



Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond

Deel 1a: Deskstudie

Willem van Geel, Brigitte Kroonen-Backbier en David van der Schans (PPO-AGV)
Jan Ties Malda (ALTIC)



Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond

Deel 1a: Deskstudie

Willem van Geel, Brigitte Kroonen-Backbier en David van der Schans (PPO-AGV)
Jan Ties Malda (ALTIC)

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. 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 DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondgroenten.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 439; € 15,-

Dit onderzoek is uitgevoerd voor het **Masterplan Mineralen Management** in opdracht van en gefinancierd door:



Productschap Akkerbouw
Stadhoudersplantsoen 12
2517 JL Den Haag
Postbus 29739
2502 LS Den Haag

Projectnummer: 32 502173 00

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

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

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	11
2 STIKSTOFBEHOEFTE VAN AARDAPPEL	13
2.1 Effect van stikstof op opbrengst en kwaliteit	13
2.2 Stikstofopname en -benutting door aardappel	14
2.2.1 Stikstofbenutting van aardappel	14
2.2.2 Bodem en beworteling	14
2.2.3 Hoogte van de stikstofgift.....	15
2.2.4 Overige stikstofbronnen	18
2.2.4.1 Aanvoerposten	18
2.2.4.2 Verliesposten.....	20
2.2.5 Rekenvoorbeeld N-balans	20
2.2.6 Stikstofopname(patroon)	21
2.3 Rasverschillen in stikstofbehoefte.....	24
3 STIKSTOFBEMESTINGSSYSTEMEN VOOR AARDAPPEL	27
3.1 Stikstofbemestingsrichtlijnen	27
3.2 Stikstofdeling	28
3.3 Stikstofbijmestsystemen.....	29
3.3.1 NBS-bodem	29
3.3.2 Bladsteeltjesmethode	30
3.3.3 Aardappelmonitoring	33
3.3.3.1 Klassieke methode.....	33
3.3.3.2 Aardappelmonitoring Online	33
3.3.3.3 Altic-proeven.....	34
3.3.4 Gewasreflectiemeting.....	35
3.3.4.1 CropScan-methode	36
3.3.4.2 CropScan-methode met omgekeerde N-vensters	38
3.3.4.3 Vertaling naar en bruikbaarheid van andere gewasreflectiesensoren	38
3.4 Vergelijking van N-bijmestsystemen in proeven	39
3.5 Praktijkervaringen N-bijmestsystemen.....	44
3.5.1 Bladsteeltjes.....	45
3.5.2 N-sensor	47
3.5.3 Satellietbeelden	48
3.6 Variabel bijbemesten binnen het perceel	48
3.7 Verdere ontwikkeling NBS-gewassensing	49
4 TOEDIENINGSMETHODE EN MESTSTOF	51
4.1 Effect van toedieningsmethode	51
4.1.1 Stikstofrijenbemesting.....	51
4.1.2 Bladbemesting met stikstof	52
4.1.3 Fertigatie met stikstof	53
4.2 Effect van meststof.....	54
4.2.1 Stikstofwerking van organische mest	54
4.2.2 Alternatieve meststoffen voor KAS	56

5	BEVINDINGEN EN AANBEVELINGEN	61
	LITERATUUR.....	67
BIJLAGE 1.	MEERJARIGE RELATIE TUSSEN NITRAATGEHALTES EN (NIET OPGEVOLGDE) ADVIEZEN IN HET SEIZOEN EN DE GEREALISEERDE OPBRENGST EN N-AFVOER.....	71
BIJLAGE 2.	EFFECTEN VAN STIKSTOFBEMESTING VIA DE BODEM OF VIA HET BLAD	79
BIJLAGE 3.	HANDLEIDING VOOR DE TOEPASSING VAN SENSORGESTUURDE N-BIJBEMESTING	85

Samenvatting

Inleiding

In opdracht van het Productschap Akkerbouw heeft PPO-AGV i.s.m. Altic voor het Masterplan Mineralen Management (MMM) een literatuurstudie uitgevoerd naar de stikstofbenutting van aardappel, de proefresultaten van bijmestsystemen en –strategieën voor aardappel en de mogelijkheden om bestaande bemestingssystemen te verbeteren dan wel om nieuwe bemestingssystemen en –strategieën te ontwikkelen. Deze literatuurstudie is de eerste fase van een project waarin is voorzien om verbeterde of nieuwe bijmestsystemen te testen in tweejarige veldproeven op zand- en lössgrond in het Zuidoosten. De meest perspectiefvolle systemen worden daarna getoetst en gedemonstreerd op praktijkpercelen. De doelstelling van MMM is om verliezen van nutriënten naar bodem, water en lucht in de akkerbouw sterk terug te dringen. De stikstofbenutting door aardappel is matig tot vrij slecht als gevolg van:

- gewaseigenschappen, waaronder een zwakke beworteling en het stikstofopnamepatroon;
- een (te) hoge stikstofgift.

Stikstofbenutting door aardappel

Van de toegediende (werkzame) stikstof aan aardappel via meststoffen wordt vaak niet meer dan 50% teruggewonnen via de geogste knollen. De rest blijft achter op het veld, deels in de gewasresten. Een hoger stikstofoverschot gaat gepaard met een hogere N_{min} in de bodem na oogst.

Hoewel de stikstofbenutting van aardappel overwegend matig is, laten resultaten uit diverse onderzoeken zien dat er wel verschillen zijn tussen percelen en jaren en dat het mogelijk is een hogere benutting te behalen, tot ca. 60% van de toegediende (werkzame) stikstof op basis van de N-opname in de knollen. De N-benutting door het aardappelgewas heeft aanmerkelijke invloed op de benodigde stikstofgift. Door een hogere N-benutting is minder stikstof nodig en is het stikstofoverschot lager.

Voorwaarden voor een goede benutting van stikstof (en andere nutriënten) zijn een goed en diep bewortelbaar bodemprofiel (zowel in de diepte als in de breedte), een goede vochtvoorziening van het gewas en een goede bodemgezondheid. Een goede N-benutting in de aardappelteelt vraagt dus op de eerste plaats om een goede bodemkwaliteit. Bodemkwaliteit staat momenteel sterk in de belangstelling en er lopen meerdere projecten gericht op handhaving of verbetering van bodemkwaliteit

Consumptieaardappel neemt in de regel na begin augustus en zetmeelaardappel na half augustus (vrijwel) geen stikstof meer op. De mineralisatie van stikstof in de bodem gaat dan echter nog volop door. De stikstof die vrijkomt door mineralisatie in de periode nadat de gewasopname stopt tot aan de oogst, hoopt zich op in de bodem en leidt tot een verhoogde N_{min} bij oogst. Hier is door bemestingsmaatregelen tijdens de aardappelteelt niets aan te doen.

De mogelijkheden van na-oogstmaatregelen zijn beperkt. Het grootste deel van het aardappelareaal wordt te laat geogst (na half september) om nog een effectief stikstofvanggewas te kunnen inzetten.

Het verlagen van de bodemmineralisatie door geen organische mest meer aan te voeren (uitmijnen), leidde in meerjarig onderzoek op zuidoostelijk zand gemiddeld tot ca. 20% reductie van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater, maar ook tot een lagere organische-stofaanvoer en op 1/3 deel van de percelen tot opbrengstderving. Ingrijpen in de organische-stofvoorziening is daarom geen goede oplossingsrichting.

Stikstofbehoefte

Wat een optimale stikstofgift is voor aardappelen, verschilt per situatie en is van veel factoren afhankelijk. Het varieert ruwweg van minder dan 100 kg N per ha tot 300 kg N per ha. Het is afhankelijk van het teeltdoel, de daarmee samenhangende kwaliteitseisen, het ras, het gewenste oogstmoment, het opbrengst-niveau, het stikstofaanbod uit andere bronnen dan bemesting en de stikstofbenutting door het gewas. Het stikstofaanbod uit andere bronnen betreft: de N_{min}-voorraad in de wortelzone bij aanvang van de teelt, depositie van stikstof, mineralisatie van stikstof tijdens de teelt uit de bodem-organische stof en uit ingewerkt vers organische materiaal als gewasresten en groenbemesters. Met name mineralisatie is een grote aanvoerpost.

Verder kunnen er verliezen optreden tijdens de teelt door uitspoeling, denitrificatie en kan stikstof (tijdelijk) worden vastgelegd in de bodem, waardoor het niet beschikbaar is voor het gewas. Deze processen verlagen de stikstofbenutting door het gewas, naast een slechte bodemstructuur en bodemgebonden ziekten en plagen die het wortelgestel aantasten.

Tussen verschillende aardappelrassen bestaan aanmerkelijke verschillen in stikstofbehoefte, die deels samenhangen met vroegrijpheid. Vroegrijpende rassen die bestemd zijn voor late oogst, krijgen extra stikstof om het loof langer groen c.q. productief te houden. Laatrijpende rassen blijven uit zichzelf langer groen en mogen zelfs niet teveel stikstof krijgen, omdat ze anders te laat afrijpen, met nadelige gevolgen voor de opbrengst en kwaliteit. De verschillen in stikstofbehoefte tussen rassen lopen op tot meer dan 100 kg N per ha, maar voor het grootste deel van het aardappelareaal bedragen ze niet meer dan ca. 50 kg N per ha.

Een lagere N-behoefte hoeft niet samen te gaan met een lager opbrengstniveau. Een laat ras krijgt een lagere gift, maar kan door een langere groeiperiode een even hoge of zelfs hogere knolopbrengst bereiken. De rassenkeuze van aardappel wordt echter niet alleen bepaald door vroegrijpheid, maar veeleer door andere gewenste eigenschappen, die verband houden met teeltdoel en specifieke kwaliteitseisen, grondsoort, bewaarbaarheid, resistenties tegen ziekten en plagen en beregeningsmogelijkheden. Het verdient aanbeveling om na te gaan of door veredeling rassen kunnen worden ontwikkeld die een lage N-behoefte en hoge productie combineren met andere gewenste eigenschappen en in hoeverre daardoor het stikstofverlies in de aardappelteelt kan worden verminderd.

Een (te) hoge stikstofgift leidt tot een onnodige verhoging van het stikstofoverschot, een lagere stikstofbenutting en kan ook nadelig effect hebben op de kwaliteit en de opbrengst. Verder maken de krappe N-gebruiksnormen voor zand en löss het noodzakelijk om zo efficiënt mogelijk met stikstof om te gaan om opbrengstderving zo veel mogelijk te beperken.

Het is hierbij zaak om zo goed mogelijk perceelsgericht te bemesten. Door op percelen met een sterkere stikstoflevering te besparen op de stikstofgift, houdt men meer stikstof over om de schralere percelen wat extra te geven. Perceelsgerichte bemesting is mogelijk door een goede voorspelling van het N-leverend vermogen van de grond of door toepassing van N-bijmestsystemen.

Stikstofbemestingssystemen

Voor de verschillende teeltdoelen van aardappel en grondsoorten zijn stikstofbemestingsrichtlijnen opgesteld, die aangeven wat gemiddeld genomen een optimale N-gift is. Daarbij kan een rasafhankelijke correctie worden aangebracht en een korting op de gift voor de nalevering van stikstof uit ondergewerkte groenbemesters en gewasresten. Voor het overige moet men de berekende stikstofgift volgens de richtlijn aan de eigen situatie aanpassen op basis van ervaringen en kennis van percelen en gewassen.

Dat laatste kan lastig zijn, vooral op percelen met een hoge mineralisatie. Het is moeilijk te voorspellen hoeveel stikstof er precies mineraliseert en wanneer. Er zijn diverse indicatoren, gebaseerd op chemische meetmethoden, beschikbaar die een indicatie kunnen geven over de hoogte van het mineralisatieniveau van de bodem. Maar ze geven geen nauwkeurige voorspelling van de te verwachten mineralisatie.

Op percelen waar een hoge mineralisatie wordt verwacht (uit de bodemorganische stof of uit gewasresten, bijv. op gescheurd grasland), is het zinvol een stikstofbijmeststelsel (NBS) te gebruiken. Dit geldt ook na een basisbemesting met dierlijke mest in het voorjaar.

Bij toepassing van een N-bijmeststelsel wordt de stikstofgift gedeeld. Veelal wordt 50-70% van de gift volgens de stikstofbemestingsrichtlijn als basisbemesting vóór poten gegeven en wordt later tijdens het groeiseizoen bijbemest op basis van de stikstoftoestand van de bodem of het gewas.

Deling van de N-gift kan sowieso in perioden met een neerslagoverschot tijdens de teelt het stikstofverlies verkleinen en de N-benutting verhogen, met name op ondiep bewortelbare, uitspoelingsgevoelige gronden. De verschillende aardappelrassen kunnen echter verschillend reageren op deling, met zowel gunstig als ongunstig effect op de opbrengst. Bij toepassing van een N-bijmeststelsel is het daarom van belang om te weten hoe elk ras reageert op deling en hoe hoog de basisgift minimaal moet zijn.

Er zijn voor aardappel meerdere N-bijmestsystemen ontwikkeld:

Systeem	Bijbemesting op basis van
NBS-bodem	beschikbare minerale stikstof in de bodem en een standaard stikstofopnamecurve
Bladsteeltjesmethode	nitraatgehalte in de bladsteeltjes
Aardappelmonitoring	nitraatgehalte in de bladsteeltjes en het loofgewicht
Aardappelmonitoring Online	nitraatgehalte in de bladsteeltjes en het loofgewicht, dat wordt afgeleid van (remote) sensing-gegevens van het perceel. Er kan worden geanticipeerd op variaties binnen het perceel.
NBS op basis van gewassensing	stikstofinhoud van het gewas, afgeleid uit de lichtreflectie door het loof, gemeten met een gewasreflectiesensor (ontwikkeld met de CropScan-sensor)

Vergelijking N-bijmestsystemen in proeven

In 2002-2003 en 2009-2010 zijn verschillende N-bijmestsystemen voor aardappel met elkaar vergeleken in veldproeven op zand- en kleigrond. In die proeven zijn tevens vaste stikstoftrappen aangelegd, waaruit achteraf kon worden afgeleid wat onder de betreffende groeiomstandigheden een optimale N-gift was. Door de bank genomen deden de systemen niet veel voor elkaar onder qua nauwkeurigheid van advisering. Het wisselde per proef welk systeem het beste advies gaf en soms lagen de adviezen dicht bij elkaar. Meestal lag het advies op basis van gewassensing het dichtste bij de afgeleide optimale N-gift. Een NBS op basis van gewassensing presteerde dus minstens zo goed als andere N-bijmestsystemen, terwijl de methode minder arbeid kost, het snelste van alle systemen (direct na meting) een advies kan geven en de mogelijkheid biedt om variabel bij te bemesten binnen een perceel. Een NBS op basis van gewasreflectie-meting is daarom het meest perspectiefvol.

In het algemeen valt er aan de nauwkeurigheid van advisering door de bijmestsystemen nog wel wat te verbeteren. Indien een besparing mogelijk was ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn, gaven de bijmestsystemen dit meestal wel goed aan. Indien de optimale N-gift echter hoger was dan de richtlijn, gaven ze dit niet goed aan en gaven ze te lage adviezen.

Het gewassensingonderzoek is met de CropScan-sensor uitgevoerd. Deze sensor is echter te kwetsbaar voor gebruik in de praktijk. Er zijn verschillende typen "stikstof"-sensoren op de markt. Elk type sensor moet voor de gewasreflectiemethode worden geijkt. Voor de Yara N-sensor lijkt de sensing-methode op dit moment het meest praktijkrijp.

Praktijkervaringen met stikstofbijmestsystemen

Sinds de ontwikkeling van N-bijmestsystemen in de aardappelteelt, worden deze in meer of mindere mate toegepast in de praktijk. In diverse projecten (Telen met toekomst, Telen met toekomst bemesting, Landbouw Centraal) in de afgelopen 12 jaar, waarbij het doel was duurzame teeltsystemen met minder emissie te ontwikkelen en te stimuleren in de praktijk namen en nemen N-bijbemestingssystemen in het gewas aardappel een belangrijke plaats in.

Geleide bemesting in aardappel werd aangemerkt als een haalbare bemestingsstrategie, waarmee kon worden bespaard op de inzet van stikstof. Ten opzichte van standaardgiften is met geleide bemesting een besparing te halen tot 50 kg N per ha (Telen met toekomst bemesting 2008-2010). In een enkele situatie werd op basis van de metingen een hogere gift dan de standaardgift gegeven. Voorwaarde voor het optimaal toepassen van bijbemesting is wel dat er berekend kan worden. De animo voor deze arbeidsintensieve (plukken/verzamelen) methode was er met name doordat dit in projectverband werd uitgevoerd. Op eigen initiatief bleek dit maar voor een enkele teler weggelegd.

Door de deelnemers binnen de projecten werd wel aangegeven dat vanwege het vele werk (bladsteeltjes plukken en bemonsteren) geleide bemesting als niet algemeen uitvoerbaar wordt geacht voor de praktijk. Zoeken naar meer technische oplossingen zoals gewasmeting met de N-sensor en op basis daarvan bijbemesten, werd als een gewenste oplossing gezien. Op zandgrond is hiermee geëxperimenteerd. Gebruik maken van satellietbeelden is ook als optie aangemerkt om op een snelle wijze inzicht te krijgen in de stikstoftoestand van het gewas. De vertaalslag van de beelden naar wat de teler, eventueel in overleg met zijn adviseur, hiermee kan voor de bemesting in aardappel, is er nog niet. Deze techniek dient nog verder ontwikkeld te worden om de potentiële voordelen ook daadwerkelijk te kunnen benutten.

Plaatsspecifiek bijbemesten

Een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing kan in principe goed worden gebruikt om in te spelen op variatie binnen een perceel en plaatsspecifiek bij te bemesten. Die methode moet nog wel verder worden ontwikkeld. Enkel reageren op verschillen in gewasontwikkeling of N-inhoud door op plekken met een slechtere ontwikkeling meer stikstof te geven en op plekken met een goede ontwikkeling minder, leidt niet of nauwelijks tot een betere opbrengst of betere N-benutting. De gewasreflectie geeft weliswaar de toestand van het loof weer, maar geeft geen uitsluitsel over de precieze oorzaak van een achterblijvende loofontwikkeling op plekken binnen het perceel. Behalve stikstoftekort kan dit een gevolg zijn van vochttekort, bodemziekten, tekorten aan andere nutriënten of structuurgebreken. Voor een effectief gebruik van variabele bijbemesting zou eigenlijk eerst bekend moeten zijn wat binnen een perceel de pleksgewijze opbrengstpotentie is, zodat de streefwaarde voor de N-inhoud van het gewas hierop kan worden afgestemd. Dat kan tot een efficiënter gebruik van stikstof leiden.

Verbeterpunten NBS-gewassensing

N-bijmesting op basis van gewasreflectiemetingen is toepasbaar in de praktijk. Om de methode verder te verfijnen en breder toepasbaar te maken, is een aantal verbeterpunten te noemen.

De huidige ontwikkelde CropsCan-methode geeft pas een N-bijmestadvies bij $\geq 90\%$ grondbedekking. Dan wordt de uit de gewasreflectie afgeleide N-inhoud van het gewas vergeleken met een streefwaarde. Indien de N-opname onder de streefwaarde ligt, wordt een bijmestadvies gegenereerd. Meestal is dat rond 1 juli, maar bij een trage gewasontwikkeling in het voorjaar nog later.

Het zou wenselijk zijn als in een eerder stadium (bij begin knolzetting, juni) al een bijmestadvies kan worden gegeven. Een aanbeveling voor vervolgonderzoek is daarom om na te gaan of de streefwaarde op een vast moment kan worden vervangen door een normlijn voor het N-opnameverloop in de tijd. Door die normlijn uit te zetten tegen de temperatuursom, wordt rekening gehouden met koudere of warmere perioden en het effect daarvan op de gewasgroei en N-opname. Met zo'n normlijn is het misschien mogelijk om op een eerder tijdstip een achterblijvende (N-opname) vast te stellen en direct te reageren. Als de N-opname (nog) niet achterblijft t.o.v. de norm lijn, wordt in principe niet bijbemest en de volgende meting afgewacht. Zodra de gemeten N-inhoud onder de normlijn komt, volgt een bijmestadvies. De hoogte van dat advies is afhankelijk van de grootte van de afwijking ten opzichte van de normlijn.

Verder houdt de CropScan-methode geen rekening met verschillen in opbrengstpotentie tussen percelen. Bij een bovengemiddelde opbrengst moet het gewas ook meer stikstof kunnen opnemen. Het verdient daarom aanbeveling om de streefwaarde of streefopnamecurve afhankelijk te stellen van de opbrengstverwachting. Verder lijkt het logisch de streefwaarden te differentiëren voor rasverschillen qua N-behoefte, voor gebruiksdoel of grondsoort. Voor het opstellen van dergelijke gedifferentieerde streefwaarden is meer onderzoek nodig.

Een belangrijke vraag hierbij is hoe een hoge opbrengstpotentie en N-behoefte vroegtijdig kunnen worden herkend. Mogelijkheden daartoe zijn:

- Een inschatting vooraf op basis van in het verleden behaalde opbrengsten op het perceel. Afhankelijk van het groeiseizoen en de gewasontwikkeling in het voorjaar kan de opbrengstverwachting worden bijgesteld op het moment van bijbemesting.
- Een groeisimulatiemodel dat op basis van bodem- en klimaatgegevens het groeiverloop inschat. Dit is echter nog niet praktijkrijp en vraagt om nader onderzoek, dat buiten het bereik van dit project valt.
- Het gebruik van een omgekeerd N-venster. Dit zijn vensters die hoger worden bemest dan de rest van het perceel en als referentie met een ruim voldoende stikstofvoorziening fungeren. Uit eerder onderzoek is gebleken dat het gebruik van omgekeerd vensters in combinatie met gewasreflectie-meting perspectief biedt, maar dat nader onderzoek nodig is naar de juiste hoogte van de omgekeerde vensters en de afleiding van een bijmestadvies op basis van het verschil tussen de vensters en de rest van het perceel.

Voor de vertaling van gewasreflectiemeting naar stikstofinhoud van het gewas is een ijklijn opgesteld. Er is echter sprake van variatie rondom die ijklijn (afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde). Om de nauwkeurigheid van het systeem te verhogen is van belang om onderzoek te doen naar de factoren die deze variatie veroorzaken. Als deze kunnen worden onderscheiden en er rekening mee kan worden gehouden, kan dat de nauwkeurigheid van de schatting van de N-inhoud verhogen. Het zoeken naar deze factoren vraagt echter om vrij fundamenteel onderzoek. Dat valt buiten de reikwijdte van dit project.

Een ander aandachtspunt tot slot is de hoogte van de basisgift. Deze mag niet te krap mag zijn, afhankelijk van het ras en de groeiomstandigheden. Vooralsnog lijkt, op basis van de in 2009 en 2010 uitgevoerde proeven, een basisgift van 150 kg N per ha meestal te voldoen, maar op een N-arme grond kan misschien beter een wat hogere basisgift worden gekozen (ca. 175 kg N per ha) om een vroegtijdig N-tekort te voorkomen.

Als vervolg op deze literatuurstudie zullen in een opvolgend rapport in 2011 de hierboven gedane voorstellen tot verbetering van een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing nader worden uitgewerkt en wordt een plan van aanpak opgesteld om een aantal verschillende mogelijkheden in veldproeven te toetsen.

Toedieningsmethoden en meststoffen

Stikstofrijke bemesting kan tot een hogere benutting en besparing op de N-gift leiden op arme, zwak-mineraliserende, uitspoelingsgevoelige gronden en/of bij een slechte bodemstructuur. Op gronden met hoge bodemvruchtbaarheid en met name een hoog stikstofleverend vermogen lijkt het in aardappel geen perspectief te bieden om op stikstof te besparen. Rijenbemesting is derhalve een instrument om in te zetten voor specifieke groeiomstandigheden. Op percelen waar wordt ervaren dat het gewas structureel meer stikstof nodig heeft dan gemiddeld en/of dat de bodem weinig stikstof levert, kan worden nagegaan of N-rijenbemesting verbetering geeft.

Het toedienen van startgiften aan aardappel via rijenbemesting met vaste of vloeibare (N)P-meststoffen kan de begingroei van het gewas stimuleren en dit kan tot een hogere opbrengst leiden.

Stikstofbijbemesting via bladbespuitingen met urean is een (praktisch) alternatief voor bijbemesting met korrelmeststoffen, maar het verhoogt de stikstofbenutting doorgaans niet. Onder droge omstandigheden neemt het gewas de stikstof sneller op dan via de bodem. Bladbemesting kan dan worden toegepast om een acuut stikstofgebrek zo snel mogelijk op te heffen.

Fertigatie via druppelslangen heeft op de Nederlandse, vruchtbare gronden een beperkt effect. Het leidt tot een wat betere N-benutting en wat hogere opbrengst, maar niet afdoende om de hoge kosten van het systeem in de aardappelteelt terug te verdienen.

