een vrij hoog kennisniveau.

De fabrikant N-Tech meldt een besparing van €20 tot €25 per hectare, inclusief afschrijving van de apparatuur. De besparing is afhankelijk van de ruimtelijke variabiliteit en het bedrag is daarom arbitrair. Ook de besparingen die kunnen worden gehaald met betrekking tot stikstofverliezen zijn afhankelijk van de heterogeniteit van het perceel.

### N-Sensor

De N-Sensor is een gewas reflectiemeter waarmee on-line op basis van de reflectie van het gewas de stikstof behoefte kan worden gemeten. De N-Sensor is ontwikkeld door Yara International (voorheen Hydro-Agri International). De N-Sensor wordt op het dak van een trekker gemonteerd en meet op twee plekken aan elke zijde van de trekker een gebied met een totale oppervlakte van ca. 50 m<sup>2</sup>. Boven op de sensor is een naar boven gerichte lens gemonteerd waarmee invallend licht wordt opgevangen.



Figuur 4.2 De Yara N-Sensor, gemonteerd op het dak van een trekker en in een overzichtsschets.

Het hart van de N-Sensor zijn 3 diode array spectrometers. Via een lens en een glasfiber kabel wordt het licht naar de spectrometers geleid. Twee spectrometers worden gebruikt voor de analyse van het gereflecteerd licht van het gewas links en rechts van de trekker. Om de gewasreflectie te bepalen moet gecompenseerd worden voor het invallende daglicht. De derde spectrometer wordt gebruikt voor de analyse van het invallend licht. De spectrometers zijn in staat om een golflengtegebied van 300 – 1 100 nanometer (nm) te meten met een maximale resolutie van ca. 3 nm. Op basis van de gegevens van de 3 spectrometers wordt een plaatsspecifiek bijmestadvies gegenereerd. Op dit moment zijn er 'volwassen' algoritmen voor de bepaling van de bijmestbehoefte in granen. Ook voor aardappels kan inmiddels een bijmestadvies worden gegenereerd. Het bijmesten van aardappel gebeurt door een calibratie met de N-tester. De N-tester is een chlorofylmeter op bladniveau waarmee de stikstofstatus van een gewas kan worden bepaald. Van een representatieve strook in het veld worden een aantal monsters genomen met de N-tester om een gemiddeld bijmestniveau te bepalen. Vervolgens wordt dezelfde strook gescand met de N-Sensor. De waarnemingen van de N-Sensor en N-tester worden gekoppeld zodat een calibratie ontstaat voor het 'absolute bijmestniveau'. In de N-Sensor zijn rekenregels geïntegreerd die de bijmestgift verhogen cq. verlagen t.o.v. het absolute bijmestniveau afhankelijk van de Sensor waarnemingen. Dit laatste bepaald de 'agressiviteit' waarmee gereageerd wordt op variaties in het gewas. De Sensor is verbonden met een terminal in de trekker waarmee de sensor kan worden bediend. Aan deze terminal kunnen een groot aantal merken kunstmeststrooiers worden gekoppeld die in staat zijn hun afgifte on-line te regelen.

Met behulp van de N-Sensor kan op eenvoudige wijze plaatsspecifiek worden bijbemest. De sensor scant een relatief groot oppervlak en berekent hieruit de gemiddelde bijmestgift voor de werkbreedte van de kunstmeststrooier. Met de N-Sensor kan de gift alleen in de rijrichting gevarieerd worden. Het systeem wordt in Europa al een aantal jaren gebruikt voor de bijbemesting in granen. Het systeem heeft een aanschafwaarde van ca. €20.000. De winst die te behalen valt met het systeem is afhankelijk van de lokale situatie. Hoe groter de heterogeniteit in gewasstand, hoe groter de potentiële winst op financieel gebied en vanuit milieu oogpunt.

Op dit moment zijn oriënterende experimenten gaande om te onderzoeken of de N-Sensor ook kan worden ingezet bij het plaatsspecifiek variëren van de dosering bij het spuiten van loofdoingsmiddel in

aardappelen. Dit vergroot de inzetbaarheid van de sensor en leidt tot een afname van de milieubelasting door spuitmiddelen.

### **CROP-meter**

De CROP-meter is ontwikkeld in Duitsland door ATB-Bornim in samenwerking met Mueller Elektronik. De CROP-meter beweegt door het gewas en is in staat een schatting te geven van de biomassa. De CROP-meter is geschikt voor alle gewassen met een verticale stengel.



*Figuur 4.3 De CROP-meter aan de voorzijde van een trekker.*

De CROP-meter is een soort pendulum die in een frame aan de voorzijde van de trekker gemonteerd wordt (Figuur 4.3). Aan de onderzijde van het pendulum is een horizontale buis bevestigd die door het gewas beweegt. Afhankelijk van de hoeveelheid biomassa zal het pendulum tijdens het rijden meer of minder uitslaan. Er wordt gecompenseerd voor rijsnelheid, scheefstand en insporing van de trekker (Mueller Elektronik, 2003). De verschillende sensorsignalen worden verwerkt door een procescomputer die een schatting maakt van de hoeveelheid biomassa. Aan de hand van deze schatting kan een plaats specifieke stikstofgift worden berekend. Er zijn veel proeven gedaan in granen. Zodoende zijn er rekenregels voor granen ontwikkeld. De beschikbaarheid van algoritmen voor andere gewassen is onduidelijk.

De CROP-meter is een mechanische benadering voor het schatten van biomassa. De vraag is of de hoeveelheid biomassa een goede indicatie geeft voor de stikstofbehoefte van het gewas. Omdat alleen een smalle strook gewas in het spuitspoor wordt gemeten rijst de vraag of deze strook representatief is voor de volledige werkbreedte van de kunstmeststrooier.

Ook voor de CROP-meter geldt dat de financiële- en milieuvoordelen afhangen van de variatie binnen percelen. In Duitsland zijn ook proeven gedaan met het aanpassen van de hoeveelheid groeiregulatoren in granen. Ook hier is de besparing die gehaald wordt ten opzichte van het uniform bespuiten van een perceel afhankelijk van de variatie in gewasstand.

### **Discussie en conclusies**

Met de in het voorgaande genoemde systemen is het mogelijk een plaats specifieke bijmestgift te baseren op een door sensoren waargenomen eigenschap van het gewas. Met genoemde systemen is men beter in staat de gift aan de behoefte van het gewas aan te passen. De meeste winst wordt behaald op de meer heterogene percelen. Door de bemesting aan te passen aan de behoefte van de plant kan een overmatige gift voorkomen worden. Het risico van uitspoeling wordt hierdoor lager.

De vraag is hoe goed de stikstofbehoefte van het gewas bepaald kan worden door het meten van bepaalde gewaseigenschappen. Vaak worden door de systemen relatief mindere gewaseigenschappen (zoals een minder groene bladkleur) geassocieerd met een (dreigend) stikstoftekort, terwijl de oorzaak van geheel andere aard kan zijn (zoals slechte bodemstructuur of vochtgebrek).

Daarnaast is het de vraag met welke resolutie de plaats specifieke verschillen aangepakt moeten worden. Systemen die meten met een relatief lage resolutie zijn minder complex en daardoor goedkoper en minder storingsgevoelig. Systemen met een hogere resolutie zijn beter in staat om de verschillen gedetailleerder vast te leggen en daarmee is in potentie een grotere winst te behalen. Het is de kunst een

optimum te vinden tussen het aanpassen aan de heterogeniteit van het perceel versus de complexiteit van het systeem. Een belangrijke factor hierbij is de toedieningstechniek. Het is weinig zinvol op m<sup>2</sup>-niveau over de volledige werkbreedte gewaseigenschappen vast te leggen en deze vervolgens te middelen omdat de kunstmeststrooier niet gesegmenteerd aangestuurd kan worden. Het is in dat geval beter te kiezen voor een systeem met een lagere resolutie. Door A&F (voormalig IMAG) is in het verleden onderzoek gedaan het effecten van de resolutie van bewerkingen op het inspelen op ruimtelijke variabiliteit.

#### 4.2.2 Off-line bepaling van de bemestingsbehoefte

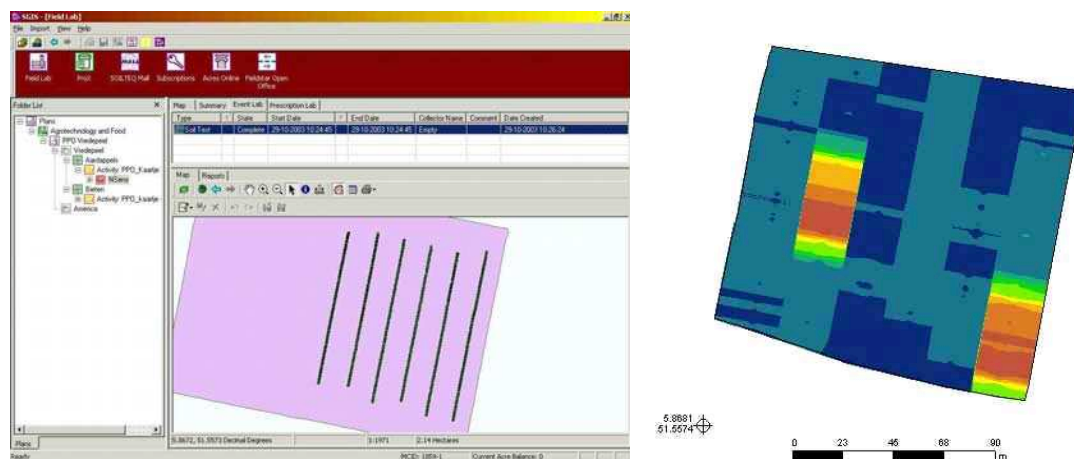
Bij de bepaling van de bijmestgift met behulp van een on-line meetsysteem wordt de gift veelal bepaald door slechts enkele gewasparameters. Hierdoor kan het voor komen dat plekken met een relatief lage opbrengstpotentieel toch relatief zwaar worden bemest. Door meerdere waarnemingen aan gewas en bijvoorbeeld bodem te combineren kunnen plekken met een verschillende opbrengstpotentieel geïdentificeerd worden en kan ook het bemestingsniveau op deze plekken worden aangepast.

Bij het combineren en interpreteren van verschillende soorten plaats specifieke data (ook de sensorsignalen van de on-line systemen kunnen gebruikt worden) is een Geografisch Informatie Systeem (GIS) systeem onontbeerlijk. Er zijn twee categorieën GIS systemen te onderscheiden: 1) gemakkelijk te gebruiken, maar in functionaliteit beperkte pakketten en 2) complexere pakketten met een uitgebreide functionaliteit voor professioneel gebruik. Onder de eerste categorie vallen pakketten als ProFaS (Kverneland) en JD-Map (John Deere) die bedoeld zijn voor gebruik door akkerbouwers en veehouders. De tweede categorie is bedoeld voor grote landbouwbedrijven en zogenaamde 'service providers'. De laatste zijn bedrijven die gespecialiseerd zijn in perceelsmanagement voor akkerbouwers en veehouders. Pakketten als Arcview (ESRI) en SGIS (Agco) zijn hier voorbeelden van. SGIS wordt in de volgende paragraaf nader beschreven.

#### SGIS

SGIS (Soilteq GIS) is een software pakket dat ontwikkeld is door Soilteq, onderdeel van de Agco Corporation. Het is een softwarepakket dat ontwikkeld is op basis van ESRI ArcView. Het pakket is in eerste instantie ontwikkeld om toedieningskaarten (Figuur 4.4) te maken voor de Agco Falcon controllers op Ag-Chem landbouwmachines voor het toedienen van mineralen (kunstmest, kalk etc.).

De belangrijkste component van SGIS is de database. Dit is een op Microsoft Acces gebaseerde database waarin alle data 'geo-referenced' (aan alle data wordt dus een 'plaatslabel' toegevoegd) worden opgeslagen. Voor de visualisatie wordt gebruik gemaakt van de ArcView componenten.



Figuur 4.4 Het gebruikersinterface van SGIS en een voorbeeld van een kaart met een N-Sensor scan .

