



Geleide bemesting in de open teelten: Ontwikkeling van systemen

S. Radersma, W.C.A. van Geel, C. Grashoff, G.J. Molema en N.S. van Wees



Geleide bemesting in de open teelten: Ontwikkeling van systemen

S. Radersma, W.C.A. van Geel, C. Grashoff, G.J. Molema en N.S. van Wees

© 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.

PPO Publicatienr. 334; € 15,-

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Projectnummer: 510168

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business-unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroente

Adres : Edelhertweg 1
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : infoagv.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING	5
1.1	Geleide bemesting	5
2	WAAR BEMESTEN; RUIMTELIJKE ASPECTEN VAN GELEIDE BEMESTING	9
3	WANNEER HOEVEEL BEMESTEN; TIJDSASPECTEN VAN GELEIDE BEMESTING EN BEREKENING VAN N-GIFTEN	11
3.1	Hoeveel bemesten: Verbeterde inschatting van N-opname.....	14
3.2	Hoeveel bemesten: Verbeterde inschatting van N-levering-bodem	15
3.3	Hoeveel bemesten: Verkleinen van de N-veiligheidsmarge	17
4	WAT/HOE BEMESTEN: MESTSTOFFEN EN TOEDIENINGSMETHODES	19
5	RESULTATEN: N-BESPARINGEN, KOSTEN EN VERBETERINGEN VAN DE ONTWIKKELDE GELEIDE BEMESTINGSSYSTEMEN	21
6	HOE STEL IK MIJN EIGEN GB-SYSTEEM SAMEN	27
7	CONCLUSIE.....	29
	REFERENTIES.....	31

1 Inleiding

Een van de eigenschappen van de moderne landbouw is dat de hoeveelheid stikstof (N) die extra in het agro-eco-systeem gebracht wordt veel hoger is dan de stikstof die het systeem verlaat in producten. Dit leidt tot een grote uitstoot aan gasvormige stikstofverbindingen naar de atmosfeer, en van opgeloste stikstofverbindingen naar het grondwater. Die emissies zijn zo hoog dat ze waargenomen of berekende nadelige effecten hebben voor mens, natuur en milieu.

Voor boeren in Nederland is het moeilijk om met lagere stikstofgiften op de gewassen nog een voldoende inkomen te verdienen. In de huidige sociaal-economische omgeving is het voor land- en tuinbouw van groot belang te streven naar een maximaal haalbare productie, en daarvoor wordt veelal gebruik gemaakt van supra-optimale N-bemesting als 'verzekeringspremie'. Er kunnen immers jaren voorkomen waarin de N-benutting verlaagd is door weersomstandigheden of andere oorzaken, en opbrengstderving kost al gauw veel geld.

Het project Ontwikkeling van Geleide Bemestingssystemen werd gedurende 2002-2003 uitgevoerd in het kader van onderzoeksprogramma DWK-398-I 'Maatregelen ter beperking van nutriënten verliezen'. Doel van dit programma is het ontwikkelen van management maatregelen en –instrumenten om ondernemers in staat te stellen op kosteneffectieve wijze aan de regelgeving met betrekking tot nutriëntenverliezen (vnl. stikstof (N)) te voldoen.

Het doel van het hier gerapporteerde onderzoek naar geleide bemesting is de kloof tussen landbouwkundig noodzakelijke en milieukundig gewenste N-bemestingsniveaus te verkleinen. Met geleide bemesting (GB) wordt beoogd het N-aanbod in tijd en ruimte zodanig precies af te stemmen op de N-vraag, dat met minder N-input eenzelfde opbrengst en kwaliteit van geoogst product behaald wordt. Het project dat hier gerapporteerd wordt was gericht op het ontwikkelen, vergelijken en in praktijk toetsen van methoden voor geleide bemesting (GB). Een set van handelingen, meetmethoden, hardware, beslisregels etc. wordt hier een 'GB-systeem' genoemd.

1.1 Geleide bemesting

Onder geleide bemesting verstaan we kennis en technieken die het mogelijk maken om doelgericht geleid (in tijd en/of in ruimte) stikstof-meststof toe te dienen, zodanig dat het N-aanbod zo goed mogelijk in overeenstemming is met de N-opname en de N-behoefte van het gewas. Waarbij de N-opname de hoeveelheid N is die het gewas daadwerkelijk opneemt, terwijl de N-behoefte de hoeveelheid (of concentratie) N is die in de bodem aanwezig moet zijn om de potentiële N-opname te kunnen verwerklijken. De N-opname is een goed meetbare hoeveelheid (N gehalte van gewas vermenigvuldigd met biomassa), hoewel onderschat doordat de stikstof in het wortelstelsel hierin meestal buiten beschouwing gelaten wordt. De N-behoefte is een minder eenvoudig vast te stellen hoeveelheid, die samenhangt met een heel scala andere factoren zoals bewortelingsmogelijkheden voor een gewas, vochtuishouding van de bodem en andere gewasgroei variabelen.

Telers houden rekening met onzekerheden en variatie in N-opname, N-behoefte, N-levering door de bodem en N-verliezen door een veiligheidsmarge (extra stikstof gift) op te tellen bij de netto noodzakelijke N-gift. Die N-veiligheidsmarge is van de bovengrens van de totale variatie afgeleid¹.

Het onderzoek was voornamelijk gericht op stikstof (N) omdat dit een nutriënt is dat zowel in hoge concentratie aanwezig moet zijn om aan de gewasvraag te voldoen, als een mobiel nutriënt is dat snel uitspoelt en milieuschade veroorzaakt. Het project heeft zich voornamelijk gericht op zandgronden omdat die het meest uitspoelingsgevoelig zijn, en op eenjarige teelten. Die hebben vaak een relatief korte periode

¹ Dit is mogelijk een oorzaak van meningsverschillen tussen telers en anderen over hoe hoog de noodzakelijke N-bemesting ligt: Wetenschappers kijken eerder naar het gemiddelde van de variatie, telers naar de bovengrens van de variatie, om het risico van opbrengstderving uit te sluiten.

van N-opname en een beperkt wortelstelsel, waardoor de kans op N-emissies naar het milieu groot is. De onderzochte gewassen zijn aardappel, prei, tulp en hyacint. Deze hebben een relatief hoge N-behoefte en lage N-efficiëntie, en bestrijken - binnen hun sector in Nederland - een relatief groot areaal. Gewassen die N efficiënt benutten maar waar de N verliezen voortkomen uit gewasresten, zoals diverse koolsoorten en suikerbiet vragen andere oplossingen om N-verliezen tegen te gaan dan geleide bemesting (zie ook Lokhorst et al., 2003).

Hoewel de basisbemesting aan het begin van het seizoen uit dierlijke mest kan bestaan heeft dit project zich voornamelijk gericht op kunstmest-bijbemesting omdat de beschikbaarheid van N uit kunstmest beter voorspelbaar is dan die uit organische mest, en dus nauwkeuriger is in moment en hoeveelheid van N-aanbod. Bovendien is bijbemesten met kunstmest technisch veel eenvoudiger dan met organische mest. Perspectieven voor praktijktoepassingen van GB zijn daarom voor kunstmest veel groter.

Aanvankelijk werd ernaar gestreefd om verschillende GB-systemen op verschillende gewassen te testen en te beoordelen welk systeem op welk gewas het beste resultaat opleverde ten opzichte van het doel: maximale opbrengst bij zo klein mogelijke N-gift. Dit bleek een te simpele benadering. In het ene jaar werkte het ene systeem beter, in een volgend jaar een ander systeem. De oorzaken van deze variatie werden geleidelijk duidelijk. Zo bleek al in het eerste jaar (2002) dat de standaard N-opname-curves zoals gebruikt in het systeem 'NBS-bodem' vaak sterk afweek van de werkelijke N-opname door de tijd. Dat kon leiden tot foutieve adviezen (dosering, timing). Een methode die daarentegen gebruik maakte van een betere N-opname schattingen (via metingen aan het gewas, bijvoorbeeld met behulp van CropScan), gaf betere adviezen. Aan de andere kant adviseerde de 'CropScan'-methode in 2003 (een droog jaar) juist te hoge N-giften, omdat deze methode geen rekening hield met de aanwezige Nmin voorraad in de bodem, en deze was hoog door de weersomstandigheden dat jaar.

Er kan dus niet simpelweg gezegd worden dat de CropScan-methode beter werkt dan 'NBS-bodem', of vice versa. De functie van verder onderzoek is de oorzaken van succes of falen van de verschillende GB-systemen in de verschillende situaties (jaren, bodems en gewassen) bloot te leggen. Mogelijk kan dan het systeem gekozen worden dat het best past bij een bepaalde situatie. Ook kunnen door combinatie van verschillende systemen de zwaktes van het ene systeem aangevuld worden met behulp van de sterkere kanten van een ander systeem.

In een samenvattende rapportage als deze hebben we dus gekeken naar de opbouw van de verschillende GB-systemen. Welke elementen voldoen meer of minder goed onder specifieke omstandigheden (weersjaren, bodems, gewassen/teelten)?

De te onderscheiden elementen of aspecten zijn:

- Ruimtelijk patroon/plantverband aan/afwezig (waar bemesten))
- Tijdsaspecten: korte vs. lange teelt, vroege/gewone/late teelt, achteruit- vs vooruitkijkende systemen (wanneer bemesten)
- N-gift bepalende onderdelen: N-gewasvraag, N-bodemaanbod, N-veiligheidsmarge (hoeveel bemesten)
- Mestsoorten + toedieningsmethode (hoe bemesten)

Het gaat er hier niet om door 'finetuning' de laatste kilogrammen N te besparen. GB-systemen die 80% van de mogelijke besparing realiseren tegen minimale kosten, zijn vanuit praktijk oogpunt beter dan dure systemen die 95% uitsparen. We proberen aan te geven welke elementen het meest perspectief bieden om flink op de N-gift te besparen, zonder opbrengstverlies. En vooral: aan te geven welke elementen in een bepaalde context (weersgesteldheid, bodemtype, gewas) van belang zijn. Dat moet leiden tot een toolbox waarmee situatie-specifieke systemen gemaakt kunnen worden. Deze aanpak maakt het ook mogelijk de bevindingen te extrapoleren naar situaties die hier niet experimenteel onderzocht zijn.

In dit rapport worden eerst de te onderscheiden elementen van GB-systemen en daarmee de vragen naar waar, wanneer, hoeveel en hoe te bemesten behandeld. Voorbeelden uit het experimentele werk van het project worden daarbij in kaders als illustratie gegeven.

Daarna worden binnen 1 tabel de N-besparingen en pure kosten (exclusief arbeid) van de verschillende GB-

systemen in de verschillende gewassen samengevat zoals uit de experimenten naar voren kwam. In een tweede tabel wordt de N-besparingen en pure kosten van verdere verbeteringen binnen systemen ingeschat met hierin o.a elementen uit het ene systeem die iets toevoegen aan een ander systeem. Uiteindelijk dient een schema met vragen naar bodem-, gewas- en teeltomstandigheden en de daaruitvoortkomende geleide bemestingsopties als 'toolbox' om situatiespecifieke GB-systemen samen te stellen.

2 Waar bemesten; ruimtelijke aspecten van geleide bemesting

Ruimtelijke variatie leidt snel tot verhoogde mestgiften. Telers zijn geneigd te bemesten tot een niveau waarop het hele veld een egaal goede gewasstand laat zien. In een heterogeen veld zijn dan de slechtste plekken voldoende bemest, terwijl de betere perceelsdelen overbemest zijn.

Om dit probleem van heterogene percelen aan te pakken worden systemen ontwikkeld die eerst de bodemgesteldheid en/of gewasstand van een dergelijk perceel in kaart brengen en met die informatie plaats specifiek bemesten.

In het hier gerapporteerde project werd vooral onderzoek gedaan naar tijdstip en dosering van bemesting, waarbij gebruik gemaakt werd van *perceelsgemiddelde* metingen. Het aspect van ruimtelijke heterogeniteit bleef daardoor onderbelicht. Dit was een bewuste keuze. Desondanks is toepassing van geleide bemestingssystemen zoals ontwikkeld binnen dit project, die allemaal uitgaan van perceelsgemiddelde metingen zijn alleen zinvol waar de binnen-perceelsvariatie (variatie in benodigde N-gift tussen plekken binnen het perceel) klein is ten opzichte van de besparing (in N-gift) die mogelijk is bij 'perceelsgemiddeld' werken. Is de perceelsvariatie groter, dan kan men zich beter richten op plaats specifiek bemesten.

Er bestaan meerdere methoden om plaats specifiek te bemesten, waaronder de N-sensor. Binnen dit project is plaats specifiek meten uitgetest met de Crop-Scan methode en vergeleken met de Crop-Scan methode waarbij alle metingen per perceel gemiddeld werden. De Crop-Scan kan vanaf een rijdende trekker voorop metingen doen, die meting omzetten in een N-gift advies, die dan achter de trekker pleksgewijs computergestuurd toegediend kan worden. Hier doen zich in feite dezelfde mankementen voor als hierna beschreven: Het systeem meet alleen de gewas-behoefte maar niet de bodemvoorraad, terwijl deze laatste grootte wel van belang is. Ook de opbrengstpotentie en de heterogeniteit daarvan op het betreffende perceel zou meegenomen moeten worden. Werkelijk plaats specifiek op maat bemesten kan pas wanneer de Crop-Scan gecombineerd wordt met een plaats specifieke bodem-scan en kennis van opbrengstpotentie, die kan aangeven of een slechte gewasstand inderdaad een gevolg is van weinig N of door een andere bodemeigenschap veroorzaakt wordt.