Bij gebruik van organische mest is het belangrijk dat de samenstelling van de mestpartij vooraf bekend is. De stikstofwerking van de mest kan men vooraf schatten op basis van vuistregels die zijn opgenomen in de adviesbasis bemesting. Dit betreft gemiddelde waarden, die afhankelijk van onder andere de weersomstandigheden kunnen variëren. Daarnaast kunnen de gemeten nutriëntengehalten in de mest afwijken van de werkelijke gehalten. Daardoor is bij gebruik van organische mest minder zeker dan bij gebruik van kunstmest hoeveel werkzame stikstof er precies is toegediend. Die onzekerheid is te ondervangen door na een basisbemesting met organische mest te corrigeren tijdens de teelt met kunstmest door toepassing van een N-bijmeststelsel.

Vloeibare meststoffen zijn nauwkeuriger te doseren en egaler te verdelen dan korrels, met name bij lage doseringen. De nutriënten in vloeibare meststoffen zijn sneller beschikbaar voor het gewas dan die in korrelmeststoffen en bij toediening onder droge omstandigheden leidt dat tot een hogere efficiëntie. Onder normale omstandigheden werken vloeibare meststoffen niet beter dan vaste meststoffen. Het gebruik ervan moet men laten afhangen van praktische voor- en nadelen en persoonlijke voorkeur.

De Cultan-methode in aardappel werkte in tweejarig onderzoek op klei niet beter dan KAS, noch kon er op de stikstofgift worden bespaard.

Uit een driejarige onderzoek naar een aantal alternatieve meststoffen/bemestingsmethoden op verschillende locatie en grondsoorten bleek dat de meerwaarde van de beproefde meststoffen/methoden voor het realiseren van de optimale opbrengst bij een verlaagde N-gift beperkt was. Een N-bijmeststelsel met KAS bood de beste mogelijkheden om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren.

Toevoeging van een nitrificatieremmer aan drijfmest gaf in dit driejarig onderzoek een wat hogere N-werking van de mest. Bij een gift van 170 kg N-totaal per ha via drijfmest zou daardoor ca. 10 kg N/ha op kunstmest kunnen worden bespaard.

Sinds enkele jaren is een nieuwe stroom stikstofhoudende meststoffen beschikbaar gekomen, die worden verkregen uit mestscheiding en -bewerking of uit luchtwassers. Na scheiding van drijfmest in een dikke en dunne fractie en concentratie van de dunne fractie ontstaat zogenoemd mineralenconcentraat (MC) dat wordt beoogd als kunstmestvervanger. Het bevat vooral minerale stikstof en kali, nauwelijks fosfaat en weinig organische gebonden stikstof. De nutriëntengehalten in MC variëren, afhankelijk van de producent. Bij emissiearme aanwending van MC als basisbemesting voor aardappelen werd in proeven een wisselende stikstofwerking gevonden, variërend van lager dan KAS tot gelijkwaardig aan KAS.

Spuiwater uit chemische luchtwassers is het best te vergelijken met de meststof zwavelzure ammoniak. Bij emissiearme toediening (wettelijk niet verplicht) is de N-werking naar verwachting gelijk aan die van KAS. Bij niet-emissiearme aanwending (bijvoorbeeld met de veldspuit) kan met name op kalkrijke gronden wat meer ammoniakvervluchtiging optreden en is de werking lager dan van KAS (naar schatting 90-95%). Naast stikstof wordt met de meststof zwavel aangevoerd. Spuiwater wordt in 2011 beproefd in aardappelen.

Aanbevelingen voor verdere ontwikkeling van bijmestsystemen en –strategieën:

De belangrijkste aanbevelingen voor vervolgonderzoek met betrekking tot het ontwikkelen van nieuwe bijmestsystemen en -strategieën zijn:

- Ga door met de verdere ontwikkeling/verbetering van een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing. Een N-bijmeststelsel biedt de beste mogelijkheid om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren. Een NBS op basis van gewassensing is het meest perspectiefvol.
- Onderzoek daarbij de mogelijkheid om eerder bijmestadviezen te kunnen geven door het opstellen van een normlijn voor het N-opnameverloop van het gewas uitgezet tegen de temperatuursom.
- Ga na of en hoe de streefwaarde of normlijn voor de N-opname door het gewas afhankelijk moet worden gesteld van het te verwachten opbrengstniveau. Onderzoek in dat verband ook de mogelijkheid van omgekeerde N-vensters als referentie.

1 Inleiding

Het Masterplan Mineralen Management (MMM) streeft naar een emissieneutrale akkerbouw in 2030 met behoud van rentabiliteit van teelten. De verliezen van nutriënten naar bodem, water en lucht mogen daarbij niet hoger zijn dan de emissie op onbemeste gronden. Als tussendoel moet de nutriëntenemissie naar grond- en oppervlaktewater in 2017 voldoen aan de normen die zijn gesteld in de Kaderrichtlijn Water en de EU-Nitraatrichtlijn.

Dit vraagt om een optimaal en efficiënt mineralengebruik. De benutting van mineralen door gewassen moet omhoog en (dientengevolge) het overschot en de verliezen omlaag. Om dit te bereiken moet de huidige kennis over efficiënte bemesting maximaal worden ingezet, maar is ook vernieuwing en innovatie van het mineralenmanagement nodig.

Één van de vijf hoofdthema's in het MMM is Timing en management van mineralen: voedingsstoffen op de juiste plaats, in de juiste hoeveelheid, in de juiste vorm en op het juiste moment voor de plant (het gewas) beschikbaar krijgen. Één van de vragen binnen dit thema is om nieuwe bijmestsystemen en –strategieën voor aardappel te ontwikkelen.

De stikstofbenutting door aardappel is matig tot vrij slecht. Het gewas laat bij oogst veel stikstof na in de bodem. Van Enckevort et al. (2002) vonden dat consumptieaardappel gemiddeld 95 kg N per ha nalaat in de bodemlaag 0-100 cm en zetmeelaardappel 57 kg N per ha. Voor suikerbiet bijvoorbeeld, vonden ze een gemiddelde N_{min} na oogst van 35 kg N per ha in de laag 0-100 cm. De N_{min} die na oogst achterblijft, kan in de herfst- en winterperiode uitspoelen of denitrificeren. Vooral op droge zandgronden en lössgronden (waar nauwelijks denitrificatie plaatsvindt) spoelt de stikstof gemakkelijk uit. Door de uitspoelingsgevoeligheid in combinatie met het relatief grote areaal draagt de aardappelteelt in belangrijke mate bij aan de overschrijding van nitraatnorm in het zand- en lössgebied in Nederland.

De oorzaken van de lage N-benutting bij aardappel zijn een gevolg van:

- gewaseigenschappen, waaronder beworteling en het stikstofopnamepatroon;
- een (te) hoge stikstofgift.

Het laatste is te vermijden door een zo goed mogelijke synchronisatie van vraag en aanbod van stikstof tijdens het groeiseizoen. De vraagkant betreft de gewasbehoefte. De aanbodkant bestaat uit de beschikbare N_{min} in de bodem bij aanvang van de teelt, depositie van stikstof uit de lucht en het vrijkomen van stikstof uit mineralisatie tijdens de N-opnameperiode van het gewas. Ook met stikstofverliezen tijdens de teelt door uitspoeling of denitrificatie en met immobilisatie van stikstof in de bodem moet rekening worden gehouden.

De krappe N-gebruiksnormen voor zand en löss maken het noodzakelijk om zo efficiënt mogelijk met stikstof om te gaan om opbrengstderving zo veel mogelijk te beperken. Het is hierbij zaak om zo goed mogelijk perceelsgericht te bemesten. Door op percelen met een sterkere stikstoflevering te besparen op de stikstofgift, houdt men meer stikstof over om de schralere percelen wat extra te geven. Perceelsgerichte bemesting is mogelijk door een goede voorspelling van het N-leverend vermogen van de grond of door toepassing van een stikstofbijmeststelsel

Het project “Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond” is verdeeld in drie fasen. In fase 1 (2011) wordt een deskstudie uitgevoerd naar:

- a. de oorzaken van de lage N-benutting bij aardappel, de mogelijkheden om dit te verbeteren en de knelpunten die zich hierbij voordoen;
- b. de resultaten die zijn bereikt in aardappel met systemen van geleide bemesting, precisiebemesting en plaats specifieke bemesting;
- c. de mogelijkheden om bestaande bemestingssystemen te verbeteren en om nieuwe bemestings-systemen en –strategieën te ontwerpen.

In fase 2 (2012-2013) worden veldproeven uitgevoerd op Zuidoostelijke zandgrond en op löss, waarin de verbeterde en nieuwe bemestingssystemen worden beproefd. In fase 3 (2014) worden de systemen die als perspectiefvol uit de veldproeven naar voren zijn gekomen (effectief en praktisch haalbaar), in demoproeven aangelegd op een aantal praktijkbedrijven op zand en löss.

Dit rapport gaat in op de punten a. en b. van de eerste fase (deel 1a). Punt c. komt aan de orde in een apart rapport dat eind 2011 wordt opgeleverd (deel 1b). In deel 1b worden verbeterde en/of nieuwe strategieën ontworpen en wordt een plan van aanpak opgesteld om de meest belovende strategieën te toetsen en te verbeteren door middel van veldproeven.

In hoofdstuk 2 van het voorliggende rapport wordt ingegaan op de stikstofbehoefte van aardappel en op de stikstofopname en –benutting. In hoofdstuk 3 worden de werkingsprincipes en resultaten van N-bijmest-systemen beschreven, inclusief de mogelijkheden daarbij van gewassensing en plaats specifieke bemesting. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de effecten van toedieningsmethode en meststof op de N-benutting bij aardappel. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd en worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek om verbeterde of nieuwe bemestingssystemen te ontwerpen.

Deze deskstudie heeft raakvlakken en/of enige overlapping met andere lopende MMM-projecten als:

- Nutriënten- en bodemmanagement ontsluiten
- Organische (nieuwe) meststoffen, (gewenste) samenstelling en werking
- Sturen van de N-mineralisatie met kennis over organische stof

2 Stikstofbehoefte van aardappel

2.1 Effect van stikstof op opbrengst en kwaliteit

Stikstof heeft grote invloed op de opbrengst, de sortering en kwaliteit van aardappel. De kwaliteitseisen zijn afhankelijk van het teeltdoel: bijvoorbeeld tafelaardappel, verwerking door de voedingsindustrie tot aardappelproducten (frites, chips enz.) of verwerking door de zetmeelindustrie. Stikstof bevordert de productie, maar teveel stikstof heeft negatieve invloed op de kwaliteit. Teveel stikstof verlaagt het onderwatergewicht (OWG), bevordert de vatbaarheid voor *phytophthora*, het optreden van groeischeuren en grauwkleuring na koken of voorbakken, leidt tot een hogere nitraatgehalte in de knollen en kan tot hogere bewaarverliezen leiden (Veerman, 2003; Veerman et al., 2006; Van Loon et al., 1995). Bij de verwerking tot voedingsproducten stelt de afnemer eisen aan het OWG (een boven- en ondergrens). Bij de zetmeel-aardappelteelt is de financiële opbrengst, naast de knolopbrengst, direct afhankelijk van het OWG van de knollen. Een hoger OWG leidt tot een hogere uitbetalingsprijs per kg knollen.

Door een hoog stikstofaanbod wordt meer loof gevormd, komt de knolgroei later op gang, blijft het loof langer groen en rijpt het gewas later af. De maximale groeisnelheid van de knollen wordt dan later bereikt. Ten opzichte van een matig stikstofaanbod, loopt de knolproductie in het begin van het groeiseizoen achter. Die achterstand wordt ingehaald vanaf het moment dat de productie van het matiger bemest gewas begint terug te lopen, terwijl het zwaarder bemeste gewas dan nog langer doorgroeit.

Een hoger stikstofaanbod leidt dus tot een later gewas. Voor de knolopbrengst van vroegrijpende rassen is dat gunstig. Het loof (productieapparaat) blijft langer in conditie, de productie gaat langer door en dat resulteert in een hogere knolopbrengst. Bij laatrijpende rassen kan een (te) hoog stikstofaanbod ertoe leiden dat het gewas te laat afrijpt. Met het oog op een tijdige oogst moet dan de gewasgroei worden beëindigd door doding van het nog groene loof. De knolopbrengst kan dan lager uitvallen omdat de herverdeling van assimilaten van het loof naar de knollen nog niet is voltooid. Ook is het OWG lager dan wanneer het gewas had kunnen uitgroeien. Om ervoor te zorgen dat laat rijpende rassen tijdig afrijpen, moet de stikstofgift worden gematigd. Ook voor aardappelen die vroeg worden geoogst (juli-augustus) moet de stikstofgift worden gematigd. De knolgroei komt dan eerder op gang en de knolproductie is vroeg in het seizoen hoger dan bij een hoog stikstofaanbod.

Een optimale stikstofvoorziening van het aardappelgewas houdt in dat de stikstofbemesting niet te laag mag zijn, maar ook niet te hoog. Wat een optimale stikstofgift is, loopt per situatie sterk uiteen en varieert ruwweg van minder dan 100 kg N per ha tot zo'n 300 kg N per ha. Het is afhankelijk van:

- het teeltdoel en de daarmee samenhangende kwaliteitseisen,
- het ras,
- het gewenste oogstmoment,
- bodemprocessen als mineralisatie, uitspoeling, denitrificatie en immobilisatie die mede (in belangrijke mate) het aanbod van stikstof bepalen,
- bodemkwaliteitseigenschappen als structuur, bewortelbaarheid en bodemgebonden ziekten en plagen die het wortelgestel aantasten.

Bij de teelt van een ras als Hansa voor de salade-industrie of de levering van geschilde aardappelen aan grootkeukenbedrijven zijn kleine knollen gewenst en is het advies om niet meer dan 150 kg N per ha te geven en vaak (bij een sterke mineralisatie) wordt niet meer dan 100 kg stikstof per hectare gegeven. Anderzijds hebben consumptieaardappelrassen met een hoge stikstofbehoefte die men laat wil oogsten (na 1 oktober) voor bijvoorbeeld levering af veld aan de verwerkende industrie, giften tot wel 300 kg N per ha nodig.

2.2 Stikstofopname en -benutting door aardappel

2.2.1 Stikstofbenutting van aardappel

De benutting van aan het gewas toegediende stikstof wordt vaak uitgedrukt door middel van de zogenoemde apparent nitrogen recovery (ANR) ofwel de terugwinningsindex van toegediende stikstof. De ANR wordt berekend als: $(N\text{-opname bemest gewas} - N\text{-opname onbemest gewas}) / N\text{-gift}$. De ANR kan worden afgeleid uit stikstofbemestingsproeven waarin ook niet met stikstof bemeste veldjes zijn opgenomen (nulveldjes). Voor de N-opname door het gewas kan worden uitgegaan van de totale gewasopname (in geoogst product en gewasresten) of alleen van de opname in het geoogste product. De ANR varieert per situatie en wordt beïnvloed door bodem- en gewasfactoren, de hoogte van de stikstofgift en de gewasverzorging. Neeteson (1989) leidde uit 98 stikstofproeven met aardappel, uitgevoerd in de periode 1973-1982, een ANR af van gemiddeld 33% op basis van N-opname in de knollen. De spreiding varieerde van ca. 5% tot ca. 65%, maar in ongeveer 90% van de gevallen was de ANR $\leq 50\%$. Uit twee aardappelproeven op kalkrijke zavelgrond in Flevoland in 1999 en 2000 (Van der Schoot et al., 2002) is een ANR afgeleid van gemiddeld 59% op basis van de N-opname in de knollen (en van 68% op basis van de N-inhoud van knollen + loof bij oogst). Uit vier zetmeelaardappelproeven op een zandgrond in Drenthe in 2002 en 2003 (Van Geel et al., 2004) is op basis van de N-opname in de knollen een ANR afgeleid van gemiddeld 55%.

Smit (1994) berekende voor diverse akker- en tuinbouwgewassen een stikstofbenuttingsindex (NBI). De NBI berekende hij als de verhouding tussen totale stikstofopname en de hoeveelheid beschikbare stikstof voor het gewas. Hij ging hierbij uit van een gemiddelde opbrengst en N-opname per gewas. Verder ging hij uit van een N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn voor het gewas en hield hij rekening met een gemiddelde N-mineralisatie. Voor aardappel berekende hij een NBI van 0,55. Ten opzichte van de NBI van andere gewassen was dit matig tot vrij laag te noemen. Voor wintertarwe bijvoorbeeld, berekende hij een NBI van 0,86, voor suikerbiet van 0,74 en voor uien en spinazie van 0,44.

Van 2005 tot 2009 is op proefboerderij Vredepeel (zuidoostelijke zandgrond) het project Nutriënten Waterproof (NWP) uitgevoerd (De Haan, 2005; De Haan & Van Geel, 2010). Voor de stikstofbemesting van de aardappelen in het bouwplan van NWP is gebruik gemaakt van stikstofbijmestsystemen om zo nauwkeurig mogelijk te bemesten. In NWP is ook de benutting van de totaal aangeboden werkzame stikstof berekend. De totaal aangeboden werkzaam stikstof betrof: de werkzame N uit meststoffen, de gemeten N_{min} na de winter en de berekende depositie en mineralisatie van N (uit bodem-organische stof en gewasresten) gedurende de N-opnameperiode van het gewas. De berekende N-benutting van aardappel op basis van totale gewasopname bedroeg gemiddeld 64% met een spreiding van 52% tot 75% (afhankelijk van perceel en jaar). Voor suikerbiet was dat gemiddeld 66% met een spreiding van 45% tot 94% en voor triticale was het gemiddeld 70% met een spreiding van 57% tot 84%. Op basis van alleen de N-opname in de knollen bedroeg de N-benutting van aardappel gemiddeld 52% met een spreiding van 42% tot 62%.

2.2.2 Bodem en beworteling

Één van de oorzaken van de matige stikstofbenutting door aardappel is een zwakke beworteling. Aardappel heeft een vrij zwak wortelstelsel, dat vaak niet dieper gaat dan 40 à 50 cm (Veerman, 2003). Geringe, in het bodemprofiel voorkomende verstoringen als verdichtingen in en onder de bouwvoor beperken al de wortelgroei (De Smet, 1982). Op verschillende gronden gaan de aardappelwortels zelfs niet dieper dan 30-35 cm, terwijl ze bij ongehinderde groei wel zo'n 120 cm diep kunnen gaan. Bij een ondiepe beworteling komt stikstof die onder natte omstandigheden uit de bouwvoor naar diepere bodemlagen spoelt, eerder buiten het bereik van de wortels.

Naast diepgang is het ook belangrijk dat het gewas de bodem in de breedterichting volledig en goed kan doorwortelen. Op plaatsen waar geen wortels komen, worden stikstof en andere nutriënten niet opgenomen en blijven onbenut in de bodem achter.

Een goed en diep bewortelbaar bodemprofiel is een eerste voorwaarde voor een goede benutting van vocht en nutriënten en een goede gewasgroei. Een slechte bodemstructuur dan wel bodemverdichting komt al vroeg in het groeiseizoen tot uiting in de bovengrondse gewasontwikkeling van aardappel: een tragere

loofgroei en langzamere grondbedekking. Verder leidt het tot een snellere afrijping en een lagere opbrengst.

Een goede vochtvoorziening van het gewas, heeft directe invloed op de productie maar beïnvloedt ook de nutriëntenbenutting. In een droge bodem zijn stikstof en andere nutriënten (met name fosfaat) moeilijk opneembaar voor het gewas. Verder worden de opname van vocht en nutriënten nadelig beïnvloed door aantasting van het wortelstelsel door bodemziekten en -plagen, met name aaltjes.

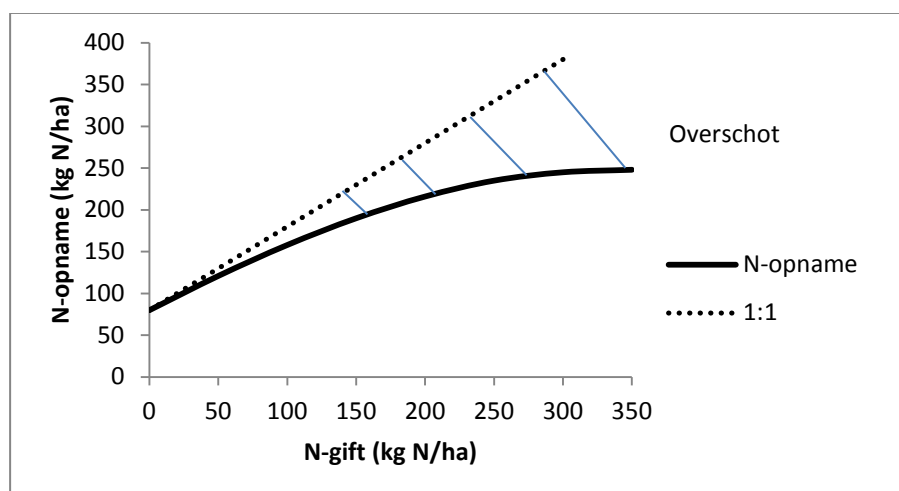
Effecten van een slechte structuur en/of aaltjesaantasting op de gewasgroei kunnen ten dele worden gecompenseerd door meer stikstof te geven. Echter, door de slechtere benutting en de hogere gift nemen het N-overschot en potentieel N-verlies sterk toe.

Volvoende beschikbaar fosfaat voor het gewas is ook van belang voor een goede stikstofbenutting. Fosfaat stimuleert de wortelgroei. Een optimale fosfaatvoorziening leidt tot een hogere N-opname en -benutting en een lager N-overschot (Van der Schoot et al., 2002). Fosfaatgebrek kan tot een slechtere N-benutting leiden, maar bij een goede fosfaattoestand van de bodem zal dit effect zich niet zo snel voordoen. Van der Schoot et al. (2002) vonden bij een $P_w > 35$ geen duidelijk effect op de N-opname en benutting. Op gronden met een lage fosfaattoestand en/of onder groeiomstandigheden dat de plant door een slechte wortelgroei het fosfaat moeilijk kan opnemen, zoals koude in het voorjaar of een slechte bodemstructuur is er risico van fosfaatgebrek aanwezig. Men kan dit risico ondervangen door een beperkte (start)gift fosfaat als rijenbemesting mee te geven bij het poten. Doordat het fosfaat geconcentreerd, vlakbij de wortels wordt gelegd, kunnen de jonge planten het goed en snel opnemen.

Voor een goede benutting van stikstof is het dus van belang dat het gewas de bodem goed kan doorwortelen, zowel in de breedte als in de diepte, dat de bodem voldoende vochtig is, dat het gewas over voldoende fosfaat kan beschikken en dat het zo min mogelijk hinder ondervindt van bodemziekten en plagen. Anders gezegd: een goede N-benutting vraagt om aandacht voor een goede bodemkwaliteit. Bodemkwaliteit staat momenteel sterk in de belangstelling en er lopen meerdere projecten gericht op handhaving of verbetering van bodemkwaliteit.

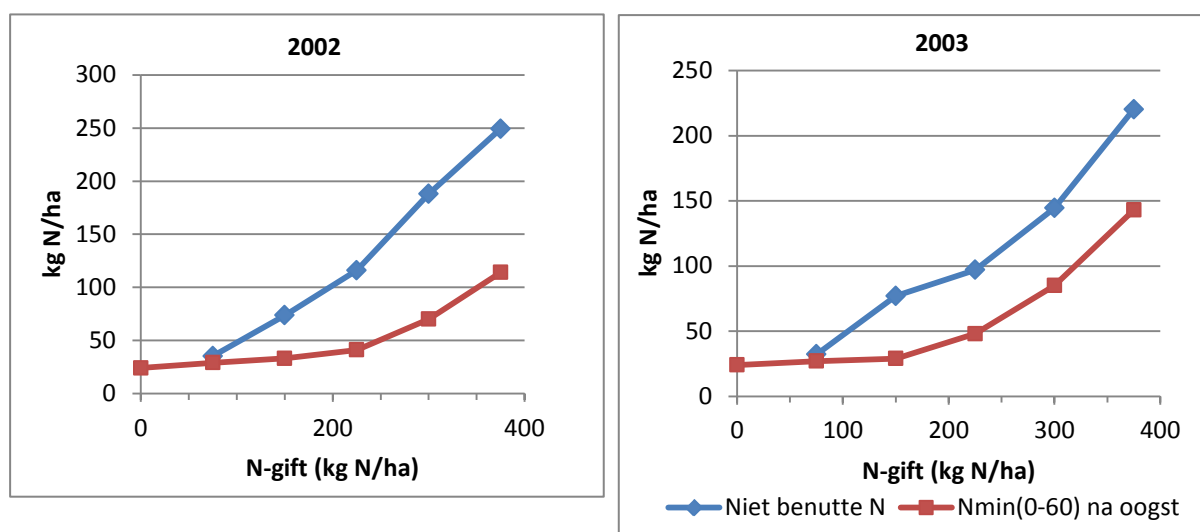
2.2.3 Hoogte van de stikstofgift

Bij een benutting van toegediende stikstof (ANR) van 50% op basis van de N-afvoer met de knollen, blijft de andere 50% van de toegediende stikstof achter op het veld. Absoluut gezien (in kg N per ha) is dat overschot bij hogere N-gift hoger dan bij lagere N-gift. Daar komt nog bij dat bij hoge giften de extra N-opname steeds minder snel stijgt (volgens de wet van de afnemende meeropbrengst), waardoor de ANR lager wordt en het N-overschot extra toeneemt (zie figuur 1).