Omdat SGIS is bedoeld voor service providers kunnen er data van meerdere bedrijven worden opgeslagen. Op eenvoudige wijze kunnen per klant en per perceel plaats specifieke data worden ingelezen, opgeslagen en verwerkt. Allereerst wordt in SGIS een klant aangemaakt en worden per perceel de veldgrenzen vastgelegd. Dit kan door GPS data of luchtfoto's te gebruiken. Vervolgens kunnen voor elk perceel plaats specifieke data ingelezen worden. Standaard worden bodemmonsters, oogstdata en



zogenaamde 'as-applied' data (data over bijvoorbeeld daadwerkelijk opgebrachte hoeveelheden kunstmest) ondersteund. De kracht van SGIS is dat ook op eenvoudige wijze andere data (N-Sensor, CropScan, CROP-meter) kunnen worden ingelezen. De enige voorwaarde is dat de data in een tekstbestand staan en voorzien moeten zijn van een plaatslabel in World Geodetic System 1984 (WGS84). WGS84 is een internationale standaard voor het vastleggen van posities op aarde en wordt standaard door alle GPS apparatuur ondersteund. Data die in het GIS systeem kunnen worden opgeslagen kunnen van verschillende afkomst zijn:

- *Bodemmonsters*: Bodemmonsters van de bouwvoor worden genomen om de chemische en/of fysische samenstelling van de bodem te analyseren. Vaak bestaat een monster uit een mengmonster van meerdere metingen rond een centraal punt. De locatie van de monsternamen wordt vastgelegd met GPS. In een laboratorium kan het monster op verschillende elementen zoals kali, fosfaat en organische stof worden geanalyseerd.
- *Bodem scans*: Samen met de Rijksuniversiteit Groningen heeft de Soil Company het bodemdetectiesysteem Pandora ontwikkeld. Met een scanner wordt de natuurlijke gammastraling van de bodem gemeten. De hoogte van de straling hangt af van de samenstelling en gesteldheid van de bodem. Uit gemeten stralingsniveaus kunnen bodemfysische en -chemische eigenschappen worden afgeleid.
- *Bodemweerstand*: Tijdens grondbewerking zoals ploegen kan de trekkracht worden gemeten. Uit de gemeten trekkracht kan informatie over de fysische samenstelling van de bodem afgeleid worden.
- *Elektrische geleidbaarheid (EC)*. Met behulp van het meten van elektrische geleidbaarheid kan een indruk worden verkregen van de bodemtextuur.
- *Gewasreflectiemetingen*: Met behulp van gewasreflectiemeters zoals de N-Sensor, CropScan en Greenseeker kan een indicatie van de bemestingstoestand van het gewas worden afgeleid. Ook is het mogelijk om hiervoor satellietbeelden voor te gebruiken.
- *Scouting*. Door het veld in te gaan met een GPS ontvanger en zaken te documenteren (gewashoogte, onkruidtellingen, vochtmetingen etc.) kan op eenvoudige manier perceelskennis worden vergaard.
- *As-applied*: Data van daadwerkelijk opgebrachte hoeveelheden mest of spuitmiddel kunnen worden gedocumenteerd zodat het effect van deze bewerkingen naderhand eenvoudig kan worden geanalyseerd.
- *Oogstgegevens*: Dit kunnen bijvoorbeeld proefmonsters zijn waarbij zowel kwantiteit als kwaliteit van het gewas beoordeeld wordt of gegevens van automatische opbrengstmeters op oogstmachines.

De kracht van het gebruik van een gestandaardiseerde database met geo-referenced data is dat voor elk perceel een historie gecreëerd kan worden. Hiermee wordt plaats specifieke kennis van het perceel opgebouwd en vastgelegd. Deze kennis kan worden gebruikt om toekomstige bewerkingen te optimaliseren door bijvoorbeeld het identificeren van perceelsgedeelten met een natuurlijk hoge- of lage opbrengstpotentieel. Ook is het mogelijk de kennis te gebruiken in Decision Support Systemen (DSS).

In SGIS kunnen met behulp van een soort 'formule editor' toedieningskaarten worden gecreëerd door het combineren van de verschillende soorten data die per perceel opgeslagen zijn. Met behulp van deze functionaliteit kunnen nieuwe rekenregels worden ontwikkeld voor bijvoorbeeld stikstofbemesting in het voorjaar. De rekenregels kunnen worden opgeslagen zodat dezelfde systematiek jaar op jaar gebruikt kan worden. Met behulp van dezelfde 'formule editor' kunnen ook analyses gedaan worden m.b.t. tot de plaats specifieke effectiviteit van diverse bewerkingen door bijvoorbeeld de plaats specifieke stikstofgift met de plaats specifieke opbrengst te vergelijken.

De rekenregels worden vervolgens gebruikt om daadwerkelijke toedieningskaarten te genereren. Het genereren van de toedieningskaarten is behoorlijk rekenintensief en kan dus enige minuten duren. Daarom is een 'utility' ingebouwd waarmee het uitrekenen van de kaarten in een batch (bijvoorbeeld 's nachts) kan gebeuren. De toedieningskaarten kunnen geëxporteerd worden in verschillende formats voor verschillende boordcomputers van onder meer kunstmeststrooiers en spuitmachines.

### **Management systemen en 'license to produce'**

Met de invoering van steeds strengere regelgeving en steeds grotere informatiebehoefte van de overheid en ketenpartijen kan een managementsysteem de administratieve last verlichten. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een managementsysteem waarbij zaken als gewasbescherming en bemesting perceels- of plekkegebonden kunnen worden vastgelegd is het exporteren van gegevens naar (semi-)overheid en

ketenpartijen automatisch uit te voeren.

In de toekomst lijkt niet alleen het afleveren van het product voldoende, ook de informatiebehoefte van de afnemer moet bevredigd worden. Ketenpartijen zullen in de toekomst, vanwege onder meer tracking en tracing eisen, steeds meer informatie vragen aan de leverancier. Wanneer de leverancier niet in staat is de adequate informatie te leveren kan het zijn dat partijen niet afgenomen worden. Hiermee wordt de informatie die opgeslagen ligt in het managementsysteem een 'license to produce'.

Een belangrijk punt hierbij is standaardisatie van gegevensoverdracht. Om gegevens uit de managementdatabase te halen en hiermee automatisch digitale formulieren in te vullen vraagt overleg en afstemming tussen ketenpartijen en primaire producenten. In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt wordt men steeds meer bewust van de noodzaak van standaardisatie. In de tuinbouw is men over het algemeen iets verder. Voorbeelden hiervan zijn DataTuin (een project dat geleid wordt door het productschap tuinbouw), Dymos (een ketenmanagementsysteem waarmee voldaan kan worden aan de General Food Law) en Florecom (een keteninformatiesysteem voor de sierbloemeteelt).

### **Discussie en conclusies**

Met behulp van goede GIS software is het mogelijk een database aan te leggen met plaats specifieke perceelsgegevens. Met behulp van de software kan op basis van historische en actuele gegevens een gefundeerde beslissing genomen worden ten aanzien van de hoogte van de bemesting.

Bij het vergaren van plaats specifieke gegevens spelen een aantal factoren een rol:

- Bemonsteringsintensiteit en –frequentie: Kan ik met een bodemonmonster per hectare volstaan en moet ik elk jaar bodemonsters nemen?
- Data integriteit: Hoe controleer ik de data op hun juistheid; Hoe weet ik bijvoorbeeld dat een sensor goed gecalibreerd was?
- Data format: Hoe kan ik de data aanbieden zodat het importeren in het GIS systeem probleemloos verloopt?

Een belangrijk punt is standaardisatie van gegevensoverdracht. Veelal wordt gebruik gemaakt van ASCII tekstbestanden met 'comma separated values' (.csv files) of ESRI shape files (.shp files), maar een echte standaard is er niet. Op dit moment is verregaande standaardisatie gaande op het gebied van gegevensuitwisseling van, naar en tussen landbouwwerktuigen. Deze ISO11783 ofwel ISOBUS standaard voorziet ook in een gestandaardiseerde manier van data transport van gemeten waarden en toedieningskaarten. Deze standaard wordt op dit moment geïmplementeerd in de nieuwste landbouwwerktuigen.

GIS pakketten zijn breed inzetbaar (niet alleen stikstofbemesting, maar ook bespuitingen etc.) en de financiële besparing die te halen valt met SGIS is afhankelijk van de oppervlakte aan percelen en de heterogeniteit van die percelen. Vanuit milieu-oogpunt zijn de besparingen ook gerelateerd aan de heterogeniteit. Het voordeel is dat door de toegenomen perceelskennis minder bemest kan worden zonder het risico van onderbemesting.

## **4.3 Discussie**

In voorgaande paragrafen zijn een aantal systemen beschreven waarmee ingespeeld kan worden op de ruimtelijke variabiliteit binnen percelen. Het voordeel van de on-line werkende systemen ligt in hun eenvoud en directe werking. Doordat alle data intern verwerkt wordt is een koppeling met een managementsysteem niet nodig en kunnen eventuele problemen met standaardisatie en met betrekking tot gegevensuitwisseling worden voorkomen. Het nadeel is dat deze systemen alleen kunnen worden gebruikt voor het bijmesten van percelen en dat men nauwelijks invloed heeft op de door het systeem berekende gift. Bij deze systemen wordt er impliciet vanuit gegaan dat een mindere gewasstand een gevolg is van een (dreigend) tekort aan nutriënten. Bij plekken met een natuurlijk laag opbrengstpotentieel zou men met een lagere bemesting toe kunnen, maar het on-line systeem zal juist meer stikstof gaan strooien. Sommige systemen (zoals de GreenSeeker) zijn wel zo intelligent dat plekken met een zeer lage sensoruitslag (dit duidt op een zeer slechte gewasstand) minder worden bemest.

Off-line systemen zijn vaak wat complexer en daarmee lastiger in gebruik. Deze systemen hebben in tegenstelling tot de on-line systemen het voordeel dat in de rekenregels meerdere en historische



parameters kunnen worden meegenomen. Hierdoor kan expliciet rekening gehouden worden met plekken met een hoog en een laag opbrengstpotentieel. Het off-line systeem is wellicht het meest flexibele en uitbreidbare systeem voor het inspelen op ruimtelijke variatie. Het inspelen op ruimtelijke variatie is echter een leerproces en de meeste winst is te halen bij een gedegen kennis van percelen. Omdat veel zaken sterk afhankelijk zijn van het weer is het van belang om een voldoende grote historie op te bouwen om zo de invloeden hiervan te kunnen minimaliseren. Men moet dan ook niet in het eerste jaar na aanschaf van een GIS systeem verwachten dat het maximale uit de percelen gehaald kan worden.

Het nadeel van GIS systemen is dat bij bijvoorbeeld gewasscans met een N-Sensor de gegevens eerst in het GIS systeem verwerkt moeten worden alvorens in een tweede werkgang de berekende gift toe te dienen. Wanneer de gegevens met betrekking tot plaats specifieke opbrengstpotentieel vanuit het GIS naar de boordcomputer van de strooier getransporteerd zouden kunnen worden, kunnen de gegevens van opbrengstpotentieel en gemeten reflectie in het veld gecombineerd worden tot een bemestingsadvies. Hierdoor zou in één werkgang plaats specifieke bemesting plaats kunnen vinden op basis van historische GIS-data en actuele sensorwaarnemingen.

Een punt van aandacht bij off-line systemen is de data uitwisseling tussen management GIS, sensoren en machines voor toediening (zoals kunstmeststrooiers). Standardisatie op dit vlak is een langzaam proces en zal uiteindelijk leiden tot een gemakkelijke integratie van alle systeemcomponenten op ICT vlak, maar kan en mag invoering van dergelijke systemen niet in de weg staan. Over het algemeen is de data uitwisseling nog sterk gebaseerd op relatief eenvoudige technieken als ASCII tekst bestanden die door iemand met kennis van zaken gemakkelijk van het ene in het andere 'format' geconverteerd kan worden. Dit is geen ideale situatie, maar wel werkbaar omdat ook leveranciers van ICT componenten over het algemeen zeer coöperatief zijn bij het oplossen van problemen. Een manier om dit probleem te omzeilen is om alle componenten te kopen bij één fabrikant. Het voordeel is dat alle componenten op elkaar afgestemd zijn, maar vaak is het nadeel dat een fabrikant niet alle 'tools' kan leveren die gewenst zijn. Het kiezen van de juiste gereedschappen is net als de keuze voor het wel of niet inspelen op ruimtelijke variabiliteit maatwerk.