Soms is er in het plantverband een bepaald ruimtelijk patroon waardoor plaatselijk bemesten tot een directe besparing op de N-gift kan leiden, zonder dat de opbrengst hieronder lijdt.

Beddenbemesting is één manier om op de gebruikelijke N-gift te besparen door betere plaatsing van meststoffen. Het beantwoordt aan de vraag 'waar bemesten' (zie kader).

Beddenbemesting in bloembollen

Veel bloembollen (bv tulp, hyacint) worden op bedden geteeld. Die bedden zijn meestal 1 m breed met een afstand tussen de bedden van 0.5 m. De paden tussen bloembolbedden maken 33 % van het hele areaal uit. Bij volveldbemesting valt circa 20 % van de kunstmest in de diepergelegen paden. Plaatsing van N-gift alleen op de bedden en niet in de paden zou dus een besparing van 20 % op moeten kunnen leveren zonder enig negatief effect op het bloembolgewas. Omdat bloembollen een relatief beperkt wortelstelsel hebben, gaat bij de gebruikelijke volveldbemesting het deel dat in de paden terecht komt helemaal verloren of bevordert alleen onkruidgroei (met negatieve invloed op de aan het pad grenzende bol-rijen). In alle proeven met beddenbemesting kon zonder opbrengstderving de stikstof, die in de paden terecht kwam, bespaard worden. Dit leverde een afname in N-gift op van 12-17 %. Dit is lager dan voornoemde 20 % vanwege technische problemen met egale kunstmesttoediening alleen op de bedden.

Rijenbemesting bij gewassen die in rijen zijn geplant is ook een optie. In de praktijk lijkt dit alleen tot betere benutting van stikstof te leiden wanneer: 1) de rijafstand van een gewas ruim is en de beworteling (in het begin) matig, 2) de bodemvoorraad mineraal N laag is (bv in voorjaar of op schrale gronden) 3) het bemestingsniveau sub-optimaal is (van Erp & Titulaer, 1992; van Dijk & Brouwer, 1998; Everaarts & de Moel, 1998).

Rijenbemesting is in dit project niet onderzocht. In GB-systemen op basis van bodem-N-metingen compliceert rijenbemesting de bodembemonstering en schatting van N-levering-bodem, die dan ook een ruimtelijke dimensie krijgen.

Conclusies:

- Plaatsspecifiek bemesten zinvol op percelen waar de N-levering tussen plekken sterker verschilt (bv. variabiliteit van 60 kg N ha⁻¹) dan de N-gift besparing die bereikbaar is met GB dat gebruik maakt van perceelsgemiddelde meting (bv. 30 kg N ha⁻¹).
- Beddenbemesting leidt theoretisch tot 20-30% en in de proeven tot 12-17% besparing op N-gift bij gelijkblijvende opbrengst in tulp en hyacint
- Rijenbemesting heeft voornamelijk perspectief in rijen geteelde gewassen met onvolledige beworteling (beginperiode, grote rijafstanden) en/of bij lage Nmin voorraad in de bodem.

3 Wanneer hoeveel bemesten; tijdsaspecten van geleide bemesting en berekening van N-giften

Veel technieken van geleide bemesting proberen N-opname en N-aanbod (=N-levering-bodem + N-gift) beter op elkaar af te stemmen door middel van kleine giften die gespreid over de teeltperiode gegeven worden. Bij splitsing van de gift kan de totale N-gift verlaagd worden ten opzichte van een eenmalige gift, omdat de onzekerheid over tijdelijke tekorten en de mogelijke verliezen afnemen en daarmee de veiligheidsmarge lager kan zijn. Splitsing van de N-gift en berekening van N-opname en N-levering uit de bodem worden belangrijker naarmate de N-opname en N-levering uit de bodem sterker variëren.

Splitsing van de gift is echter niet in alle gewassen mogelijk. Kropvormende bladgewassen komen niet/minder in aanmerking voor in de tijd opsplitsen van de totale N-gift, (b.v. andijvie, sla, Chinese kool). Bijbemesten na kropvorming (later dan 3-5 weken na planten) leidt tot gewasschade. Hier kan een reductie in N-gift alleen voortkomen uit een nauwkeuriger berekening van N-opname en N-levering bodem over de periode tussen begin kropvorming en oogst.

Binnen de bijmestsystemen kan onderscheid gemaakt worden tussen systemen die de gift bepalen door te kijken naar wat gebeurd is tot dan toe (achteruitkijkende systemen) bv. NBS-bladsteeltjes en gewasvensters. Aan de andere kant zijn er systemen die de gift bepalen door de gewasvraag en/of de N-levering uit de bodem in de toekomstige periode in te schatten (vooruitkijkende systemen).

Achteruitkijkende systemen hebben het voordeel dat ze relatief simpel zijn. Ze doen één meting/observatie die aangeeft of de N-levering aan het gewas op peil is geweest in de afgelopen periode en adviseren alleen een N-gift als de N-levering onder de maat is geweest. Deze ene indicatieve meting of observatie omvat op deze manier zowel de N-opname als de N-levering door de bodem in de voorafgaande periode. Het nadeel van achteruitkijkende systemen is dat, wanneer de N-levering ontoereikend is, kort na de indicatieve meting een volgend bijsturingsmoment te laat kan zijn. In achteruitkijkende systemen kan precisie en afdekken van risico worden bereikt door vergroten van het aantal meetmomenten.

Vooruitkijkende systemen combineren metingen met berekeningen om de benodigde hoeveelheid N in de toekomstige periode vast te stellen. Dat wordt dan de geadviseerde N-gift. Deze systemen maken gebruik van een indicatieve meting die gericht is op toekomstige N-opname en/of op toekomstige N-levering-bodem. Het nadeel van deze systemen is een grotere complexiteit (hogere kosten), het voordeel een grotere precisie en kleinere kans dat er in de aanstaande periode een tekort optreedt.

Er is een duidelijk verschil in de berekening van de benodigde N-giften tussen achteruitkijkende systemen en vooruitkijkende systemen. In achteruitkijkende systemen bestaan de bijmestgiften vnl. uit 'herstelbemesting', terwijl de onzekerheid over de toekomst opgevangen moet worden via een veiligheidsmarge binnen de basisbemesting (veiligheidsmarge = de extra dosis N gegeven als verzekeringspremie). Achteruitkijkende systemen zijn relatief simpel en moeten precisie verkrijgen uit regelmatige metingen gedurende het groeiseizoen.

De berekening van de benodigde N-gift in vooruitkijkende systemen zijn gericht op het zo exact mogelijk bepalen van de benodigde hoeveelheid N in de toekomstige periode (evt. met medeneming van 'herstelbemesting'). Kenmerken van de verschillende bijmestsystemen zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Kenmerken van de berekening van de verschillende stikstofbijmestsystemen.

GB systeem	achteruit-/vooruitkijkend	herstel-gift	N-opname schatting		N-levering-bodem		
		N-inhoud-gewas gewenst - actueel	N-opname-curve	gewasgroei voorspelling	Nmin	N- mineralisatie	N-verliezen
NBS*-bodem	vooruit		x		x	x***	
NBS-stikstofplus	vooruit		x		x	x	
NBS-bladsteeltjes	achteruit	x	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**
NBS-Altic	achteruit	x	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**
NBS-CropScan	achteruit+vooruit	x	x	x			
NBS-Spad	achteruit+vooruit	x	x	x			
gewone vensters	achteruit	x	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**
omgekeerde vensters	achteruit	x	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**	nvt**

* NBS - N(stikstof) bijmest systeem

** niet van toepassing aangezien de methode achteruitkijkt en niet vooruit.

*** alleen voor aardappel vaste mineralisatie per dag meegerekend

Berekening van N-gift in *achteruitkijkende* systemen:

$$N\text{-gift} = \text{indicator-afgeleide-N-gift} \quad (1)$$

Waarin de "indicator-afgeleide-N-gift" de herstelbemesting is voor het geval de indicator onder de norm scoorde. Omdat het om een herstelbemesting gaat en niet om een (min of meer) exact berekende balans tussen benodigde N en aangeboden N, is zo'n gift meestal een vaststaande hoeveelheid, die is afgeleid van de mate van onderschreiding van de norm, of het verschil tussen basisbemesting en totale adviesbemesting. De herstelbestedingen bij achteruitkijkende systemen die gebruik maken van een gewasindicator dragen het risico in zich dat een tekortschietende N-aanvoer uit de bodem automatisch wordt vertaald in een N-gift terwijl de te lage N-opname ook andere oorzaken kan hebben (wortelziektes, droogte).

In de bekende achteruitkijkende systemen is de basisbemesting de enige gift waarin expliciet rekening wordt gehouden met N-levering uit de bodem. De basisbemesting wordt aangevuld met de N-veiligheidsmarge (=verzekeringspremie), om voor het gehele verloop van de teelt alle onzekerheden af te dekken inclusief die welke betrekking hebben op de N-behoefte in de toekomstige periodes.

Berekening van N-gift in *vooruitkijkende* systemen (idealitair):

$$N\text{-gift} = N\text{-opname} - N\text{-levering-bodem} + N\text{-veiligheidsmarge met:} \quad (2)$$

$$N\text{-opname} = N\text{-opname gewas (boven+ondergronds)} \quad (3)$$

$$N\text{-levering-bodem} = N\text{mineraal-bodem} + \text{verwachte Nmineralisatie} \quad (4)$$

$$N\text{-veiligheidsmarge} = \text{bovengrens van de totale variatie van N-opname, N-behoefte en N-levering-bodem} + (N\text{-behoefte} - N\text{-opname}) + N\text{-verliezen} \quad (5)$$

Binnen de N-veiligheidsmarge is de term (N-behoefte – N-opname) het N-surplus boven N-opname nodig om N-concentratie in bodem op het nivo te brengen dat nodig is voor maximale N-opname.

De N-veiligheidsmarge is de verzekeringspremie voor een maximale opbrengst. Deze "verzekeringsstrategie" is mogelijk omdat N-meststoffen minder kosten dan opbrengstderiving. Dezelfde N-veiligheidsmarge vergroot echter ook de N-voorraad in de bodem en daarmee de verliezen die naar het milieu plaatsvinden.

NBS-bladsteeltjes (achteruitkijkend)

In NBS-bladsteeltjes worden bijmestgiften bepaald door de gemeten nitraatinhoud van bladsteeltjes te vergelijken met de gewenste nitraatinhoud van die bladsteeltjes. Er wordt een herstellende bijmestgift geadviseerd als de nitraatinhoud in de bladsteeltjes onder de normlijn ligt. De hoogte van die gift is afhankelijk van de mate van onderschreiding van de normlijn. Tot nu toe wordt dit systeem alleen gebruikt bij aardappelen. Een inschatting van N-levering-bodem en toevoeging van een veiligheidsmarge vindt in de praktijk alleen plaats bij de basisbemesting en niet als onderdeel van deze bijmestmethode.

Aardappelmonitoring, ALTIC) (achteruitkijkend)

ALTIC heeft het principe van NBS-bladsteeltjes overgenomen maar verder gepreciseerd door het loofgewicht erbij te betrekken. De N-bijmestgift wordt afgeleid van de vergelijking tussen actuele nitraatinhoud en gewenste nitraatinhoud volgens de normlijnen bij het actuele loofgewicht. Een inschatting van N-levering-bodem en toevoeging van een veiligheidsmarge vindt in de praktijk alleen plaats bij de basisbemesting en niet als onderdeel van deze bijmestmethode.

NBS-bodem (vooruitkijkend)

In NBS bodem wordt de bijmestgift bepaald doordat een meting van de voorraad mineraal N in de bodem wordt gerelateerd aan de verwachte gewas-N-opname in de toekomstige periode. De voorraad mineraal N wordt berekend aan de hand van Nmin metingen in de doorwortelde bodemlaag. De verwachte gewas-N-opname in de toekomstige periode wordt bepaald aan de hand van een standaard opname-curve voor het betreffende gewas. De N-gift is de N-opname minus de voorraad mineraal N plus een N-buffer. NBS-bodem met maandelijkse metingen is inmiddels de standaard bemestings methode in bloembollen. In aardappel is NBS-bodem een alternatief geleide bemestingsstelsel tov de standaard eenmalige basisgift, en in prei is NBS-bodem een alternatief geleide bemestingsstelsel tov de standaard basisgift plus twee vooraf vaststaande bijmestgiften.

De in dit project gebruikte vooruitkijkende GB systemen berekenen de N-gift echter uit óf alleen N-levering-bodem (met slechts ruwe schatting van N-opname en N-buffer) óf alleen de verwachte N-opname (met N-levering-bodem en N-veiligheidsmarge alleen ingecalculeerd in de basis-N-gift voor aanvang van de teelt, of als onderdeel van normlijnen afgeleid uit series proeven)

Aangezien het hoofddoel van het project was om bemestings-systemen te ontwikkelen die minder stikstof gebruiken bij gelijkblijvende opbrengst (kwantitatief en kwalitatief), liggen de mogelijkheden om N-gift omlaag te brengen bij gelijkblijvende opbrengst in:

- 1) verbeterde inschatting van N-opname
- 2) verbetering inschatting van de N-levering van de bodem en
- 3) het verkleinen van de N-veiligheidsmarge.