Figuur 1. Schematische weergave van de N-opname door een gewas als functie van de N-gift

Dat het N-overschot sterker toeneemt bij hoge N-giften kwam onder meer naar voren uit stikstofproeven in zetmeelaardappel in 2002 en 2003 op een Drentse zandgrond (Van Geel et al. 2004). Bij giften boven ca. 200 kg N per ha namen het N-overschot en de Nmin na oogst wat sterker toe dan bij giften onder ca. 200 kg N per ha. Bij opvolging van de N-bemestingsrichtlijn voor het betreffende ras (Seresta) zou er 220 kg N per ha zijn gegeven in 2002 (inclusief een korting van 30 kg N per ha voor de N-nawerking uit bietenblad) en 250 kg N per ha in 2003. Uit de proeven is een daadwerkelijk optimale N-gift afgeleid van 180 kg N per ha in 2002 en 260 kg N per ha in 2003. In 2002 kon dus 40 kg N per ha worden bespaard ten opzichte van de richtlijn. De hoeveelheid niet-benutte stikstof uit meststoffen werd daardoor met 23 kg N per verlaagd. In 2003 was geen besparing mogelijk. Wel blijkt uit beide proefjaren dat bij giften boven het optimum de hoeveelheid niet-benutte stikstof en de Nmin na oogst sterk toenemen. Door boven-optimale stikstofgiften te voorkomen, kan het stikstofoverschot in de bodem en het stikstofverlies worden beperkt.

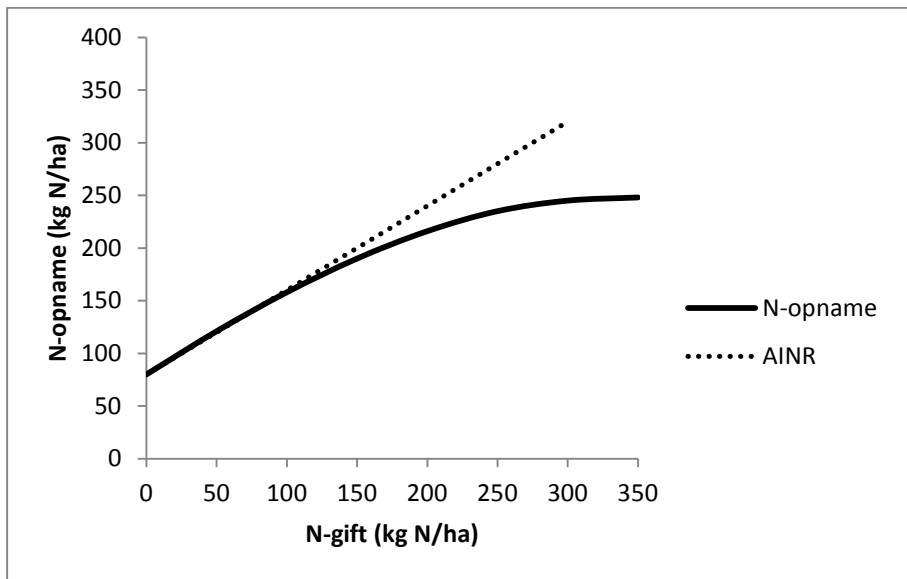


Figuur 2. Niet benutte deel van de stikstofgift en Nmin(0-60 cm) na oogst in een stikstoftrappenproef in 2002 en 2003 op zandgrond met zetmeelaardappel (ras: Seresta)

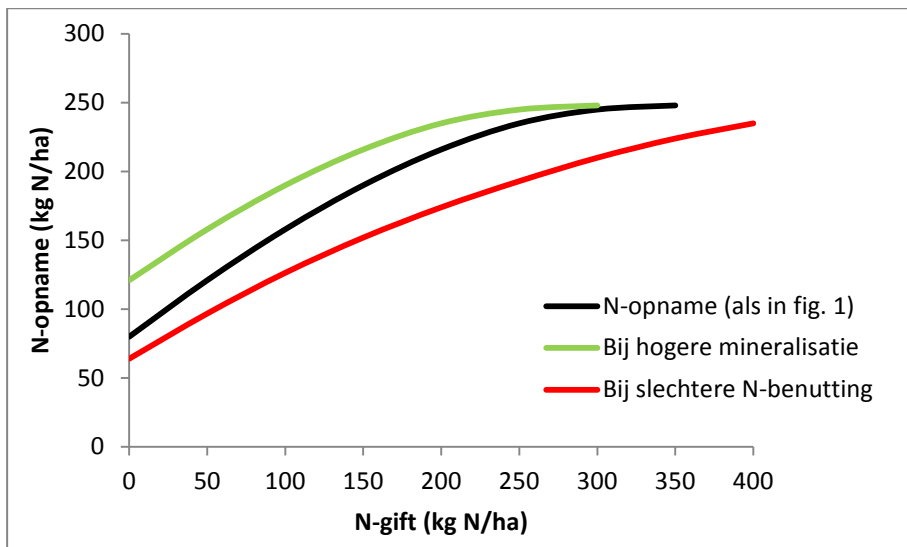
Ten Berge et al. (2002) vonden dat in vrijwel alle N-trappenproeven een zogenaamde kritische N-gift kan worden aangeduid. Bij giften daaronder is de ANR een lineaire functie van de gift c.q. blijft constant. Bij giften daarboven gaat de ANR dalen en neemt de Nmin-voorraad die het gewas na oogst achterlaat in de bodem, sterk toe. De N-gift waarbij de maximale biomassa-productie wordt bereikt, ligt boven de kritische N-gift.

Ten Berge et al. (2002) definieerden de ANR bij lage N-gift (nabij 0 kg N per ha) als de apparent initial fertiliser-N recovery, hierna verder afgekort als AINR (figuur 3). Dit kan worden gezien als de best haalbare benutting van de toegediende stikstof onder de betreffende groeiomstandigheden. Uit diverse proeven met consumptieaardappel op klei (uit de periode 1987-1990) leidden ze een gemiddelde waarde af voor de AINR af van 50% (op basis van de N-opname in de knollen). Voor zetmeelaardappel leidden ze (uit proeven uitgevoerd in de periode 1988-1997) een AINR af van 54%. De spreiding voor de gevonden waarden was met name bij consumptieaardappel behoorlijk groot. Dit geeft aan dat de benutting van stikstof door het gewas in individuele gevallen sterk verschilt.

Dit kwam ook naar voren uit andere proeven van PPO. Uit vier aardappelproeven op kalkrijke zavelgrond in Flevoland in 1999 en 2000 (Van der Schoot et al., 2002) en 2009 en 2010 (Van Geel et al., 2011) is globaal een AINR afgeleid die varieerde van 55% tot 64% op basis van de N-opname in de knollen. Uit vier zetmeelaardappelproeven op zandgrond in Drenthe in 2002 en 2003 (Van Geel et al., 2004) en twee proeven in 2009 en 2010 (Van Geel et al., 2011b) is op basis van de N-opname in de knollen globaal een AINR afgeleid die varieerde van 48% tot 58%.



Figuur 3. Schematische weergave van de N-opname door een gewas als functie van de N-gift en de apparent initial nitrogen recovery (AINR)



Figuur 4. Schematische weergave van de N-opname door een gewas als functie van de N-gift: als in figuur 1, bij een hogere bodemmineralisatie en bij een slechtere stikstofbenutting

Hoe steiler de N-opnamecurve, hoe meer er van elke toegediende kg stikstof door het gewas wordt opgenomen. Door een slechte beworteling en/of droogte worden zowel de stikstof vanuit de bodem als uit de meststoffen slechter door het gewas opgenomen. Daardoor is de N-opname zonder bemesting lager en is ook de opnamecurve minder steil c.q. is de AINR lager.

De stikstofopname zonder N-bemesting (het snijpunt met de y-as) wordt bepaald door de hoogte van het stikstofaanbod in de bodem uit andere bronnen dan meststoffen (N_{min} vóór de teelt, N-mineralisatie tijdens de teelt), minus de stikstofverliezen uit de bodem. In paragraaf 2.2.4 wordt verder op deze bronnen en verliezen ingegaan. Hoe hoger dit netto aanbod is, hoe hoger de N-opname zonder bemesting.

Bij een hoger stikstofaanbod in de bodem uit andere bronnen is de respons van het gewas op de aanvullende N-bemesting iets zwakker en verloopt de curve iets minder steil. Verliezen van toegediende stikstof en de stikstofwerking van de meststoffen beïnvloeden eveneens die steilheid. Hoe hoger de

verliezen tijdens de teelt en/of hoe slechter de meststof werkt, hoe minder steil de curve is c.q. hoe lager de AINR.

In figuur 4 zijn drie responscurves voor de N-opname weergegeven: de opname van figuur 1, de opname bij hogere bodemmineralisatie (en gelijkblijvende totaalopname) en de N-opname bij een slechtere N-benutting.

2.2.4 Overige stikstofbronnen

De benodigde (c.q. optimale) stikstofgift voor aardappelen verschilt per situatie en is van veel factoren afhankelijk. Naast de al eerder genoemde factoren als teeltdoel, ras en N-benutting, zijn dat het opbrengstniveau en het stikstofaanbod uit andere bronnen dan bemesting. Die andere bronnen zijn: de Nmin-voorraad in de wortelzone bij aanvang van de teelt, depositie van stikstof, mineralisatie uit bodem-organische stof en uit ingewerkt vers organische materiaal als gewasresten en groenbemesters.

2.2.4.1 Aanvoerposten

Depositie

De depositie van stikstof uit de lucht is de afgelopen decennia afgenomen in Nederland tot gemiddeld 24 kg N per ha per jaar¹, met een regionale spreiding van minder dan 10 tot bijna 30 kg N per ha per jaar. De hoogste depositie komt voor in gebieden met intensieve veehouderij. Van de totale N-depositie op jaarbasis, komt naar schatting ongeveer 40% op de bodem terecht kort voor en tijdens de periode van gewasopname van aardappel. De bijdrage van depositie aan de N-voorziening van aardappel is derhalve klein.

Mineralisatie

De mineralisatie van stikstof in de bodem levert wel een aanmerkelijke bijdrage aan de stikstofvoorziening van het gewas, maar kan sterk variëren. Met de mineralisatie ofwel stikstofnawerking uit ingewerkt vers organisch materiaal als gewasresten (bijvoorbeeld bietenblad) of groenbemesters, kan men vrij eenvoudig rekening houden. Vanuit resultaten van veldproeven zijn vuistregels opgesteld voor de korting die men kan aanbrengen op de stikstofgift wanneer stikstofrijke gewasresten of groenbemesters zijn ingewerkt. Deze vuistregels zijn onder andere vermeld in de adviesbasis bemesting (Van Dijk en Van Geel, 2010). Die korting ligt veelal in tussen de 0 en 60 kg N per ha.

De mineralisatie uit organisch materiaal kan ook worden geschat met behulp van rekenmodellen zoals MINIP (Janssen, 1996). Het mineralisatiemodel MINIP wordt gebruikt in sommige bemestingsadviesprogramma's zoals NDICEA². MINIP houdt rekening met de afbreekbaarheid van het organische materiaal, de C/N-verhouding ervan en de temperatuur. Als organisch materiaal langzamer wordt afgebroken in de bodem, komt ook de organische gebonden stikstof langzamer vrij. De afbreekbaarheid wordt aangeduid door de humificatiecoëfficiënt van het organische materiaal: de fractie die een jaar na toediening aan de bodem nog over is bij een gemiddelde jaartemperatuur in Noordwest-Europa (9 °C). MINIP hanteert hiervoor een zogenoemde initiële leeftijd of a-waarde; deze kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt.

Naast de afbraaksnelheid bepaalt de C/N-verhouding van de organische stof hoeveel stikstof er netto mineraliseert. Bij een lage C/N-verhouding van de organische stof (stikstofrijke organische stof) mineraliseert er bij eenzelfde afbraaksnelheid netto meer stikstof dan bij een hoge C/N-verhouding. Bij een C/N-verhouding >30 vindt tijdelijke immobilisatie plaats (vastlegging van stikstof door het bodemleven). De micro-organismen die organische stof afbreken in de bodem, nemen zelf stikstof op om van te leven. Als de C/N-verhouding van het organische materiaal lager is dan 30 blijft er na afbraak stikstof over en is er sprake van netto mineralisatie. Hoe lager de C/N-verhouding, hoe meer er overblijft. Als de C/N-verhouding hoger is dan 30, is er te weinig stikstof voor de micro-organismen aanwezig en gaan ze minerale stikstof in de bodem gebruiken. Deze wordt dan in de micro-organismen vastgelegd (geïmmobiliseerd). De hoeveelheid voor het gewas beschikbare stikstof neemt daardoor af. Als er in deze situatie niet voldoende minerale stikstof in de bodem aanwezig is voor de micro-organismen, wordt de afbraaksnelheid van de organische stof vertraagd.

De snelheid waarmee organische stof afbreekt en de stikstof mineraliseert, hangt verder af van (bodem)temperatuur, vochtgehalte in de bodem, zuurstofvoorziening, pH, textuur, structuur en biologische

¹ Bron: Compendium voor de Leefomgeving (www.compendiumvoordeleefomgeving.nl)

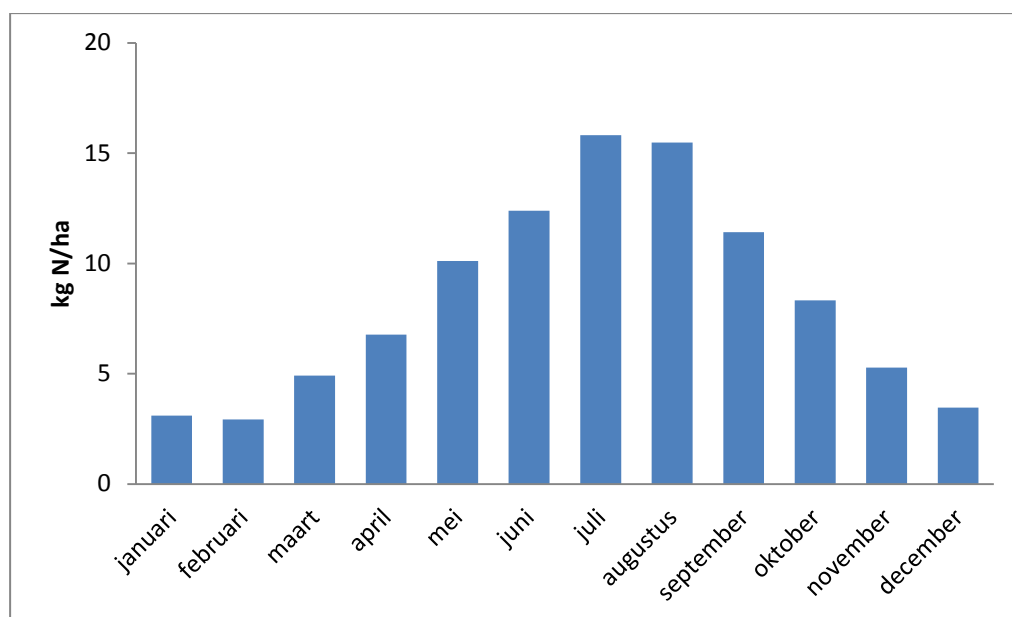
² www.ndicea.nl (Louis Bolk Instituut)

activiteit. Bij hogere temperatuur breekt de organische stof sneller af en mineraliseert er meer stikstof. De mineralisatie is daarom in de zomerperiode hoger dan in de winterperiode (figuur 5). De relaties tussen temperatuur en afbraaksnelheid van organische stof is bekend en dit is opgenomen in MINIP. Zo kan men dus berekenen hoeveel stikstof er in een bepaalde periode van het jaar mineraliseert. Desgewenst kan ook met andere factoren rekening worden gehouden in MINIP (bijvoorbeeld pH), mits de relatie met afbraaksnelheid bekend c.q. deze met een wiskundige formule is beschreven.

De stikstofmineralisatie uit de bodem-organische stof is lastiger te schatten. Er zijn gronden die van nature sterk mineraliseren, door bijvoorbeeld de aanwezigheid van veen(resten), en gronden die sterk mineraliseren door langjarige aanvoer van organische mest. De totale hoeveelheid organische stof in de bodem zegt niet alles. Oude, stabiele organische stof breekt langzamer af (en mineraliseert daardoor ook langzamer) dan jonge organische stof. Titulaer (1999) noemt een spreiding in mineralisatie van 20 tot meer dan 300 kg N per ha per jaar, afhankelijk van de grondsoort.

De hoogte van de mineralisatie uit bodem-organische stof hangt af van de hoeveelheid organische stof in de bodem, de samenstelling ervan en de afbreekbaarheid, de hoeveelheid organische gebonden stikstof, de C/N-verhouding en verder van (bodem)temperatuur, vochtgehalte in de bodem, zuurstofvoorziening, pH, textuur, structuur en biologische activiteit. In de periode vanaf 1 maart totdat de N-opname van aardappel stopt (begin-half augustus; zie paragraaf 2.2.6) mineraliseert zo'n 50-60% van het totale jaarmineralisatie. Voor de schatting van de mineralisatie uit de bodem-organische stof kunnen ook rekenmodellen worden gebruikt, waaronder MINIP of andere. Soms wordt daarbij de bodem-organische stof onderscheiden in meerdere fracties, elke met een eigen waarde voor de afbraaksnelheid.

Blgg AgroXpertus hanteert het begrip stikstof leverend vermogen (NLV). Dat is een indicatie voor de hoeveelheid stikstof die door mineralisatie in de bouwvoor (0-25 cm -mv) beschikbaar kan komen tijdens het groeiseizoen van akkerbouwgewassen. De NLV is berekend over de periode april t/m augustus. Uit de gegevens die Blgg heeft verzameld, blijkt de NLV gemiddeld 56 kg N per ha te bedragen op dekzandgrond, 62 kg N per ha op dalgrond, 63 kg N per ha op lössgrond, 84 kg N per ha op jonge zeeklei, 115 kg N per ha op rivierklei, 263 kg N per ha op veengrond en 308 kg N per ha op kleiig veen (persoonlijke mededeling A. Reijneveld, Blgg AgroXpertus, 2011). Binnen elke grondsoort komt echter een flinke spreiding voor. Zo zijn op veen en kleiig veen ook wel NLV-waarden gevonden van net onder de 100 kg N per ha en op dekzand van iets boven de 250 kg N per ha.



Figuur 5. **Gemiddelde bodemmineralisatie van stikstof per maand bij een gemiddeld temperatuurverloop in Nederland (gemiddelde van 1990-2010 volgens het KNMI) en een totale jaarmineralisatie van 100 kg N per ha**

Er zijn diverse indicatoren gebaseerd op chemische meetmethoden beschikbaar die iets zeggen over de te verwachten N-mineralisatie. Een overzicht hiervan is gegeven door Velthof et al. (2000), Velthof (2003) en Ros et al. (2011). Hoewel enkele van deze indicatoren gemiddeld genomen een duidelijke relatie laten zien met de hoogte van de mineralisatie, is de spreiding (de afwijking in individuele gevallen ten opzichte van het gemiddelde) vrij groot. Verder zijn dergelijke indicatoren vaak getoetst onder laboratoriumomstandigheden en moet nog een vertaalslag plaatsvinden naar veldomstandigheden.

Ros et al. (2011) concludeerden dat het gebruik van een enkelvoudige indicator voor het voorspellen van de N-mineralisatie in het veld onbetrouwbaar is. Zij zien wel perspectief voor het gebruik van een indicator voor potentiële N-mineralisatie in combinatie met een simulatiemodel (om de vertaalslag naar de actuele mineralisatie op het veld te maken).

In een studie naar de mogelijkheden van differentiatie van gebruiksnormen hebben Van Dijk et al. (2011) diverse onderzoeksresultaten die de afgelopen twee decennia zijn gepubliceerd over indicatoren om de mineralisatie te voorspellen, op een rij gezet. Op basis van deze resultaten concludeerden zij dat de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van de onderzochte indicatoren voor het voorspellen van de N-mineralisatie op bouwland onvoldoende groot is om ze op te nemen in bemestingsadviezen c.q. te gebruiken als basis voor differentiatie van stikstofgebruiksnormen.

In een lopend project van Alterra (in 2010 en 2011) wordt het onderzoek naar geschikte bodemindicatoren om de mineralisatie op bouwland te voorspellen, voorgezet. In 2010 gaf geen enkele indicator een goede voorspelling van de actuele N-mineralisatie onder veldomstandigheden. De verwachting is echter dat een nadere analyse van de stikstofstromen, met name het beheer van de gewasresten, de voorspellende waarde van indicatoren zal verbeteren (persoonlijke mededeling R. Schils, Alterra, 2011). Het onderzoek zal duidelijk maken of het haalbaar is om een wetenschappelijk onderbouwde indicator te ontwikkelen.

2.2.4.2 Verliesposten

Naast de aanvoer uit bemesting, depositie en mineralisatie kunnen er stikstofverliezen optreden in de bodem tijdens de teelt. Dit betreft uitspoeling tot buiten het bereik van de wortels, afspoeling, denitrificatie en immobilisatie. Denitrificatie: onder zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden (veelal bij natheid) wordt nitraatstikstof in de bodem door bacteriën gereduceerd tot lachgas (N_2O) of stikstofgas (N_2), die uit de bodem vervluchtigen. Immobilisatie is (tijdelijke) vastlegging van minerale stikstof in de bodem door het bodemleven. Dit betreft feitelijk geen verlies uit de bodem, maar geïmmobiliseerde stikstof is niet beschikbaar voor het gewas. Deze stikstof komt op een bepaald moment wel weer vrij, maar het is niet te voorspellen wanneer en of dat nog tijdens de N-opnameperiode van het gewas is c.q. of het gewas het nog kan benutten.

Uitspoeling treedt op in perioden met een neerslagoverschot. Dat betreft de herfst- en winterperiode, als er geen gewas op het veld staat, maar ook in het voorjaar kan er in natte perioden op ondiep bewortelbare, uitspoelingsgevoelige gronden stikstof tot beneden de wortelzone uitspoelen. Later in het voorjaar en in de zomer, als de loofmassa is toegenomen, neemt door de gewasverdamping de kans op een neerslagoverschot af. Uitspoelingsverlies tijdens de teelt zal dan alleen nog optreden in extreem natte zomers. Oppervlakkige afspoeling met regenwater is een zeer geringe verliespost (Miedema & Meeuwissen, 1992). Ammoniakvervluchtiging is ook een verliespost. Dit treedt op na toediening van dierlijk mest en ammoniumhoudende kunstmeststoffen. Bij emissie-arme aanwending (voldoende diep onder de grond brengen van de meststof) is de emissie gering. Het ammoniakvervluchtigingsverlies is bij toepassing van organische mest verdisconteerd in de N-werkingscoëfficiënt van de meststoffen (zie paragraaf 4.2.1).

2.2.5 Rekenvoorbeeld N-balans

Gelet op de moeilijkheid om deze processen te kwantificeren en de invloed van de weersomstandigheden hierop, is het aanbod van stikstof in de bodem vooraf niet te voorspellen. Men kan hoogstens een zo goed mogelijk schatting proberen te maken of door bijsturing van de stikstofvoorziening tijdens de teelt door gebruik van N-bijmestsystemen zo goed mogelijk proberen in te spelen op het variabele N-aanbod in de bodem. In hoofdstuk 3 wordt hier nader op ingegaan.

Stel: een gewas consumptie aardappelen met een opbrengst van 60 ton per ha en een N-opname in de knollen van 200 kg N per ha. Bij een benutting van de totaal beschikbare stikstof op basis van N-opname in de knollen van 50% moet het gewas dan totaal 400 kg N per ha krijgen aangeboden.

De Nmin-voorraad na de winter in de wortelzone bedraagt 25 kg N per ha op 1 maart. De depositie na 1 maart en tijdens de N-opnameperiode van het gewas (tot begin augustus) bedraagt 10 kg N per ha per jaar. Verder komt 75 kg N per ha beschikbaar door mineralisatie in de periode 1 maart tot begin augustus. Er treedt geen N-verlies op. De benodigde aanvulling uit bemesting bedraagt dan: $400 - 25 - 10 - 75 = 290$ kg N per ha.