## 4.4 Conclusies

Over het algemeen kan worden gezegd dat de effectiviteit van deze systemen, zowel op financieel gebied als op het gebied van stikstofverliezen, sterk samenhangt met de heterogeniteit van percelen. Wanneer de variatie binnen percelen dusdanig groot is dat er problemen kunnen worden verwacht met betrekking tot excessieve stikstofverliezen en een slechte benutting van de opbrengstpotentie op gedeelten van het perceel bij een uniforme verdeling van meststoffen over het perceel, dan bieden systemen die inspelen op ruimtelijke variabiliteit een oplossing.

Ruimtelijke variabiliteit en het inspelen hierop is maatwerk. Of en op welke manier ingespeeld moet worden is erg afhankelijk van de grootte van de variatie en van andere factoren als wet- en regelgeving, financiële en ethische motieven en bedrijfsdoelstellingen. Om in te schatten of het inspelen op de heterogeniteit binnen percelen zinvol is, is het nodig de grootte van de ruimtelijke variabiliteit op perceelsniveau te schatten. Deze inschatting kan worden gebaseerd op een risicoanalyse waarin elementen meegenomen worden die de ruimtelijke variabiliteit kunnen beïnvloeden. Deze analyse kan worden aangevuld door de ervaring die in de jaren is opgedaan bij het bewerken en oogsten van percelen. Ook kan het verhelderend zijn om bodemonsters te nemen of een opbrengstkaart van een perceel te maken.

Wanneer de afweging is gemaakt en het besluit is genomen om in te spelen op de ruimtelijke variabiliteit zijn er twee soorten systemen waarmee dit op bijvoorbeeld bemestingsgebied gedaan kan worden. De ruimtelijke variabiliteit kan on-line bepaald worden met sensoren. Dit zijn systemen die met sensoren de nutriëntenbehoefte van een gewas bepalen en dit onmiddellijk vertalen naar een gift die meteen wordt toegediend. Het nadeel van deze systemen is dat een mindere gewasgroei geassocieerd wordt met een stikstoftekort. Op plekken van het perceel met een natuurlijk laag opbrengstpotentieel kan dit leiden tot overbemesting. Dit kan ondervangen worden door meerdere (historische) plaats specifieke parameters mee te nemen. Hieruit kan een schatting worden gemaakt van de grootte en de verdeling van de opbrengstpotentieel over het perceel. Om deze gegevens te combineren kan gebruik worden gemaakt van GIS. Hiermee kan een database worden opgebouwd met een veelheid aan perceelsgegevens zodat de historie van het perceel vastgelegd wordt. Met behulp van de vastgelegde gegevens kan vervolgens

gespeeld worden om een zo goed mogelijke bemesting te realiseren. Naast het vastleggen van gegevens over percelen kan het GIS systeem ook gebruikt worden bij het vastleggen en exporteren van gegevens naar overheid en keten.

## 4.5 Aanbevelingen

Bij het ontwerpen van bedrijfssystemen gericht op minimale stikstofverliezen is het zeker te overwegen rekening te houden met ruimtelijke variabiliteit. Hiervoor moet allereerst op perceelsniveau een inschatting worden gemaakt van de behoefte om hierop in te spelen. Door rekening te houden met de variatie binnen percelen kunnen stikstofverliezen beperkt worden.

De invoering van het systeem zou stapsgewijs plaats kunnen vinden. Omdat het on-line meten en toedienen een 'black box' benadering is met vrij generieke rekenregels, is het binnen het project 'Nutriënten Waterproof' wellicht verstandiger te kiezen voor de fijnzinnigere benadering met een GIS systeem. De basis van het systeem is een goed en uitgebreid management GIS. Dit is de ruggengraat van het systeem waarin alle perceelsrelevante data worden opgeslagen.

Een van de belangrijkste parameters is de bodemsamenstelling, zowel chemisch als fysisch. Deze kan door bemonsteren worden verkregen en kan dienen voor de bepaling van de hoogte van de basisgift in het voorjaar. Door tijdens de groei parameters vast te leggen over de stand en de stikstofbehoefte van het gewas kan ook tijdens het groeiseizoen bijbemest worden. In het eerste jaar zal het systeem niet optimaal werken. Dit kan pas wanneer er meer en meerjarige gegevens van het perceel worden vastgelegd. Het omgaan met ruimtelijke variatie is een leerproces en vergt geduld. Ook kunnen in het systeem strategieën en methoden ingepast worden die gebruikt worden bij de eerder beschreven geleide bemestingssystemen. Hierdoor kan op basis van deze 'conventionele' bemestingssystemen worden ingespeeld op de ruimtelijke variabiliteit.

Door perceelsdata jaar op jaar vast te leggen en te gebruiken kunnen rekenregels voor zowel basis- als bijbemesting ontwikkeld, verfijnd en geëvalueerd worden. Dit iteratieve proces zal uiteindelijk leiden tot nagenoeg optimale bemestingsstrategieën waarmee nutriëntverliezen zoveel mogelijk voorkomen worden.



## 5 Rijbanenteelt

Rijbanenteelt is een teeltwijze waarbij gebruik wordt gemaakt van zogenaamde rijpaden. Het principe van de rijbanenteelt wordt allereerst in dit hoofdstuk beschreven. Vervolgens worden technische aspecten (automatische stuursystemen en mechanisatie) van de rijbanenteelt besproken. Besloten wordt met een inschatting van het effect van rijbanenteelt op stikstofverliezen.

### 5.1 Inleiding

Rijpaden zijn vaste paden in het perceel waarvan gedurende meerdere groeiseizoenen zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt bij het uitvoeren van bewerkingen. De kracht van het rijpadensysteem zit in de differentiatie van teelt- en verkeerszones. In de verkeerszone (de rijpaden) ontstaat door het jaar op jaar berijden een dichte ondergrond die goed bereikbaar is, zelfs onder natte omstandigheden. De teeltzone wordt niet bereden. Hierdoor ontstaat een gebied met een uitstekende bodemstructuur waar gewassen optimaal kunnen groeien.

De potentiële voordelen van het rijpadensysteem zijn al geruime tijd onderkend. Op het gebied van bodemvruchtbaarheid, onkruidbeheersing en kwaliteitsproductie zijn grote verbeteringen te behalen ten opzichte van gangbare systemen. Toepassing van een rijpadensysteem in de gangbare landbouw leidt tot een betere bodemstructuur en tot 10% hogere gewasopbrengsten (Folkerts e.a., 1981; Lamers e.a., 1986). Het economische voordeel van rijbanenteelt was in de jaren tachtig niet dusdanig dat een invoering van een rijpadensysteem rendabel was. (Janssens, 1991; Vermeulen & Klooster, 1992).

Verwacht wordt dat met de steeds strengere eisen aan het milieu en daarmee gerelateerde lagere input van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen de voordelen van een rijpadensysteem economisch tot hun recht komen. Ook op het gebied van energieverbruik kan het rijpadensysteem voordelen bieden omdat de teeltzone niet verdicht wordt. Grondbewerking vraagt daardoor minder trekkracht en zelfs een niet-kerende hoofdgrondbewerking wordt beter mogelijk.

### 5.2 Stuursystemen

Om optimaal gebruik te kunnen maken van het perceel moeten de rijbanen liefst smal zijn en moet de trekker zo precies mogelijk over het midden van het rijpad rijden. Om dit laatste te bewerkstelligen zijn door de jaren heen verschillende systemen gebruikt. Om de rijpaden van jaar tot jaar terug te vinden werd in de jaren tachtig gebruik gemaakt van ingegraven draden. Aan de voorzijde van de trekker was een detectiesysteem gemonteerd met oppikspoelen om het midden van de draad te vinden. Afhankelijk van de positie van de trekker ten opzichte van de draad werd de trekker automatisch bijgestuurd. Het systeem was weliswaar eenvoudig qua uitvoering maar omdat de draden vrij diep (onder de bouwvoor) ingegraven moesten worden was de detectie problematisch. Bovendien moest het systeem meerdere malen per dag gecalibreerd worden.

In een later stadium is gebruik gemaakt van LASER om de rijpaden terug te vinden. Op een sokkel aan de rand van het perceel werd een in het verticale vlak roterende LASER opgesteld. Met behulp van een vast punt aan de andere zijde van het veld werd de LASER over het veld gericht, exact parallel aan de rijbaan. Vervolgens kon een trekker met een automatisch stuursysteem over de rijbaan gestuurd worden. Op de trekker was hiervoor een ontvanger gemonteerd die aangaf hoe groot de afwijking was ten opzichte van de LASER. Wanneer men op het einde van de rijbaan was werd de LASER op de volgende sokkel geplaatst en werd deze opnieuw uitgericht. Het LASER systeem is nauwkeurig, maar ook bewerkelijk. Het systeem heeft een beperking met betrekking tot de lengte van de rijbaan; bij lange rijbanen (>500 m) divergeert de LASER te veel en neemt de intensiteit te veel af. Het ontvangen en het bepalen van het midden van de Laserstraal op de trekker wordt dan problematisch. Tevens is het volgen van gebogen rijpaden is niet mogelijk.

Met de komst van zeer nauwkeurige Real Time Kinematic Differential GPS (RTK-DGPS) werd het technisch mogelijk om op relatief eenvoudige wijze rijpaden jaar op jaar terug te vinden. Het rijpadensysteem op basis van RTK-DGPS wordt hier verder toegelicht.

RTK-DGPS is een GPS systeem dat gebruikt maakt van 'carrier phase comparison', een techniek die niet alleen naar de inhoud van het door de satelliet uitgezonden signaal kijkt, maar ook naar de fase van de draaggolf. Met behulp van een lokaal basisstation (de maximale afstand tussen basisstation en mobiele ontvanger bedraagt ca. 10 km) kan een positie worden bepaald met een nauwkeurigheid van ca. 1 cm in het horizontale vlak.

Een GPS ontvanger op de trekker geeft de gemeten positie van de antenne door aan een computer op de trekker. Deze computer berekent de positie van de trekker aan de hand van de plaatsing van de antenne en compenseert voor onder meer scheefstand. Om de scheefstand en om de nauwkeurigheid van de bepaling van de richting en positie van de trekker te vergroten wordt in veel systemen ook gebruik gemaakt van een INS (Inertial Navigation System) met daarin gyroscopen en of versnellingsopnemers. De positie van de trekker wordt vergeleken met een vooraf ingegeven digitale perceelskaart met daarin de geplande rijpaden. Afhankelijk van de afwijking van de gemeten positie van trekker ten opzichte van de digitale rijpaden wordt de trekker bijgestuurd. Om de trekker bij te sturen wordt een elektrisch bedienbare stuurschuif in het hydraulisch stuurcircuit gemonteerd. Met de meeste systemen is het alleen mogelijk om rijbanen te volgen; het keren op de kopakker gebeurt handmatig.

Inmiddels zijn er een aantal GPS stuursystemen op de markt die zelfs vanaf fabriek gemonteerd kunnen worden. De prijs voor een RTK-DGPS systeem bedraagt ca. € 25 000. De prijzen van de stuursystemen liggen rond de € 45 000 (inclusief het RTK-DGPS systeem).

Om een digitale kaart te maken van rijpaden zijn er diverse mogelijkheden. Bijna alle systemen ondersteunen het ingeven van twee punten in een veld, een punt A aan de voorkant van het veld en een punt B aan de achterkant van het veld, waarna een denkbeeldige lijn wordt getrokken, de zogenaamde AB-lijn. Parallel aan deze AB-lijn worden op werkbreedte-afstand (deze afstand wordt ingegeven) lijnen getrokken. Hierdoor ontstaat een digitale rijpadenkaart. Diverse uitbreidingen op het systeem zijn mogelijk, zoals het vastleggen van gebogen AB-lijnen en het genereren van bepaalde 'vaste' rijpatronen als het rijden in spiraalvorm.

Van belang voor de rijbanenteelt is dat het stuursysteem in staat is om een gegenereerde digitale rijpadenkaart op te slaan, zodat deze door de jaren heen gebruikt kan worden.