Verbeterde inschatting van N-opname kan zowel leiden tot hogere, als lagere N-giften. Een verbeterde inschatting van N-levering uit de bodem leidt meestal tot lagere N-giften. Het verbeteren van de inschattingen over het algemeen leidt tot verlaging van de variatie, en dus tot de mogelijkheid om de N-veiligheidsmarge te verlagen.

Gewasvensters (achteruitkijkend)

Een gewasvenster is een stuk van een perceel dat lager is bemest dan de (standaard) bemeste rest van het perceel. Als het gewasvenster "tekent" (zich gaat onderscheiden van de rest van het perceel) is bijbemesting gewenst. De hoogte van die gift is een door de teler bepaalde hoeveelheid. Als het venster niet tekent heeft het hele veld een te hoge N-gift gehad, die niet meer teruggenomen kan worden. Een inschatting van N levering-bodem en toevoeging van een veiligheidsmarge vindt in de praktijk alleen plaats bij de basisbemesting en niet als onderdeel van deze achteruitkijkende bijmestmethode.

Omgekeerde gewasvensters (achteruitkijkend)

Bij omgekeerde vensters krijgt het hele perceel een deel van de adviesbemesting terwijl het venster iets meer krijgt (tot of tot over de adviesbemesting). Als het venster "tekent" moet de rest van het veld een herstellende bijmestgift krijgen. De hoogte van die gift is een standaard hoeveelheid.

Een inschatting van N levering-bodem en toevoeging van een veiligheidsmarge vindt in de praktijk alleen plaats bij de basisbemesting en niet als onderdeel van deze achteruitkijkende bijmestmethode.

NBS-bodem-Stikstofplus (vooruitkijkend)

Dit bijmeststelsel is een precisering van NBS-bodem en is ontwikkeld door BLGG alleen voor aardappel en prei. NBS-bodem-Stikstofplus heeft als extras ten opzichte van de gewone NBS-bodem dat het 1) in de voorraad N geleverd door de bodem ook de verwachte mineralisatie uit gewasresten / groenbemesters / organische mest en bodem organische stof meetelt en 2) een schatting van opbrengstverwachting meeneemt.

NBS-Crop Scan (achteruit + vooruit)

In NBS-Crop-Scan worden bijmestgiften bepaald door de gemeten N-inhoud van een gewas te vergelijken met de gewenste N-inhoud, in combinatie met een voorspelling van de nog te verwachten groei en N-opname. De N-inhoud van het gewas wordt verkregen door middel van gewasreflectiemetingen (Uenk et al, 1992; Booij et al, 2001). De voorspelling van de nog te verwachten groei en N-opname wordt gedaan met een gewasgroei simulatiemodel die gebruik maakt van het verschil tussen gewenste en actuele N-inhoud van het gewas afgeleid van de uit de reflectiemeting voortkomende LAI. De gift-hoogte wordt met behulp van het verschil tussen gewenste en actuele gewas N-inhoud en verwachte gewasgroei berekend. Een inschatting van N-levering-bodem en toevoeging van een veiligheidsmarge vindt in de praktijk alleen plaats bij de basisbemesting. In aardappel waarvoor normlijnen zijn ontwikkeld uit een serie veldproeven, zit de gemiddelde bodem-N-levering van die serie proeven verweven in het advies .

NBS – Spad (achteruit + vooruit)

In NBS-Spad worden bijmestgiften bepaald door de gemeten N-inhoud van een gewas te vergelijken met de gewenste N-inhoud (in combinatie met een voorspelling van de nog te verwachten groei en N-opname). De N-inhoud van het gewas wordt verkregen door middel van bladkleurmetingen van 10-20 individuele bladeren per veld. (Wood et al, 1992). De gift-hoogte wordt met behulp van het verschil tussen gewenste normlijn N-inhoud (afgeleid uit serie proeven) en actuele gewas N-inhoud berekend. In de normlijnen wordt rekening gehouden met verloop van bladkleur/chlorofylwaarden in de tijd en daarmee met gewasontwikkeling.

Een inschatting van N-levering-bodem en toevoeging van een veiligheidsmarge vindt in de praktijk alleen plaats bij de basisbemesting en niet als onderdeel van deze bijmestmethode. In aardappel waarvoor normlijnen zijn ontwikkeld uit een serie veldproeven, zit de gemiddelde bodem-N-levering van die serie proeven verweven in het advies

3.1 Hoeveel bemesten: Verbeterde inschatting van N-opname

Variatie in N-opname is vooral groot in de late herfst, winter en vroege voorjaar, en daarmee is een juiste berekening van N-opname belangrijk voor gewassen die in die periodes groeien (bv prei en peen in herfst/winter en voorjaarsbollen in vroege voorjaar). Gedurende het hele jaar kan de N-opname sterk variëren als gevolg van andere gewasgroei beperkende factoren zoals droogte, ziekten en plagen.

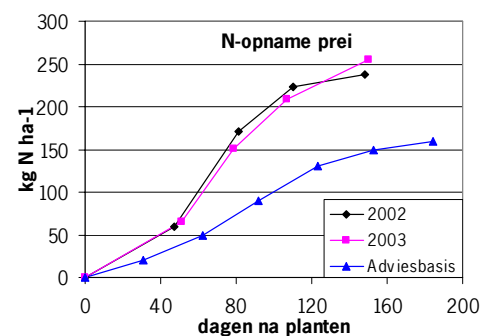
N-opname voor de toekomstige periode wordt in geleide bemestingsystemen geschat of berekend naar aanleiding van één of meerdere van de volgende factoren:

- gewas N-opnamecurves;
- verschil tussen actuele N-status/inhoud van het gewas en gewenste N-status/inhoud van het gewas;
- een voorspelling van de verwachte gewasgroei (en daarmee de totale N-opname).

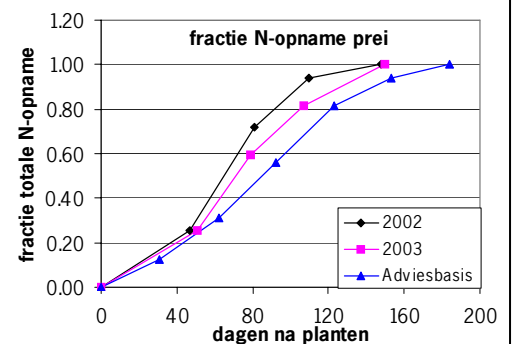
NBS-bodem maakt alleen gebruik van standaard N-opnamecurves. NBS-bladsteeltjes maakt alleen gebruik van het verschil tussen actuele N-status van het gewas en de gewenste N-status van het gewas. Altic gewasmonitoring vult dit aan met een opbrengstverwachting. De CropScan methode combineert alle drie factoren; het verschil tussen actuele en gewenste N-inhoud van het gewas, een voorspelling van de verwachte gewasgroei en een N-opnamecurve die is bepaald nav recente proeven (deze aspecten zijn verwerkt in een norm-lijn waarmee de actuele N-opname vergeleken wordt). De Spad-methode in de huidige vorm combineert ook alle drie factoren, verwerkt in een serie normlijnen, maar geeft alleen een advies om wel/niet bij te bemesten en berekent niet de hoogte van de gift.

Het gebruik van standaard N-opnamecurves zoals in NBS-bodem, kan leiden tot flinke verschillen tussen de schatting en de werkelijke N-opname. Binnen ons onderzoek bleek dat de standaard (verouderde) curves voor aardappel en prei, die gehanteerd worden in NBS-bodem flink afwijken van de gemeten N-opname (Figuur 1a en 2a). Deze afwijkingen hadden forse fouten in benodigde N-gift berekening tot gevolg (zie kaders)

Figuur 1a. N-opname curves uit proeven en uit adviesbasis voor NBS-bodem



Figuur 1b. als Figuur 1a maar met N-opname als fractie van totale opname.



Fouten in N-gift berekening veroorzaakt door verouderde N-opname-curves in prei

Voor herfst/winter teelt prei was de geschatte N-opname aan het begin van het seizoen te laag en aan het eind van het seizoen te hoog. Dit werd deels veroorzaakt doordat de standaardcurve een te lage totale N-opname had en door de hoge opbrengst in deze proef (80 ton ha⁻¹). Dit blijkt uit de verschillen in totale N-opname in figuur 1a. Echter, ook de relatieve N-opnamecurve klopte niet (N-opname als fractie van totaal uitgezet tegen de tijd) (Figuur 1b). Deze geeft een te lage N-opname aan het begin van het groeiseizoen en een te hoge N-opname aan het eind van het groeiseizoen.

Geschatte N-opname tussen 0 - 12 weken volgens de standaardcurve van de adviesbasis (Figuur 1 a) was 90 kg N ha⁻¹ terwijl de werkelijke N-opname 185 kg N ha⁻¹ was. In de periode 12 weken tot oogst schatte de standaardcurve een N-opname van 70 kg N ha⁻¹ terwijl de werkelijke N-opname na 12 weken niet meer was dan 50 kg N ha⁻¹.

Als een betrouwbare inschatting kan worden gemaakt van totale N-opname, kan gekeken worden naar relatieve N-opname curves (Figuur 1b). Geschatte N-opname tussen 0 - 12 weken volgens de relatieve N-opname van de adviesbasis was 50 % van de totale N-opname, terwijl de werkelijke N-opname in die periode 70 % van de totale N-opname was. Na 12 weken tot oogst schatte de standaardcurve een N-opname van de andere 50% terwijl de werkelijke N-opname na 12 weken niet meer was dan 30% van de totale N-opname. Bij een totale N-opname van 240 kg N ha⁻¹ (zoals gemeten in de proeven), zou de relatieve curve afgeleid van de adviesbasis de N-opname in de eerste 12 weken met 20% (= 48 kg N ha⁻¹) onderschatten en na 12 weken overschatten met dezelfde 20% (=48 kg N ha⁻¹).

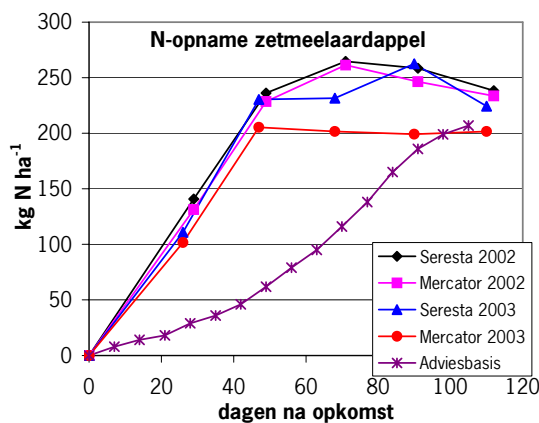
Onderschating van N-opname aan het begin van het seizoen zou de preigroei kunnen vertragen en de uiteindelijke opbrengst inclusief de totale N-opname kunnen verminderen. De overschatting aan het eind van het seizoen zou in z'n geheel in de bodem blijven en als verlies in het milieu terecht kunnen komen.

Fouten in N-gift berekening veroorzaakt door verouderde N-opname-curves in aardappel

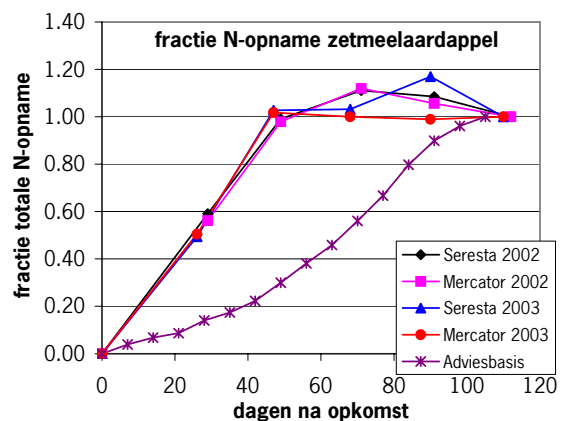
Voor teelt van zetmeelaardappelen was de geschatte N-opname aan het begin van het seizoen te laag en aan het eind van het seizoen te hoog. De totale N-opname van de standaardcurve uit de adviesbasis verschilde weinig van de gemeten totale N-opname (Figuur 2a), maar het verloop van de N-opname over de tijd, de relatieve N-opnamecurve (N-opname als fractie van totaal uitgezet tegen de tijd), verschilde enorm (Figuur 2b). De standaard curve geeft een veel te lage N-opname aan het begin van het groeiseizoen en een te hoge N-opname aan het eind van het groeiseizoen.

Geschatte N-opname tussen 0 - 7 weken volgens de relatieve N-opname van de adviesbasis was 32 % van de totale N-opname, terwijl de werkelijke N-opname in die periode al om en nabij de 100 % van de totale N-opname was. Na 7 weken tot oogst schatte de standaardcurve een N-opname van de andere 68 % terwijl in werkelijkheid na 7 weken bijna geen N-opname meer plaatsvond. Bij een totale N-opname van 220 kg N ha⁻¹ (zoals gemiddeld gemeten in de proeven), zou de relatieve curve afgeleid van de adviesbasis de N-opname in de eerste 7 weken met 68 % (= 150 kg N ha⁻¹) onderschatten en na 7 weken overschatten met dezelfde 150 kg N ha⁻¹. Onderschatting van N-opname aan het begin van het seizoen zou de aardappelgroei kunnen vertragen en de uiteindelijke opbrengst inclusief de totale N-opname kunnen verminderen. Dit ondermijnt natuurlijk het vertropuwen van de teler in zo'n GB systeem. De overschatting aan het eind van het seizoen zou in z'n geheel in de bodem blijven en als verlies in het milieu terecht kunnen komen.