Als er 125 kg N per ha ter beschikking komt door mineralisatie verandert de benodigde gift in: $400 - 25 - 10 - 125 = 240$ kg N per ha.

Als in het eerste voorbeeld de N-benutting niet 50% bedraagt maar 60%, dan daalt het totaal benodigde N-aanbod van 400 kg N per ha naar ca. 330 kg N per ha. De benodigde gift is dan: $330 - 25 - 10 - 75 = 220$ kg N per ha. Bij een N-benutting van 55% bedraagt de benodigde gift: $360 - 25 - 10 - 75 = 250$ kg N per ha.

Bij de teelt van aardappelen op gescheurd grasland, kan voor de N-nawerking gemiddeld 100 kg N per ha worden gekort op de gift in het eerste jaar na scheuren (Van Dijk & Van Geel, 2010). In het derde rekenvoorbeeld daalt de bemestingsgift dan van 250 naar 150 kg N per ha.

Als in het derde voorbeeld de knolopbrengst 75 ton per ha bedraagt met een N-inhoud van 240 kg N per ha, dan moet bij een N-benutting van 60% het gewas totaal 400 kg N per ha krijgen aangeboden. Dat is evenveel als in het eerste voorbeeld bij een opbrengst van 60 ton per ha en een N-benutting van 50%.

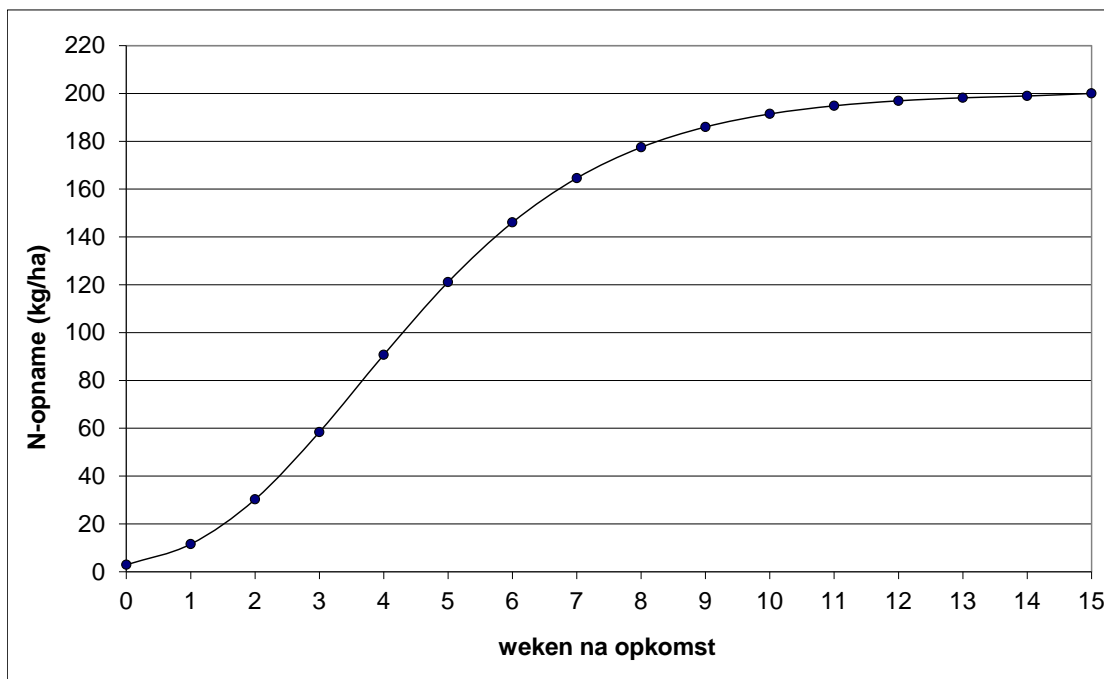
Het moge duidelijk zijn dat verschillen in mineralisatie per perceel grote invloed hebben op de benodigde N-gift, maar dat ook verschillen in stikstofbenutting, die samenhangen met bodemkwaliteit, vochtvoorziening en jaar-/weersinvloed, belangrijk effect hebben op de stikstofbehoefte.

Een goede vochtvoorziening van het gewas in droge perioden draagt bij aan een betere groei en hogere opbrengst, een betere stikstofbenutting en een hogere stikstofafvoer via het geoogste product. Door de betere N-benutting hoeft niet of weinig extra stikstof te worden gegeven om die hogere opbrengst te realiseren, waardoor het N-overschot in de bodem omlaag gaat. Voor een goede vochtvoorziening van het gewas zijn vochtmeting en beregeningsplanning essentiële hulpmiddelen.

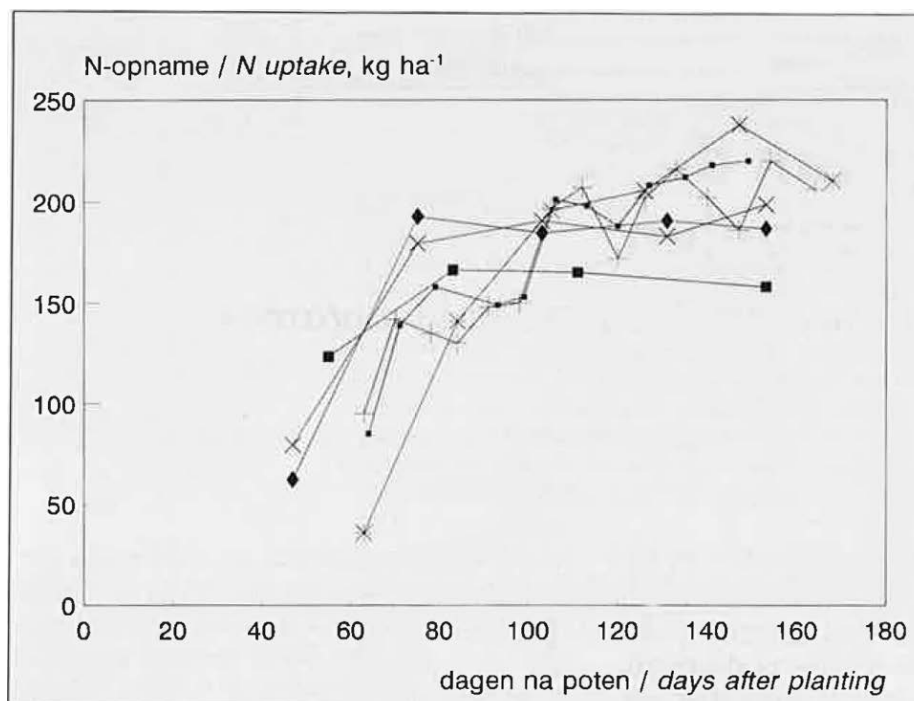
2.2.6 Stikstofopname(patroon)

In figuur 6 is een gemiddelde stikstofopnamepatroon voor aardappel weergegeven bij een knolproductie van 50 ton per ha voor consumptieaardappel en 45 ton per ha voor zetmeelaardappel. Vanaf twee weken na opkomst (eind mei/ begin juni) neemt de opnamesnelheid sterk toe. In die periode haalt aardappel onder gunstige groeiomstandigheden een opnamesnelheid van 5 kg N per ha per dag. In juli begint de opnamesnelheid te dalen en na begin augustus wordt vrijwel geen stikstof meer opgenomen (na half augustus voor zetmeelaardappel).

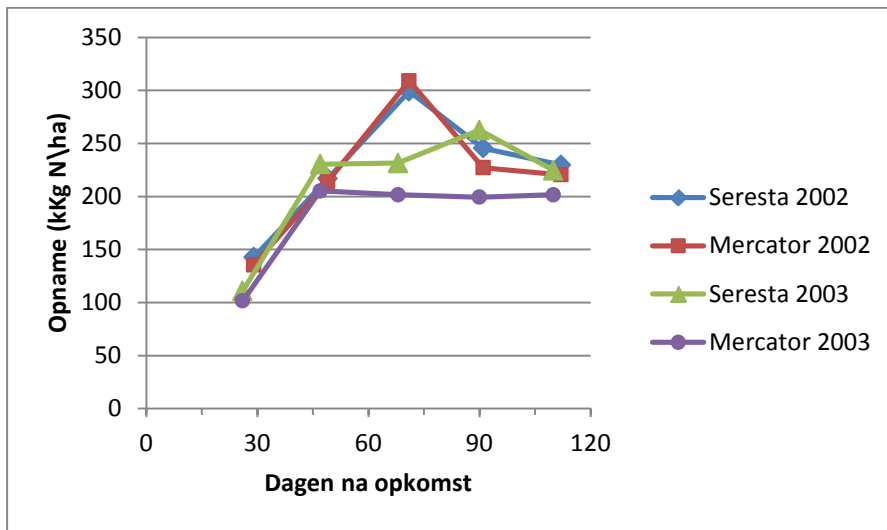
De opnamecurve geldt voor een gemiddeld groeiseizoen in Nederland. Het groei- en N-opnamepatroon van aardappel wordt beïnvloed door het moment van poten en opkomst, de weersomstandigheden, de vochtvoorziening en de stikstofvoorziening. Dit leidt tot variatie in het N-opnamepatroon (figuren 7 en 8). Bij groeizaam weer en voldoende vocht groeit het gewas sneller en is de N-opnamesnelheid hoger dan bij minder groeizaam weer of droogte.



Figuur 6. Gemiddelde stikstofopnamepatroon van aardappel bij een knolproductie van 50 ton per ha voor consumptieaardappel en 45 ton per ha voor zetmeelaardappel (naar Van Dijk & Van Geel, 2010)



Figuur 7. Enkele gemeten N-opnamecurven van aardappel op verschillende locaties, in verschillende jaren met verschillende rassen (overgenomen uit Steltenpool & Van Erp, 1995)



Figuur 8. **Gemeten N-opnamecurven van zetmeelaardappel op een zandgrond in Drenthe in 2002 en 2003 bij twee rassen (naar Van Geel et al., 2004)**

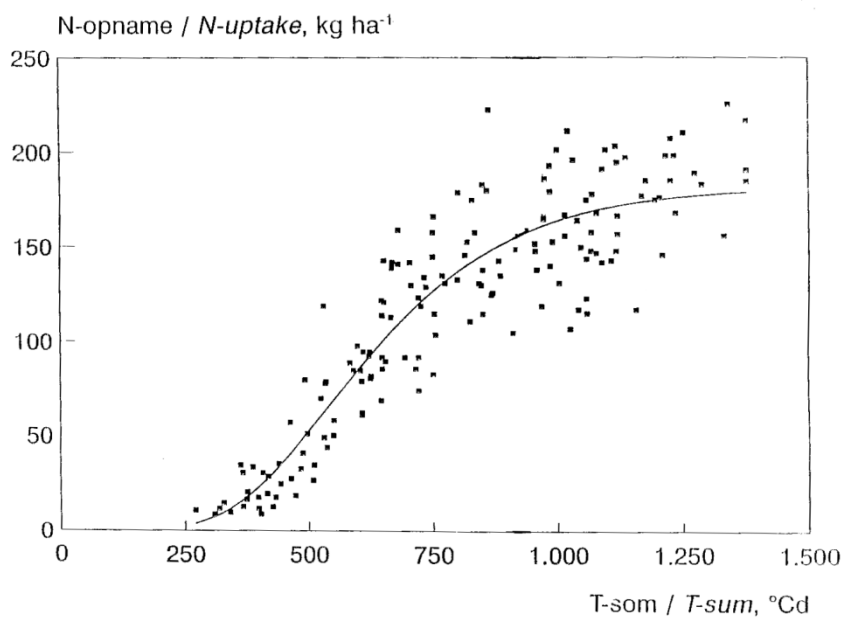
De invloed van de weersomstandigheden kan deels worden ondervangen door het N-opnameverloop uit te zetten tegen de temperatuursom (T-som). Steltenpool en Van Erp (1995) stelden hiertoe een relatie vast (figuur 9). Zij vonden dat het stikstofopnamepatroon in de periode vanaf poten tot 15 augustus kan worden beschreven met de formule:

$$\text{Actuele N-opname} = N_{\text{max}} * \text{EXP} (- \text{EXP} (- 0,00494 * (T\text{-som} - 544)))$$

waarbij: $N_{\text{max}} = 1,188 * \text{totale N-opname in de knollen bij oogst}$ (Neeteson et al., 1997)

N_{max} is de totale stikstofopname door het gewas als het opnamemaximum is bereikt. N_{max} moet vooraf worden geschat op basis van de opbrengst die wordt verwacht of nagestreefd.

Voor de berekening van de T-som is een basistemperatuur van 2 °C genomen. Dit houdt in dat de T-som is berekend op basis van de gemiddelde etmaaltemperatuur minus 2 graden.



Figuur 9. **Vastgestelde relatie tussen het N-opnamepatroon van aardappel en de temperatuursom ($R^2 = 0,83$; overgenomen uit Steltenpool & Van Erp, 1995)**

Hoe lang het aardappelgewas doorgaat met stikstof opnemen hangt af van pootmoment, het groeiseizoen en het ras, maar in de regel neemt consumptieaardappel na ca. begin augustus en zetmeelaardappel na ca. half augustus (vrijwel) geen stikstof meer op. De mineralisatie van stikstof in de bodem gaat dan echter nog volop door. De stikstof die vrijkomt door mineralisatie in de periode tussen einde N-gewasopname en de oogst, hoopt zich op in de bodem en leidt tot een verhoogde N_{min} bij oogst. Hier is door N-bemestingsmaatregelen tijdens de aardappelteelt niets aan te doen.

De mogelijkheden van na-oogstmaatregelen zijn beperkt. Het grootste deel van het aardappelareaal wordt te laat geoogst (na half september) om nog een effectief stikstofvanggewas te kunnen inzetten. Door de late zaai kan het vanggewas zich niet voldoende meer ontwikkelen om alle stikstof uit het bodemprofiel vóór de winter op te nemen. Verder is een praktisch bezwaar dat door de zaai van een vanggewas na aardappel geen effectieve bestrijding van aardappelopslag mogelijk is (Verhoeven et al., 2011).

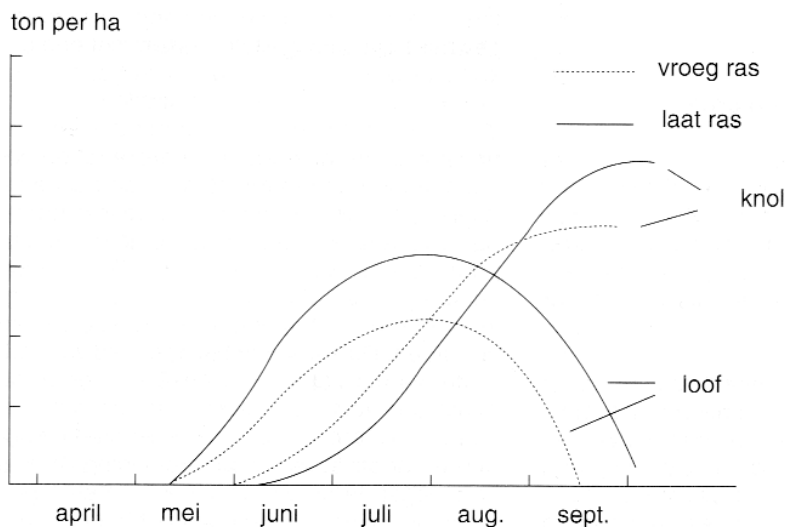
In het project Nutriënten Waterproof (NWP), dat van 2005 tot 2009 is uitgevoerd op zuidoostelijk zandgrond, is de mogelijkheid onderzocht om het stikstofverlies te verlagen door de bodemmineralisatie te verlagen. Daartoe is geheel geen organische mest meer aangevoerd en uitsluitend kunstmest gebruikt. Dit resulteerde in een lage aanvoer van organische stof. Het nitraatgehalte dat in de winterperiode na de aardappelteelt in het bovenste grondwater werd gemeten, werd gemiddeld over de jaren door deze maatregel verlaagd van 157 naar 126 mg NO₃ per liter (en van 120 naar 99 mg NO₃ per liter voor het gehele bouwplan). Het leidde echter op twee van de zes percelen in het onderzoeksproject ook tot lagere gewasproducties (Van Geel et al., 2011). De opbrengstreductie kon niet worden verklaard uit de stikstofvoorziening van de gewassen. Vermoedelijk spelen andere, bodemgerelateerde factoren een rol. De vraag is welke dat zijn en of deze samenhangen met de aanvoer van organische stof c.q. organische mest. Mogelijk wordt deze vraag beantwoordt in het vervolgproject "Bodemkwaliteit op zandgrond", dat in 2011 op percelen van NWP is gestart. In dit project waarin onder andere wordt gekeken naar het effect van het organische-stofmanagement op de bodemkwaliteit en de gewasgroei en -opbrengst.

2.3 Rasverschillen in stikstofbehoefte

Bij aardappel kunnen vroege en late gewastypen worden onderscheiden (Veerman, 2003). Bij een vroeg gewastype blijft de loofontwikkeling beperkt en neemt de groeisnelheid van de knollen al snel na de knolaanleg sterk toe. Daardoor gaat al vroeg een groot aandeel van de droge stof die door het loof wordt geproduceerd, naar de knollen. Een laat gewastype gaat langer door met het vormen van loof en de knolgroei komt langzamer op gang. Het late gewastype investeert in het eerste deel van het groeiseizoen een groter deel van de droge stof in het loof en vormt in totaal meer loof dan het vroege type. Bij het vroege type wordt de maximale loofontwikkeling eerder bereikt dan bij het late type gewas en sterft het loof ook eerder af. Het vroege gewastype bereikt al vroeg in het groeiseizoen een relatief hoge knolopbrengst, maar doordat het late gewastype een langer groeiseizoen kan volmaken, kan dit gewas uiteindelijk een hogere knolopbrengst bereiken dan het vroege gewas.

Welk gewastype de voorkeur heeft, hangt af van de bestemming (vroeg markt; lange bewaring) en de lengte van het groeiseizoen die het gewas maximaal tot haar beschikking heeft. De maximale lengte van het groeiseizoen kan door diverse groeifactoren worden beperkt: vroeg- of laatheid van de grond en het optreden van droogteperiodes of ziektedruk (Veerman, 2003)

Vroegrijpheid is een raseigenschap. Tussen de diverse aardappelrassen bestaan er verschillen in moment van knolaanleg door verschil in daglengtegevoeligheid. In paragraaf 2.1 is reeds aangegeven dat bij een laatrijpend ras de stikstofgift moet worden gematigd, omdat het gewas anders te laat afrijpt. De adviesbasis bemesting (Van Geel & Van Dijk, 2010) geeft op basis van het vroegrijpheidscijfer van het ras een korting aan op de stikstofgift ten opzichte van de standaard N-bemestingsrichtlijn (paragraaf 3.1). Die korting kan oplopen tot 60 kg per ha voor zetmeelaardappelen en tot 140 kg per ha voor consumptieaardappelen bij zeer late rassen.



Figuur 10. **Het groeipatroon van een vroeg- en een laatrijpend ras (naar Beukema & Van der Zaag, 1990)**

Vroegrijpheid is echter niet het enige criterium dat de stikstofbehoefte van een ras bepaalt. Ook andere rasspecifieke eigenschappen kunnen daarop van invloed zijn, waardoor de stikstofbehoefte soms hoger of lager kan zijn dan op basis van de vroegrijpheidscorrectie. Verder geeft de correctie op basis van vroegrijpheid alleen een korting aan ten opzichte van de standaard richtlijn, terwijl er ook hoogbehoefte rassen zijn die meer nodig hebben. De Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2009) heeft voor het differentiëren van de stikstofgebruiksnorm bij consumptieaardappel naar ras de stikstofbehoefte per ras geïnventariseerd op basis van vroegrijpheid en praktijkervaringen. Vervolgens zijn de aardappelrassen voor de stikstofgebruiksnorm (kg N per ha) ingedeeld in drie groepen (bron: het DR-loket; www.drloket.nl):

	klei		zand		löss	
	2006	2012/2013	2006	2012/2013	2006	2012/2013
Hoge norm:	300	275	290	260	290	255
Overige:	275	250	265	235	265	230
Lage norm:	250	225	240	210	240	205

Deze groepsindeling van rassen naar N-behoefte komt goed overeen met de praktijk (Van Dijk et al., 2011). Bij een aantal zeer late rassen is het verschil in daadwerkelijke stikstofbehoefte groter dan 25 kg per ha ten opzichte van standaard, maar dit betreft een beperkt areaal.

Voor zetmeelaardappelrassen is geen rasgericht onderscheid aangebracht in de gebruiksnorm, hoewel daar op basis van de verschillen in stikstofbehoefte wel reden toe is. Veerman et al. (2006) geven rasgerichte N-bemestingsrichtlijnen voor zetmeelaardappel op zandgrond en op dalgrond. Deze variëren 165 tot 250 kg N per ha op zandgrond en van 165 tot 240 kg N per ha op dalgrond.

Een lagere N-behoefte hoeft niet samen te gaan met een lager opbrengstniveau. Een laat ras krijgt op basis van de vroegrijpheidscorrectie een lagere N-gift, maar produceert door de langere groeiperiode evenveel of zelfs meer tonnen aardappelen. Dit betekent dat de productie per kg toegediende stikstof hoger is. Als daardoor evenveel stikstof met het geogste product wordt afgevoerd, terwijl de N-gift lager is, is het N-overschot lager.

Het lijkt in eerste instantie voor de hand te liggen om vroegrijpende rassen alleen te telen voor de vroege oogst en laatrijpende rassen voor de latere oogst. Voor de vroege oogst en levering gebeurt dit ook in praktijk, maar voor de aardappelen die na 1 september worden gerooid, gaat het oogstmoment (vroeg of later in de herfst) niet samen met vroegrijpheid van het ras (Verhoeven et al., 2011). De rassenkeuze hangt van vele andere raseigenschappen af, die onder andere verband houden teeltdoel en specifieke kwaliteitseisen, grondsoort, bewaarbaarheid, resistenties tegen ziekten en plagen en beregeningsmogelijkheden.

Door veredeling van rassen die een lage N-behoefte en hoge productie combineren met andere gewenste eigenschappen kan het stikstofverlies in de aardappelteelt mogelijk worden verminderd.

3 Stikstofbemestingsystemen voor aardappel

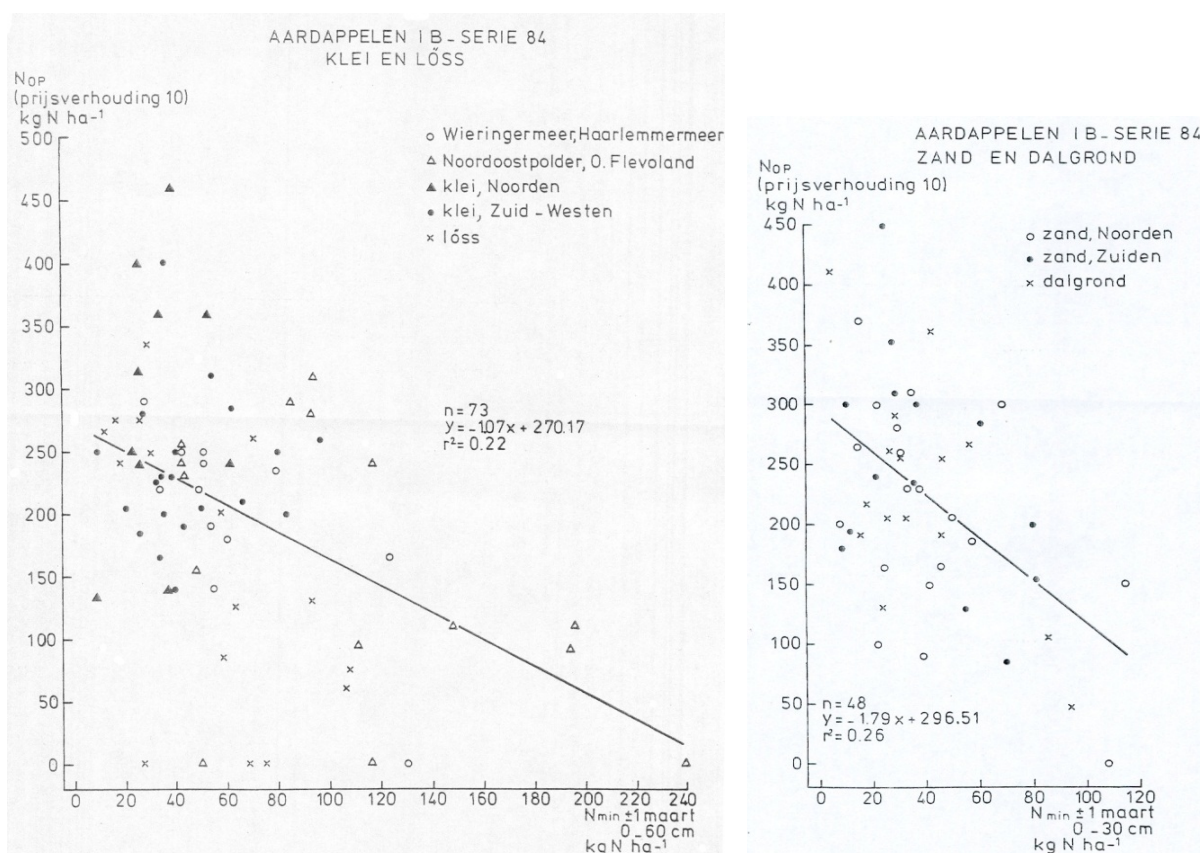
3.1 Stikstofbemestingsrichtlijnen

Om de stikstofgift te kunnen bepalen, zijn in de adviesbasis bemesting (Van Dijk & Van Geel, 2010) stikstofbemestingsrichtlijnen weergegeven per gewas. Deze geven de gemiddelde economisch optimale stikstofgift per gewas aan, rekening houdend met de voorraad minerale stikstof in de bodem (N_{min}) voor aanvang van de teelt.