Een punt van aandacht is de manier waarop rijpaden worden opgeslagen. Wanneer er binnen een bedrijf met verschillende GPS stuursystemen wordt gewerkt moeten de rijpaden tussen de systemen uitgewisseld kunnen worden. Standaarden op dit vlak zijn (nog) niet ontwikkeld.

## 5.3 Mechanisatie

Rijbanenteelt vraagt een aangepaste mechanisatie. Om een optimale benutting te hebben van de te betelen oppervlakte moet het oppervlakteaandeel van de rijpaden zo laag mogelijk zijn. Dit vraagt om een zo groot mogelijke afstand tussen de rijpaden. De meeste landbouwtrekkers in Nederland hebben een spoorbreedte van ca 1,80 m. Met aanpassingen is het mogelijk om de spoorbreedte te vergroten naar ca. 3 meter. Dit betekent dat met 'standaard' trekkers een rijpadensysteem te bereiken is met een spoorbreedte van 3 meter. In het verleden zijn ook machines ontwikkeld met een spoorbreedte van 12 meter, dit zijn de zogenaamde gantry's. Het nadeel van deze machines is dat ze niet universeel inzetbaar zijn en dat ze aangepaste werktuigen vragen.

Het meest praktische systeem lijkt daarom het 3 meter systeem omdat 'standaard' trekkers en 'standaard' werktuigen ingezet kunnen worden. Een bijkomend voordeel is dat het rijden op de openbare weg nog is toegestaan (eventueel met ontheffing).

### Rijpadensystemen in Nederland

In Nederland zijn op dit moment (2004) een tweetal rijpadensystemen in gebruik. In Zeeland is akkerbouwer Alex van Hootegem begonnen met een rijpadensysteem op 3 meter spoorbreedte. Er wordt gebruikt gemaakt van een standaard CASE trekker met een Trimble Autopilot stuursysteem. Het stuursysteem maakt gebruik van RTK-DGPS. Alle werkzaamheden, behalve oogst en hoofdgrondbewerking vinden plaats vanaf vaste rijpaden.

In het Noord-Brabantse Langeweg maakt een 4-tal biologische akkerbouwers gebruik van een gezamenlijk machinepark. Het machinepark is gebaseerd op een spoorbreedte van 3,15 m.



De belangrijkste component is een Fendt trekker met een Geo-Tec besturingssysteem. Ook hierbij wordt gebruik gemaakt van RTK-DGPS plaatsbepaling. Het Geo-Tec systeem is niet alleen in staat om de trekker over de rijpaden te geleiden, maar is ook in staat om zelfs de trekker onbemand te laten functioneren. In de praktijk is er echter om veiligheidsredenen altijd een bestuurder aanwezig. Saillant detail is dat kort na de aanschaf van het besturingssysteem het bedrijf Geo-Tec failliet is gegaan. Om de rijpaden zo smal mogelijk te houden en toch te zorgen dat de bodemdruk acceptabel blijft is de trekker uitgerust met 30 cm brede rubberen rupsbanden. Een bijkomend voordeel is dat tijdens natte omstandigheden voorkomen wordt dat de trekker van de rijpaden afglijdt. De werktuigen hebben vrijwel allemaal een werkbreedte van 6,30 m zodat bij bewerkingen elk rijpad éénmaal wordt bereiden. De trekker met het besturingssysteem wordt vooral gebruikt voor de voorjaarswerkzaamheden. Daarnaast bestaat het werktuigenpark uit een aantal werktuigdragers voor die voor de gewasverzorging worden gebruikt. Hierop is geen automatisch stuursysteem gemonteerd. In het voorjaar wordt organische met toegediend door een loonbedrijf die een zelfrijdende bemester heeft uitgerust met rupsbanden met een spoorbreedte van 3,15 m. Omdat het met de huidige mechanisatie helaas niet mogelijk is om de oogst vanaf de rijpaden plaats te laten vinden wordt gebruik gemaakt van standaard oogstmachines. Dit betekent dat de teeltzone in het najaar bereiden wordt. Bij de hoofdgrondbewerking is het dan ook niet noodzakelijk om vanaf de rijpaden te werken omdat de teeltzone toch al bereiden is. Na de hoofdgrondbewerking wordt echter uitsluitend vanaf de rijpaden gewerkt.

Wageningen-UR verricht in het kader van het programma 'systeeminnovatie in de open teelten' sinds 2002 onderzoek op deze 4 biologische bedrijven om het effect van het rijpadensysteem te vergelijken met de gangbare manier van werken in de regio. In een vierjarige veldproef worden de bodemfysische kwaliteit, bodemvruchtbaarheid, onkruidbeheersing, gewasopbrengsten en productkwaliteit onderzocht.

## 5.4 Effecten rijbanenteelt op stikstofverliezen

De voordelen van de scheiding van teelt- en verkeerszone zijn al genoemd: een betere bodemstructuur in de teeltzone en een goed berijdbare verkeerszone. Door de goede berijdbaarheid van de rijpaden neemt het aantal werkbare dagen toe in vergelijking met het gangbare systeem. Hierdoor is men flexibeler in het plannen van werkzaamheden en minder afhankelijk van het weer. Ook het uitvoeren van bijvoorbeeld bemesting kan vrijwel altijd op het optimale tijdstip plaats vinden. Hierdoor kan het gewas op het juiste moment van nutriënten worden voorzien, waardoor de opname van het gewas beter is dan wanneer te vroeg of te laat wordt bemest.

In de niet bereden teeltzone heeft het gewas uitstekende groeiomstandigheden. Hierdoor is de potentiële benutting van nutriënten hoger. Daarnaast wordt door een optimale bodemstructuur denitrificatie beperkt (Vermeulen, pers med., 2004).

Het kwantificeren van de effecten van het rijpadensysteem op stikstofverliezen is lastig. Het hangt sterk af van het groeiseizoen. Bij proeven op een viertal bedrijven in Langeweg (zie kader) werd in 2002 een betere stikstofbenutting geconstateerd bij het rijpadensysteem in vergelijking met het gangbare systeem in erwten. Het aanwijzen van de oorzaak van deze betere benutting is echter lastig, gegeven het feit dat het leguminosen betreft (Vermeulen, pers. med., 2004). In 2003 werden geen significante verschillen waargenomen. Ook het Louis Bolk Instituut voert proeven uit op deze vier bedrijven. Onderzoekers van het instituut vonden dat het rijbanensysteem met een lagere gift een gelijke opbrengst gaf als het gangbare systeem. Dit duidt op een betere stikstofbenutting. Het blijkt echter dat de effecten van het teeltsysteem op stikstofverliezen van jaar tot jaar verschillen.

In potentie is rijbanenteelt echter een teeltsysteem waarin stikstofverliezen beperkt kunnen worden door het creëren van optimale groeiomstandigheden in de teeltzone. Om het effect op stikstofverliezen te kunnen kwantificeren is onderzoek nodig.

Naast potentiële positieve effecten op stikstofverliezen is ook winst te verwachten met betrekking tot onkruidbestrijding. Dit is ook een van de redenen dat rijbanenteelt in Nederland als eerste in de biologische teelten is toegepast. Omdat de teeltzone in principe niet bereden wordt kan een zeer vlak zaaibed worden gecreëerd waardoor de mechanische bestrijding van onkruid beter uitgevoerd kan worden. Methoden als het aanleggen van een vals zaaibed komen beter uit de verf bij rijbanenteelt. Het uitvoeren van mechanische onkruidbestrijding als schoffelen kan met behulp van GPS gestuurde trekkers ook nauwkeuriger worden uitgevoerd zonder het risico van gewasbeschadiging. Daarnaast is door de goede gewasgroeiomstandigheden in de teeltzone de concurrentiepositie van het gewas ten opzichte van het onkruid beter.

Het rijpadensysteem wordt veelal toegepast op zwaardere gronden omdat de bodem vaak gevoelig is voor structuurbederf. Op lichtere gronden is structuurbederf een minder groot probleem maar zijn er eerder voordelen te verwachten in het kader van onkruidbestrijding.

## 6 Mogelijkheden geleide bemesting per gewas

### 6.1 Gewaskarakteristieken

Voor een analyse van de mogelijkheden van geleide bemesting per gewas is het noodzakelijk eerst de algemene karakteristiek van de diverse gewassen te inventariseren. In Lokhorst e.a. (2003) worden, met een uitvoerige toelichting, vier gewastypen onderscheiden:

#### **Hoge stikstofbenutting en veel gewasresten (1)**

Gewassen met een hoge benutting van N, maar ook een grote hoeveelheid stikstof in de gewasresten. Dit zijn enkele koolgewassen, knolvenkel, doperwt en suikerbieten. Bij deze gewassen is het weinig zinvol te proberen de hoge stikstofbenutting nog hoger te maken. Het is beter om zowel in het onderzoek als in de praktijk te focussen op het lot van de stikstof in de gewasresten. Voor bepaalde bedrijfstypen (bijvoorbeeld ecologische landbouw) kan voeren aan vee of compostering goed in het bedrijfssysteem passen. In de gangbare landbouw kan de teelt van een stikstofvanggewas een bijdrage leveren. Herfstoogst van o.a. koolgewassen laat soms echter geen ruimte meer over voor een goed stikstofvanggewas.

#### **Hoge stikstofbenutting en weinig gewasresten (2)**

Gewassen met een hoge benutting en geringe hoeveelheden stikstof in de gewasresten. Vanuit milieukundig oogpunt gezien zijn dit de ideale gewassen. Voorbeelden zijn witlof en wintertarwe. Hier moet verder 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 spelen.

#### **Lage stikstofbenutting door oogst in stadium snelle groei (3)**

Gewassen met een lage benutting doordat de oogst plaatsvindt op het moment dat het gewas nog snel groeit. Op dat moment is de stikstofopname nog groot, tot meer dan 10 kg per ha per dag. Hieronder vallen sla, spinazie en radijs. Goede sturing van bemesting maakt het mogelijk om ook bij deze gewassen een relatief lage N-min over te houden. Hier zal in onderzoek 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 door andere gewassen moeten worden opgenomen. Een goede keuze (snelheid en diepte van beworteling, stikstofopname capaciteit) van volg- of vanggewas is van belang.

#### **Lage stikstofbenutting door suboptimale beworteling (4)**

Gewassen met een (relatief) lage benutting (meestal in het eerste deel van het groeiseizoen) veroorzaakt door een suboptimale beworteling, eventueel in combinatie met andere factoren. Hieronder vallen ui, prei, aardappel en maïs. Hierbij geldt dat maïs en aardappel in het begin wel een hoog stikstofaanbod nodig hebben, doordat de groeiende plantdelen een hoog gehalte aan stikstof als bouwstof nodig hebben. Bij prei en ui geldt dit laatste minder. Afhankelijk van weers- en bodemcondities kan in deze gewasgroep een overschot aan stikstof al tijdens het groeiseizoen weglekken uit de wortelzone en uiteindelijk geheel verloren gaan. Bij deze gewassen dienen de stikstofopname en het stikstofaanbod door geleide bemesting 'in de tijd' zo goed mogelijk te worden gesynchroniseerd. Bij aardappel en maïs hebben daarnaast geleide bemestingsystemen 'in de ruimte', zoals rijen- of plantbemesting een grote kans op succes.

Voor de diverse gewassen uit de verschillende sectoren, die in het zuidoostelijk zandgebied geteeld worden, is in onderstaand overzicht de gewaskarakteristiek weergegeven en aangegeven of geleide bemesting mogelijk is en welke beschikbare technieken er zijn.



Tabel 6.1a Gewaskarakterisering en huidige mogelijkheden voor geleide bemesting.