Figuur 2a. N-opname curves uit proeven en uit adviesbasis voor NBS-bodem voor aardappel



Figuur 2b. als Figuur 1a maar met N-opname als fractie van totale opname.



Ten opzichte van NBS-bodem dat gebruikt maakt van standaard N-opnamecurves, zonder inschatting van totale N-opname en correctie voor N-inhoud van het gewas, hebben de NBS-gewassystemen een nauwkeuriger N-opname schatting.

Desondanks ligt de valkuil van verouderde N-opnamecurves voor een gewas op de loer bij ieder GB-systeem dat N-opnamecurves gebruikt maar ze niet regelmatig bijstelt aan bv. de ontwikkeling van nieuwe rassen.

3.2 Hoeveel bemesten: Verbeterde inschatting van N-levering-bodem

Variatie in N-levering-bodem is vooral op niet-schrale bodems groot gedurende het grootste deel van het jaar. In het voorjaar, zomer en nazomer kunnen temperatuur en bodemvochtgehalte sterk verschillen en daarmee vooral de N-mineralisatie beïnvloeden.

N-levering-bodem voor de toekomstige periode wordt in vooruitkijkende geleide bemestingssystemen geschat vanuit een standaard bodem N levering, of berekend naar aanleiding van metingen van aanwezige minerale N voorraad (N_{min} metingen) en N-mineralisatie voorspellingen (n.a.v. metingen en/of berekeningen).

In de NBS-gewas systemen, bladsteeltjes-methode, Altic, CropScan en Spadmeter wordt alleen de N_{min} voorraad gemeten aan het begin van het seizoen, om de startgift te bepalen (door de teler).

In de vorige paragraaf werd duidelijk dat voor berekening van de bijmestgiften bij vooruitkijkende GB systemen gekeken wordt naar verwachte N-opname in de volgende periode al dan niet aangevuld met een

gewasgroei voorspelling. De CropScan houdt rekening met een standaard N-levering van de bodem doordat de normlijnen voor gewas N-inhoud zijn afgeleid van een serie proeven (en dus is de N-levering van de bodem, de gemiddelde N-levering van de bodems uit die serie proeven geweest).

Alleen de NBS-bodem systemen *meten* de aanwezige N_{min} voorraad door het seizoen al of niet aangevuld met mineralisatie metingen/berekeningen. In achteruitkijkende GB-systemen zit N-levering-bodem van de voorgaande periode al min of meer ingebouwd. Geen enkel GB-systeem meet of schat de N-verliezen uit de bodem.

Een inschatting van N-levering bodem binnen vooruitkijkende GB systemen leidt meestal tot een verlaging van de N-gift, omdat in systemen zonder inschatting van N-levering-bodem de hele berekende N-opname voor de toekomstige periode wordt gezien als benodigde N-gift, zonder van die N-gift de in de bodem aanwezige/vrijkomende N af te trekken.

In ons onderzoek kwam dat duidelijk naar voren in het droge jaar 2003 in de herfst en winterteelt prei (zie kader).

De bepaling van de N-levering-bodem geeft de voorraad N in een bepaalde bodemlaag. Diepte van de bodemlaag kan de N-levering-bodem sterk beïnvloeden. Het is de bedoeling dat dat de doorwortelde bodemlaag is. Beworteling is echter sterk afhankelijk van de bodem zelf en van het seizoen (weersomstandigheden / gewasgroei algemeen). Een nat seizoen met regelmatige regen leidt tot een oppervlakkiger wortelstelsel dan een seizoen dat nat begint en daarna een tijd droog is. Bovendien is stikstof een mobiel nutriënt, dat via capillair opstijgend water vanonder de wortelzone weer mee omhoog kan komen. De variatie in wortelprofiel en de mogelijkheid van omhoogtransport van N betekent dat de bodemlaag die in werkelijkheid meespeelt in de N-levering aan het gewas geen standaard dikte heeft. Juiste inschatting van de dikte van de N-leverende laag kan grote gevolgen hebben voor de geschatte N-levering van de bodem. Dit kwam naar voren in de aardappelproef in Kooijenburg in 2003 (zie kader).

Behalve het belang van de juiste bepaling van de N-leverende laag, is ook de variatie van N_{min} in de tijd (en ruimte) een relatief groot probleem voor de bepaling van N-levering-bodem. Een teler die de ene week in z'n veld een N_{min} waarde vindt die 2 x zo hoog is dan een week eerder, heeft geen vertrouwen in een mestgift berekening die op zo'n N_{min} meting is gebaseerd. Het is nog onduidelijk in hoeverre temporele variatie in N_{min} meting verschilt met bodemsoort en gebruiksgeschiedenis (dit is een onderdeel van huidig GB onderzoek). Ruimtelijke variatie in N_{min} is deels te ondervangen door een voldoende groot aantal steken te nemen en die tot 1 mengmonster te maken. Dit wordt echter gecompliceerd nadat bemesting in rijen- of banden heeft plaatsgevonden. Een berekening van de benodigde hoeveelheid monsters en steken per monster geeft aan dat voor een representatieve bemonstering 2 tot 3 monsters van elk 40 steken per veld van 2 ha nodig zouden zijn. Dit is veel arbeid voor praktische toepassing.

De andere component van N-levering-bodem is de N-mineralisatie gedurende het groeiseizoen. Vooral bij bodems met een hoog gehalte aan jonge organische stof van hoge kwaliteit (lage C/N verhouding) kan dit een belangrijke bijdrage leveren aan N-levering-bodem. Inschatting van N-mineralisatie gebeurt in verschillende mate van

Fout in N-gift berekening door ontbreken inschatting N-bodemvoorraad in prei.

Tijdens het droge groeiseizoen 2003 bleef de bodemvoorraad N in de late preiteelt gedurende lange tijd hoog (N_{min} 100 – 120 kg N ha⁻¹). NBS-bodem adviseerde (terecht) om tot begin oktober niet bij te bemesten, terwijl de CropScan-methode op basis van de berekende gewasopname wel adviseerde om bij te bemesten (70 kg N ha⁻¹). Prei opbrengsten verschilden niet en de bijbemesting tot en met september geadviseerd met de CropScan methode had achterwege kunnen blijven. Door droogte kan de N in de bodem minder goed door het gewas worden opgenomen. De GB systemen die de N-gift bepalen aan de hand van alleen gewasmetingen kunnen in zo'n geval een N-tekort aangeven, met het risico dat er ten onrechte wordt bijbemest. In geval van droogte verdient het daarom aanbeveling naast het gewas ook de N in de bodem te meten.

Dikte N-leverende bodemlaag kan groot verschil in N-gift veroorzaken

In de aardappelproef in 2003 was de N-voorraad in de laag 30-60 cm 95 kg N ha⁻¹ afgenomen in een droge periode. Die N kan vanwege de droogte niet zijn uitgespoeld en het is eveneens onwaarschijnlijk dat alles verloren is gegaan via denitrificatie. Het is daarom waarschijnlijk dat het gewas een deel van deze stikstof heeft opgenomen. De N-levering-bodem in die periode werd berekend met alleen de N_{min} voorraad in de laag 0-30 cm. In de laag 30-60 was 100 kg N ha⁻¹ aanwezig. Wanneer op dat moment voor de berekening van een bijmestgift tot het einde van de teelt was uitgegaan van de N_{min} voorraad in de werkelijk bewortelde bodemlaag zou de berekende N-gift lager zijn geweest dan de 300 kg N ha⁻¹ berekend met bodemlaag 0-30 cm., en daarmee dichter in de buurt zijn gekomen van de optimale gift van 260 kg N ha⁻¹.

precisie. De meest eenvoudige manier is een ruw gemiddelde per dag in het zomerseizoen ($1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$), waarop een (gevoelsmatige) correctie kan worden toegepast (bv onder gemiddelde mineralisatie = $0.8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ en bovengemiddelde mineralisatie = $1.2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$). Mineralisatiemodellen van verschillende complexiteit berekenen N-mineralisatie. Het relatief simpele model MINIP (Jansen, 1984) berekent de mineralisatie uit organisch materiaal dat in de bodem wordt gebracht en heeft de input gegevens initiële leeftijd (c.q. humificatiecoëfficiënt) en de C/N-verhouding van het organische materiaal, het temperatuurverloop en eventueel de pF-waarden van de bodem nodig, en geeft dan de mineralisatie in kg N per ha voor elke gewenste periode. MINIP is niet/minder geschikt om de mineralisatie uit bodemorganische stof te voorspellen. Potentiële mineralisatie bepalingen zijn gebruikt om N-mineralisatie schattingen voor andijvie te berekenen en aan de hand hiervan de N-gift te bepalen (zie kader).

N-mineralisatie schatting binnen N-levering-bodem in andijvie

In andijvie zijn NBS systemen minder toepasbaar omdat bijbemesten na 3-5 weken (begin krop-vorming) gewasschade veroorzaakt.

Daarom zijn in de andijvieteelt N-mineralisatie schattingen afgeleid van potentiële mineralisatie metingen. Deze schattingen zijn vervolgens gebruikt bij het bepalen van de benodigde N-gift. Op boven-gemiddeld tot hoog mineraliserende percelen leidde dat tot een besparing op van $10 - 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ per teelt ten opzichte van wanneer was uitgegaan van een forfaitair mineralisatieniveau van gemiddeld $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$.

Wanneer 2 tot 3 keer na elkaar andijvie wordt geteeld binnen een jaar kan de N-besparing oplopen tot zo'n $110 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$.

3.3 Hoeveel bemesten: Verkleinen van de N-veiligheidsmarge

De N-veiligheidsmarge die telers hanteren bestaat in de praktijk uit verschillende onderdelen:

- het verschil tussen N-behoefte en N-opname van een gewas
- bovengrens van de onzekerheid/variatie in N-opname en N-levering-bodem
- N-verliezen, aangezien die in geen enkel systeem gemeten worden en we het dus voor alle duidelijkheid uit het onderdeel N-levering-bodem kunnen halen en bij de veiligheidsmarge tellen.

De N-behoefte hebben we gedefinieerd als de hoeveelheid N of N-concentratie die nodig is om de potentiële N-opname van het gewas te kunnen verwerklijken. Omdat het verschil tussen N-behoefte en N-opname van een gewas in de praktijk een onderdeel van de N-veiligheidsmarge is, is er weinig aandacht geweest in dit project voor het verbeteren van dit onderdeel op zich.

Bij gewassen waarvoor het verschil tussen N-opname en N-behoefte groot is (mogelijk af te lezen uit lage N-efficiëntie bij sub-optimale bemesting; van de aanwezige N in de bodem wordt relatief weinig opgenomen, zelfs in het geval dat stikstof zelf de limiterende factor is voor de groei) zouden er mogelijkheden kunnen liggen in meststofplaatsing, vooral op niet-rijke bodems, om lokaal relatief hoge concentraties te krijgen (vooral in het begin van de teelt) zonder dat het hele veld met het verschil tussen N-behoefte en N-opname hoeft te worden "overbemest".

De N-verliezen: N-uitspoeling en N-vervluchtiging zouden in feite een component moeten zijn van N-levering-bodem. Doordat tot nog toe geen poging is gedaan om de N-verliezen te kwantificeren, moeten ze in het geheel worden opgevangen door de N-veiligheidsmarge. N-verliezen zijn deels afhankelijk van bodemeigenschappen, deels van het weer, en deels van interactie tussen weer en bodemeigenschappen (bv. op zeer schraal zand zal een dikke bui stikstof sneller tot onder de bewortelde zone uitspoelen dan op humeus zand). Het weer is hiervan de in het geheel niet te voorspellen component, maar de invloed van bodemeigenschappen op N-verliezen zou wel ingeschat kunnen worden.

Het verminderen van de onzekerheid in N-opname en N-levering bodem zoals boven beschreven leidt automatisch tot een lagere bovengrens van de onzekerheid/variatie in deze componenten. Overigens mag duidelijk zijn dat beperking van onzekerheid/variatie verschilt per onderdeel. Uit de N-opnamecurves van prei zoals boven besproken blijkt dat als er een redelijke inschatting gemaakt kan worden van verwachte opbrengst en teeltduur, ook het N-opname verloop redelijk constant is. Afwijkingen in N-opname verloop in de tijd lijken bij de meeste gewassen samen te hangen met heel vroege of late teelten en heel uitzonderlijk weer. Dit zou eventueel nog verder ondervangen kunnen worden door de N-opname te relateren aan een temperatuursom in plaats van tijd. Deze laatste stap naar precisie leidt bij

aardappel tot een vermeerdering of vermindering in N-gift van zo'n 15 kg N ha⁻¹.

De variatie die in N-levering bodem voortkomt uit verkeerde inschatting van de N-leverende diepte is moeilijker te vermijden zonder regelmatige metingen/waarnemingen omdat niet alleen de bodem bepalend is maar ook het weer. Het weer (temperatuur en vocht) kan op bodems met een hoog gehalte aan actieve organische stof ook een grote variatie in N-mineralisatie veroorzaken. Daarentegen zal op schralere bodems de variatie in N-mineralisatie in verhouding tot andere variatiebronnen klein zijn.