De daadwerkelijk optimale stikstofgift verschilt per situatie en is van veel factoren afhankelijk, onder andere van het stikstofleverend vermogen van de bodem, de voorvrucht, de vochtvoorziening en de ziektedruk (zie hoofdstuk 2). De teler kan de gift volgens de richtlijn aan de eigen situatie aanpassen op basis van ervaringen en kennis van percelen en gewassen. Voor de N-nawerking uit ondergewerkte groenbemesters en gewasresten zijn in de adviesbasis vuistregels opgenomen voor de korting op de stikstofgift.

De richtlijnen zijn opgesteld op basis van series N-trappenproeven. Per proef is een economisch optimale N-gift afgeleid. De gewasrespons op stikstof kenmerkt zich door de wet van de afnemende meeropbrengst. Bij toename van de stikstofgift, wordt de extra meeropbrengst die wordt verkregen steeds kleiner. De economisch optimale N-gift is het omslagpunt waarboven de kosten van extra stikstof hoger zijn dan de financiële meeropbrengst die nog wordt verkregen.

Vervolgens is een relatie gezocht tussen de optimale N-gift en de N_{min} -voorraad voor de teelt door de optimale N-giften van de individuele proeven uit te zetten tegen de N_{min} -cijfers per proef (zie figuur 11). Hieruit is een richtlijn afgeleid die rekening houdt met de N_{min} -voorraad.



Figuur 11. Relatie tussen optimale N-gift en N_{min} voor de teelt in 77 proeven met consumptieaardappel op klei en löss en 49 proeven met aardappel op zand en dalgrond (Neeteson, 1984)

De stikstofbestedingsrichtlijnen voor aardappel zijn weergegeven in tabel 1. De richtlijn voor consumptieaardappel is uitsluitend gebaseerd op de knolopbrengst. Bij zetmeelaardappelen is ook rekening gehouden met het onderwatergewicht.

Tabel 1. **Stikstofbestedingsrichtlijnen voor aardappelen (naar Van Dijk & Van Geel, 2010)**

Gewas	Richtlijn (kg N/ha)
Consumptieaardappelen	
- klei/löss	285 – 1,1 * Nmin (0-60)
- zand/dal	300 – 1,8 * Nmin (0-30)
Zetmeel- en industrieaardappelen (zand/dalgrond)	275 – 1,8 * Nmin (0-30)
Pootaardappelen ¹	140 – 0,6 * Nmin (0-60)

¹ Er bestaat geen goede relatie tussen de Nmin-voorraad in de bodem en de opbrengst van pootaardappelen. Bij een te hoge Nmin-voorraad bestaat echter het gevaar dat door een te hoge N-gift een te sterke loofgroei plaatsvindt en onvoldoende ouderdomsresistentie tegen virusziekten optreedt. Indien de Nmin-voorraad is vastgesteld wordt daarom geadviseerd de in de tabel vermelde richtlijn te gebruiken.

Op basis van vroegrijpheid van het ras geeft de adviesbasis bemesting een korting aan ten opzichte van de richtlijn van 20 kg N/ha per 0,5 punt vroegheidsverschil voor rassen met een vroegrijpheidscijfer lager dan 6,5 (consumptieaardappelen) of 4,5 (fabrieksaardappelen). Voor vroegrijpende rassen met een hoger vroegrijpheidscijfer dan 4,5 respectievelijk 6,5 wordt geen correctie gegeven.

3.2 Stikstofdeling

De volgens de richtlijn bepaalde stikstofgift wordt vaak gedeeld. Daarbij wordt meestal ca. 2/3 deel van de gift vóór poten toegediend en ca. 1/3 deel bij begin knolzetting. Om zoutschade te voorkomen kan sowieso vóór poten beter niet meer dan 150-200 kg N per ha te geven (Van Dijk & Van Geel, 2010).

Deling van de N-gift kan in perioden met een neerslagoverschot tijdens de teelt het stikstofverlies verkleinen en de benutting van de toegediende stikstof verhogen, met name op ondiep bewortelbare, uitspoelingsgevoelige gronden. Door de stikstof in porties aan te bieden, blijft de voorraad minerale stikstof lager en kan er minder verloren gaan. Het risico van verlies is het grootste in het vroege voorjaar, als het gewas bovenkomt en er nog niet of nauwelijks sprake is van gewasverdamping. In het zuidoostelijk zandgebied wordt ervoor gekozen om de startgift in tweeën te splitsen: organische mest vóór poten en de aanvullende kunstmestgift bij aanaarden. In het bedrijfssystemenonderzoek op PPO-proefboerderij Vredepeel wordt dit verder geoptimaliseerd door circa de helft vóór poten en circa de helft bij aanaarden te geven.

Verder kan men met deling de gewasontwikkeling beïnvloeden: bijvoorbeeld een krappe basisgift om een niet te weelderige loofontwikkeling en een tijdige knolzetting te bevorderen.

Vos (1999) vond in veldproeven dat stikstofdeling de stikstofbenutting van aardappel licht verhoogde.

In geval van deling van de N-gift is kennis van het opnamepatroon van belang om tekorten in perioden met een grote N-behoefte te voorkomen. Een risico van deling is dat de bijmestgift te laat wordt toegediend (verkeerde timing), waardoor het gewas al een groeiachterstand heeft opgelopen voordat er is bijbemest. Die groeiachterstand kan vaak niet meer worden ingehaald. Vos (1999) vond dat bijmesten tot 60 dagen na opkomst plaats kan vinden zonder nadelig effect op de opbrengst.

De verschillende rassen bij aardappel blijken evenwel nogal verschillend te reageren op de verdeling van de stikstofgift. Wijnholds (2000) vond in proeven in 1997 t/m 1999 met drie verschillende zetmeelaardappelrassen (Seresta, Karakter en Kartel) op zand- en dalgrond dat met name bij het ras Seresta een eenmalige gift aan de basis volgens de N-bestedingsrichtlijn het hoogste uitbetalingsgewicht gaf. Deling van de gift c.q. een lagere basisgift en bijbemesting op basis van een NBS resulteerde in een lagere totale N-gift, maar ook in een lagere knolopbrengst en uitbetalingsgewicht als gevolg van vroegtijdig afsterven van het loof, zowel in proeven op zandgrond als dalgrond.

Van Geel et al. (2004) vonden in een proef op zandgrond in 2003 eveneens dat een te laag gekozen basisgift bij Seresta (in die proef 115 kg N per ha) resulteerde in te lage bijmestadviezen en een lagere opbrengst. Daarentegen reageerde het ras Mercator in dezelfde proef juist gunstig op deling, bij een

basisgift van 90 kg N per ha, met name indien de gift wat later tijdens het groeiseizoen was toegediend (op 10 juli). Ten opzichte van een gelijke totale N-gift in één keer toegediend bij poten, leidde deling tot een hogere N-benutting (een hogere ANR) en ook tot een hogere knolproductie per kg opgenomen stikstof. Wijnholds (2005) legde in 2004 zetmeelaardappelproeven aan op zand- en dalgrond met vier verschillende rassen bij twee verschillende N-niveau's en delingsregimes van de stikstofgift. In de proef op zandgrond gaven de rassen Seresta en Festien het hoogste uitbetalingsgewicht indien de stikstof in één keer aan de basis werd gegeven. Het ras Aveke gaf het hoogste uitbetalingsgewicht bij deling van de stikstofgift en bij het ras Valiant was er geen duidelijk verschil. In de proef op dalgrond waren er bij alle vier de rassen geen duidelijke verschillen in uitbetalingsgewicht tussen wel of niet delen van de N-gift. Dat verschillende aardappelrassen verschillend kunnen reageren op deling van de N-gift werd ook gevonden in buitenlands onderzoek van Love et al. (2005).

Bij toepassing van stikstofbijmestsystemen, waarbij impliciet de N-gift wordt gedeeld, is het van belang om te weten hoe een ras reageert op deling en hoe hoog de basisgift minimaal moet zijn. Van lang niet alle rassen is afdoende bekend hoe ze reageren op een lage basisgift.

3.3 Stikstofbijmestsystemen

Aanpassing van de N-gift volgens de richtlijn op basis van ervaringen en kennis van percelen en gewassen, vereist een gedegen kennis over en ervaring met die percelen. In veel gevallen is vaststellen van de optimale stikstofgift lastig. In hoofdstuk 2 is aangegeven van welke factoren de benodigde stikstofgift afhankelijk is. Uit figuur 11 kan worden opgemaakt dat de daadwerkelijk optimale N-gift in individuele gevallen sterk kan afwijken van de richtlijn, globaal variërend van 50% tot 150% ten opzichte van de richtlijn. Met name mineralisatie van stikstof in de bodem gedurende het groeiseizoen is een moeilijk te voorspellen factor. De mineralisatie wisselt sterk per perceel (en ook wel binnen een perceel), maar ook per jaar als gevolg van verschil in weersomstandigheden (met name temperatuur). Vooral op gronden met een hoge mineralisatie is moeilijk te voorspellen hoeveel stikstof er precies mineraliseert en wanneer. Op percelen met een verwachte hoge mineralisatie (uit de bodemorganische stof of uit gewasresten, bijv. op gescheurd grasland) is gebruik van een stikstofbijmeststelsel (NBS) zinvol alsook na een basisbemesting met dierlijke mest in het voorjaar (zie verder paragraaf 4.2.1).

Door controle en bijsturing tijdens de teelt middels een NBS kan beter worden ingespeeld op de wisselende groeiomstandigheden. Hierbij wordt een deel van de stikstof bij aanvang van de teelt gegeven (de basisgift) en wordt bijbemest op basis van meting van de stikstofstatus van de bodem of het gewas. De basisgift bedraagt veelal 50-70% van de gift volgens de stikstofbemestingsrichtlijn.

Met de toepassing van een NBS wordt beoogd:

- a. de juiste N-hoeveelheid aan het gewas toe te dienen voor het behalen van een maximale opbrengst en kwaliteit;
- b. een onnodig hoge N-gift te voorkomen, om kwaliteitsverlies uit te sluiten en het N-overschot en N-verlies naar het milieu zoveel mogelijk te beperken.

Er zijn voor aardappel meerdere bijmestsystemen ontwikkeld. Deze zullen in deze paragraaf worden besproken. In paragraaf 3.4 worden de beschikbare resultaten van proeven weergegeven waarin bijmestsystemen zijn vergeleken en in paragraaf 3.5 wordt ingegaan op praktijkervaringen met N-bijmestsystemen.

3.3.1 NBS-bodem

Midden jaren '90 is voor aardappel naast de N-bemestingsrichtlijn een NBS-bodem opgenomen in de adviesbasis bemesting. Een eerste aanzet daartoe is gegeven door Baltissen en Slootweg (1992). In 2004 is het NBS-bodem verbeterd op basis van onderzoek door Van Geel et al. (2004).

Uitgangspunten van NBS-bodem zijn het globale N-opnameverloop van een gewas gedurende de teeltperiode, een buffervoorraad stikstof in de grond en de N-mineralisatie van de bodem in de wortelzone. Naast de gebruikelijke bepaling van de Nmin-voorraad voorafgaand aan de teelt, wordt ook tijdens de teelt nog één of meerdere keren een Nmin-bepaling uitgevoerd. De N-gift op een bepaald moment wordt dan als

volgt berekend:

$$N\text{-gift-}t_1 = (\text{NOG-}t_2 - \text{NOG-}t_1) - N_{\text{min-}t_1} + \text{BUF} - \text{MIN}$$

waarbij:

t_1	=	moment van meting
t_2	=	geplande moment van de volgende meting
$N\text{-gift-}t_1$	=	N-gift op tijdstip t_1
$\text{NOG-}t_2 - \text{NOG-}t_1$	=	N-opname door het gewas tussen tijdstip t_1 en t_2
$N_{\text{min-}t_1}$	=	hoeveelheid minerale bodem-N op tijdstip t_1
BUF	=	buffer
MIN	=	verwachte mineralisatie tussen tijdstip t_1 en t_2

De geschatte stikstofopname door het gewas tussen tijdstip t_1 en t_2 wordt afgelezen van een standaard-stikstofopnamecurve (zie figuur 6). De N-opnamecurve is gebaseerd op een knolopbrengst van 50 ton per ha voor consumptieaardappel en 45 ton per ha voor zetmeelaardappel. Voor een hogere of lagere opbrengst kan de N-opname naar rato worden aangepast.

De actuele N_{min} -voorraad in de bodem op t_1 wordt op zand- en dalgrond in de laag 0-30 cm gemeten en op klei in de laag 0-60 cm. De 1^e bemonstering vindt 3-4 weken na opkomst plaats. Omwille van kosten en arbeid wordt in praktijk meestal maar één keer bemonsterd. Door meerdere keren te bemonsteren tijdens de teelt, mag een hogere nauwkeurigheid van het systeem worden verwacht.

Het is belangrijk dat de N_{min} -voorraad in de bodem betrouwbaar wordt vastgesteld. Foutieve informatie over de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof in de bodem leidt tot een foutief bijmestadvies. Met name bij niet-uniforme verdeling van stikstof in de grond, na rijenbemesting of beddenbemesting, is de kans groot dat de gemeten N_{min} afwijkt van de werkelijke N_{min} -voorraad in de bodem. Dit vraagt om een gedegen, intensieve bemonstering.

De te hanteren buffer bedraagt 80 kg N per ha voor kleigrond en 60 kg N per ha voor zandgrond. Wanneer meerdere keren wordt bemonsterd, kan vanaf het moment van de eerste bemonstering de buffer worden verlaagd met 5 kg N per ha per week.

Voor de bijdrage door stikstofmineralisatie in de bodem kan volgens de adviesbasis bemesting worden gerekend met gemiddeld 1 kg N per ha per dag tot 1 augustus voor consumptieaardappelen en tot 15 augustus voor zetmeelaardappelen. Voor een naar schatting zwakker mineraliserende grond kan 0,8 kg N per ha per dag worden aangehouden en voor een sterker mineraliserende grond 1,2 kg N per ha per dag.

Tot slot wordt de bijmestgift gecorrigeerd voor de vroegrijpheid van het ras. Bij laatrijpende rassen wordt de stikstofgift verlaagd om een te late afrijping te voorkomen. Vroege rassen krijgen een hoger vroegheids-cijfer dan late rassen. Voor consumptieaardappelrassen met een vroegheidscijfer lager dan 6,5 en zetmeelaardappelrassen met een vroegheidscijfer lager dan 4,5 wordt een korting op de stikstofgift aangebracht van 5 kg N/ha per 0,5 punt verschil.

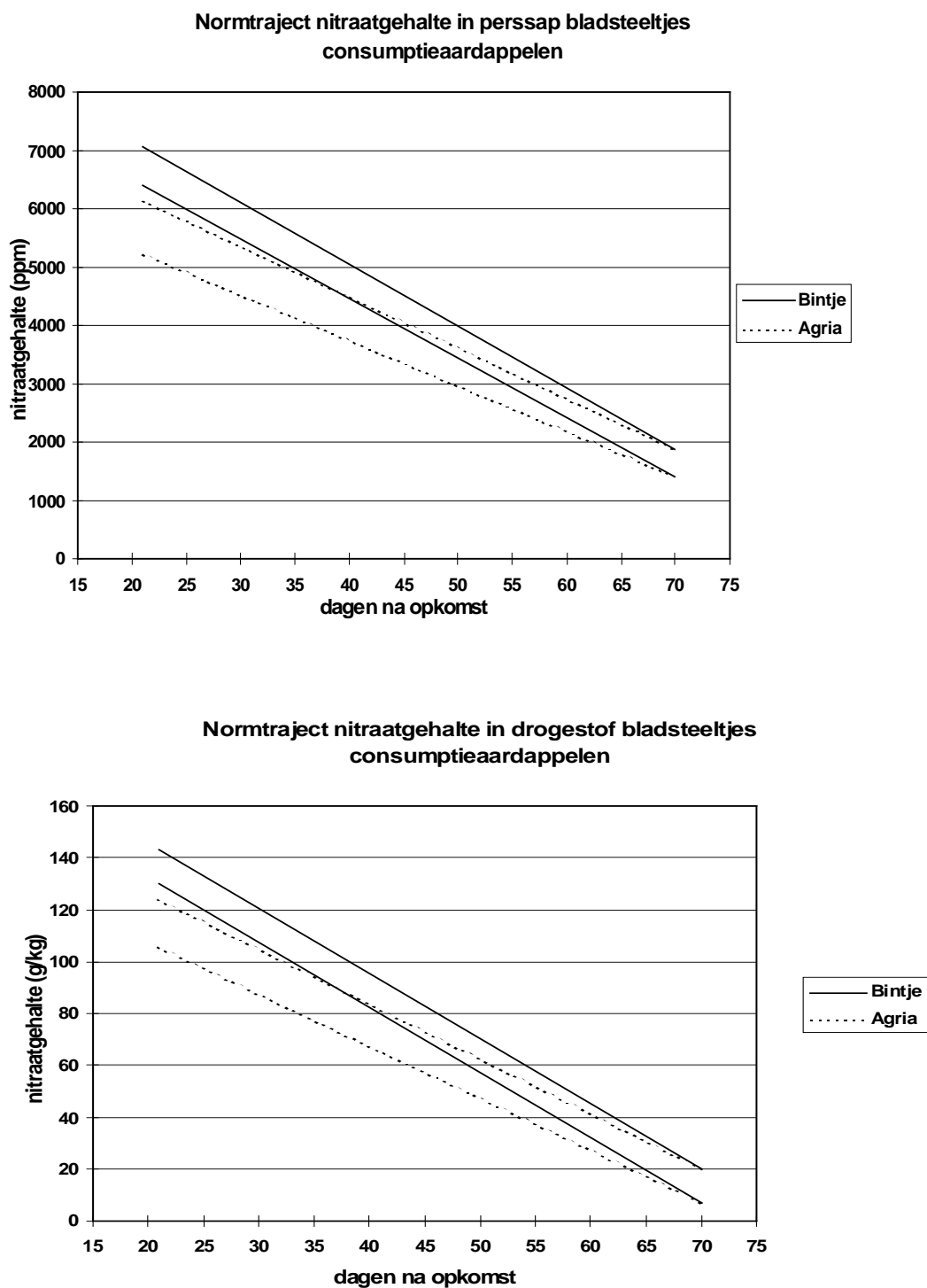
3.3.2 Bladsteeltjesmethode

In de 2^e helft van de jaren '80 heeft PPO-AGV de bladsteeltjesmethode voor consumptieaardappel in Nederland ontwikkeld (Van Loon & Houwing, 1989) en in de 1^e helft van de jaren '90 ook voor zetmeelaardappel (Van Loon et al., 1995). De methode is gebaseerd op meting van het nitraatgehalte in de aardappelbladsteeltjes.

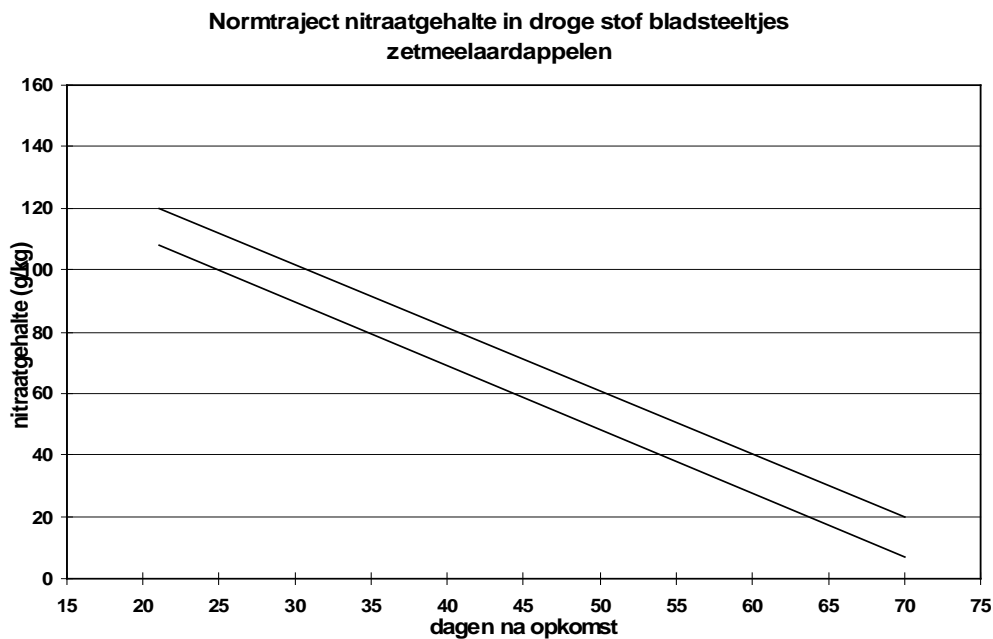
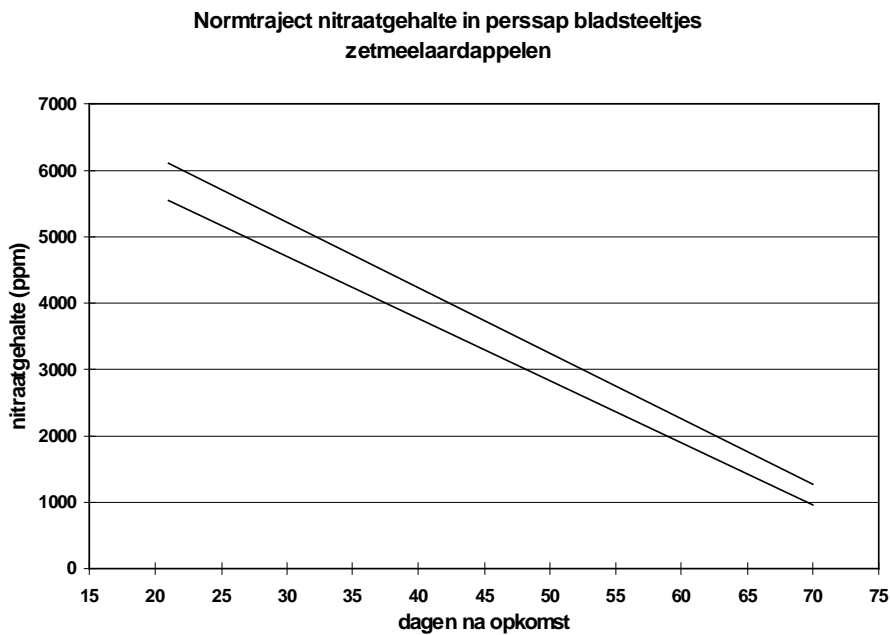
Vanaf 3-4 weken na opkomst wordt gedurende 4 à 5 weken in principe wekelijks het nitraatgehalte in bladsteeltjes gemeten. Het nitraat kan zowel in het sap van de bladsteeltjes worden gemeten als in de gedroogde bladsteeltjes. Een bepaling in het sap heeft als nadeel dat het gemeten nitraatgehalte wordt beïnvloed door het vochtgehalte in de bladsteeltjes, dat kan fluctueren. Bepaling in gedroogde bladsteeltjes heeft daarom de voorkeur.

Voor het verloop van het nitraatgehalte gedurende de groeiperiode zijn normlijnen opgesteld voor de consumptieaardappelen (figuur 12) en zetmeelaardappelen (figuur 13). Voor consumptieaardappel zijn

normlijnen opgesteld voor de rassen Bintje en Agria. Bij zetmeelaardappel is geen rasonderscheid gemaakt. Wanneer het nitraatgehalte onder de norm ligt, wordt bijbemest. Afhankelijk van hoever het gemeten gehalte onder de normlijn ligt, is het advies om 30-50 kg N/ha bij te bemesten.