Gewas	Behoefte	Efficiëntie	Bewortelings- diepte	Hoeveelheid gewasresten	Gewas type	Beschikbare technieken	Opmerkingen
<i>Akkerbouw en industriegroenten</i>							
Aardappel	+++	+	+	+	4	F,A,C,S	
Suikerbiet	++	+++	+++	+++	1		
Graan/GPS	+ / ++	+++	+++	+	2	S	
Maïs	++	++	++	+	4	R	
Koolzaad	++	++	++	+++			
Conservenerwt	+	+++	+	+++			Weinig bemesting
Stamslaboon	+	+++	+	+++			
Spinazie	++	+	++	+		N	
Waspeen	+	+++	+++	++	2	N	
Schorseneren	++	+++	+++	+	2	N	
Luzerne	+	+++	+++	+++			Weinig bemesting
Gras/klaver							
<i>Vollegrondsgroenten</i>							
Prei	+++	+	+	+++	4	F,A,C,N	
Sla	++	+	+	+++	3	A,N	
Broccoli/bloemkool	+++	++	+++	+++	1	A,N	
Chinese kool	++	++	++	+++	3	A,N	
Aardbei	+	+	++	++	4	F,A,N	
<i>Bloembollen</i>							
Tulp	++	+	+	++	4	F,C,N,S	
Lelie	+	+	++	++	4	F,N	
Gladiol	+++	+	+	++	4	N	
<i>Boomteelt (enkele voorbeelden)</i>							
Vaste planten							
Peonia 1 jarig	++	++	+++	+	?	A	
Hosta jaar 1	+	?	++	+	4?		
Hosta jaar 2	++	?	++	+	4?		
Zomerbloemen							
Aconitum jaar 1&2	+++	+++	+++	+	2	N,C	
Gypsophila jaar 1&2	+	++	+++	+	2	N,C	
Bos en haag plantsoen							
Quercus robur zaailing	+	+++		+		N	
Verplant: voor 2 jaar opgeplant, langzaam- groeïend, jaar 1 & 2	+	++		+		N	
Verplant voor 1 jaar opgeplant, snelgroeïend	++	+++		+		N	

Tabel 6.1b Toelichting op tabel 6.1a

Maatstaf	+	++	+++
Behoeftte	< 100 kg/ha	100 – 200 kg/ha	> 200 kg/ha
Efficiëntie	laag	emiddeld	hoog
Bewortelingsdiepte	< 40 cm	40 – 60 cm	> 60 cm
Hoeveelheid gewasresten	< 50 kg/ha	50 – 100 kg/ha	> 100 kg/ha
Gewastype	1, 2, 3 en 4 zie indeling paragraaf 6.1		
Beschikbare technieken	F = Fertigatie A = Ammonium meststoffen C = Cropscan S = N-sensor N = NBS R = Rijntoepassing		

Slechts een beperkte set aan gewassen kan worden opgenomen in de systemen binnen “Nutriënten Waterproof” (Tabel 6.2). Zeker gezien de bestaande verscheidenheid over alle sectoren. Daarom wordt gekozen om modelgewassen op te nemen: gewassen die model kunnen staan voor een groep andere gewassen. Voor deze gewassen zijn de mogelijkheden voor geleide bemesting uitgewerkt.

Tabel 6.2 Gewaskeuze (concept) “Nutriënten Waterproof”.

#### *Geïntegreerde systemen*

Intensief akkerbouwgewas	Aardappel en eventueel suikerbiet
Vollegrondsgroenten	Prei en spinazie of sla en broccoli
Siergewassen bloembollen	Lelie of tulp
Siergewassen boomteelten	Bos en haag plantsoen, vaste planten en/of zomerbloemen
“Rust” – gewas	Koolzaad en/of graan en/of maïs

#### *Biologische systemen*

Idem plus vlinderbloemigen	Luzerne en/of graan-klover en/of gras-klover
----------------------------	--

## 6.2 Aardappel

### 6.2.1 Gewaskarakteristiek aardappel

De N-benuttingsindex (N-opgenomen / N-beschikbaar) van aardappel is 0,55. Dit betekent dat slechts 55% van het totaal aan stikstof dat voor het gewas beschikbaar is ook daadwerkelijk wordt opgenomen. Aardappel is een gewas waar reeds bij de start een hoge voorraad aan direct opneembare stikstof beschikbaar moet zijn. Onvoldoende stikstofvoorziening beperkt de loofontwikkeling en de groeiduur van aardappelen. Een te ruim aanbod te vroeg in het seizoen bevordert de loofontwikkeling te sterk en vertraagt daardoor de knolzetting. Bijbemesten laat in het seizoen vertraagt de afrijping bij late rassen. Een te hoge stikstofbemesting heeft ook een negatief effect op het onderwatergewicht en daarmee op de uitbetalingsprijs, indien men naar onderwatergewicht wordt uitbetaald (zetmeelaardappelen en consumptie-aardappelen voor de verwerkende industrie). Verhoging van de opbrengst door een hogere stikstofbemesting wordt dan genivelleerd en is daardoor minder interessant.

Stikstofdeling bij aardappelen biedt een goede basis voor een juiste bemesting. De basisgift moet echter wel voldoende groot zijn. Minstens 70 % van de vooraf geschatte stikstofbehoefte wordt bij of kort voor het poten gegeven. In sommige jaren blijkt deze gift voldoende te zijn en wordt niet meer bijbemest.

Wat een juiste basisgift is, verschilt per ras. Zo blijkt het zetmeelaardappelras Seresta veelal ongunstig te reageren op deling en kan het beste de volledige gift in één keer vóór poten worden toegediend. Het late zetmeelaardappelras Mercator daarentegen reageert gunstig op deling. Bij eenzelfde stikstofgift leidde deling in proeven tot een hogere opbrengst dan eenmalige toediening vóór poten.

Bijbemesten kan het best met vloeibare meststoffen zoals urean of ureum. Onder droge omstandigheden neemt de plant deze meststoffen sneller op. Een gift van 15 kg N ha<sup>-1</sup> werkt goed en kan gecombineerd worden met een bespuiting tegen Phytophthora. Bij een bespuiting kort na regen (niet afgehard gewas) bestaat wel enige risico van bladverbranding. De kans op schade is bij gebruik van ureum minder groot dan bij gebruik van urean.

Onderzoek heeft aangetoond dat er grote rasverschillen bestaan in stikstofbehoefte. 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.

### 6.2.2 Huidige toepassing geleide bemesting in de praktijk bij aardappel

In de landelijke CVA (commissie vaktechniek Akkerbouw) is gesproken over geleide bemesting in aardappelen. Daaruit is de volgende informatie gekomen:

- Voor poten is het standaard om een N-min bepaling uit te voeren.
- Stikstof wordt of in een keer gegeven of in een gedeelde gift. De basisgift is dan maar 50 kg N/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 tarwe.

### 6.2.3 Toepasbare geleide bemestingssystemen bij aardappel

#### **NBS-bodem**

Specifiek voor aardappelen geldt dat in het NBS-bodem een schatting wordt gemaakt van de te verwachten mineralisatie in de nog resterende groeiperiode. Deze hoeveelheid stikstof die door mineralisatie nog beschikbaar komt, wordt gekort op de streefwaarde van de stikstofbijbemesting. Bij aardappelen zijn in sommige situaties besparingen tot 50 kg N ha<sup>-1</sup> mogelijk. Uit recent uitgevoerd onderzoek bleek dat het huidige NBS-bodem ook te hoge giften kan adviseren en dat verbetering van het systeem noodzakelijk is.

#### **Bladsteeltjesmethode**

In proeven met consumptie-aardappelen op klei- en zavelgrond werd met bijbemesting volgens de bladsteeltjesmethode vaak een besparing behaald van 40 – 50 kg N ha<sup>-1</sup> ten opzichte van een eenmalige gift volgens het N-minadvies. 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 – 40 kg N ha<sup>-1</sup>. De bladsteeltjesmethode kan nog verder worden verbeterd door rasafhankelijke normlijnen op te stellen voor het nitraatgehalte.

#### **Aardappelmonitoring (ALTIC)**

Dit is een uitgebreide variant op de bladsteeltjesmethode. Naast een normlijn voor het nitraatgehalte hanteert Altic een normlijn voor het loofgewicht. Ook heeft Altic voor de verschillende aardappelrassen afzonderlijke normlijnen opgesteld. De kosten voor “gewasmonitoring” bedragen ongeveer € 150 per perceel, voor vier metingen

#### **Chlorofyl of SPAD-meter**

Bij consumptieaardappelen bleek het lastig om voor deze methode 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 (stikstofvensters). De chlorofylmeter kost ongeveer € 1 200. De tijd om een perceel te bemonsteren is minder dan een half uur. De meters zijn al enkele jaren in de handel.

#### **CropScan**

Voordeel van CropScan boven de NBS-bodem 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 Bgg-Oosterbeek. Een complete set voor handmatige meting met behulp van een CropScan is ca. € 3 500.

### **N-sensor van Hydro Agri International**

Deze 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 m<sup>2</sup>. De gebruiker moet de N-sensor in het veld eerst ijken door een baantje met de sensor te rijden, zonder kunstmest te strooien. Vervolgens kan op basis van de reflectiemeting plaats specifiek bemest worden, waarbij plekken met een lichtere gewaskleur een hogere bemesting krijgen dan plekken met een donkergroene kleur. Het totale stikstofgebruik verandert niet door gebruik van de N-sensor; de stikstof wordt anders over het veld verdeeld. De aangepaste verdeling leidt gemiddeld tot een 1 à 2 % hogere opbrengst. De huidige aanschafprijs is ongeveer € 20 000.

### **Bijbemesten op basis van stikstofvensters**

De afgelopen jaren is ervaring opgedaan met het bijbemesten op basis van stikstofvensters in percelen. Hierbij werden zowel 'klassieke' vensters gebruikt (waarbij ca 50 kg N ha<sup>-1</sup> minder wordt gegeven dan in het perceel), als 'omgekeerde' vensters (waarbij 50 – 100 kg N ha<sup>-1</sup> meer wordt gegeven dan in het perceel). Het voordeel van dit laatste is dat het perceel steeds beschikt over een optimale referentie, op basis waarvan het perceel indien nodig kan worden bijbemest.

### **Tipstar**

Dit is een 'model-based decision support system' voor zetmeelaardappelen dat in het project AGROBIOKON wordt beproefd. Tipstar houdt rekening met variabiliteit van locatiekenmerken zoals beschikbaarheid van nutriënten in de bodem, diepte grondwater, weersfactoren (temperatuur, neerslag en straling), teeltfactoren en (een aantal) ziekten. Dit systeem is nog in ontwikkeling.

### **Rijenbemesting**

In proeven met aardappelen, uien, sluitkool, bloemkool en spruitkool is geen voordeel door rijenbemesting gevonden.

### **Fertigatie**

Uit proeven blijkt dat dit voor aardappel voorlopig nog te duur is. Efficiëntie van water en stikstofgift werden iets verhoogd en bij de dure potermaten was wel een hogere opbrengst verkregen, maar de opbrengst van pootaardappelen bleef achter.

### **Slow-release meststoffen**

Omdat aardappel een hoge stikstof behoefte heeft aan het begin van het seizoen, geven slow release meststoffen geen voordeel. Tijdens het seizoen kan ook weinig meer gestuurd worden want de gift is al aan het begin van het seizoen gegeven.

### **Bladbemesting**

Bladbemesting wordt toegepast wanneer een correctie op nutriëntengebrek niet kan worden verholpen door toediening van meststoffen via de grond. Opname vindt plaats via de celwanden in het blad. Bladbemesting wordt toegepast om een acuut stikstofgebrek op te heffen. Bladbemesting wordt met de veldspuit toegediend en daardoor zijn zeer kleine giften mogelijk. Dit biedt mogelijkheden om de hoogte van de stikstofgift te beperken. Bladbemesting leidt niet tot een efficiëntere stikstofbenutting. Mogelijk alleen in drogere perioden. Bij bladbemesting met ureum en urean bestaat het risico van enige ammoniakvervluchtiging.

## **6.2.4 Vergelijking van diverse geleide bemestingssystemen bij aardappel**

In het kader van het LNV Mest & Mineralenprogramma (DWK-398) is in 2002 en 2003 vergelijkend onderzoek gedaan naar diverse bemestingssystemen. In veldproeven op zandgrond zijn in 2002 en 2003 vijf bestaande of in ontwikkeling zijnde stikstofbijmestsystemen in zetmeelaardappelen vergeleken (Tabel 6.3).