De grote variatie van N_{min} bepalingen in de tijd is een andere variatiebron, waarvan de oorzaak nog onduidelijk is en die dus (nog) niet gemakkelijk verkleind kan worden.

Het ziet er naar uit dat we de variatie in N-opname redelijk en redelijk simpel kunnen verkleinen, maar dat de variatie in N-levering-bodem meer problemen oplevert, die niet zo eenvoudig te verhelpen zijn, en dus de grootte van de veiligheidsmarge zullen bepalen.

De onzekerheid die specifiek is voor achteruitkijkende GB-systemen, nl. de toekomstige N-opname en N-levering, zit helemaal verwerkt in de N-veiligheidsmarge (N-verzekeringspremie) die de teler aanbrengt in de basisgift. Een mogelijkheid om die onzekerheid en dus de veiligheidsmarge te verkleinen is het regelmatig meten, waarmee de tijdstappen tussen de tekort-indicerende metingen verkort worden. Frequenter meten brengt echter wel directe kosten met zich mee en vraagt meer arbeid.

Een verkleinen van deze onzekerheden en variatie zou omgerekend leiden tot verlaging van de N-veiligheidsmarge. Het kan echter zijn dat de vermindering in onzekerheid in N-opname en N-levering veel kleiner is dan de andere twee componenten van de veiligheidsmarge: het verschil N-behoefte – N-opname en de N-verliezen. In dat geval bepalen die twee componenten de hoogte van de veiligheidsmarge en valt het bereikte voordeel van een lagere onzekerheid in N-opname en N-levering in het niet.

Conclusies:

- Bij sterkere variatie in N-levering bodem en in N-opname wordt splitsing gift en/of berekening van N-opname en N-levering-bodem belangrijk.
- Bij achteruitkijkende systemen wordt de noodzaak voor een N-bijmest-gift afgeleid van een indicator die aanwijst of een gewas te weinig of genoeg N heeft gehad in de voorgaande periode (herstelbemesting). De precisie van zulke systemen kan verhoogd worden door regelmatig meten.
- Bij vooruitkijkende systemen wordt de hoogte van de N-gift afgeleid van N-vraag van het gewas en/of N-levering door de bodem in de toekomstige periode. De precisie van vooruitkijkende systemen kan worden verhoogd door beter inschatten van N-vraag en N-levering-bodem in de toekomstige periode.
- Standaard N-opname curves wijken (ver) af van werkelijke N-opname door a) grote variatie in N-opname veroorzaakt door verschillen in teeltperiodes, droogte/ziekten/plagen (en daarmee totale potentiële N-opname) en b) andere rassen (veroudering).
- Bijmestsystemen op basis van gewasmetingen/indicatoren zijn gericht op een 'gemiddelde' bodem-N-levering. Bij een bodem-N-levering die duidelijk lager/hoger is dan gemiddeld is bepaling van bodem-N-levering nodig om over- of onderbemesting te voorkómen.
- Diepere of ondiepere beworteling dan gerekend voor de N-leverende bodemlaag kan de werkelijke bodem-N-levering sterk beïnvloeden.
- Een goede mineralisatiebepaling kan de toekomstige bodem-N-levering schatten. Dit is met name interessant voor gewassen waar bijmestsystemen niet uitgevoerd kunnen worden omdat ze gewasschade veroorzaken.
- De veiligheidsmarge (N-verzekeringspremie) is een bulk van a) N-verliezen, b) bovengrens van variatie in N-opname en N-levering en c) verschil tussen N-opname en N-behoefte. Verschillende van deze onderdelen zijn afhankelijk van het (geheel onvoorspelbare) weer. De relatieve grootte van te meten/schatten onderdelen ten opzichte van de grootte van onvoorspelbare onderdelen van de veiligheidsmarge, beïnvloed de 'beheersbaarheid' van deze post sterk.

4 Wat/hoe bemesten: Meststoffen en toedieningsmethodes

Aanvullend op de vragen waar, wanneer en hoeveel er bemest moet worden om het aanbod van stikstof zo goed mogelijk te laten aansluiten op de plaats, de vraag en de behoefte van het gewas, kan het type kunstmest (en/of de toedieningsmethode) effect hebben op de N-efficiëntie.

Langzaamwerkende meststoffen is een verzamelnaam voor allerlei soorten meststoffen met coatings, nitrificatieremmers en N-vormen die de uitspoeling van N als nitraat vertragen. Langzaamwerkende meststoffen zijn voornamelijk bedoeld om N-verliezen gedurende het groeiseizoen te beperken in een situatie waar conventionele kunstmest snel uit zou spoelen. Zo'n situatie is de combinatie van slechte/matige doorworteling van het bodemprofiel gecombineerd met bodemeigenschappen die een snel vertikaal transport van water en nutriënten door de bodem bevorderen. Deze combinatie komt veel voor in de bollenteelt op duinzand, maar ook b.v. in de preiteelt. Langzaam werkende meststoffen zijn in principe een alternatief voor splitsing van de mestgift. Het voordeel van langzaam werkende meststoffen is dat het minder arbeid vraagt dan regelmatig bijbemesten. Het nadeel is dat het vrijkomen van de stikstof onvoorspelbaar blijft, en hiermee is ook het synchroniseren van vraag en aanbod onzeker. Langzaam werkende meststoffen zouden dan ook vooral van nut kunnen zijn in gewassen waar regelmatig bijbemesten *niet* kan (in combinatie met matige doorworteling van het bodemprofiel en snelle uitspoeling van stikstof). Langzaam werkende meststoffen kunnen echter niet voorkómen dat nitraatstikstof die bij aanvang van de teelt al in de bodem aanwezig is uitspoelt. Hetzelfde geldt voor de nitraatstikstof die door mineralisatie tijdens de teelt vrijkomt.

Gebruik van Entec in prei (in combinatie met NBS-bodem)

In de preiproef van 2002 is NBS-bodem met bijmestgiften in de vorm van KAS vergeleken met NBS-bodem met bijmestgiften in de vorm van Entec. De totale N-gift in de behandelingen met Entec was 40 kg N ha⁻¹ lager dan met KAS. Opbrengsten verschilden niet significant. De totale N-opname was wel 17-45 kg N ha⁻¹ hoger bij NBS/KAS dan bij NBS/Entec, veroorzaakt door verschillen in N-gehalte van de prei. Dus hoewel Entec-gebruik bij gelijkblijvende opbrengst leidde tot een 40 kg N ha⁻¹ lagere N-gift, bleef deze 40 kg N ha⁻¹ in de NBS/KAS behandeling voor een groot deel / geheel opgenomen in de prei en kwam daardoor ook niet ten laste van het milieu.

In de preiproef van 2003 gaf NBS/Entec geen besparing t.o.v. NBS/KAS en was er ook geen verschil in opbrengst. De N-opname bij NBS/KAS was echter 13-21 kg N ha⁻¹ hoger dan bij NBS/Entec. De N-benutting was dus bij KAS hoger dan bij Entec,

Gebruik van Entec en Agroblen in tulp

Entec is een ammoniummeststof met nitrificatieremmer. Daardoor wordt de omzetting van ammonium in nitraat vertraagd, en blijft er langere tijd een groter deel van de stikstof in de vorm van ammonium. Ammonium adsorbeert aan klei en organische stof en spoelt daarom minder snel uit dan nitraat. Gebruik van Entec zal echter alleen de N-verliezen verminderen als de bodem inderdaad ammonium kan adsorberen (voldoende klei/organische stof), en als de N vrijkomt en opgenomen wordt voor het einde van de teelt.

Agroblen is een stikstofmeststof met een coating van een zwavellaag met daaroverheen een bescherm laag van polymeren, die het binnendringen van water remmen en daarmee het vrijkomen van de ureum vertragen. De zwavel werkt bovendien verzurend, wat de omzetting van ureum in ammonium en van ammonium in nitraat vertraagt.

In de proef in tulp in 2002 zijn éénmalige giften van Entec (100 kg N ha⁻¹) en Agroblen (120 kg N ha⁻¹) vergeleken met het standaardstelsel in tulp: NBS-bodem met maandelijks Nmin metingen.

De totale gift van NBS-bodem was slechts 93 kg N ha⁻¹. Dit was 27 kg N ha⁻¹ lager dan de Agroblen gift en 7 kg N ha⁻¹ lager dan de Entec gift, terwijl de opbrengst in de behandeling met Agroblen lager was dan in NBS bodem (en de Entec-behandeling).

Bovendien was de N inhoud van het hele gewas bij de oogst bij de Agroblen behandeling lager dan die van NBS-bodem. Die (ca. 40 kg N ha⁻¹) minder opgenomen stikstof plus de 27 kg N ha⁻¹ die meer gegeven was waren misschien nog niet uitgespoeld, maar bleven wel in de bodem achter (om later uit te spoelen of in het gunstigste geval door een volggewas te worden opgenomen). Hieruit blijkt dat de vraag naar "hoe bemesten" alleen zin heeft als ook de vragen wanneer en hoeveel bemesten zijn beantwoord, en dat het op tijd vrijkomen van de stikstof uit de langzaamwerkende meststoffen een probleem kan zijn.

De enige alternatieve toedieningsmethode die binnen dit project is gebruikt is fertigatie. In fertigatie worden meststoffen opgelost in water via permanent geplaatste slangen aan een gewas toegediend. Fertigatie leidt daardoor automatisch tot rijenbemesting.

De mogelijkheid om zeer gedoseerd en nabij de planrijen, zonder problemen met inspoeling in de bouwvoor toe te dienen, maakt dat fertigatie mogelijk potentieel heeft om op N te besparen zonder in te boeten op opbrengst. Eenmaal aanwezig maakt fertigatie splitsing van de N-gift gemakkelijk. Bovendien kan fertigatie toegepast worden in gewassen waar een gestrooide bijmestgift gewasschade zou veroorzaken. Fertigatie wordt echter tot nu toe alleen toegepast in bloembollen omdat de kosten te hoog zijn ten opzichte van de baten in lager salderende gewassen. Aangezien fertigatie zelf niet de vraag beantwoordt hoeveel er wanneer bemest moet worden, is combinatie met boven beschreven systemen nodig. Combinatie met NBS-bodem is echter lastig: Omdat de bemesting door fertigatie niet egaal over het veld wordt verdeeld, is het nemen van representatieve bodemonsters een probleem.

Fertigatie in hyacint en tulp.

In de proeven in hyacint in 2002 werd NBS-bodem gecombineerd met volveldsbemesting met KAS-KS of fertigatie. De totale N gift lag in de NBS/fertigatie behandelingen gemiddeld 5-50 kg N ha⁻¹ hoger dan in de NBS/KAS-KS behandelingen. Dit leidde echter niet tot een toename in potentiële N-verliezen omdat de N-opname in de fertigatie behandeling hoger lag. Daarmee samenhangend was de kwaliteit van de opbrengst bij fertigatie ook iets hoger. In de proeven in tulp in 2003 werd NBS-bodem gecombineerd met volveldsbemesting met KS of fertigatie. De totale N gift lag in de NBS/fertigatie behandelingen gemiddeld 10-35 kg N ha⁻¹ hoger dan in de NBS/KS behandelingen. De opbrengsten (kwalitatief en kwantitatief) en de totale N-opname door het gewas verschilden in de meeste gevallen niet significant. Fertigatie leidde in tulp niet tot een hogere N-efficiëntie en de verhoging in potentiële uitspoeling was dan ook vergelijkbaar met de verhoging in N-gift.

Conclusies:

- In langzaamwerkende meststoffen is het op het juiste moment vrijkomen van N een probleem, dat even gemakkelijk tot een verlaagde N-efficiëntie kan leiden als tot een betere N-efficiëntie.
- Langzaamwerkende meststoffen kunnen een "laatste redmiddel" zijn in gewassen waar regelmatig bijbemesten niet kan, in situaties met matige doorworteling en potentieel snelle uitspoeling.
- Fertigatie is een methode om in kleine doses opgeloste meststoffen toe te dienen, die vanwege de hoge kosten alleen toepasbaar is in hoog-salderende gewassen. In hyacint steeg de productie (kwaliteit) . N-gift en potentiële N-verlies gingen in tulp en hyacint niet omlaag.

5 Resultaten: N-besparingen, kosten en verbeteringen van de ontwikkelde geleide bemestingssystemen

In tabel 2 is een overzicht gemaakt van de verschillen in N-gift (gemeten of geschat) en in potentiële N-verlies, die GB-systemen in verschillende gewassen in de twee jaren proeven hebben gemaakt ten opzichte van de standaard bemestingssystemen in de betreffende gewassen, en de daarmee gepaard gaande kosten. In tabel 3 zijn noodzakelijke of verdere verbeteringen van de in tabel 2 genoemde systemen genoemd en de daarmee te behalen geschatte N-besparingen en zomogelijk kosten.