Figuur 12. Nitraatnormlijnen voor consumptieaardappel (naar Van Dijk & Van Geel, 2010)



Figuur 13. **Nitraatnormlijnen voor zetmeelaardappel (naar Van Dijk & Van Geel, 2010)**

Het besluit om bij te bemesten is niet alleen afhankelijk van het nitraatgehalte, maar ook van de groeiomstandigheden. Wanneer het nitraatgehalte net onder de normlijn ligt, maar het gewas goed groeit, en/of een hoge mineralisatie wordt verwacht, kan de teler besluiten niet bij te bemesten en de volgende meting af te wachten.

In geval van droogte duidt een te laag nitraat gehalte niet altijd op stikstoftekort in de bodem. Onder droge omstandigheden is de plant nl. minder goed in staat stikstof op te nemen. In dat geval is het beter een grondmonster te nemen en gebruik te maken van het NBS-bodem (en om te beregenen indien mogelijk).

3.3.3 Aardappelmonitoring

3.3.3.1 Klassieke methode

Altic te Dronten heeft het systeem Aardappelmonitoring ontwikkeld, waarbij zowel het nitraatgehalte in het sap van de bladsteeltjes als de loofgroei worden gevolgd. Voor de bepaling van het loofgewicht moet de teler het loof van vijf representatieve planten bij de grond afsnijden en wegen. Hij geeft dit gewicht door aan Altic en stuurt de bladsteeltjes op, waarna Altic een advies geeft.

Altic heeft rasspecifieke normlijnen opgesteld voor het nitraatgehalte en het loofgewicht. Op basis van het verloop van het nitraatgehalte en het loofgewicht ten opzichte van de normlijnen, wordt het bijmestadvies berekend. Ook wordt rekening gehouden met het teeltdoel (b.v. industriële verwerking). De berekeningsmethode is bedrijfsgeheim. Wanneer de berekende adviesgift kleiner is dan 15 kg N per ha, wordt geen bijbemesting geadviseerd.

Er wordt vier keer bemonsterd tijdens het groeiseizoen, de eerste keer drie weken na opkomst en vervolgens om de 10 dagen. Afhankelijk van het poottijdstip of andere factoren, kan dit interval korter of langer zijn.

3.3.3.2 Aardappelmonitoring Online

Met de opkomst van satellieten voor remote sensing is Aardappelmonitoring Online ontwikkeld. Uit gewasreflectiemetingen, kunnen biomassa en stikstofstatus met een redelijke betrouwbaarheid worden afgeleid. Bij Aardappelmonitoring Online wordt het bijmestadvies gebaseerd op het nitraatgehalte in de bladstelen in combinatie met een berekend loofgewicht aan de hand van de satellietinformatie. Het bladsteeltjesmonster is afkomstig van een afgebakende plaats in het perceel (figuur 14). Op basis van dit monster wordt een absoluut stikstofadvies gegenereerd. De verschillen in stikstofstatus die uit de satellietopname of de nabije sensing naar voren komen, worden door ALTIC gebruikt om het op bladstelen gebaseerde N-advies over het perceel te variëren.

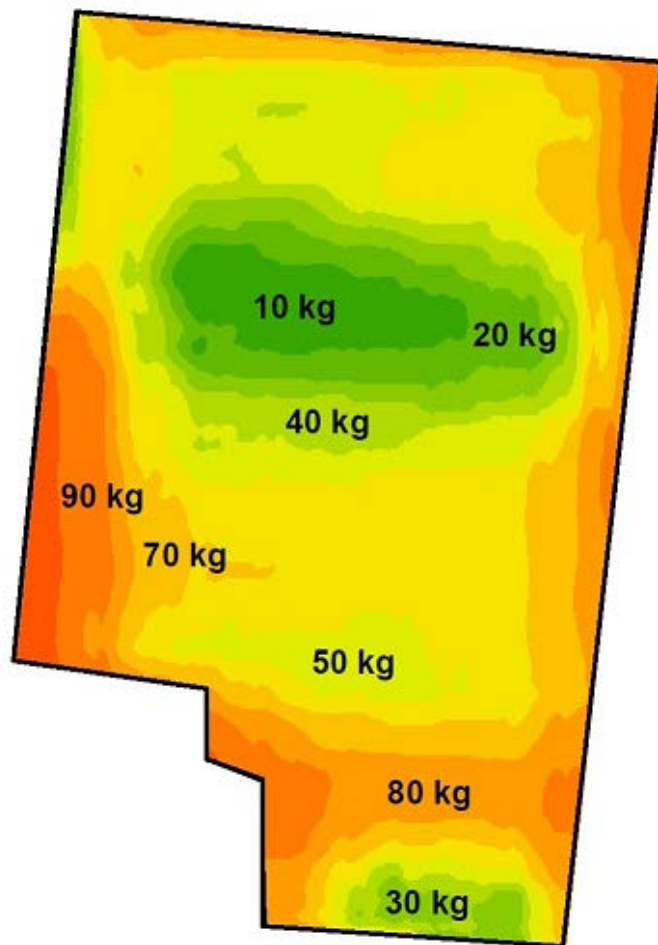


Figuur 14. Monsternameplaats Aardappelmonitoring Online

Met de opkomst van lichtreflectiesensoren, gemonteerd op de trekker cabine of aan de spuitboom, kan op bijna elk willekeurig tijdstip het gewas worden gemonitord. Net als uit de satellietopnamen kunnen ook uit deze sensoropnamen biomassa en stikstofstatus worden afgeleid en worden gebruikt in Aardappelmonitoring (Online). De gegevens van de Yara N-sensor kunnen al voor dit doel worden gebruikt.

De combinatie van Aardappelmonitoring met near sensing kan op twee manieren worden gemaakt:

- Methode 1. N-adviezen uit bladstelen worden gecombineerd met gewassensing (remote of near) en ALTIC maakt een digitale strooikaart.
- Methode 2. De Yara N-sensor meet op een bepaalde plek op het perceel. Voor die plek is de hoogte van de bijmestgift vastgesteld. De software van de Yara-sensor heeft ijklijnen waarmee de gift wordt aangepast naar plekken met hogere of lagere meetwaarden. Wanneer Aardappelmonitoring aangeeft dat er 40 kg N/ha moet worden bijbemest op de plaats waar het bladsteelmanster genomen is, rijdt de trekker met de Yara N-sensor daarheen en ijkt de sensor op die specifieke hoeveelheid stikstof voor die locatie. Vervolgens zet de Yara N-sensor dit advies automatisch om in een variabele taak waarbij de N-hoeveelheid over het perceel wordt gevarieerd op basis van reflectieverschillen die de Yara N-sensor meet.



Figuur 15. Strooikaart van het perceel voor stikstofbijbemesting, gemaakt met aardappelmonitoring en de Yara N-sensor.

3.3.3.3 Altic-proeven

Door ALTIC zijn in opdracht van Cebeco Meststoffen diverse proeven uitgevoerd waarin de werking van stikstofmeststoffen en toedieningstrategieën is onderzocht. Om de werking en efficiëntie van stikstof per proef vast te stellen is in veel gevallen een aantal referentieobjecten in de proeven opgenomen met verschillende N-niveaus. Een deel van de proeven is uitgevoerd in de Nederlandse zeekeleigebieden. De proeven op zandgrond zijn veelal in Drenthe uitgevoerd voor de teelt van zetmeelaardappelen.

In stikstofproeven past ALTIC standaard aardappelmonitoring toe om de werking van de stikstofmeststoffen en –niveaus gedurende het seizoen te volgen. Met aardappelmonitoring wordt in praktijkvelden op basis van nitraatgehalte en loofgewicht viermaal een N-advies gegeven en, indien nodig, een kalium en- of mangaanwaarschuwing. In de praktijkproeven wordt aardappelmonitoring (meestal) niet gebruikt voor de advisering, maar vooral om de N-werking inzichtelijk te maken. De diverse proeven met de resultaten van aardappelmonitoring zijn gepresenteerd in bijlage 1, voorzien van de bijbehorende stikstofbijbemestingsadviezen. De N-adviezen zijn niet opgevolgd, tenzij nadrukkelijk anders vermeld. In deze vergelijking wordt geïllustreerd wat aardappelmonitoring geadviseerd zou hebben en wat de respons op opbrengst en N-afvoer is bij een hogere basis N-gift. Hierna worden de conclusies van de proeven samengevat.

Conclusie Felsina

De tijdens het groeiseizoen gemeten nitraatwaarden (in combinatie met loofgewicht) leidden tot N-adviezen die over het algemeen goed corresponderen met de opbrengstrespons die gegenereerd werd door verhoging van de N-gift aan de basis. Op basis van deze gegevens kan voor het ras Felsina geen uitspraak worden gedaan over de effectiviteit van eventueel uitgevoerde bijbemestingen.

Conclusie Asterix

Op basis van 1 jaar onderzoek kunnen geen meerjarige conclusies over de N-advisering met aardappelmonitoring voor het ras Asterix worden getrokken. Wel lijkt Asterix met een relatief lage N-gift een optimale opbrengst te kunnen realiseren. Wellicht dat de berekende N-advisering bij 120 en 200 kg N/ha nog aan de hoge (veilige) kant was.

Conclusie Ramos

Met aardappelmonitoring kan voor het ras Ramos goed ingeschat worden waar de optimale gift ligt. Het nitraatgehalte en het loofgewicht biedt geen directe vertaalslag naar de daadwerkelijk te realiseren opbrengst. Wanneer andere factoren dan stikstof beperkend zijn, levert voldoende stikstof niet automatisch een goede opbrengst. De gegeven adviezen sluiten goed aan bij de aan de hand van de opbrengstcijfers ingeschatte optimale N-gift.

Conclusie zetmeelaardappelen

De verschillen tussen de drie jaren waren vrij groot. In 2006 leidde aardappelmonitoring bij Seresta tot een juiste inschatting van de stikstofstatus. Ook bij Aveka in 2008 was dit het geval. Bijbemesting bleek bij een N-niveau van 150 kg N/ha aan de basis niet meer zinvol.

In 2010 bleek bij Seresta dat de opbrengst wel kon worden verhoogd door meer dan 150 kg N/ha aan de basis toe te dienen. Het uitbetalingsgewicht werd echter vrijwel niet meer verhoogd bij meer dan 150 kg N/ha. Met name bij zetmeelaardappelen in 2010 leek het bijbemestingsadvies bij 150 kg N/ha aan de basis al 'over de top'.

Conclusie Agria

Uit de drie uitgevoerde proeven blijkt dat met aardappelmonitoring een vrij goede inschatting gemaakt kan worden voor de stikstofvoorziening in Agria's. In 2006 leek het advies iets ruim, terwijl in 2010 een hogere advisering positiever effect had gehad. Duidelijk is wel dat aan de hand van aardappelmonitoring voor Agria's een vrij goede inschatting gemaakt kan worden over de stikstofstatus op dat moment en de (meer)waarde van eventueel uit te voeren bijbemestingen.

3.3.4 Gewasreflectiemeting

Via meting van de lichtreflectie door het aardappelloof kan de bovengrondse biomassa worden vastgesteld en de stikstofinhoud van het gewas. In de periode 1996-2003 heeft Plant Research International (PRI) te Wageningen een op gewasreflectiemetingen gebaseerd N-bijmeststelsel voor aardappelen ontwikkeld. De gewasreflectie werd hierbij gemeten met de CropScan. De methode is onder meer beschreven door Booij en Uenk (2004) en Jongschaap & Booij (2004). In 2009 en 2010 hebben Van Evert et al. (2011) de methode opnieuw getoetst en aanvullende waarnemingen verricht teneinde het systeem te kunnen verbreden naar alle grondsoorten, rassen en teeltdoelen.

3.3.4.1 CropScan-methode

Het Sensor-NBS in aardappel bestaat uit vier stappen:

1. Meting van de gewasreflectie met een sensor die groen rood en infrarood licht meet.
2. Afleiden van de vegetatie index (WDVI) uit de reflectiewaarden voor groen of rood en infrarood licht.
3. Afleiding van de N-opname door het gewas uit de vegetatie-index met behulp van een ijklijn.
4. Vaststellen van de stikstofbijmestgift op basis van een streefwaarde.

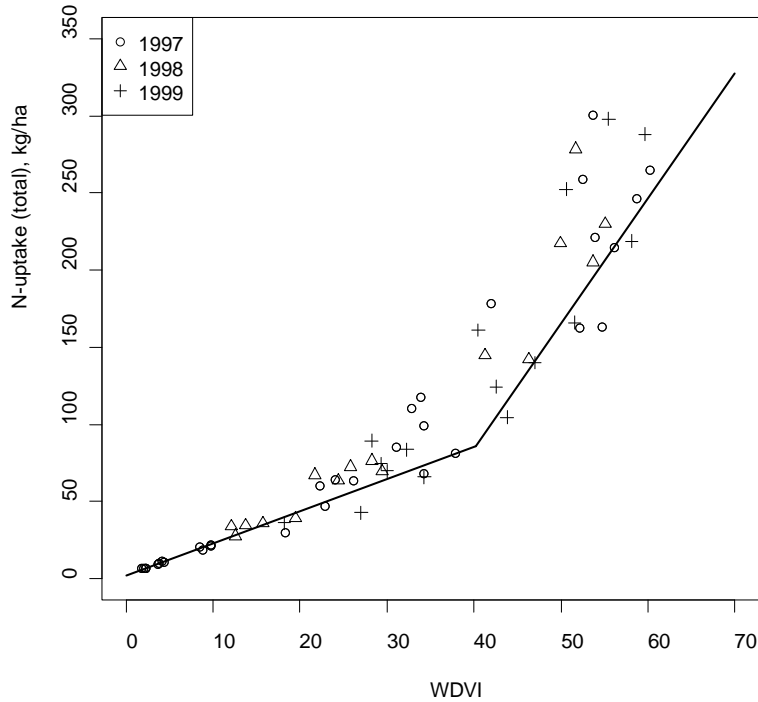
In het onderzoek is de lichtreflectie steeds gemeten met de CropScan-sensor. Deze sensor meet invallend licht en weerkaatst licht in vooraf ingestelde frequenties. De mate van reflectie van de afzonderlijke golflengtes wordt berekend met een aan de sensor gekoppelde minicomputer. De meter wordt op een hoogte van 1-2 meter boven het gewas gehouden en meet aan de bovenkant het invallende licht en aan de onderkant het door het gewas gereflecteerde licht in de golflengtes 460, 510, 560, 610, 660 nm (zichtbaar licht) en 710, 760 en 810 nm (infrarood). Uit de reflectiewaarden worden vegetatie-indices berekend. Uit het onderzoek is gebleken dat de indices $WDVI_{\text{groen}}$ en de $WDVI_{\text{rood}}$ een vrij hoge correlatie hebben met de biomassa en de stikstofinhoud van het gewas. De $WDVI$ geeft in aardappelen een betere voorspelling van de N-inhoud van het gewas dan andere vegetatie-indices (Van Evert et al., 2011). In figuur 17 is de ijklijn weergegeven die het verband aangeeft tussen de totale N-opname van het aardappelgewas en de $WDVI$. Deze ijklijn is in 2010 opnieuw getoetst (figuur 18). Het knikpunt in de ijklijn is ongeveer het moment van knolzetting. Vanaf dat moment wordt er ook stikstof opgeslagen in de knollen.

Op dit moment kan met de methode alleen een stikstofbijmestadvies worden gegeven vanaf het moment dat het gewas de bodem voor minimaal 90% heeft bedekt. Er zijn streefwaarden afgeleid voor de N-opname van het gewas vanaf dit gewasstadium. De uit de sensorwaarde afgeleide stikstofinhoud wordt vergeleken met de streefwaarde (de gewenste stikstofinhoud). Deze bedraagt 200 kg N per ha voor consumptie-aardappel en 175 kg N per ha voor zetmeelaardappel. Wanneer de gemeten waarde onder de norm ligt, wordt het verschil bijbemest. Dus: $N\text{-bijmestgift} = \text{streefwaarde N-inhoud gewas} - \text{gemeten N-inhoud gewas}$. Verder moet het gewas voor een betrouwbare CropScan-meting droog zijn. In een natte periode kan niet goed worden gemeten. Ook mag het loof niet in elkaar zijn gezakt of verwaaid, want dan is geen betrouwbare meting mogelijk.

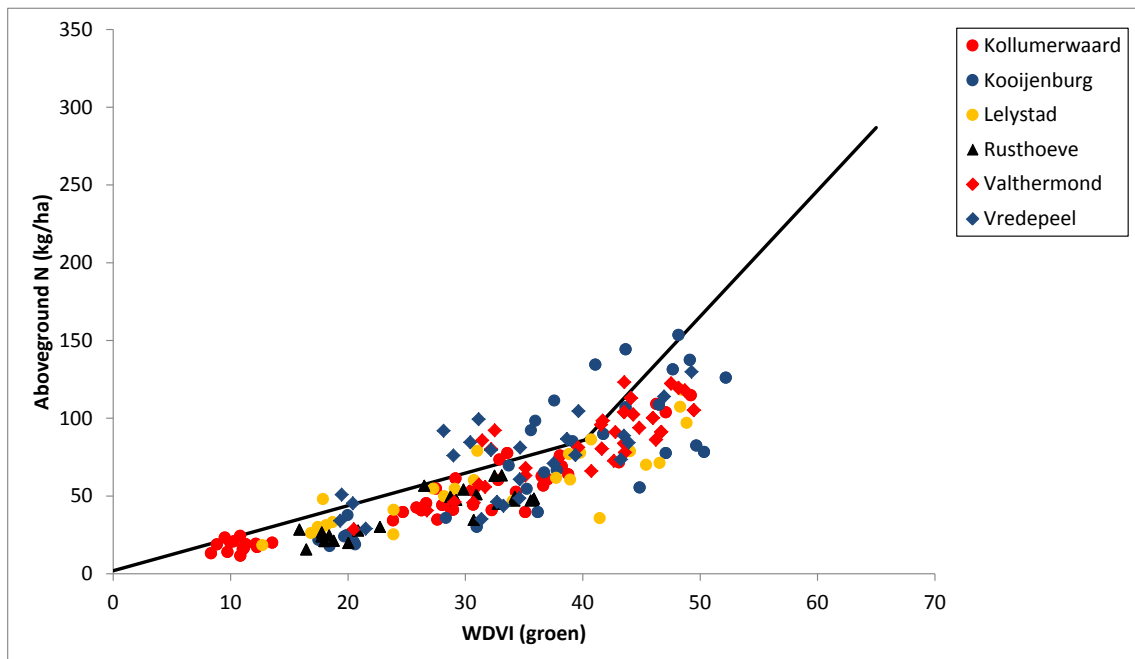


Figuur 16. Meting van de gewasreflectie in aardappel met de CropScan op een proefveld te Vredepeel

Een uitgebreide beschrijving van de ontwikkeling en toetsing van de CropScan-methode wordt gegeven door Van Evert et al. (2011). Op basis van de ervaringen in 2009 en 2020 is in dit rapport een handleiding opgesteld voor de toepassing van sensorgestuurde N-bijbemesting in de praktijk. Een verkorte versie hiervan is opgenomen in bijlage 3 van dit rapport.



Figuur 17. **Ijklijn die het verband aangeeft tussen de WDWI en de totale N-opname van het aardappelgewas (overgenomen uit Van Evert et al, 2011)**



Figuur 18. **Toetsing van de ijklijn aan de gemeten N-opname en WDWI in zes aardappelproeven in 2010 (overgenomen uit Van Evert et al, 2011)**

3.3.4.2 CropScan-methode met omgekeerde N-vensters

Bij het aanleggen van N-vensters in het gewas wordt gewoonlijk gekozen voor een lagere N gift. In deze vensters komt een N-tekort aan het licht voordat dit op de rest van het perceel het geval is. In 2002 en 2003 heeft PRI op diverse percelen het gebruik van een N-venster in zetmeel- en consumptieaardappelen getoetst. De vensters kregen gemiddeld een ca. 50 kg N per ha lagere basisbemesting dan de rest van het perceel. In beide jaren tekenden de vensters in het overgrote deel van de percelen op het oog niet en er is in de meeste gevallen niet bijbemest. In 2002 was de opbrengst van de vensters niet lager dan op de rest van het perceel en in 2003 in de meeste gevallen ook niet. Bij een aantal vensters echter, was de opbrengst in 2003 wel lager, tot ca. 8 ton per ha, ondanks dat ze niet tekenden. Gewone N-vensters lijken daarom als hulpmiddel voor geleide bemesting onvoldoende betrouwbaar (Van Geel et al, 2004b; Uenk et al., 2003). Een alternatief is om te kiezen voor omgekeerde N-vensters.

In 2002 en 2003 zijn op een zandgrond in Drenthe proeven uitgevoerd waarin omgekeerde N-vensters werden gebruikt om de hoogte van de bijmestgift te bepalen (Uenk et al., 2005). Hierbij wordt het venster juist hoger bemest dan de rest van het perceel en dient als referentie met een ruim voldoende stikstofvoorziening. Het venster kreeg een gift van 225 kg N per ha en de rest van het perceel een basisgift van 150 à 180 kg N per ha.

In deze proeven is met de CropScan-sensor de actuele gewas-N-inhoud van het omgekeerde venster en van de rest van het veld vastgesteld. De hoogte van de bijmestgift is vervolgens berekend als het verschil in gewas-N-inhoud tussen het omgekeerde venster en de rest van het veld. De actuele gewas-N-inhoud van het omgekeerde venster fungeerde dus in feite als streefwaarde voor de rest van het veld. Proefactoren waren verder: een lage en hoge basisbemesting en niet, vroeg of laat bijmesten.

In 2002 gaf deze methode een besparing op de N-gift van 20-55 kg N per ha ten opzichte van het omgekeerde venster met gelijkblijvende opbrengsten. De behaalde besparing bleek onder meer afhankelijk te zijn van het tijdstip van bijmesten: later bijmesten leverde een grotere besparing op. In 2003 adviseerde dit systeem een te lage bijbemesting met een opbrengstderiving van 5-10 ton per tot gevolg. Dit was deels te verklaren, doordat het omgekeerde venster (225 kg N per ha) voor de situatie van dat hete, droge jaar te laag was. Met een hoger niveau als referentie zou een beter advies zijn gegeven.

Het gebruik van omgekeerde vensters in combinatie met gewasreflectiemeting heeft mogelijk perspectief, maar de methode moet nog verder worden ontwikkeld. Of deze methode praktisch uitvoerbaar en betrouwbaar is, wat de juiste hoogte is van de N-gift op het omgekeerde venster en hoe het bijmestadvies moet worden berekend, vraagt om nader onderzoek.

3.3.4.3 Vertaling naar en bruikbaarheid van andere gewasreflectiesensoren

De CropScan-sensor is een te kwetsbaar instrument voor gebruik in praktijk op landbouwwerktuigen. Er zijn wel diverse andere sensoren beschikbaar die op trekkers of machines kunnen worden gemonteerd. Een overzicht met beschrijving van deze sensoren wordt geven door Kroonen-Backbiet et al. (2004) en Van Evert et al. (2011). De praktijksensoren wijken echter op een aantal punten af van de CropScan. Met name de golflengtes en bandbreedtes waarin deze sensoren meten, wijken af. De vegetatie-indices die bij andere sensoren worden berekend, wijken ook af van die van de CropScan-methode. Verder meet de Yara N-Sensor niet loodrecht naar beneden zoals de CropScan maar onder een hoek, wat een andere gewasbeeld oplevert, met name als er nog geen volledige grondbedekking is. De Crop Circle en de Greenseeker maken gebruik van actief licht, terwijl de CropScan met omgevingslicht werkt. Verder verschillen de sensoren in optische eigenschappen.

De reflectiemetingen van alle praktijksensoren wordt omgerekend naar een vegetatie-index. Dit is een andere index dan de WDVI van de CropScan. De ijklijn uit het CropScan-onderzoek kan daarom niet direct in combinatie met praktijksensoren worden gebruikt, maar moet worden vertaald. Dit kan alleen als er een goed verband is tussen de vegetatie-index van een praktijksensor en de WDVI van de CropScan.

De bruikbaarheid van andere, in praktijk beschikbare sensoren is – op één locatie, in één jaar – onderzocht (Van Evert et al., 2011). Uit deze metingen bleek dat de GreenSeeker slecht bruikbaar is voor schatting van de N-inhoud van het gewas, de CropCircle bleek matig bruikbaar, en de bruikbaarheid van de Yara N-Sensor is vergelijkbaar met die van de CropScan.

3.4 Vergelijking van N-bijmestsystemen in proeven

Een goed functionerend N-bijmeststelsel moet aangeven wat onder de betreffende groeiomstandigheden de juiste N-gift is. Dat kan zowel meer als minder zijn dan de gift volgens de N-bemestingsrichtlijn. De mogelijkheid om stikstof te besparen is uiteraard het grootste op sterk-mineraliserende gronden. Door hier (fors) te besparen, houdt men stikstof over voor percelen die eventueel meer nodig hebben. Hierna worden de resultaten van proeven weergegeven van de afgelopen 10 jaar waarin meerdere N-bijmestsystemen met elkaar zijn vergeleken en waarin vaste N-trappen zijn aangelegd waaruit achteraf kon worden afgeleid wat onder de betreffende groeiomstandigheden een optimale N-gift was.