Tabel 6.3. Geteste geleide bemestingssystemen in aardappel in het LNV Mest & Mineralenprogramma

Systeem:	Bijbemesting op basis van:
NBS-bodem:	stikstofopname door het gewas (afgeleid van een standaard stikstofopnamecurve) en beschikbare stikstof in de bodem
Bladsteeltjesmethode:	nitraatgehalte in de bladsteeltjes
Aardappelmonitoring:	nitraatgehalte in de bladsteeltjes en het loofgewicht
CropScan-methode:	stikstofinhoud van het loof, afgeleid uit de lichtreflectie door het gewas, gemeten met de CropScan
Chlorofylmethode:	chlorofylgehalte in het blad (methode in ontwikkeling)

De systemen zijn beproefd in Seresta (het meest geteelde zetmeelaardappelras) en in het late ras Mercator. In juni en juli is bijbemest op indicatie van de systemen. Daarnaast is een reeks vaste stikstoftrappen aangelegd om een optimale gift te kunnen afleiden. Ook werden in deze jaren ervaringen opgedaan met bijbemesting volgens 'klassieke' vensters en volgens 'omgekeerde' vensters.

### 6.2.5 Conclusies geleide bemestingssystemen aardappel

- Bij aardappel is recent vergelijkend onderzoek aan bijmestssystemen uitgevoerd.
- Van de beproefde bijmestssystemen voldeden de bladsteeltjesmethode, aardappelmonitoring en de CropScan-methode het beste. Ze leidden tot een stikstofbesparing van 15 – 70 kg N ha<sup>-1</sup>. Bij lagere gift bleef er minder stikstof op het veld achter (in gewasresten + minerale vorm). Van de drie systemen kwam er geen eenduidig als beste naar voren. De systemen voldeden overigens niet in alle situaties goed. Verdere verbetering is daarom gewenst.
- De chlorofylmethode als stikstofbijmeststelsel bleek nog niet praktijkrijp te zijn.
- Bij NBS-bodem moet de gehanteerde stikstofopnamecurve worden aangepast. Deze leidde tot onjuiste adviezen. Daarnaast kan in NBS-bodem beter rekening worden gehouden met de N-minvoorraad in de laag 0-60 cm in plaats van de voorraad in de laag 0-30 cm (het laatste is op zandgrond gebruikelijk).
- Gewone stikstofvensters kunnen in het huidige seizoen geen besparing opleveren in stikstofgebruik. Ze zijn wel bruikbaar om na oogst vast te stellen of de stikstofbemesting al dan niet lager had gekund.
- Het perspectief van het omgekeerde vensters in combinatie met de CropScan is nog onduidelijk. De methode moet in elk geval nog verder worden ontwikkeld.

## 6.3 Prei

### 6.3.1 Gewaskarakteristiek prei

De N-benuttingsindex (N-opgenomen / N-beschikbaar) van prei is met 0,57 vrij laag. Dit betekent dat 57% van het totaal aan stikstof dat voor het gewas beschikbaar is ook daadwerkelijk wordt opgenomen. Prei is een gewas waarbij bij de start niet een hoge voorraad aan direct opneembare stikstof beschikbaar hoeft te zijn. Dit bepaalt mede het perspectief om met gedeelde giften op bemesting te besparen. Deling van stikstofgift is bij een gewas als prei daarom belangrijker dan bij koolgewassen. Bij een hogere stikstofgift wordt stikstof bij prei niet meer opgenomen, waardoor er vlugger stikstofverliezen kunnen optreden. De geringe stikstofopname zou verband houden met de trage ontwikkeling van het bladoppervlak en het beperkte, oppervlakkige wortelstelsel. Bij prei verhoogt de stikstofbemesting de verse opbrengst en de groenverkleuring van het blad.

### 6.3.2 Huidige toepassing geleide bemestingssystemen in de praktijk bij prei

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 meerarbeid en de meststofkosten.

- Bij het gebruik van de langzaam werkende meststoffen (Entec, Cultan) is het meten van wat er nog in de grond zit en wat de behoefte van de plant is minder zinvol.
- De ontwikkelingen op sensorgebeid (CropScan) om meer zicht te krijgen op de gewasbehoefte worden met belangstelling gevolgd.

Prei:

- In de preiteelt is rijenbemesting algemeen geaccepteerd.
- In de preiteelt wordt veelal gebruik gemaakt van langzaam werkende meststoffen als Entec en Cultan.
- 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.

### 6.3.3 Toepasbare geleide bemestingssystemen bij prei

#### **NBS-bodem**

Het Blgg-Oosterbeek hanteert voor bijbemesting in o.a. prei het Stikstofplus-adviesstelsel. In Stikstofplus wordt ook de mineralisatie ingeschat op basis van perceelsgegevens, voorvrucht, gebruik van dierlijke mest etc. Blgg hanteert hogere streefwaardes (hoogte van de stikstofopname en van de buffer) dan waarvan in de landelijke richtlijnen van de commissie bemestingsadviesbasis 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.

#### **CropScan**

De CropScan is in de afgelopen jaren door Plant Research International nader beproefd bij aardappel, prei, tulp, hyacint en er heeft een oriëntatie plaatsgevonden bij rozen.

#### **Cultanmethode**

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 is er weinig verschil tussen de bemestingen. (De Rooster, 1997). Late herfstteelt prei op zandgrond leverde een betere groei op met cultan dan met KAS. Kwaliteit en kleur waren minstens zo goed als bij KAS. Voor de kwaliteit van de prei maakte het tijdstip van injecteren geen verschil, maar het percentage planten dikker dan 4 cm was iets lager bij uitgestelde injectie. In extreem natte jaren stelde Cultan teleur, de stikstofbenutting 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 N-min achterlaat kan naar verwachting voordeel gehaald worden. (Geel, 2002).

#### **Rijenbemesting**

Rijenbemesting in combinatie met langzaam werkende stikstof speelt vooral bij prei. 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. Er zijn geen proefresultaten bekend waaruit blijkt dat deze besparing inderdaad mogelijk is. Een nadeel van rijenbemesting is dat daarna moeilijk is om de N-min-voorraad in de grond betrouwbaar te meten, vanwege de heterogene verdeling van stikstof in de grond. Daardoor is rijenbemesting niet eenvoudig te combineren met de toepassing van een bijmeststelsel.

#### **Fertigatie**

Fertigatie verbeterde de homogeniteit van prei en er werd met minder meststof dezelfde opbrengsten verkregen. Over het algemeen had fertigatie een geringe invloed op de opbrengst of de kwaliteit. Toepassing in de praktijk lijkt voornamelijk te hangen op het kostenplaatje. Bij verschillende gewassen is wel een lichte opbrengststijging waargenomen, maar de grootste winst lijkt te liggen in een daling van de benodigde meststoffen en de grootte van de watergift. Deze factoren wegen echter nauwelijks op tegen de kosten. Verder lijkt fertigatie vooral op droge en mineralenarme gronden veel effect te kunnen hebben.

## Bladbemesting

Bladbepuiting met ureum worden toegepast ter verkrijging van een diepe blauwe kleur bij prei.

### 6.3.4 Vergelijking van diverse geleide bemestingssystemen bij prei

In het kader van het Mest & Mineralenprogramma (DWK-398) is in 2002 en 2003 vergelijkend onderzoek gedaan naar diverse bemestingssystemen en meststoffen in prei:

- NBS-bodem. Bijbemesting op basis van de beschikbare hoeveelheid stikstof in de bodem en de verwachte stikstofopname door het gewas. Deze wordt afgeleid van een standaard stikstofopnamecurve. Bij NBS-bodem zijn meerdere bemestingsniveaus in de verschillende perioden van de teelt vergeleken met het huidige NBS dat in de adviesbasis bemesting staat.
- CropScan-methode. Bijbemesting op basis van de stikstofstatus van het gewas, afgeleid uit de lichtreflectie door het gewas, die wordt gemeten met de CropScan.
- Op een aantal praktijkpercelen prei in Limburg is de CropScan-methode vergeleken met bijbemesting met KAS of Entec op de gebruikelijke wijze van de telers en met de Cultan-methode (rijenbemesting met een vloeibare ammoniummeststof als eenmalige gift).
- Op een ander praktijkperceel is NBS-bodem vergeleken met Cultan, in prei die half juli is geplant en in de 1<sup>e</sup> helft van april is geoogst.

### 6.3.5 Conclusies geleide bemestingssystemen prei

- De CropScan-methode bespaarde in 2002 60 kg N ha<sup>-1</sup> ten opzichte van standaard NBS-bodem. Echter, in 2003 gaf CropScan te hoge adviezen ten opzichte van standaard NBS-bodem, omdat CropScan geen rekening houdt met een hoge N-min voorraad in de bodem.
- Bijbemesting volgens standaard NBS-bodem leidde in beide jaren tot te hoge bijbemestingsadviezen. De standaard-opnamecurve en de daaruit volgende officiële NBS-bodem adviezen dienen te worden herzien.
- Een combinatie van de CropScan-methode (voor het meten van de stikstofbehoefte van het gewas) met bodemanalyse (voor het meten van de stikstofvoorraad in de bodem) is wellicht een veelbelovende strategie. Deze strategie wordt in 2004 op twee Telen met toekomst bedrijven in praktijk getoetst.

## 6.4 Tulp

### 6.4.1 Gewaskarakteristiek tulp

De N-benuttingsindex van tulp ligt op een niveau van 50 – 70%, vrij laag om verschillende redenen. Ten eerste wordt ongeveer de helft van het areaal tulp in Nederland verbouwd op lichte zandgronden, ten dele met een hoge grondwaterstand (55 cm -mv), waar stikstof gemakkelijk uitspoelt. Daarnaast worden tulpen geteeld op bedden van 1,0 meter breed, die gescheiden zijn door paden van 0,5 cm breed. Tulp wortelt alleen in het bed, terwijl bed en pad beiden bemest worden.

### 6.4.2 Huidige toepassing geleide bemestingssystemen in de praktijk bij tulp

Stikstofbemesting bij tulp wordt geadviseerd volgens een stikstofbijmeststelsel (NBS-bodem). In het voorjaar wordt 40 – 80 kg N ha<sup>-1</sup> gegeven als startgift. Daarna wordt op basis van N-min metingen eind maart, eind april en eind mei bijbemest, zodat ingespeeld kan worden op verschillen in mineralisatie, uitspoeling en gewasvraag tussen percelen, jaren en cultivars (als deze op voldoende groot oppervlak geteeld worden, vaak staan er meerdere cultivars op een perceel). Op zavel en kleigrond worden de stikstofgiften over het algemeen minder vaak en in grotere giften gegeven dan in het stikstofbijmeststelsel.

Op kleine schaal wordt stikstof op het bed geplaatst door middel van beddenbemesting met een pneumatische kunstmeststrooier of door fertigatie met druppelslangen. Een pneumatische kunstmeststrooier wordt gekozen omdat hiermee een gelijkmatiger verdeling van stikstof mogelijk is dan met andere kunstmeststrooiers en omdat de bemesting hiermee minder windgevoelig is. Daardoor komt het minder vaak voor dat niet bemest kan worden vanwege de wind en kunnen windstille momenten gereserveerd worden voor het spuiten van gewasbeschermingsmiddelen. Een nadeel is dat dit

bemestingssysteem vereist dat alle bedden even breed zijn, met een hart-op-hart afstand die even groot is als de afstand tussen de strookoppen.

Fertigatie met druppelslangen wordt op beperkte schaal toegepast, bijvoorbeeld als de beschikbaarheid van zoet water beperkt is (Zeeland), soms op andere grondsoorten waar met beregening de grond niet gelijkmatig bevochtigd kan worden (bv. door krimpscheuren), en in de biologische teelt (met gefilterde gier).

Fertigatie via druppelslangen wordt op een klein deel van het tulpenareaal toegepast. Hiermee wordt gemiddeld geen stikstof bespaard. Wel kan de afvoer van stikstof toenemen omdat in sommige gevallen de opbrengst hoger is.