Aardappel

In aardappel konden in de twee proefjaren zonder opbrengstverlies besparingen van 30-75 kg N ha⁻¹ op N-gift behaald worden door de bladsteeltjes methode, CropScan en Altic-gewasmonitoring. Deze besparingen zijn ten opzichte van het standaard systeem van één basisgift van 225 kg N ha⁻¹ voor het vroege ras Seresta en 180 kg N ha⁻¹ voor het late ras Mercator. De daarmee gepaard gaande afname in potentiële N-verlies was 20-30 kg N ha⁻¹. De Spadmeter methode leverde wel grote N-besparingen, maar ging ten koste van significante opbrengstderiving in het vroege aardappelras Seresta. NBS-bodem leidde tot toename van de totale N-gift (~35 kg N ha⁻¹) ten opzichte van advies, over het algemeen zonder hogere opbrengst tot gevolg te hebben. In tabel 3 is echter te zien dat een relatief simpele verbetering van NBS-bodem door gebruik van een goede N-opnamecurve leidt tot een mogelijke besparing van 30-40 kg N ha⁻¹, en dat het toevoegen van opbrengstverwachting/gewasgroei voorspelling en daarvan afgeleide totale N-vraag nog eens kan leiden tot een extra N-gift-besparing van maximaal 45 kg N ha⁻¹. Een stijging van N-gift bij een gewasgroei voorspelling die hoger is dan de norm is ook mogelijk. Deze verhoging in N-gift is dan alleen om hogere N-opname te dekken en leidt in dat geval niet tot een hoger potentiële N-verlies.

Tabel 3 laat bovendien nog zien welke andere verbeteringen binnen bestaande systemen of toevoegingen van onderdelen uit het ene systeem aan het andere, tot N-besparing met behoud van opbrengst kunnen leiden.

De GB-systemen die uitgaan van gewasmetingen (bladsteeltjesmethode, CropScan en misschien Altic), kunnen vooral in geval van droogte en sterk mineraliserende bodems een extra N-besparing verwachten als meting van de N-levering-bodem wordt afgetrokken van de advies-gift. Een nauwkeuriger schatting van N-leverende bodemlaag kan, in goed doorwortelde bodems met veel N net onder de standaard diepte, leiden tot N-besparingen tot 100 kg N ha⁻¹ met behoud van opbrengst.

In aardappel bestaat nu nog op het praktische probleem dat een CropScan advies pas gegenereerd kan worden na gewassluiting. Is de gewassluiting laat, dan kan beter een ander NBS-systeem gekozen worden. De ervaringen met vensters in aardappelen zijn nog tegenstrijdig. Gewone vensters hebben vaak te weinig onderscheidingsvermogen om tijdig een goed bemestingsadvies uit te genereren. Omgekeerde vensters in combinatie met CropScan metingen kunnen perspectief hebben, maar vensterniveaus en timing van CropScan metingen moeten nog beter afgestemd worden.

De pure kosten aan bemonstering, analyse en advies varieerden van 20 - 40 € ha⁻¹, die in geval van de goedwerkende systemen CropScan, bladsteeltjes methode en Altic gewasmonitoring grotendeels terug verdiend werden uit kunstmest besparing. Alleen bij Altic gewasmonitoring moest de teler zelf nog de bemonstering en biomassameting doen (bij de andere is bemonstering in de kosten meegerekend).

Prei

Tabel 2 laat zien dat in prei met behulp van de Crop-Scan methode gemiddeld over twee seizoenen 50 kg N ha⁻¹ bespaard kon worden met behoud van opbrengst. Door NBS-bodem kon over de twee jaar gemiddeld 28 kg N ha⁻¹ bespaard worden, met behoud van opbrengst. Met gebruik van Entec in plaats van KAS binnen een NBS-bodem kon het ene jaar 40 kg N ha⁻¹ en het andere 0 kg N ha⁻¹ op de N-gift bespaard worden met behoud van opbrengst. Deze besparingen zijn ten opzichte van het standaard systeem van een basisgift + 2 bijmestgiften van samen 270 kg N ha⁻¹ minus bodemvoorraad N_{min}. De hiermee gepaard gaande verschillen in potentiële N-verlies (tabel 2) liggen enigszins anders verdeeld, wat wijst op verschillen in N-opname en N-concentratie in de plant en daarmee de N-efficiëntie. De N-efficiëntie van Entec was laag zodat ondanks de afgenomen N-gift het potentiële N-verlies gelijk was aan die van het huidige standaardstelsel.

Tabel 2. Hoeveel stikstof bespaard is in de gift, de gevolgen voor de opbrengst, potentieel N-verlies naar het milieu, en extra kosten voor de geteste combinaties van gewas en geleide bemestingstechniek, met als referentie de huidige standaard bemestingstechniek.

Gewas (+ huidig bemestingssysteem)	Nieuwe GB Techniek	verschil N-gift tov standaard systeem? (kg N ha ⁻¹)		significant verschil opbrengst (%)		verschil potentieel N-verlies ¹ (kg N ha ⁻¹)		extra kosten ² (€)	besparing N (als KAS ⁵) (€ ha ⁻¹)	uit GB rapport
		seresta	mercator	seresta	mercator	seresta	mercator			
Aardappel (2 rassen) huidige standaard bemesting: 1 basis mestgift, volvelds / tussen rijen, dierlijke mest	NBS-bodem	+ 33	+ 39	ns	ns/+11	+ 39	+ 10	44 / 2 ha	+ 23	(van Geel & Wijnholds, 2003; van Geel et al., 2004)
	Crop-Scan	- 42	- 30	ns	ns	- 32	- 31	50 / 2-4ha	- 23	(van Geel & Wijnholds, 2003; Uenk et al, 2003; van Geel et al., 2004)
	bladsteeltjes	- 47	- 35	ns	ns	- 30	- 21	64 / 2 ha	- 27	(van Geel & Wijnholds, 2003; van Geel et al., 2004)
	Altic	- 67	- 40	- 4	ns	- 36	- 31	149 ³ / 4-5ha	- 35	(van Geel & Wijnholds, 2003; van Geel et al., 2004)
	SPAD	- 92	- 75	- 6	ns	- 45	- 42	?	- 49	(van Geel & Wijnholds, 2003; Uenk et al, 2003; van Geel et al., 2004)
	Vensters Omgekeerde vensters	betrouwbaarheid als bijmeststelsysteem nog twijfelachtig nog in ontwikkeling (zie nodige verbeteringen in tabel 3)								
Prei huidig standaard systeem: basisgift (dierlijke mest) + 2 bijmestgiften, volvelds/tussen rijen, KAS.	NBS-bodem	- 28		ns		- 31		70 / 2 ha	- 18	(van Geel, 2003; van Geel & Meurs, in prep.)
	Crop-Scan	- 50		ns		- 35		150 / 1-3ha	- 33	(Meurs & Booij, 2003; van Geel & Meurs, in prep.)
	Entec	- 20		ns		0		20 / ha	- 13	(van Geel, 2003; van Geel & Meurs, in prep.)
Hyacint huidig standaard systeem: maandelijks NBS-bodem, volvelds,	Crop-Scan	- 34		ns		- 11		133 ⁴ / 1-10ha	- 77	(van Wees et al., 2004)
	beddenbemesting	- 34		ns		- 32		150 / 1-10ha	- 55	(van Wees et al., 2004)
	fertigatie	+ 42		+		- 2		3000	?	(Vlaming-Kroon & van Dam, 2003b; van Wees et al., 2004)
	Entec	0		ns		+ 15		27	0	(Vlaming-Kroon & van Dam, 2003b; van Wees et al., 2004)
Tulp huidig standaard systeem: maandelijks NBS-bodem, volvelds,	Crop-Scan	- 30		ns		- 15		133 ⁴ / 1-10ha	- 68	(Vlaming-Kroon & van Dam, 2003a; van Wees et al., 2003)
	beddenbemesting	- 17		ns		onbekend		150 / 1-10ha	- 28	(van Wees et al, 2003)
	fertigatie	+ 9		+		+ 10		3000	?	(van Wees et al, 2003)

1 Potentieel N-verlies berekend als: N gift - (N in afgevoerd product van het geleide bemeste veld - N in afgevoerd product van onbemeste veld)

2 Extra kosten: kosten GB bemonstering + analyse + advies

3 Alleen in Altic zijn kosten exclusief bemonstering (teler moet zelf 4 x bladmonsters nemen en plantbiomassa meten). Andere systemen worden goedkoper als zelf bemonsterd/gemeten wordt.

4 kosten van standaard systeem maandelijks NBS-bodem in hyacint en tulp

5 N-bijmestgiften in bollen als KS

Tabel 3. **Schatting van hoeveelheid stikstof die bespaard kan worden in de gift door noodzakelijke verbeteringen binnen geleide bemestingstechnieken per gewas en de kosten hiervan.**

Gewas (+ huidig bemestingsstelsel)	GB Stelsel	mogelijke verdere verbeteringen	geschatte N-besparing (kg N ha⁻¹)	extra kosten teler (€ ha⁻¹)	
Aardappel	NBS-bodem	N-opnamecurve	30-40	0	
		gewasgroei-voorspelling	-45 tot +45	0	
		N-levering-bodem: N _{min} meting - bodemlaag	tot 100	0	
		N-levering-bodem: N _{min} meting - temporele variatie	?	?	
		N-levering-bodem: N-mineralisatie	-40 tot +40	11	eenmalig per 2 ha
	Crop-Scan bladsteeltjes	N-levering-bodem: N-verliezen	?	?	
		N-levering-bodem: N _{min} meting	tot 50	33	bij bemonstering door BLGG
		N-levering-bodem: N _{min} meting	tot 50	33	bij bemonstering door BLGG
		rasafhankelijke normlijnen voor het nitraatgehalte	tot 45	0	
		N-levering-bodem: N _{min} meting	?	33	bij bemonstering door BLGG
Altic SPAD Vensters Omgekeerde vensters	verbetering normlijnen (gewas-opname + groei-voorspelling)	?	?		
	Niet voor bepalen bijbemesting, wel inzicht bemestingsniveau	tot 50	0		
	Bijstellen vensterniveau en tijdstip venstermeting nodig	tot 50	0		
Prei	NBS-bodem	N-opnamecurve	0=-40+40	0	40 kg meer N in begin periode en 40
		gewasgroei-voorspelling	-40 tot + 40	0	
	Crop-Scan	N-levering-bodem: bodemlaag	tot 100		afgeleid uit kader dikte N-leverende bc
		N-levering-bodem:	tot 70	0-48	
Kropvormend gewas (andijvie)		N-levering-bodem: N-mineralisatie	20-110	11	bij 2-3 opeenvolgende teelten per jaar
Hyacint & Tulp	Crop-Scan fertilisatie	N-levering-bodem: N _{min} meting	?	?	
		Verbeteren horizontale verspreiding van oplossing	20-40	?	

CropScan voldeed goed in prei, maar zou aangevuld moeten worden met een bepaling van bodem-N-levering in situaties met uitzonderlijk hoge bodem N levering.

Het succes van NBS-bodem in prei was mazzel: De N-opnamecurves gebruikt binnen NBS-bodem voorspelden een veel te lage N-opname in de eerste drie maanden van de groeiperiode die waarschijnlijk alleen niet leidde tot N-gebrek doordat 50-65 kg N ha⁻¹ extra werd aangevoerd via het beregeningswater, door niet in de balans meegerekende N-mineralisatie en doordat de prei nog N opnam uit de bodemlaag onder 30 cm. De eerste twee verbeteringen genoemd in tabel 3, een verbeterde opnamecurve en een opbrengstvoorspelling als schatter van de totale N-opname, geven weliswaar niet automatisch een besparing in N-gift maar zijn noodzakelijk voor de betrouwbaarheid van NBS-bodem. Een preciesere maat voor de bewortelde of N-leverende bodemlaag zal wel voornamelijk leiden tot N-besparingen aangezien de standaard laagdikte voor NBS-bodem 0-30 cm is maar preiwortels op een goede grond N kunnen opnemen tot circa 50 cm diepte.

De kosten van NBS-bodem liggen op 35 € ha⁻¹, de kosten van CropScan (3 x meten) op 50-150 € ha⁻¹ afhankelijk van de grootte van het preiperceel. De besparing op N-gift dekt van deze kosten 20-50%.

Hyacint

In hyacint leverden zowel de CropScan methode² als beddenbemesting een N-besparing van 34 kg N ha⁻¹ gemiddeld over twee jaren bij gelijkblijvende opbrengst (kwaliteit en kwantiteit). Deze besparingen zijn ten opzichte van het standaardstelsel NBS-bodem volvelds. Omdat Crop-Scan antwoord geeft op de vraag "hoeveel bemesten" en beddenbemesting op de vraag "waar bemesten" kunnen deze twee samen toegepast worden en daarmee leiden tot een N-besparing van ca. 60-70 kg N ha⁻¹.

Fertigatie leidde tot een flinke verhoging van de N-gift met gemiddeld over twee jaar 42 kg N ha⁻¹, het potentiële N-verlies nam echter niet toe omdat het N-gehalte in de bollen en daarmee de bol-kwaliteit hoger lag dan bij standaard NBS-bodem. Daarentegen leidde gebruik van Entec in plaats van KS binnen NBS-bodem niet tot een hogere N-gift maar wel tot een lagere plant-opname en daarmee tot een hoger potentiële N-verlies.

De kosten van CropScan metingen zouden nauwelijks hoger zijn dan die van de standaard-methode NBS-bodem, terwijl de besparing in meststof wel een stuk hoger ligt (ook door gebruik van het relatief dure KS voor bijmestgiften in bollen). De extra kosten van beddenbemesting zijn moeilijk uit te drukken omdat het hier gaat om de aanschaf van een nieuwe machine. De kosten van fertigatie zijn hoog, en kunnen alleen gedekt worden als de productieverhoging dit dekt. Gebruik van Entec in plaats van KAS voor de startgift was duurder en leverde niets op aan N-gift besparing.