In 2002 en 2003 zijn een aantal bijmestsystemen vergeleken in zetmeelaardappel op zandgrond te Rolde in Drenthe (Van Geel et al., 2004) en in consumptieaardappel op kleigrond te Colijnsplaat in Zeeland (Slabbekoorn, 2002 en Slabbekoorn, 2003). De proefresultaten zijn ook beschreven door Van Evert et al. (2011). Op beide locaties zijn twee rassen opgenomen in de proeven. Vergeleken zijn NBS-bodem, de bladsteeltjesmethode, aardappelmonitoring, de CropScan-methode en enkele systemen die niet in praktijk in gebruik zijn genomen. Het toegepaste NBS-bodem in die proef wijkt af van het huidige NBS-bodem in de adviesbasis bemesting, dat in 2004 is verbeterd (zie paragraaf 3.3.1). Het toen gebruikte NBS-bodem wordt daarom nu buiten beschouwing gelaten. Wel zal worden aangegeven wat het huidige NBS-bodem zou hebben geadviseerd. Het is echter lastig om dit adviesstelsel te beoordelen, omdat het berekende bijmestadvies niet daadwerkelijk is gestrooid in de proeven.

Te Rolde zijn de rassen Seresta (het meest geteelde zetmeelaardappelras) en het late ras Mercator opgenomen in de proeven. De N-bemestingsrichtlijn op zandgrond bedraagt 250 kg N per ha voor Seresta en 185 kg N per ha voor Mercator. In 2002 kon hierop volgens de vuistregels uit de adviesbasis bemesting 30 kg N per ha in mindering worden gebracht vanwege de stikstofnawerking uit gewasresten van de voorvrucht suikerbiet, resulterend in 220 kg N per ha voor Seresta en 155 kg N per ha voor Mercator. Er werd in 2002 gestart met een basisgift bij poten van 150 kg N per ha voor Seresta en 120 kg N per ha voor Mercator. Bij de bladsteeltjesmethode en aardappelmonitoring zijn beide rassen niet bijbemest. Bij hantering van de CropScan-methode is 30 kg N per ha bijgegeven aan Seresta en 20 kg N per ha aan Mercator. De afgeleide optimale N-gift bedroeg 180 kg N per ha voor Seresta en 60 kg N per ha voor Mercator. De CropScan-methode gaf het juiste advies voor Seresta, resulterend in een besparing van 40 kg N per ha. De bladsteeltjesmethode en aardappelmonitoring gaven het juiste advies voor Mercator: niet bijbemesten na een eigenlijk al te hoge basisgift, resulterend in een besparing van 35 kg N per ha. Het NBS-bodem zou 50 kg N per ha hebben geadviseerd aan Seresta en 40 kg N per ha aan Mercator. In 2003 werden de basisgiften verlaagd naar 115 kg N per ha voor Seresta en 90 kg N per ha voor Mercator. Aan Seresta is 90 kg N per ha bijgegeven bij de bladsteeltjesmethode, 50 kg N per ha bij aardappelmonitoring en 70 kg N per ha bij de CropScan-methode. De afgeleide optimale N-gift bedroeg 260 kg N per ha. Bij alle bijmestsystemen werd te weinig stikstof gegeven, resulterend in opbrengstderving. Dit bevestigde eerdere onderzoeksresultaten van Wijnholds (2000) dat bij een bewust gekozen lage basisgift bijbemesting veelal resulteert in een lage totaalgift en een lagere opbrengst. Het NBS-bodem zou een bijmestgift van 85 kg N per ha hebben geadviseerd, wat ook te laag zou zijn geweest. Bij Mercator is 80 kg N per ha bijgegeven bij de bladsteeltjesmethode en 70 kg N per ha bij zowel aardappelmonitoring als de CropScan-methode. Er kon voor Mercator geen optimale gift worden afgeleid. Het hoogste uitbetalingsgewicht werd verkregen bij de CropScan-methode. Dit leek toe te schrijven aan deling van de N-gift en een laat bijmestmoment (10 juli). Het NBS-bodem zou een bijmestgift van 90 kg N per ha hebben geadviseerd medio juni.

Te Colijnsplaat zijn het vroege ras Felsina en het latere ras Agria opgenomen in de proeven. In 2002 bedroeg de N-gift volgens de rasgerichte N-bemestingsrichtlijnen 181 kg N per ha voor Agria en 266 kg N per ha voor Felsina (Van Evert et al., 2011). In het voorafgaande najaar is een bladrammenas-groenbemester ingewerkt. Volgens de uitgangspunten van adviesbasis bemesting wordt hiervoor geen korting aangebracht op de N-gift indien na de winter de Nmin-voorraad in de bodem wordt gemeten (hetgeen is gebeurd in de proef). Er werd gestart met basisgiften bij poten van 80 kg N per ha voor Agria en 131 kg N per ha voor Felsina. Aan Agria is 30 kg N per ha bijgegeven bij de bladsteeltjesmethode en 70

kg N per ha bij aardappelmonitoring. Bij de CropScan-methode is niet bijbemest. Bij Felsina is bij alle drie de systemen niet bijbemest. De afgeleide optimale N-gift bedroeg 100 kg N per ha voor Agria en 175 kg N per ha voor Felsina. Voor Agria was een geringe bijmestgift dus voldoende. Felsina had wel moeten worden bijbemest. De opbrengstverschillen tussen de verschillende systemen waren overigens klein en bij beide rassen statistisch niet significant. Het NBS-bodem zou begin juni een bijmestgift hebben geadviseerd van 40 kg N per ha voor Agria en 25 kg N per ha voor Felsina.

In 2003 bedroeg de N-gift volgens de rasgerichte N-bemestingsrichtlijnen 169 kg N per ha voor Agria en 254 kg N per ha voor Felsina, maar deze laatste is op grond van de ervaring van 2002 verlaagd naar 234 kg N per ha. Er werd gestart met basisgiften bij poten van 102 kg N per ha voor Agria en 141 kg N per ha voor Felsina. Aan Agria is 0 kg N per ha bijgeven bij de bladsteeltjesmethode, 40 kg N per ha bij monitoring en 60 kg N per ha bij de CropScan-methode. Aan Felsina is 30 kg N per ha bijgeven bij de bladsteeltjesmethode, 50 kg N per ha bij monitoring en 35 kg N per ha bij de CropScan-methode. De afgeleide optimale N-gift bedroeg tenminste 254 kg N per ha voor Agria en tenminste 352 kg N per ha voor Felsina. Alle systemen adviseerden dus te laag. Voor een maximale opbrengst was een N-gift boven de richtlijn nodig. Bij de CropScan-methode is Agria mogelijk ook te laat bijbemest (10 juli); de opbrengst bleef wat achter. Het NBS-bodem zou eind juni een bijmestgift hebben geadviseerd van 55 kg N per ha voor Agria en niets voor Felsina vanwege een hoge gemeten bodemvoorraad stikstof.

Binnen het programma Preciesielandbouw (PPL) wordt in 2010 en 2011 het project 'Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen' uitgevoerd met als doel om sensor-gestuurde N-bijbemesting in aardappelen te toetsen en verder te ontwikkelen. In 2009 en 2010 zijn op diverse locaties en grondsoorten in Nederland proeven aangelegd waarin de CropScan-methode is beproefd, veelal in vergelijking met aardappelmonitoring. In de proeven waren ook stikstoftrappen aangelegd en in de meeste gevallen kon achteraf een optimale N-gift worden afgeleid. De proeven zijn beschreven in het projectrapport van 2010 (Van Evert et al., 2011) en de resultaten ervan worden hierna samengevat.

In consumptieaardappelproeven in 2009 en 2010 met het ras Fontane te Vredepeel (zuidoostelijk zand) zijn een reeks vaste N-trappen aangelegd waarbij verschillende delingsregimes zijn toegepast. De bijbemestingen vonden plaats op 2 juni 2009 en 14 juni 2010.

In de proef van 2009 gaf deling van de gift (bij gelijke N-totaalgift) een wat hogere opbrengst dan een eenmalige gift aan de basis, met name bij lagere N-totaalgift, maar het effect van deling was statistisch niet significant. In de proef van 2010 had de verdeling van de totale N-gift over basisbemesting en bijbemesting geen duidelijke invloed op de opbrengst. Enkel bij een basisgift van 0 kg N/ha was de opbrengst lager dan wanneer 50, 100 of 150 kg N per ha aan de basis werd gegeven. Bij de basisgiften van 50, 100 of 150 kg N per ha was er geen significant opbrengstverschil bij gelijke N-totaalgift.

In de proef van 2009 had het gewas half juni voldoende grondbedekking bereikt om een CropScan-advies te kunnen genereren. Het berekende bijmestadvies bedroeg:

- 70 kg N/ha na een basisgift van 100 kg N/ha;
- 45 kg N/ha na een basisgift van 150 kg N/ha;
- 40 kg N/ha na een basisgift van 200 kg N/ha;
- 30 kg N/ha na een basisgift van 250 kg N/ha.

De bijmestgiften zijn niet daadwerkelijk gestrooid, waardoor het effect op de opbrengst en kwaliteit niet kon worden nagegaan. Er is in deze proef niet met aardappelmonitoring gemeten. De N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn bedroeg 248 kg N/ha. Er is in deze proef een optimale N-gift afgeleid van 245 kg N per ha. Normaliter zou bij toepassing van een NBS een basisgift van 150 kg N per ha zijn gegeven. De CropScan-methode adviseerde in dat geval te weinig. Bij een basisgift van 200 kg N per ha gaf de CropScan-methode een vrijwel juist advies. Opmerkelijk is dat ook in deze proef een lager gekozen basisgift resulteerde in een lagere totale N-gift.

In de proef van 2010 gaf de CropScan-methode op 1 juli bij een basisgift van 150 kg N/ha een bijmestadvies van 85 kg N/ha. De bijmestgift is niet daadwerkelijk gestrooid. Na een basisgift van 50 of 100 kg N/ha was geen advies mogelijk wegens onvoldoende grondbedekking. Normaliter zou bij toepassing van een NBS een basisgift van 150 kg N per ha zijn gegeven.

Hoewel meerdere objecten in de proef zijn gevolgd met aardappelmonitoring, was als zodanig geen bijmestobject op basis van monitoring in de proef opgenomen. Monitoring gaf wel aan dat de

stikstofvoorziening niet toereikend was, ook niet bij de hoogste N-niveau's, maar er kan niet goed worden bepaald hoe hoog de totale N-gift was uitgekomen bij toepassing van aardappelmonitoring. Bij de hoogste N-trap in de proef, een basisgift van 150 plus een bijmestgift van 100 kg N per ha, gaf monitoring aan dat aanvankelijk niet hoefde te worden bijbemest en dat eind juli een bijmestgift van 20 kg N per ha nodig was. Dat zou neerkomen op een totale N-gift van 270 kg N per ha. De berekende N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn bedroeg 268 kg N/ha.

Bij de hoogste N-trap in de proef (250 kg N per ha) was er qua opbrengst sprake van een nog steeds stijgende trend. De optimale N-gift bedraagt derhalve tenminste 250 kg N/ha. Het CropScan-advies om bij te bemesten was terecht, maar het had hoger mogen zijn. Aardappelmonitoring had waarschijnlijk het beste bijmestadvies gegeven.

In een zetmeelaardappelproef in 2010 met het ras Seresta te Valthermond (dalgrond) zijn vaste N-trappen aangelegd (eenmalig toegediend bij poten) en basisgiften van 125 en 175 kg N per ha ten behoeve van NBS. Hoewel nog geen volledige grondbedekking was bereikt, zijn op 7 juli bijmestadviezen gegenereerd met de CropScan-methode: na een basisgift van 125 kg N werd een bijbemesting van 85 kg N per ha geadviseerd en na een basisgift van 175 kg N per ha een bijmestgift van 106 kg N per ha. Deze giften zijn niet gestrooid. Na beide basisgiften is 50 en 100 kg N per ha bijbemest. Pas op 20 juli werd voldoende grondbedekking door het loof bereikt.

Volgens aardappelmonitoring had er zowel na een basisgift van 125 als 175 kg N per ha niet te hoeven worden bijbemest. De stikstofgift volgens de N-bemestingsrichtlijn op basis van N_{min} bedroeg 205 kg N/ha. De vaste, rasgerichte richtlijn voor Seresta op dalgrond bedraagt 215 kg N/ha (Veerman et al., 2006).

Uit de vaste N-trappen (als eenmalige gift aan de basis) is afgeleid dat het maximale uitbetalingsgewicht werd behaald bij een (berekende) gift van ca. 170 kg N/ha. Hogere giften leidden niet tot een hoger veldgewicht, terwijl het OWG al afnam bij giften >0 kg N/ha. De berekende economisch optimale N-gift bedroeg ca. 140 kg N/ha.

Een basisgift van 175 kg N/ha was voldoende hoog en een advies om bij te bemesten was niet terecht. Een basisgift van 125 kg N/ha was net niet voldoende, hetgeen op zich goed is gesignaleerd door de CropScan-methode, enkel was het bijmestadvies te hoog. Er was echter geen respons van het UBG op de bijbemesting. Het leek na de basisgift van 175 kg N/ha het UBG zelfs iets te verlagen (niet significant). Waarschijnlijk hebben de late opkomst van het gewas en een droge periode in de maand juni ertoe geleid dat het gewas op het moment van bemesten nog maar weinig van de in de bodem aanwezige minerale N had opgenomen. Het CropSan-bijmestadvies was veel te ruim, omdat dit systeem geen rekening houdt met nog in de bodem aanwezige stikstof.

In een zetmeelaardappelproef in 2010 met het ras Seresta te Rolde (zandgrond) zijn vaste N-trappen aangelegd (eenmalig toegediend bij poten), een gedeelde N-gift van 200 + 50 kg N per ha en een basisgift van 150 voor aardappelmonitoring. Er werd in de zomer onvoldoende grondbedekking door het loof bereikt om een betrouwbaar CropScan-advies te kunnen genereren. Aardappelmonitoring gaf op 15 juli het advies om nog 30 kg N per ha bij te bemesten na een basisgift van 150 kg N per ha. Voor het Seresta op zandgrond bedraagt de rasgerichte richtlijn 250 kg N per ha (Veerman et al., 2006).

De berekende economisch optimale N-gift in deze proef bedroeg slechts ca. 60 kg N/ha. Hogere, eenmalige N-giften aan de basis leidden niet tot een verdere opbrengststijging en bij giften boven de 130 kg N/ha zelfs tot een daling. Ook het OWG nam bij hogere N-gift af. Deling van de hoge N-gift (200 + 50 kg N per ha) leek daarentegen geen daling van het uitbetalingsgewicht te geven (effect niet significant), maar ook geen stijging. Na de reeds gestrooide basisgift van 150 kg N per ha was geen bijbemesting meer nodig.

In een consumptieaardappelproef in 2010 met het ras Agria te Lelystad (kleigrond) zijn een reeks vaste N-trappen aangelegd (eenmalig toegediend bij poten), een gedeelde N-gift van 200 + 50 kg N per ha en een basisgift van 150 voor aardappelmonitoring. Aardappelmonitoring adviseerde om niet bij te bemesten. Pas op 27 juli werd voldoende grondbedekking door het loof bereikt om een betrouwbaar CropScan-advies te kunnen genereren. Dit bedroeg:

- 72 kg N/ha na een gift bij poten van 130 kg N/ha;
- 63 kg N/ha na een gift bij poten van 150 kg N/ha.

Deze bijmestadviezen zijn niet daadwerkelijk gestrooid in de proef. De teler bij wie de proef was aangelegd, zou totaal 200 kg N/ha hebben gegeven.

Bij de hoogste N-trap in de proef (250 kg N per ha) vertoonde de marktbaar opbrengst nog steeds een stijgende trend. De optimale N-gift bedraagt derhalve tenminste 250 kg N/ha. Hoewel de CropScan-methode detecteerde dat er een N-tekort was, zou het moment van bijbemesten waarschijnlijk te laat zijn geweest om nog een optimale opbrengst te kunnen behalen. Het advies van aardappelmonitoring was te laag, alsook de praktijkgift.

In een consumptieaardappelproef in 2010 met het ras Victoria te Colijnsplaat (kleigrond) zijn een aantal vaste N-trappen aangelegd met verschillende delingsregimes. Er is begin juli bijbemest. Deling van de stikstofgift had geen significant effect op de opbrengst t.o.v. een eenmalige gift aan de basis. Er werd in de zomer onvoldoende grondbedekking door het loof bereikt om een betrouwbaar CropScan-advies te kunnen genereren. De objecten in de proef zijn ook gevolgd met aardappelmonitoring, maar er was geen bijmestobject op basis van monitoring in de proef opgenomen. Na een basisgift van 100 kg N per ha zou er tenminste 60 kg N per ha zijn geadviseerd en na een basisgift van zowel 150 als 250 kg N per ha zou een bijmestgift van 40 kg N per ha zijn geadviseerd. Normaliter zou met een basisgift van 150 kg N per ha zijn gestart. De rasgerichte richtlijn voor Victoria (van het handelshuis) bedraagt 250 kg N per ha. Uit de proef is afgeleid dat de hoogste knolopbrengst werd behaald bij een N-gift van rond de 185 kg N/ha. De berekende economisch optimale N-gift bedroeg ca. 170 kg N/ha. Het advies van aardappelmonitoring zat daar dicht bij.

In tabel 2 zijn van de in deze paragraaf beschreven proeven de totale stikstofgiften van de verschillende adviesystemen naast elkaar gezet. De giften van bijmestsystemen waarvan de berekende adviesgift niet daadwerkelijk is gestrooid, zijn cursief weergegeven. Indien meerdere basisgiften in de proeven waren opgenomen, is uitgegaan van de basisgift van 150 kg N per ha (en 125 kg N per ha op dalgrond). Ook is de afgeleide, optimale N-gift weergegeven.

Door de bank genomen deden de verschillende bijmestsystemen niet veel voor elkaar onder qua nauwkeurigheid van advisering. Het wisselt per proef welk systeem het beste advies gaf en soms lagen de adviezen dicht bij elkaar. Het advies van de CropScan-methode zat meestal het dichtste bij de afgeleide optimale N-gift en dat van de bladsteeltjesmethode (proeven 2002-2003) het verste ervan af. Een manco van de bladsteeltjesmethode is dat er geen (zetmeelaardappel) of weinig (consumptieaardappel) rasspecifieke normlijnen zijn ontwikkeld, in tegenstelling tot aardappelmonitoring. In de proef te Rolde in 2003 bij het ras Mercator is niet bekend wat de (meest waarschijnlijk) optimale N-gift was, maar toepassing van de CropScan-methode gaf het hoogste uitbetalingsgewicht in deze proef.

Geconcludeerd kan worden dat de CropScan-methode minstens even goed presteerde als de andere N-bijmestsystemen, terwijl de methode minder arbeid kost, het snelste van alle systemen (direct na meting) een advies kan geven en de mogelijkheid biedt om variabel bij te bemesten binnen een perceel. Een NBS op basis van gewasreflectiemeting is daarom het meest perspectiefvol.

Soms was de afwijking van de adviesgiften ten opzichte van de berekende optimale N-gift klein, maar andere keren vrij groot. Dat gold zowel voor alle systemen. Aan de nauwkeurigheid van de bijmestsystemen valt dus nog wel wat te verbeteren.

Indien een besparing mogelijk was ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn, gaven de bijmestsystemen dit meestal wel goed aan. Echter, indien een hogere N-gift nodig was dan de richtlijn voor het behalen van de maximale opbrengst, gaven ze dit niet aan en gaven ze te lage adviezen. Ook dit is een aandachtspunt voor verbetering. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen hoe de systemen kunnen worden verbeterd en verfijnd. Een ander aandachtspunt tot slot is de hoogte van de basisgift. Deze mag niet te krap mag zijn, afhankelijk van het ras en de groeiomstandigheden. In de in 2009 en 2010 uitgevoerde proeven voldeed een basisgift van 150 kg N per ha (en 125 kg N per ha op dalgrond). Voorlopig kan hier het beste van worden uitgegaan, maar op een N-arme grond kan misschien beter een wat hogere basisgift worden gekozen (175 kg N per ha) om een vroegtijdig N-tekort te voorkomen.

Tabel 2. **Vergelijking van de geadviseerde N-giften (kg N per ha) door de verschillende systemen**

Proeflocatie en jaar	Grondsoort	Teeltdoel	Ras	N-bemesting-richtlijn ¹	Blad-steeltjes-methode	Aardappel-monitoring	Cropscan-methode	NBS-bodem adviesbasis	Afgeleide optimale N-gift
Colijnsplaat, 2002	klei	consumptie	Agria	181	110	150	80	120	100
Colijnsplaat, 2002	klei	consumptie	Felsina	266	131	131	131	156	175
Colijnsplaat, 2003	klei	consumptie	Agria	169	102	142	162	157	>254
Colijnsplaat, 2003	klei	consumptie	Felsina	234	171	191	176	141	>352
Rolde, 2002	zand	zetmeel	Seresta	220	150	150	180	200	180
Rolde, 2002	zand	zetmeel	Mercator	155	120	120	140	160	60
Rolde, 2003	zand	zetmeel	Seresta	250	205	165	185	200	262
Rolde, 2003	zand	zetmeel	Mercator	185	170	160	160 ³	180	²
Vredepeel, 2009	zand	consumptie	Fontane	248	-	-	195 ⁴	-	245
Vredepeel, 2010	zand	consumptie	Fontane	268	-	270	235	-	>250
Valthermond, 2010	dalgrond	zetmeel	Seresta	205	-	125	210 ⁵	-	170
Rolde, 2010	zand	zetmeel	Seresta	250	-	180	⁶	-	60
Lelystad, 2010	klei	consumptie	Agria	200	-	150	213 ⁷	-	>250
Colijnsplaat, 2010	klei	consumptie	Victoria	250	-	190	⁶	-	170

¹ Inclusief rascorrectie en eventuele korting voor N-nawerking uit gewasresten of groenbemester volgens de vuistregels van de Adviesbasis bemesting.

² Geen afleiding van een optimale N-gift mogelijk.

³ Gunstig effect van deling van de N-gift: hogere opbrengst dan bij eenzelfde totale N-gift eenmalig toegediend bij poten.

⁴ Bij een basisgift van 150 kg N per ha.

⁵ Bij een basisgift van 125 kg N. Geen opbrengstreactie op bijbemesting (c.q. een lagere opbrengst dan bij eenzelfde totale N-gift eenmalig toegediend bij poten).

⁶ Geen advies mogelijk door onvoldoende grondbedekking.

⁷ Er kon pas eind juli een bijmestadvies worden gegenereerd, na een basisgift van 150 kg N per ha.

3.5 Praktijkervaringen N-bijmestsystemen

Sinds de ontwikkeling van N-bijmestsystemen in de aardappelteelt worden deze in meer of mindere mate toegepast in de praktijk. In diverse projecten waarbij het doel was duurzame teeltsystemen met minder emissie te ontwikkelen en te stimuleren in de praktijk, was implementatie van duurzame bemestingsstrategieën één van de belangrijkste onderwerpen. Daarbij namen en nemen N-bijmestsystemen ofwel geleide bemestingssystemen in het gewas aardappel een belangrijke plaats in.

Het betreft hierbij vooral de projecten Telen met toekomst en Telen met toekomst-bemesting in de periode 2000 tot en met 2010. In 2010 en 2011 vond en vindt dit plaats in kader van het project Landbouw Centraal. Door PPO-AGV is daarbij samengewerkt met DLV Plant.

In de eerste periode van Telen met toekomst 2000-2003 werden enkele voorloperbedrijven intensief begeleid bij de planvorming en uitvoering. Deelnemers maakten deel uit van een groep in een regio. In het Zuidoostelijk zandgebied was één groep actief met vier deelnemers. In 2004-2007 werd in studiegroepenverband gewerkt, waarbij één bedrijf binnen de studiegroep als kernbedrijf fungeerde waar de gekozen strategieën daadwerkelijk werden uitgevoerd. De andere leden van de studiegroep volgden, indien zij voldoende vertrouwen hadden in de gekozen strategieën. In het Zuidoostelijk zandgebied waren twee studiegroepen actief. In het project Telen met toekomst bemesting (2008-2010) zijn 12 akkerbouwers, waarvan drie in Zuidoost Nederland (één lössbedrijf en twee zandbedrijven) bezig geweest met het optimaliseren van het mineralenmanagement op het bedrijf. Een zoektocht naar de beste strategie voor hun bedrijf binnen het steeds strenger wordend mestbeleid.

In het project Landbouw Centraal (2010 – 2011) wordt op gebiedsniveau gewerkt aan het halen van de in de Kader Richtlijn Water gestelde doelen voor oppervlaktewater. In Zuidoost Nederland loopt het project in vijf gebieden (zandgrond).