### 6.4.3 Toepasbare geleide bemestingssystemen in tulp

#### **NBS-bodem**

NBS-bodem voor tulp bestaat uit een of twee startgiften en drie maandelijke bijmestmomenten. Bij de eerste twee bijmestmomenten is het streefgetal voor stikstof in de bouwvoor berekend door bij de verwachte opname in de volgende maand een buffer van 25 kg N ha<sup>-1</sup> op te tellen. Bij het laatste bijmestmoment (eind mei) wordt geen buffer meer mee gerekend, omdat de mineralisatie dan hoger is dan vroeger in het seizoen en de grond op moment van oogst niet of nauwelijks meer stikstof hoeft te bevatten. Het bijmeststelsel wordt vooral op zandgrond toegepast.

#### **NBS-gewas met CropScan**

De CropScan is vanaf 2000 door Plant Research International samen met PPO Bomen&Bollen op kleine schaal beproefd bij tulp en hyacint. CropScan gewasreflectiemetingen kunnen bij tulp vanaf eind maart of eind april worden uitgevoerd, als er voldoende bladoppervlak gevormd is. Bij de planning van metingen en giften moet er rekening mee gehouden worden dat tulp in het algemeen in de tweede helft van april bloeit, zodat er tijdelijk geen metingen van lichtreflectie door het blad uitgevoerd kunnen worden. Er is nog geen praktijkadvies voor gebruik van CropScan.

#### **Fertigatie**

Fertigatie met druppelslangen wordt toegepast in combinatie met NBS-bodem, waarbij de maandelijke gift in een aantal porties gesplitst kan worden. Omdat het systeem vrij duur is, wordt het alleen toegepast als er een opbrengstverhogend effect (bij tulp minstens 3 – 6%) te verwachten is. Bij tulp wordt dit vaak niet gehaald en daardoor wordt fertigatie alleen in specifieke situaties toegepast. 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 een snelwerkende stikstofmeststof in het voorjaar toe te dienen.

#### **Beddenbemesting**

In ontwikkeling is een bemestingssysteem waarbij alleen op het bed gemest wordt, met een pneumatische kunstmeststrooier. Volgens het onderzoek tot nog toe zou dit 12 – 17% van de stikstofgift kunnen besparen ten opzichte van volveldsbemesting, waarbij ook in de paden stikstof gestrooid wordt. Bij de meeste kunstmeststrooiers wordt ieder bed vanuit één strooikop bemest, waardoor er in het midden van het bed meer stikstof valt dan aan de randen. Dit kan tot onwenselijke verschillen in stand en stikstofgehalte in de bollen leiden. Dit zou op te lossen zijn door een andere afstelling van de machine (maar dan valt er weer wat meer stikstof op het pad), twee strooikoppen per bed, of wellicht een ander ontwerp van de strooikop. In proeven was bij gebruik van verschillende typen pneumatische kunstmeststrooiers 12 – 17% minder stikstof nodig voor een optimale opbrengst dan bij volveldsbemesting.

#### **Geavanceerde meststoffen**

Voor bolgewassen bieden verschillende leveranciers langzaam werkende meststoffen aan, waarvan een aantal toegelaten zijn voor de biologische teelt. De meststoffen die getest zijn in onderzoek met tulp (Agroblen 32-5-5, Marathon) leveren over het algemeen een minder goede opbrengst dan bemesting volgens NBS-bodem. Entec, een ammoniumsulfaatsalpetermeststof met nitrificatieremmer is getest bij tulp op duinzandgrond en levert wel een goede opbrengst. Tot nog toe is hiermee geen besparing op de stikstofgift verkregen. Wellicht kan door combinatie met een aangepast NBS-bodem of met NBS-gewas wel



een besparing op de stikstofgift bereikt worden.

### **Bladbemesting**

Uit twee jaar onderzoek blijkt dat bij tulp kleine giften (tot 20 kg N ha<sup>-1</sup>) toegediend kunnen worden met bladbemesting met urean (een vloeibare meststof met stikstof in de vorm van ureum en ammoniumnitraat), zonder schade aan het blad. Deze bemesting werkt even efficiënt als volveldsbemesting.

#### **6.4.4 Vergelijking en toetsing van geleide bemestingssystemen bij tulp**

In het kader van het Mest&Mineralen-programma (DWK-398) is in 2002 en 2003 vergelijkend onderzoek gedaan naar diverse bemestingssystemen en meststoffen, onder meer:

- NBS-bodem
- NBS-gewas met Crop-Scan
- Fertigatie
- Diverse typen meststoffen
- Beddenbemesting.

Ook in eerder onderzoek voor DWK en voor Productschap Tuinbouw en voor producenten van meststoffen werden deze bemestingssystemen en daarnaast ook bladbemesting vergeleken (1999, 2000, 2001, 2003, 2004).

#### **6.4.5 Conclusies bijmestsystemen tulp**

- Bij tulp is recent vergelijkend onderzoek aan bijmestsystemen uitgevoerd.
- In 2002 werd bij tulp met de helft van het standaardbemestingsadvies volgens NBS-bodem al de maximale opbrengst bereikt. In dit jaar was het advies blijkbaar hoger dan nodig. Ook in 2003 was minder dan NBS-bodem nodig, in 2004 echter meer.
- Bemesting volgens CropScan leverde in 2002 en 2003 een veel minder hoge stikstofgift op dan NBS-Bodem, terwijl de opbrengst gelijk was. In 2004 werd bij CropScan-advies evenveel bemest als bij NBS-bodem. Het advies zal nog breder getest moeten worden voor het in de praktijk bruikbaar is.
- Bemesting met fertigatie leverde, even als in vorige proeven, geen stikstofbesparing op. De besparing varieerde tussen de jaren.
- Gemiddeld werd, afhankelijk van het type pneumatische beddenstrooier, 12 – 17% stikstof bespaard. De verdeling van de stikstofgift over het bed is ongelijk, wat soms leidt tot onwenselijke verschillen in stikstofgehalte tussen bollen in het midden en aan de rand van het bed.
- Andere methoden voldeden even goed (Entec, bladbemesting) of minder (Agroblen en Marathon) dan NBS-bodem.

## **6.5 Spinazie**

### **6.5.1 Gewaskarakteristiek spinazie**

De N-benuttingsindex (N-opgenomen / N-beschikbaar) is 0,44. Dit betekent dat slechts 44% van het totaal aan stikstof dat voor het gewas beschikbaar is ook daadwerkelijk wordt opgenomen. Bij spinazie moet al bij de start een hoge voorraad aan direct opneembare stikstof beschikbaar zijn. Tekort aan stikstof in de kritische periode kan leiden tot onherstelbaar opbrengstverlies. De stikstofbenutting is zeer laag, doordat het gewas geoogst wordt in volle groei en er tot aan de oogst een hoge voorraad stikstof in de bodem aanwezig moet zijn voor een optimale gewasgroei. Verder is de ondiepe beworteling van spinazie nadeling voor de stikstofbenutting.

### **6.5.2 Huidige toepassing geleide bemestingssystemen bij vollegrondsteelten**

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

- Geleide bemesting wordt over het algemeen nog sceptisch benaderd, waarbij het idee is dat er niet meer op bemesting bespaard hoeft te worden als er voldaan wordt aan de huidige richtlijnen.
- 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 vollegrondsgroenteteelt staat niet te wachten op inspanningen die veel geld en tijd kosten en 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 kunt karakteriseren. De monitoring moet veel breder gebeuren. Daarom kloppen de adviezen vaak niet.
- Door verlaagde stikstofbemesting worden in de praktijk nu structuurplekken zichtbaar. De reactie daarop is om meer stikstof 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 stikstof 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 steeds minder met de bodem als belangrijke productiefactor bemoeien. Landhuur en deeltijdboeren spelen hierbij ook een (negatieve) rol.

### **NBS-bodem**

Informatie over besparingen door NBS-bodem kon niet worden gevonden. Wel werd een kanttekening gevonden over de benodigde buffer bij NBS-bodem. Bij groenten als spinazie die in de volle groei geoogst worden, is deze buffer tenminste de hoeveelheid stikstof in de grond bij de oogst bij optimale stikstofbemesting. 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. Bij NBS van vollegrondsgroenten wordt geen inschatting van de te verwachten mineralisatie gemaakt. Hier wordt uitgegaan van gemiddelde situaties. Wel wordt door de tussentijdse bemonstering ingespeeld op het niveau van mineralisatie in de voorbije periode.

### **Fertigatie**

Bij volveldsirrigatie/fertigatie verbeterde de homogeniteit van het gewas (ijsbergsla, spinazie, kool en prei) en werd met minder meststof dezelfde opbrengsten verkregen. Over het algemeen had fertigatie een geringe invloed op de opbrengst of de kwaliteit (nitraatgehalte in de gewassen). Bij verschillende gewassen is wel een lichte opbrengst stijging waargenomen, maar de grootste winst lijkt te liggen in een daling van de benodigde meststoffen en de grootte van de watergift. Deze factoren wegen echter niet of nauwelijks op tegen de kosten. Verder lijkt fertigatie vooral op droge en mineralenarme gronden veel effect te kunnen hebben.

### **Cultan-methode**

Cultan heeft nauwelijks voordeel in sla en Chinese kool, wat zomogelijk ook geldt voor andere korte groenteteelten. Op stikstofrijke gronden leidt het niet tot een betere stikstofbenutting dan NBS. Het heeft wel regelmatig positieve invloed op de productkwaliteit.

## **6.5.3 Conclusies geleide bemestingssystemen spinazie**

- Bij spinazie is, voor zover bekend, geen vergelijkend onderzoek naar bijmestsystemen uitgevoerd.
- Er is weinig informatie voorhanden over (voordelen van) bijmestsystemen in spinazie. NBS-bodem is de enige bekende toepassing. Wel is uit onderzoek bekend dat door deling van de stikstofgift het risico van uitspoeling wordt verkleind ten opzichte van een eenmalige gift voor zaai. Verder is uit ouder onderzoek gebleken dat het gebruik van stikstofvensters in spinazie perspectief biedt. Deze methode is echter nooit verder uitgewerkt of in praktijk geïmplementeerd. Fertigatie is wellicht een alternatief, maar erg duur.

## 6.6 Sla

### 6.6.1 Gewaskarakteristiek sla / ijsbergsla

Evenals spinazie is de stikstofbenutting in kropsla zeer laag. De N-benuttingsindex (N-opgenomen / N-beschikbaar) is 0,44. Dit betekent dat slechts 44% van het totaal aan stikstof dat voor het gewas beschikbaar is ook daadwerkelijk wordt opgenomen. De N-benuttingsindex van ijsbergsla is iets hoger, namelijk 0,62.

### 6.6.2 Huidige toepassing geleide bemestingssystemen bij ijsbergsla

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

- Geleide bemesting wordt alleen toegepast op zandgronden. Op zwaardere gronden speelt het niet.
- Geleide bemesting wordt toegepast als men een tekort aan stikstof 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.

### 6.6.3 Toepasbare geleide bemestingssystemen in sla

#### **NBS-bodem**

Bij een volgteelt van ijsbergsla is het N-min-advies voor ijsbergsla 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 verantwoorde hogere stikstofbemestingen. Modelberekeningen door van Geel (PAV-themaboekje nr.22, december 1999 "Naar maatwerk in bemesting") laten zien dat bij een 2<sup>e</sup> teelt van ijssla in een situatie van een lage mineralisatiegraad ( $0,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ ) er geen besparing mogelijk is op stikstofgift in vergelijking met bemesting volgens N-min-richtlijn terwijl in een situatie met een hoge mineralisatiegraad ( $1,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ ) een besparing van  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  mogelijk is.

Nochtans wordt in het NBS de te verwachten mineralisatie in de voorliggende periode niet betrokken in de berekening van de benodigde stikstofgift. Wanneer de mineralisatie in de periode tussen de 2<sup>e</sup> gift (begin kropvorming) en de oogst wel zou worden meegeteld, is een verdere besparing mogelijk.

#### **Cultan-methode**

Bij kropsla gaf bemesting met cultan ( $130 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) een verhoging van de opbrengst zolang het in combinatie werd gegeven met KAS ( $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Onder stikstofrijke omstandigheden bood Cultan nauwelijks voordeel in sla, wat wellicht ook geldt voor andere korte groenteteelten. Alleen op armere gronden en na een voorvrucht die een lage N-min achterlaat kan naar verwachting voordeel gehaald worden. (Geel, 2002).