Tulp

In tulp leverde de CropScan methode een besparing van 30 kg N ha⁻¹ en beddenbemesting een besparing van 17 kg N ha⁻¹ gemiddeld over twee jaren bij gelijkblijvende opbrengst (kwaliteit, kwantiteit). Deze besparingen zijn ten opzichte van het standaard systeem NBS-bodem volvelds. Evenals bij hyacint geven deze twee GB technieken antwoord op verschillende vragen (waar of hoeveel bemesten) en kunnen dus samen toegepast worden en daarmee leiden tot een besparing van ca. 40-45 kg N ha⁻¹. Fertigatie leidde tot een iets hogere N-gift (9 kg N ha⁻¹), een iets hogere opbrengst kwaliteit en een 10 kg N ha⁻¹ hoger potentiële N-verlies. Gebruik van Entec in plaats van KS had geen effect op N-gift en opbrengst.

De kosten van Crop-Scan in plaats van het standaard systeem NBS bodem zijn klein en worden ruim vergoed door de besparing in N-bijmestgiften. De kosten van beddenbemesting zijn evenals bij hyacint moeilijk uit te drukken per areaal omdat het gaat om de aanschaf van een nieuwe beddenbemester. Fertigatie is duur en kan sowieso niet worden gedekt door besparingen op N-gift, zelfs niet als die besparingen wel konden worden gerealiseerd, en de opbrengst van tulp in fertigatie behandelingen was niet hoger of van betere kwaliteit.

De CropScan methode in tulp en hyacint heeft tot nu toe besparingen in N-gift gemaakt door alleen bijbemestingsadviezen van 0 te geven. Dit roept verschillende vragen op: a) Ligt de basisbemesting in tulp

² Voor de CropScan methode in hyacint en tulp zijn nog geen referentielijnen ontwikkeld zoals bij aardappel en prei, daarom is in de proeven gebruik gemaakt van het vergelijken van de gewasreflectie karakteristiek tussen de CropScan behandeling en een omgekeerd venster

en hyacint te hoog? b) Liggen de norm-niveaus van de bijmestmomenten van standaard NBS bodem te hoog? c) Kan de CropScan ook een werkelijk passend bijmestadvies geven als dat wel nodig is (bv na een verlaagde basisbemesting). Dit leidt meer tot vragen naar mogelijke verbeteringen in het standardsysteem voor bloembollen: NBS-bodem, met mogelijk vergelijkbare verbeteringen als in prei en aardappel (bijvoorbeeld verbeterde N-opnamecurves, aanpassing N-leverende bodemlaag). Behalve deze verbeteringen geeft tabel 3 aan dat CropScan mogelijk gebaat zou zijn bij een meting naar N levering van de bodem (hoewel het gebruik van CropScan zoals in tulp en hyacint gebruik maakt van een omgekeerd venster en daarmee de N-levering van de bodem indirect meeneemt). De efficiëntie van stikstof gegeven door fertigatie zou mogelijk verbeterd kunnen worden door toediening op een manier waardoor de oplossing beter horizontaal verspreid wordt en minder directe verticale waterbeweging en uitspoeling plaatsvindt.

Het succes van NBS systemen ten opzichte van de adviesbemesting bestaat uit twee componenten. Het bemestingsniveau van de adviesbemesting gaat voor grote akkerbouwgewassen uit van een gemiddeld optimum van een aantal jaren en proeven. Dat gemiddelde is opgehoogd om te voorkomen dat een slechter dan gemiddeld jaar meteen een forse opbrengstderiving tot gevolg zou hebben. De adviesbemesting is daarmee een economisch gemiddeld optimum, waarbij het grootste deel van de opbrengsten is ontstaan in een situatie die eerder is overbemest dan onderbemest met stikstof. De door ons geteste geleide bemestingssystemen hebben ten opzichte van de adviesbemesting het voordeel gehad dat het bemestingsniveau seizoensspecifiek én perceelsspecifiek is. De tweede component van het succes van NBS systemen is de aangepaste timing van bijmestgiften.

Uit de N-trappen die naast alle proeven zijn aangelegd, bleek veelal dat de succesvolle NBS-systemen in prei vooral zorgden voor de juiste inschatting van optimale N-gift in dat specifieke jaar op het betreffende perceel. De aangepaste timing had geen noemenswaardig effect ten opzichte van de standaarddeling (1/3 bij planten, 1/3 na 6 weken en 1/3 na 12 weken).

In aardappel was de oorzaak van het succes erg verschillend, maar had de aangepaste timing (in plaats van de standaard eenmalige bemesting) soms een duidelijk effect. De juiste inschatting van het jaars- en perceels- specifieke optimum speelde minder een rol. Dit werd deels veroorzaakt door de hoge N-basisgift van 2/3 van de totale gift en daarmee de kleine speelruimte om N te besparen. De minimaal benodigde basisgift en daarmee de ruimte om bijmestsystemen te gebruiken verschilt sterk per aardappelras.

In tulp en hyacint heeft het eerste succes van N-bijmest systemen al tussen 1996-1998 plaatsgevonden, toen werd overgegaan van een standaard bemesting³ naar NBS-bodem. Gezien de gemiddelde totale N-gift van de twee proefjaren op tulp (114 kg N ha⁻¹) en hyacint (132 kg N ha⁻¹) bij het huidige NBS-bodem (volvelds) is daardoor toen al een reductie in N-gift tot 45 kg N ha⁻¹ behaald (bij een Nmin-start in laag 0-30 cm van 15 kg N ha⁻¹).

De CropScan methode is een mogelijke vervanger van NBS-bodem in tulp en hyacint, en leidde in de proeven van de afgelopen jaren tot een lagere N-gift en lager potentieel N-verlies (10-15 kg N ha⁻¹). Beddenbemesting is te combineren met NBS-systemen omdat beddenbemesting antwoordt op een andere vraag (waar bemesten ipv wanneer en hoeveel bemesten), die tot een reductie in N-gift leidt door plaats specifiek te bemesten. Met beddenbemesting kan theoretisch 20-30% op N-gift (en N-verlies) bespaard worden. In de praktijk komt die besparing nog niet verder dan 12-17 % door technische moeilijkheden met kunstmest alleen op het bed strooien.

Uit voorgaande blijkt dat het gebruik van bestaande GB-systemen in aardappel, prei, tulp en hyacint al N-gift besparingen tot maximaal 75 kg N ha⁻¹ tot gevolg heeft gehad (en daarmee een vermindering van potentiële N-verliezen tot 40 kg N ha⁻¹), en dat verdere verbeteringen zoals genoemd in tabel 3 mogelijk nogmaals tot een N-gift besparing in dezelfde orde van grootte kunnen leiden. De werkelijke besparing hangt verder sterk af van het gewas, de bodem en het (weer)jaar.

Een aantal van de geteste GB-systemen is nog niet klaar voor gebruik of lijkt minder geschikt: De SPAD-meter gaf te lage adviezen, waaruit we concluderen dat dit systeem nog niet klaar is voor gebruik

³ 175 kg N ha⁻¹ minus Nmin (laag 0-30 cm) op zand met laag organisch stofgehalte gesplitst in 4-6 keer

in de praktijk. Verbeteringen zijn mogelijk door verbetering van normlijnen en aanpassingen van de over- en onderschrijdingskansen bij een bepaalde verwachte opbrengst, en eventueel combinatie met omgekeerde vensters.

De combinatie van omgekeerde vensters met CropScan lijkt ook perspectief te hebben in tulp en hyacint en zou ook kunnen werken in prei. Echter, de bemestingsniveaus van het omgekeerde venster, de regelmaat van metingen en het genereren van de bijmestadviezen met behulp van een venster moet nog verder ontwikkeld worden.

Een gewoon venster in aardappel bleek wel gebruikt te kunnen worden om een idee te krijgen van het aandeel van mineralisatie in de bodem-N-levering voor aardappel, maar niet om tijdig een bijmestadvies te genereren, omdat de tekening van een venster een te laag onderscheidend vermogen heeft.

Aspecten die nog te weinig meegenomen worden in de bepaling van N-gift hoogte (vraag naar hoeveel) zijn 1) de doorwortelde bodemdiepte en de N-voorraad daarin, 2) een schatting/berekening van N-verliezen en 3) het werkelijke verschil en de oorzaken van het gat tussen N-opname en N-behoefte. Hiermee hangt waarschijnlijk samen dat de de N-buffers gehanteerd in NBS bodem of de N-veiligheidsmarges gebruikt in de praktijk veelal natte vingerwerk zijn.

Aan de andere kant mag niet uit het oog worden verloren dat enige onzekerheid altijd zal blijven bestaan, alleen al vanwege de onvoorspelbaarheid van het weer en de vele invloeden daarvan op stikstof in de bodem en het gewas.

6 Hoe stel ik mijn eigen GB-systeem samen

Het mag inmiddels duidelijk zijn dat een GB systeem is opgebouwd uit meerdere onderdelen en dat de meest passende combinatie van onderdelen verschillen per situatie, waarin een situatie een combinatie is van bodem en gewas/teelt.

Onderstaand schema geeft een serie vragen, die, wanneer beantwoord voor een specifieke situatie perceel x gewas/teelt leiden tot praktische toepassingsmogelijkheden (GB onderdelen) die samen een op die specifieke situatie toegespitst GB-systeem opleveren.

Gebruiksaanwijzing

De startvraag naar homogeniteit van het perceel in de horizontale kolom bovenaan is nodig om te bepalen of een perceel plaats specifiek bemest moet worden of dat een perceelsgemiddelde bemesting kan volstaan. Voor zowel plaats specifiek bemesten als voor een perceelsgemiddelde bemesting gelden daarna in principe dezelfde vragen, gevolgen en toepasbare GB onderdelen in de drie kolommen. Het enige verschil is dat in plaats specifiek bemesten de antwoorden op die vragen van plek tot plek kunnen verschillen, terwijl in perceelsgemiddelde bemesting de gemiddelde situatie van het hele perceel wordt genomen als uitgangspunt.

De vragen 1 t/m 7 in de eerste kolom "Vragen naar situatie perceel en gewas" moeten alle 7 beantwoord worden met "ja" of "nee".

Ieder antwoord "ja" of "nee" op alle zeven vragen leidt tot 1 of 2 directe gevolgen genoemd in de tweede kolom.

Die gevolgen leiden direct naar passende praktische trucs uit het Geleide Bemestings arsenaal in de kolom "Toepasbaar GB onderdeel". Na langslopen van alle vragen, bijbehorende gevolgen en toepassingen ontstaat er zo een lijstje van toepasbare GB onderdelen, die samen tot een op de situatie toegespitst GB systeem kunnen worden gemaakt.

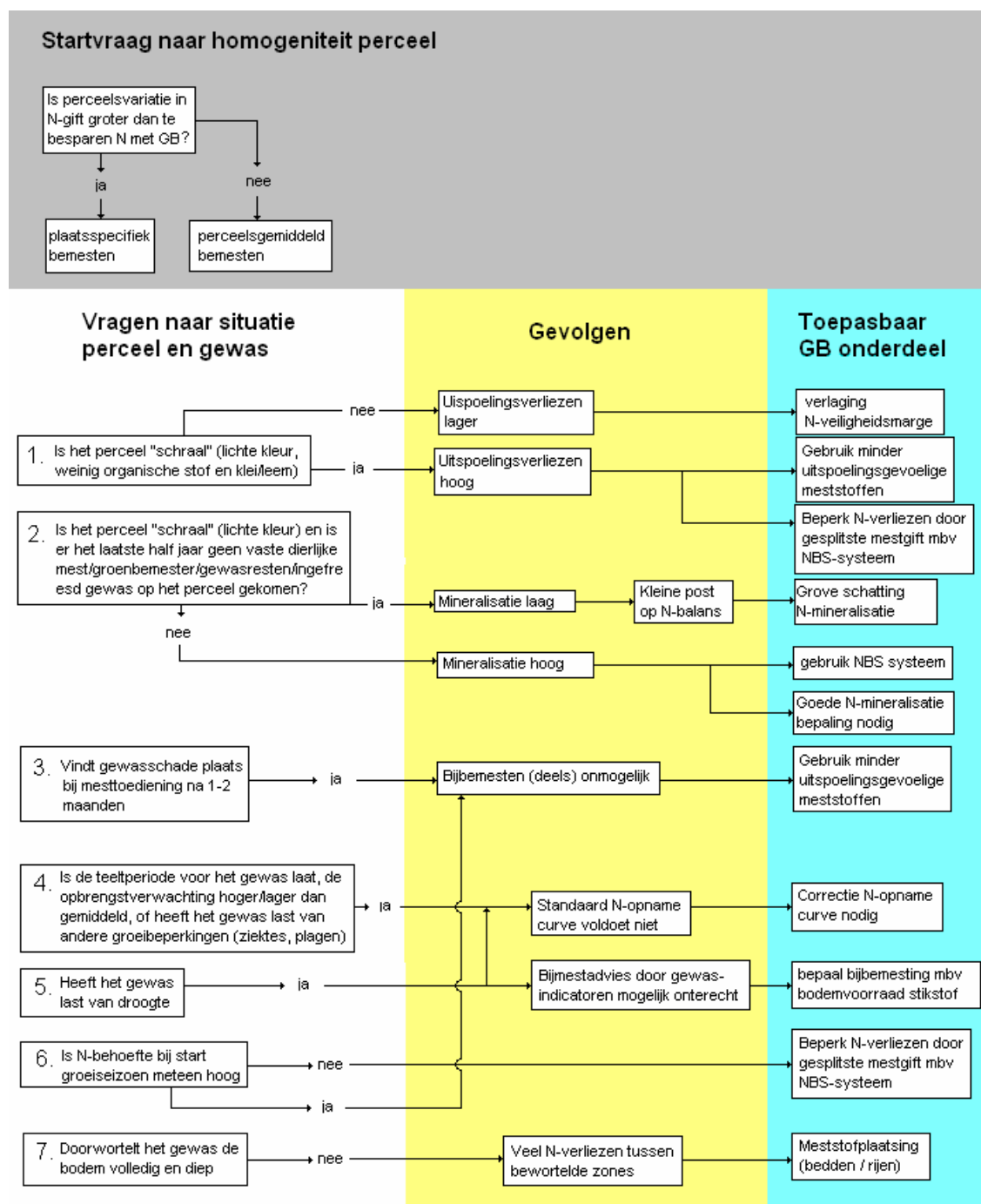
Voorbeeld

Ik heb een homogeen schraal perceel, waar wel kort geleden een mislukt gewas is ingefreesd en waarop ik nu een late prei teelt wil starten.