#### **Fertigatie**

Bij volveldsirrigatie/fertigatie verbeterde de homogeniteit van het gewas ijsbergsla en werd met minder meststof dezelfde opbrengsten verkregen. Zie verder opmerking bij spinazie.

#### **Overig**

Bij bijbemesting met ureum vormt bladverbranding een risico; bij gewassen als sla kan dit al bij hoeveelheden van  $10 - 15 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Bij bemesting met Entec van kropsla werd geen zichtbare verhoging van de opbrengst gevonden in vergelijking met bemesting met KAS (Kell, 2000; De Rooster, 2002).

### 6.6.4 Conclusies geleide bemestingssystemen sla

- Bij sla is, voor zover bekend, geen vergelijkend onderzoek naar bijmestsystemen uitgevoerd. Er is ook maar één bijmeststelsel beschikbaar: NBS-bodem.
- De perspectieven van bijmestsystemen in sla lijken beperkt. Verbetering van het NBS-bodem is mogelijk

door rekening te houden met de te verwachten mineralisatie in de periode tussen begin kropvorming en de oogst.

## 6.7 Broccoli

### 6.7.1 Gewaskarakteristiek broccoli

De N-benuttingsindex (N-opgenomen / N-beschikbaar) van broccoli is 0,51. Dit betekent dat slechts 51% van het totaal aan stikstof dat voor het gewas beschikbaar is ook daadwerkelijk wordt opgenomen. In tegenstelling tot andere koolsoorten is het daarom bij broccoli (en bloemkool) zinvol om op sterk mineraliserende gronden een bijmeststelsel te hanteren. Dan kunnen besparingen van meer dan 50 kg N ha<sup>-1</sup> gehaald worden (onderzoek van o.a. Everaarts, PAGV).

### 6.7.2 Huidige toepassing geleide bemesting in de praktijk bij broccoli

Geen directe informatie gevonden.

### 6.7.3 Toepasbare geleide bemestingssystemen bij broccoli

#### **NBS-bodem**

Geen directe informatie over besparing gevonden. Op sterk mineraliserende gronden is het zinvol om een bijmeststelsel te hanteren. Dan kunnen besparingen van meer dan 50 kg N ha<sup>-1</sup> gehaald worden (onderzoek van o.a. Everaarts, PPO-AGV).

#### **Rijenbemesting**

Bij broccoli (zomerteelt) pakte rijenbemesting gunstig uit, vermoedelijk omdat broccoli een veel hogere stikstofopname per dag heeft dan die van andere koolgewassen. Met rijenbemesting zou de stikstofgift met 40 kg ha<sup>-1</sup> omlaag kunnen.

#### **Fertigatie**

Bij druppelfertigatie in broccoli zit naast de efficiëntere benutting van water, dat zouter kan zijn dan bij beregening, en stikstof, de winst vooral in de gelijkmatigere 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 gemakkelijk te automatiseren (Dam, 2000).

#### **Slow-release meststoffen**

Bij bemesting van broccoli door verschillende langzaam werkende meststoffen (Kalkstikstof, Piamon 33, KAS, Alzon 47 en Hoornmeel) lag de opbrengst bij Entec ruim 20% hoger. Stikstofmetingen 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 regenperiode ook uitspoelingzeker 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 veel uitval van planten. Bij zowel Alzon als Piamon waren de opbrengsten een stuk lager dan bij Entec en ook lager dan bij KAS (Kell, 2001).

### 6.7.4 Conclusies geleide bemestingssystemen broccoli

- Bij broccoli is, voor zover bekend, geen vergelijkend onderzoek aan bijmestsystemen uitgevoerd.
- Perspectiefvolle bijmestsystemen zijn NBS-bodem, rijenbemesting, fertigatie (afgezien van de kosten!) en mogelijk slow-release meststoffen.



## 7 Conclusies

Geleide bemestingssystemen bieden mogelijkheden om bemesting in tijd en ruimte te differentiëren. Door de meststoffen aan te bieden op het moment dat het gewas er behoefte aan heeft en op de plaats waar het gewas er behoefte aan heeft is een betere benutting van stikstof mogelijk en kunnen stikstofverliezen naar het milieu geminimaliseerd worden.

Inmiddels is er een veelheid aan geleide bemestingssystemen in de praktijk beproefd. Met de meeste systemen kan de stikstofbenutting worden verhoogd en kunnen de stikstofverliezen worden beperkt. Hierbij moet worden opgemerkt dat geen enkel systeem volmaakt is. Door methoden verder te optimaliseren en door de inzet van nieuwe (sensing) technieken kan de betrouwbaarheid van de waarnemingen en effectiviteit van bemestingssystemen worden verhoogd. Daarnaast kan het combineren en integreren van verschillende systemen, inclusief gewas- en bodemsensing, leiden tot een verhoging van de betrouwbaarheid waardoor acceptatie van geleide bemestingssystemen verhoogd kan worden.

Zo lijkt een combinatie van NBS-gewas en NBS-bodem wellicht perspectiefvol. In prei en aardappel wordt anno 2004 hieraan gewerkt door CropScan te koppelen aan bodemanalyses. De combinatie van omgekeerde vensters en CropScan moet verder worden onderzocht. Beter proberen in te spelen op verwachte mineralisatie in de voorliggende periode, zowel bij NBS-bodem als bij een eenmalige gift vóór de teelt biedt mogelijkheden om de stikstofefficiëntie verder te verhogen. Onderzoek is nodig om hiervan een goede inschatting te kunnen maken.

In Tabel 7.1 is een overzicht gegeven van de meest perspectiefvolle systemen voor geleide bemesting. Het overzicht beperkt zich tot die gewassen die vooralsnog gekozen zijn voor opname in Nutriënten Waterproof.

Geleide bemestingssystemen zijn over het algemeen gericht op perceelsniveau. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat percelen min of meer uniform zijn. In de praktijk is een perceel zelden een uniforme eenheid. Door in te spelen op ruimtelijke variabiliteit wordt expliciet rekening gehouden met de verschillen binnen percelen. Strategieën, rekenregels en werkwijzen van geleide bemestingssystemen zijn uitstekend in te passen in een plaatsspecifiek concept.

Over het algemeen wordt bij het toepassen van plaatsspecifieke bemesting op nationaal en internationaal vlak winst geboekt met het oog op stikstofbenutting en opbrengst. De winst die behaald kan worden met het inspelen op ruimtelijke variabiliteit is afhankelijk van de lokale situatie. Op perceelsniveau zal moeten worden bekeken hoe groot de ruimtelijke variabiliteit is. Of het zinvol is om hier vervolgens op in te spelen is mede afhankelijk van factoren als wet- en regelgeving en bedrijfsdoelstellingen.

Om op plaatsspecifieke verschillen in te spelen zijn verschillende systemen ontwikkeld. De systemen die aan de hand van sensorsignalen en voorgeprogrammeerde rekenregels direct een stikstofgift berekenen zijn relatief eenvoudig in gebruik. Het grootste nadeel van deze systemen is dat geen invloed kan worden uitgeoefend op de basisgift maar alleen op de bijmestgift. Verder kan bij deze systemen een mindere gewasstand geassocieerd worden met een stikstofgebrek. In de praktijk is een mindere gewasstand niet altijd het gevolg van stikstofgebrek. Deze is mede afhankelijk van het lokale opbrengstpotentieel. Het lokale opbrengstpotentieel wordt bepaald door factoren als bodemsoort, grondwaterspiegel en voorgeschiedenis van het perceel. Om tot een uitgebalanceerde bemesting te komen is het belangrijk een goede inschatting te maken van dit potentieel.

Door gebruik te maken van GIS systemen kunnen plaatsspecifieke gegevens van het perceel worden opgeslagen en worden verwerkt. Hierdoor kan een database met historische perceelsgegevens worden gecreëerd waardoor een afgewogen schatting gemaakt kan worden van het opbrengstpotentieel. Door het toepassen van GIS systemen neemt de perceelskennis toe en kunnen strategieën worden ontwikkeld die optimaal inspelen op de ruimtelijke variatie van percelen.

Rijbanenteelt is een teeltwijze waarbij jaar op jaar gebruik wordt gemaakt van dezelfde rijsporen. De voordelen zijn evident. Een goed berijdbare verkeerszone en een onbereden teeltzone met een optimale bodemstructuur. Om rijbanenteelt toe te passen zijn systemen nodig die machines exact over de rijpaden geleiden. Hiervoor wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van RTK-DGPS. Om zo min mogelijk rijbanen in het perceel te hebben moeten deze smal zijn en liefst ver uit elkaar liggen. Met het huidige aanbod van machines is een spoorbreedte van ca. 3 m de meest praktische oplossing. In Nederland wordt op twee

bedrijven het rijbanensysteem toegepast. De ervaringen zijn dat de stikstofbenutting door de optimale bodemstructuur hoger is en dat denitrificatie wordt tegengegaan. Met een lagere bemesting worden gelijke opbrengsten gehaald. Door een vlakker zaaibed en de betere concurrentiepositie van het gewas is ook mechanische onkruidbestrijding beter uit te voeren waardoor er naast meststoffen ook bespaard kan worden op herbiciden.

Tabel 7.1 Inschatting meest perspectiefvolle systemen voor geleide bemesting.

	Op kortere termijn perspectiefvol	Mogelijk in de toekomst (zeer) perspectiefvol	Weinig perspectiefvol of onduidelijk
Aardappel	Bladsteeltjes, Altic, CropScan, N-sensor.	Verbeterde NBS-bodem, Omgekeerde vensters, SPAD, Tipstar.	Slow release meststoffen, fertigatie, bladbemesting, Cultan.
Prei	Verbeterde NBS-bodem, CropScan, CropScan plus bodembemonstering, NP-startgift via rijen- of plantgatbemesting	Fertigatie.	Cultan.
Tulp	NBS-bodem, Beddenbemesting.	Verbeterde NBS-bodem, CropScan, Fertigatie.	Slow release meststoffen.
Spinazie	NBS-bodem	stikstofvensters, Fertigatie.	Cultan,
Sla	NBS-bodem met inrekenen mineralisatie.	Fertigatie.	Cultan, Slow release meststoffen,
Broccoli Bloemkool	NBS, Rijenbemesting, Slow release meststoffen	Fertigatie.	
Generiek	Pandora-sensor.	Gewas-sensing systemen b.v. Greenseeker	

## Referenties

- Alphen, B.J. (2002). A case study on precision nitrogen management in Dutch arable farming, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62, pp. 151-161
- Booltink, H.W.G., Van Alphen, B.J., Batchelor, W.D., Paz, J.O., Stoorvogel, J.J., Vargas, R. (2001). Tools for optimizing management of spatially variable fields. *Agric. Systems* 70, pp. 445-476
- Folkerts, H., Kouwenhoven, J.K., Perdok, U.D. (1981). Mogelijkheden voor de rijbanenteelt. *Landbouwmechanisatie* 32: pp. 499-502
- Janssens, S.R.M., 1991. Rendabiliteit van een verminderde bodembelasting; bedrijfseconomische evaluatie van een lagedruk berijdingssysteem.
- Lamers, Perdok, U.D., Lumkes, L.M., Klooster, J.J. (1986). Controlled traffic systems in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 8, pp. 65-76
- Lokhorst, C., P. Dekker, K. Grashoff, Th. Guiking, van 't Riet, S. (2003). Perspectieven geleide bemesting in de open teelten: van deskstudie naar onderzoek. *Nota 2003-51*, IMAG, Wageningen, Nederland, 43 pp.
- Mueller J. (2003). Precision farming: paradigm between technology push and demand pull, Wageningen, Nederland, 10 pp.
- Mueller Elektronik (2003). Press Information CROP meter, Salzkotten, Duitsland, pp. 1
- N-Tech Industries (2003). N-Tech Industries Home Page, <http://www.ntechindustries.com>
- Verhagen, A., Bootink, H.W.G., Bouma, J. (1995). Site specific management: balancing production and environmental requirements at farm level. *Agric. Systems* 49, pp. 369-384
- Vermeulen, G.D. (2004). Persoonlijke mededeling.
- Vermeulen, G.D., Klooster, J.J. (1992). The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil. *Soil & Tillage Research* 24, pp. 337-358



---

system

·  
·  
innovatie

---