Antwoord op de startvraag "Is perceelsvariatie groter dan te besparen N met GB" is "nee", het perceel is homogeen genoeg om perceelsgemiddeld te kunnen bemesten.

Vragen naar situatie p & g	Gevolgen	Toepasbare GB onderdelen
1: "ja"	Uitspoelingsverliezen hoog	Gebruik minder uitspoelingsgevoelige meststoffen meerdere kleine mestgiften
2: "nee" (wel ingefreesd gewas in laatste half jaar)	Mineralisatie hoog	Gebruik NBS met N-levering-bodem door de tijd Nauwkeurige N-mineralisatie bepaling nodig
3: "nee"		
4: "ja" late teeltperiode	Standaard N-opnamecurve fout	Kies opnamecurve voor late preiteelt of corrigeer N-opnamecurve (hoger in beginperiode lager in eindperiode)
5: antwoord tijdens teelt		
6: "nee"		Beperk N-verliezen door gesplitste mestgift mbv NBS-systeem
7: "nee"	Veel N-verliezen tussen de bewortelde zones	Meststofplaatsing (rijen)

Figuur 3. Hoe stel ik mijn eigen Geleide Bemestingsstelsamen?



Twee mogelijke GB-systemen voor deze situatie samengesteld uit de onderdelen in de laatste kolom zijn:

1. Gebruik van een NBS-systeem met meerdere kleine mestgiften, keuze voor NBS-bodem om N-levering bodem door de tijd (ivm ingefreesd gewas) met een correctie van de standaard opnamecurve (laat gewas heeft hogere opname bij start en lagere N-opname aan eind teeltperiode), meststofplaatsing niet mogelijk ivm gevolgen voor NBS-bodem.
2. Gebruik van een NBS-systeem met meerdere kleine giften, keuze voor NBS-gewas (Crop-Scan) om standaard N-opnamecurve uit NBS-bodem te vermijden, aangevuld met nauwkeurige N-mineralisatie bepaling ivm ingefreesd gewas en meststofplaatsing van eerste gift(en) naast rijen, om N-uitspoeling tussen bewortelde zones tegen te gaan.

7 Conclusie

Een geleid bemestingssysteem is een combinatie van technieken die het mogelijk maken om stikstof meststof toe te dienen zodanig dat het N-aanbod zo goed mogelijk in overeenstemming is met de N-opname en de N-behoefte van het gewas. Het doel van geleide bemestingssystemen is om te komen tot lagere N-giften en N-verliezen bij gelijkblijvende opbrengst (kwantitatief en kwalitatief) ten opzichte van de huidige standaard bemestingssystemen (éénmalige adviesgift voor aardappel, in drieën gesplitste adviesgift voor prei en NBS-bodem voor hyacint en tulp).

De geteste GB-systemen gaven antwoord op één of meer van de volgende vragen:

- Waar bemesten?
- Wanneer hoeveel bemesten?
- Wat en hoe bemesten?

Waar bemesten:

In tulp en hyacint bleek beddenbemesting een besparing in N-gift op te kunnen leveren tot 35 kg N ha⁻¹, vooral wanneer de technische problemen met precies op het bed strooien opgelost worden.

Hoeveel en wanneer bemesten:

In aardappel leidden vooral de NBS-gewassystemen (bladsteeltjesmethode, CropScan, en Altic-gewasmonitoring) tot een N-gift besparing tussen 30-70 kg N ha⁻¹ met behoud van opbrengst. In prei bespaarde de CropScan methode 50 kg N ha⁻¹ op de N-gift zonder verschil in opbrengst, en in tulp en hyacint bespaarde de CropScan methode 30-35 kg N ha⁻¹, maar alleen door nul-giften te adviseren. Onzeker is nog of de CropScan methode een werkelijk passend bijmest advies zou kunnen geven in bloembollen.

Wat/Hoe bemesten:

Gebruik van langzaamwerkende meststoffen of fertigatie leidde tot nu toe niet tot besparingen in N-gift en/of in verlaging van het potentiële N-verlies, maar fertigatie leidde wel tot kwaliteitsverhoging van hyacint.

Wanneer twee GB-systemen antwoord geven op een verschillende vraag in hetzelfde gewas kunnen deze twee gecombineerd worden (bv beddenbemesting en CropScan in bloembollen). Wanneer twee GB-systemen antwoord geven op dezelfde vraag in hetzelfde gewas, moet de meest geschikte voor de betreffende situatie (gewas x teeltperiode x bodem) gekozen worden.

Een geleid bemestingssysteem is opgebouwd uit meerdere onderdelen. De manier van combineren van belangrijke onderdelen en het succes daarvan hangt sterk af van i) bodem, ii) gewas en iii) teeltperiode. Verschillen tussen bodems, die invloed hebben op N-mineralisatie en N-verliezen bepalen hoe de N-levering is ten opzichte van een gemiddelde of ten opzichte van de N-levering die is afgeleid van N_{min} metingen. Soort gewas bepaald het N-opnamepatroon, de (on)mogelijkheden voor N-bijmest-systemen (NBS) en voor meststof plaatsing. Teeltperiode beïnvloedt het N-opnamepatroon evenals de bodem N-levering. Het samenstellen van een passend systeem voor een specifieke situatie kan naar aanleiding van Figuur 3. De opbouw van GB-systemen uit onderdelen veroorzaakt dat een GB-systeem niet optimaal werkt wanneer één van de onderdelen fout is. Correctie van zo'n fout onderdeel kan het hele betreffende GB-systeem veranderen van een slecht naar een goed functionerend systeem. Dit bleek het meest duidelijk uit het gebruik van verouderde N-opnamecurves in NBS-bodem voor aardappel. Met de huidige N-opnamecurve van NBS-bodem werd tot 40 kg N ha⁻¹ meer gegeven dan bij een éénmalige adviesgift. Een juiste N-opnamecurve zou naar schatting een besparing van 30-40 kg N ha⁻¹ opleveren ten opzichte van een éénmalige adviesgift.

Uit de proeven bleek verder dat bepaalde combinaties van verschillende systemen of aanvullingen op onderdelen van systemen nog tot een duidelijke besparing in de N-gift zouden kunnen leiden, zonder negatief effect op de opbrengst:

- In NBS-bodem moeten niet alleen de N-opnamecurves bijgesteld worden, maar kan een gewasgroei voorspelling / opbrengstverwachting aangeven hoe hoog de totale N-opname komt te liggen.
- In de NBS-gewas systemen inclusief CropScan (wanneer gebruik wordt gemaakt van normlijnen) is meting van N-levering bodem nodig wanneer die naar verwachting hoger (of lager) ligt dan het gemiddelde (waarop de normlijnen zijn geijkt), om een te hoog (of te laag) bijmest advies te vermijden.
- Als CropScan gecombineerd wordt met omgekeerde vensters is het voorgaande van minder belang, maar moet vensterniveau en tijdstip van venstermetingen in de verschillende gewassen nog gepreciseerd worden.
- Bij inschatting van bodem-N-levering voor NBS-bodem of in combinatie met NBS-gewassystemen, kan bepalen van de werkelijke worteldiepte nog tot N-gift besparingen tot 100 kg N ha⁻¹ leiden, in het geval dat het gewas dieper wortelt dan de standaard bodemlaag en er onder die standaard bodemlaag nog veel stikstof beschikbaar is.
- Bij inschatting van bodem-N-levering voor NBS-bodem of in combinatie met NBS-gewassystemen, kan voorspellen van N-mineralisatie nog tot N-gift besparingen leiden, vooral op hoog mineraliserende bodems.

Wanneer een perceel zo heterogeen is dat plaats specifieke bemesting nodig is, blijven de meeste van de bovenstaande conclusies van kracht, en geldt iedere 'plek' binnen het perceel als eenheid. Pleksgewijs bemesten kan dan waarschijnlijk nog leiden tot verdergaande besparingen op de N-gift zonder tot opbrengstderving te leiden, maar de hoogte van deze mogelijke besparing is nog onbekend en zal afhangen van de mate van heterogeniteit van een perceel.

Verdere detail-conclusies zijn te vinden in de grijze kaders aan het eind van elk hoofdstuk.

Referenties

- Booij R., Uenk D., Lokhorst C. en Sonneveld C., 2001. Monitoring crop nitrogen status in potatoes, using crop light reflection. In: G. Grenier, S. Blackmore and J. Steffe (eds.), Proceedings 3rd European Conference on Precision Agriculture, 893-897.
- Dijk W. van en Brouwer G., 1998. Nitrogen recovery and dry matter production of silage maize (*Zea mays* L.) as affected by subsurface band application of mineral nitrogen fertilizer. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46, 139-155.
- Erp P.J. van en Titulaer H.H.H., 1992. Rijenbemesting in de akkerbouw met vollegrondsgroenteteelt. *Meststoffen* 1992, 10-15.
- Evereaarts A.P. en Moel C.P. de, 1998. The effect of nitrogen and the method of application on yield and quality of white cabbage. *European Journal of Agronomy* 9, 203-211.
- Geel W.C.A. van, 2003. Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen in de teelt van prei, jaarrapport 2002. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, projectrapport nr. 510168, 44 p.
- Geel W.C.A. van en Wijnholds K.H., 2003. Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen bij de teelt van zetmeelaardappelen, jaarrapport 2002. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, projectrapport nr. 510168, 54 p.
- Geel W.C.A. van, Wijnholds K.H. en Grashoff C., 2004. Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen bij de teelt van zetmeelaardappelen 2002-2003. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, projectrapport nr. 510168, 81 p.
- Geel, W.C.A. van en Meurs E.J.J., in prep. Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen in de teelt van prei, 2002-2003.
- Jansen B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition of 'young' soil organic carbon. *Plant & Soil* 76, 297-304
- Lokhorst K., Dekker P., Grashoff K., Guiking T. en Riet S. van 't, 2003. Perspectieven geleide bemesting in de open teelten: van deskstudie naar onderzoek. *IMAG Nota* 2003-51, 47 p.
- Meurs E.J.J. en Booij R., 2003. Stikstofbijbemesting in prei op basis van CropScan: milieukundige en landbouwkundige potentie, fase II. *Plant Research International Nota* 240, 30 p.
- Uenk D., Bouman B.A.M. en Kasteren H.W.J. van, 1992. Reflectiemetingen aan landbouwgewassen. *CABO-DLO verslag* 156.
- Uenk D., Grashoff C. en Booij R., 2003. Stikstofbemesting op aardappelen op basis van omgekeerde N-vensters in combinatie met CropScan, jaarrapport 2002. *Plant Research International, Nota* 266 Oktober 2003, 20 p.
- Uenk D., Grashoff C. en Geel W. van, 2004. Stikstofbemesting op aardappelen op basis van omgekeerde N-vensters in combinatie met CropScan, afrondend rapport over de proefjaren 2002 en 2003. *Plant Research International, Nota* September 2004, 32 p.
- Vlaming-Kroon E.A.C. en Dam A.M. van, 2003a. Vergelijking van geleide stikstofbemestingssystemen in tulp 2002-03. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Sector Bloembollen, project 33072420, 15p.
- Vlaming-Kroon E.A.C. en Dam A.M. van, 2003b. Vergelijking van geleide stikstofbemestingssystemen bij hyacint 2001-02, broei 2003. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Sector Bloembollen, project 33072420, 13p.
- Wees N.S. van, Kuijstermans A.J.W.M., Bruin P.N.A. en Dam A.M. van, 2003. Vergelijking geleide bemestingssystemen bij tulp. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Sector Bloembollen, project 33072420, 38p.
- Wees N.S. van, Bruin P.N.A., Dam A.M. van en Kuijstermans A.J.W.M., 2004. Vergelijking geleide bemestingssystemen bij hyacint 2002-2003, afbroei 2004. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Sector Bloembollen, project 33072420, 37 p.
- Wood C.W., Reeves D.W., Duffield R.R. en Edmisten K.L., 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. *Journal of Plant Nutrition* 15: 487-500.