In de diverse projecten was het belangrijkste uitgangspunt bij de bemesting een goed opgesteld bemestingsplan, waarbij in de aardappelteelt ruimte werd ingebouwd voor een bijbemesting in de periode na knolzetting. De mate waarin het plan opgesteld en uitgevoerd werd, was met name afhankelijk van de mate waarin het bedrijf begeleid werd. Het eerste project (2000-2003) kende de hoogste mate van individuele begeleiding, terwijl het laatste project minder intensief was.

Bij alle projecten bleek dat in de aardappelteelt goed gewerkt kan worden met geleide bemesting op basis van nitraatgehalte in de bladsteeltjes. Dit werd meestal in groepsverband uitgevoerd, waardoor de telers ook inzicht kregen in de cijfers van de overige deelnemers op het betreffende moment van de teelt. De telers konden daarvoor zelf bladsteeltjes aanleveren. Door te discussiëren over de gevonden resultaten, tijdens een groepsbijeenkomst, konden de telers een gefundeerd besluit nemen. Het bladsteeltjesonderzoek werd als een beslissingsondersteunend systeem gezien. Naast de uitslag werd ook steeds de gewasstand en het weer meegewogen om tot een besluit te komen. In de eerste jaren werd het nitraatgehalte bepaald in de bladsteeltjes met behulp van de nitracheck. Daarvoor moesten de bladsteeltjes eerst een dag in de diepvries verblijven. In de laatste jaren werd gebruik gemaakt van een snellere methode, die het nitraatgehalte in het bladsap van uitgeperste verse bladstelen kon bepalen. Dit leverde tijdwinst op. De animo voor deze arbeidsintensieve (plukken/verzamelen) methode was er met name doordat dit in projectverband werd uitgevoerd. Op eigen initiatief bleek dit maar voor een enkele teler weggelegd. Geleide bemesting in aardappel werd aangemerkt als een haalbare bemestingsstrategie, waarmee kon worden bespaard op de inzet van stikstof. Ten opzichte van standaardgiften is met geleide bemesting een besparing te halen tot 50 kg N per ha (Telen met toekomst bemesting 2008-2010). In een enkele situatie werd op basis van de bladsapmetingen een hogere gift dan de standaardgift gegeven. Voorwaarde voor het optimaal toepassen van bijbemesting is wel dat er berekend kan worden.

Tijdens de Telen met Toekomst-projecten is op enkele bedrijven gewerkt met demostroken of -veldjes. Het op eigen bedrijf en percelen aanleggen van demostroken werd door de telers als zinvol ervaren om tot goede keuzes op het eigen bedrijf en regio te komen. Voordeel van geleide bemesting is ook dat de teler zijn perceel beter leert kennen.

Op nagenoeg alle bedrijven in het Zuidoosten van Nederland wordt bij de aardappelteelt als basis een dierlijke-mestgift toegepast. Daar de werkzame N-gift bij gebruik van dierlijke mest niet altijd goed van te voren te voorspellen is, kan hier met een bijmeststelsel nog op ingespeeld worden: meer bijbemesten bij

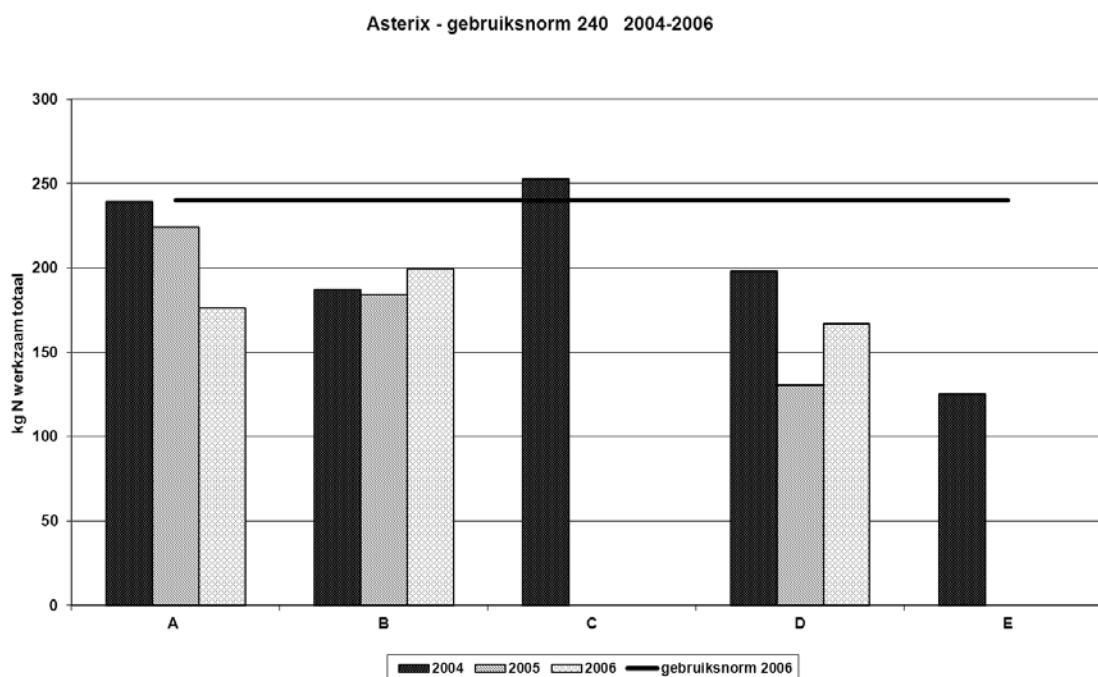
een tegenvallende hoeveelheid werkzame stikstof en minder bijbemesten bij een hogere hoeveelheid werkzame stikstof (zie ook paragraaf 4.2.1). Dit wordt ook als voordeel gezien. Dit geldt ook voor het inschatten van de nawerking uit voorvruchten (gescheurd grasland) of groenbemesters. Door gebruik te maken van geleide bemesting kon later in de teelt vastgesteld worden of de ingeschatte nawerking wel of niet optreedt. Hierdoor kon van de nawerking uit “rijke” percelen gebruik gemaakt worden om te sparen op de stikstofgift.

Door de deelnemers binnen de projecten werd wel aangegeven dat vanwege het vele werk (bladsteeltjes plukken en bemonsteren) geleide bemesting als niet algemeen uitvoerbaar wordt geacht voor de praktijk. Zoeken naar meer technische oplossingen zoals gewasmeting met de N-sensor en op basis daarvan een bijbemesting uitvoeren werd als een gewenste oplossing gezien. Op zandgrond is hiermee geëxperimenteerd. Zowel in Telen met toekomst periode 2004-2007 alsook in het project Telen met toekomst bemesting is door een enkele teler hiermee enige ervaring opgedaan. Gebruik maken van satellietbeelden is ook als optie aangemerkt om op een snelle wijze inzicht te krijgen in de stikstoftoestand van het gewas. In het project Telen met toekomst heeft een aantal telers de aardappelpercelen opgegeven om te laten volgen via Basfood of Cropview.

In de volgende paragrafen worden voor de verschillende toegepaste geleide bemestingsystemen aan de hand van voorbeelden de ervaringen nader toegelicht.

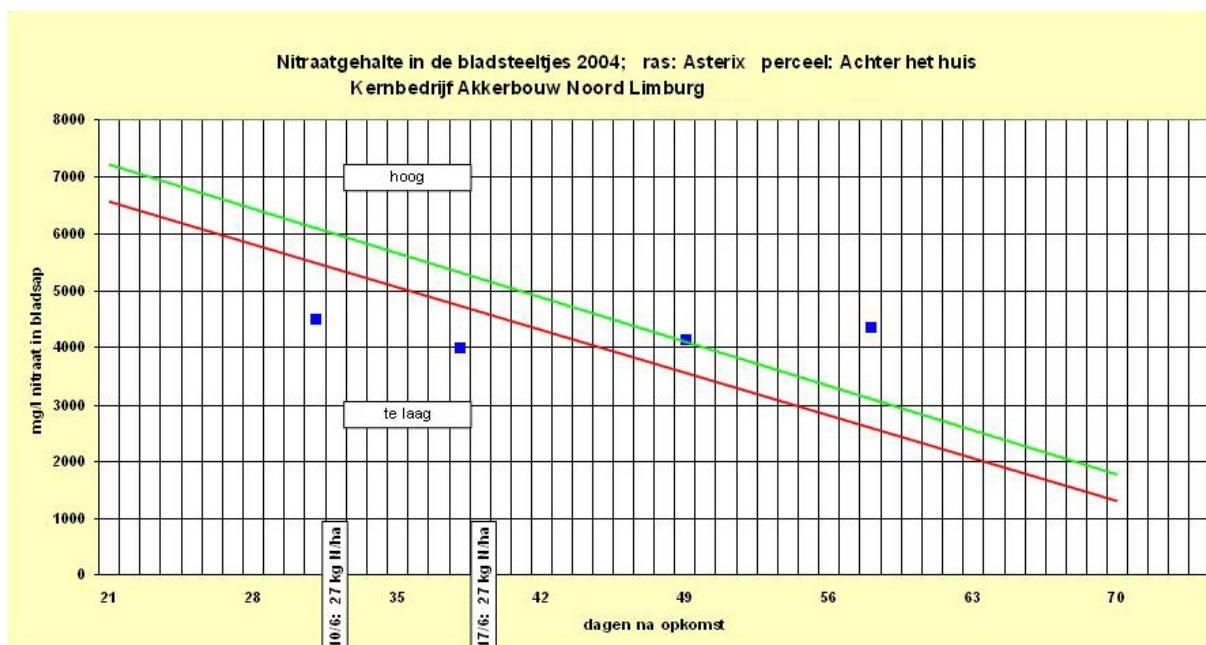
3.5.1 Bladsteeltjes

In de studiegroepen van Telen met toekomst 2004-2007 werd in het zuidoostelijk zandgebied in de aardappelteelt met behulp van bladsteeltjesonderzoek de bijbemesting in een aantal aardappelpercelen van diverse rassen bepaald. Van de diverse telers werd de totale N-inzet van een aantal percelen geregistreerd en verwerkt. Voor het ras Asterix staat in figuur 19 weergegeven wat de inzet aan werkzame N per ha was voor de jaren 2004, 2005 en 2006 voor een vijftal telers (A t/m E) in de studiegroep Noord Limburg. Deze inzet werd vergeleken met de toen geldende gebruiksnorm. Door een goed opgesteld bemestingsplan, waarbij ook rekening werd gehouden met nawerking uit voorvruchten, groenbemesters, organische mestgebruik in het verleden etc. en het gebruik maken van bladsteeltjes om de bijbemesting te bepalen, kon op diverse percelen met een gift volstaan worden, die lager was dan de gebruiksnorm.

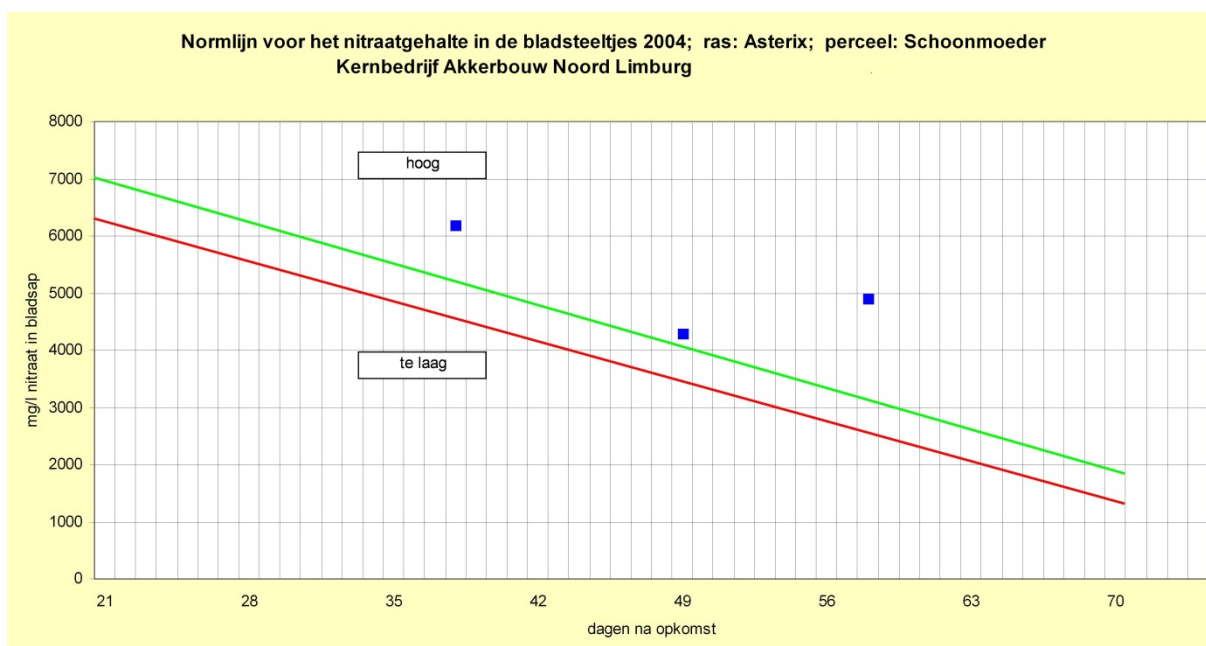


Figuur 19. Inzet werkzame stikstof in de aardappelteelt (ras: Asterix) bij vijf telers van de studiegroep Telen met toekomst Noord Limburg 2004-2006

In de figuren 20 en 21 staan de diverse metingen van de bladsteeltjes van twee percelen Asterix van bedrijf B weergegeven in 2004. Op één perceel (figuur 20) bleek bij de eerste en tweede meting een te lage waarde van het nitraatgehalte in het bladsap voor te komen. Er is twee keer bijbemest met 27 kg N per ha (100 kg KAS). Daarna herstelde het nitraatgehalte tot boven de lijn. Op een ander perceel (figuur 21) werden hogere waarden gevonden tot boven de normlijn. Een bijbemesting is hier niet uitgevoerd.



Figuur 20. Verloop nitraatgehalte in de bladsteeltjes van perceel “Achter het huis” met weergave moment van bijbemesting



Figuur 21. Verloop nitraatgehalte in de bladsteeltjes van perceel “Schoonmoeder” met weergavemoment van bijbemesting.



Figuur 22. **Bijeenkomst studiegroep Telen met toekomst: bespreken bladsteeltjes uitslagen**

De uitslagen werden met de telers gezamenlijk besproken tijdens veldbijeenkomsten om zo tot een gefundeerd besluit te komen om wel of niet bij te bemesten.

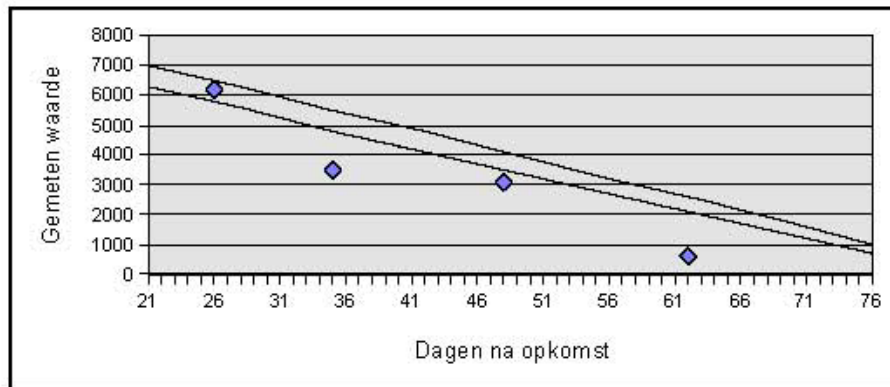
3.5.2 N-sensor

Één van de deelnemers aan Telen met toekomst bemesting is al jaren zoekende om de bijbemesting in aardappel te optimaliseren. Zowel met behulp van NBS en/of bladsteeltjes beoordeelt hij of een bijbemesting noodzakelijk is. Verder is vochtvoorziening op dit bedrijf enorm van belang. De lichte zandgrond vraagt regelmatig om aanvoer van vocht, natuurlijk dan wel kunstmatig. Daarvoor is uitvoerig geëxperimenteerd met vochtsensoren.

In 2010 werden in het perceel aardappelen van het ras Première (zeer vroege teelt) twee verschillende bemestingsstrategieën aangelegd (strook A en B). Een eventuele bijbemesting werd uitgevoerd met KAS op basis van bladsteeltjesonderzoek. In de figuren 23 en 24 staan de uitslagen van de bladsteeltjes voor strook A en B weergegeven. Ook zijn begin juni (circa 36 dagen na opkomst) nog twee bodemmonsters genomen voor NBS, deze lagen op 30 kg N voor object A en op 86 kg N voor object B. Deze waarden stemmen overeen met de gevonden waarden van het bladsteeltjesonderzoek.

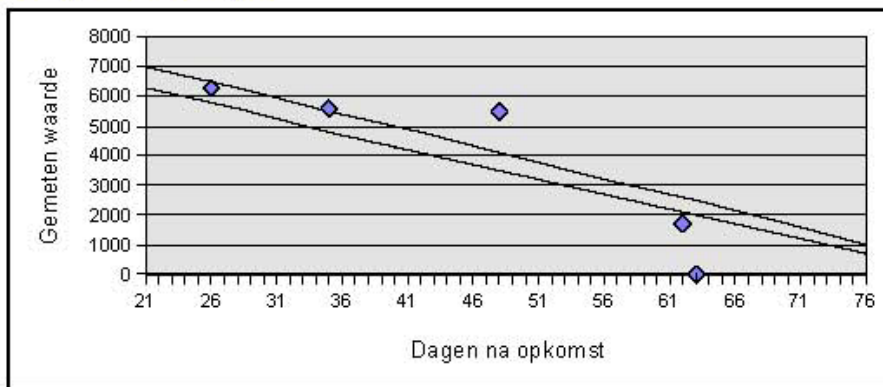
Daarnaast is met de Yara N-sensor eind juni een waarneming (opname) uitgevoerd. Deze bevestigde het verschil. Voor biomassascore werden in object A 6,5 tot 9,5 punten gescoord en in het object B met KAS 8,0 tot 10 punten; voor de teler een bevestiging dat de N-sensor de verschillen kan waarnemen. De vertaalslag naar een mogelijk N-gift is de volgende stap.

Meting t.o.v. normtraject



Figuur 23. Verloop nitraatgehalte strook A

Meting t.o.v. normtraject



Figuur 24. Verloop nitraatgehalte strook B

3.5.3 Satellietbeelden

In het project Telen met toekomst bemesting is in 2009 en 2010 door een aantal telers gebruik gemaakt van de mogelijkheid om via satellietbeelden (via Basfood of Cropview) de groei van de aardappelgewassen te volgen. De resultaten hiervan vielen tegen. Door bewolking werden geen beelden ontvangen in de cruciale periode voor bijbemesting (juni) of werden niet op tijd of frequent genoeg genomen om de hoogte van een bijbemesting te bepalen. Ook waren verschillen in stikstofbemesting niet (altijd) terug te zien op de satellietbeelden. De vertaalslag van de satellietbeelden naar wat de teler (eventueel in overleg met zijn adviseur) hiermee kan voor de bemesting in aardappel, was er nog niet. Deze techniek dient nog verder ontwikkeld te worden om de potentiële voordelen ook daadwerkelijk te kunnen benutten.

3.6 Variabel bijbemesten binnen het perceel

Een N-bijmestingsysteem op basis van gewassensing kan in principe goed worden gebruikt om in te spelen op variatie binnen een perceel en plaats specifiek bij te bemesten. Plaats specifiek stikstof (bij)bemesten is het afstemmen van de toediening van meststoffen aan plaatselijke verschillen in groeiomstandigheden binnen het perceel. Binnen een perceel kan variatie voorkomen voor wat betreft bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid, mineralisatie en vochtleverend vermogen. De variatie kan onder meer een gevolg zijn van herindeling van percelen c.q. samenvoeging van kleinere percelen of perceelsdelen tijdens een ruilverkaveling.

Als op een heterogeen perceel de stikstofgift wordt afgestemd op de gemiddelde behoefte voor het hele perceel, worden sommige plekken onderbemest en andere overbemest. Op de onderbemeste plekken treedt opbrengstderving op en op de overbemeste plekken wordt onnodig veel stikstof gegeven en kan kwaliteitsverlies van de aardappelen optreden (lager onderwatergewicht). Ook kan het tot een heterogenere maatsortering van de knollen leiden. Wanneer de gift binnen het perceel wordt gedifferentieerd en op elke plek zoveel stikstof wordt toegediend als nodig is om de maximale opbrengst en kwaliteit te behalen en een uniformere knolsortering te verkrijgen, wordt de toegediende stikstof zo efficiënt mogelijk benut. De variabele N-bemesting kan zijn gericht op verschillen in stikstofleverend vermogen binnen een perceel of op pleksgewijze verschillen in opbrengstpotentie. De opbrengstpotentie is de maximaal haalbare opbrengst op een plek, die wordt beperkt door de lokale groeiomstandigheden. De stikstofgift zou hier zo op moeten worden afgestemd dat deze net voldoende is om de maximaal haalbare opbrengst op die plek te realiseren.

In 2000 en 2001 is een proef uitgevoerd waarin variabel is bijbemest op basis van reflectiemetingen met de CropScan (Van Marion, 2002). Dit gaf zelfde opbrengst als homogeen bijmesten en resulteerde niet in lagere N-gift; het perceel was behoorlijk homogeen.

Van Evert et al. (2011) werkten gedetailleerde resultaten uit van het precisie-landbouwproject Perceel Centraal (www.perceel-centraal.nl). Dit project had tot doel om de oorzaken van opbrengst- en kwaliteitsverschillen binnen een perceel te achterhalen, te analyseren en te verbeteren, om een optimaal rendement met een uniforme kwaliteit te realiseren. Uit de analyse van Van Evert et al. (2001) bleek dat het effect van de verdeling van N binnen een perceel een gering effect op opbrengst heeft. Op het meest bonte perceel was slechts een opbrengstverhoging van met 0,5-1 ton per ha mogelijk door de N pleksgewijs toe te dienen.

Het nadeel van een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing is dat een mindere gewasgroei geassocieerd wordt met een stikstoftekort en dat is niet altijd terecht. De gewasreflectie geeft de toestand van het loof weer, maar geeft geen uitsluitsel over de precieze oorzaak van een achterblijvende loofontwikkeling op plekken binnen het perceel. Behalve stikstoftekort kan dit een gevolg zijn van vochttekort, bodemziekten, tekorten aan andere nutriënten of structuurgebreken. Extra stikstof strooien op deze plekken hoeft dan ook niet tot een betere gewasgroei en opbrengst te leiden.

Omdat een achterblijvende gewasgroei en N-opname andere oorzaken kunnen hebben dan de stikstofvoorziening, zou voor variabele bijbemesting eigenlijk eerst bekend moeten zijn wat de pleksgewijze opbrengstpotentie is binnen het perceel. Indien deze vooraf bekend is, kan deze worden meegewogen bij het bepalen van de streefwaarde bij bijmesten (Van Evert et al., 2011).

3.7 Verdere ontwikkeling NBS-gewassensing

In paragraaf 3.4 is aangegeven dat een NBS op basis van gewasreflectiemeting het meest perspectiefvol is. De methode presteerde in vergelijkend onderzoek minstens even goed als andere N-bijmestsystemen. Een belangrijk voordeel van de gewassensing-methode ten opzichte van andere N-bijmestsystemen voor aardappelen is dat geen monsters hoeven te worden genomen en geanalyseerd van de bodem of het gewas, wat een flinke arbeidsbesparing oplevert. Verder is de methode veel sneller: er kan ter plekke een bijmestgift worden berekend. Daardoor is de methode zeer geschikt voor plaats specifieke bijbemesting op een perceel.

Uit de ervaringen in praktijk (paragraaf 3.5) blijkt dat het vele werk (bladsteeltjes plukken en bemonsteren) een belemmering is voor de toepassing van de traditionele bijmestsystemen in praktijk en dat bijbemesting op basis van gewassensing als een gewenste oplossingsrichting wordt gezien.

Het ligt dan ook voor de hand om het NBS op basis van gewassensing verder te ontwikkelen c.q. te verfijnen. Van Evert et al. (2011) noemen verschillende verbeterpunten voor NBS-gewassensing om de nauwkeurigheid en bruikbaarheid van het systeem te vergroten.

Het zou wenselijk zijn als in een eerder stadium (bij <90% grondbedekking) een bijmestadvies kan worden gegenereerd. In het huidige systeem is er sprake van een streefwaarde voor de N-inhoud van het gewas op een vast moment (>90% grondbedekking). In dit gewas stadium is de totale N-inhoud van het gewas die

nodig is om een maximale opbrengt te halen, al dicht benaderd. Daarna blijft de N-inhoud vrij constant. Meestal wordt dat moment pas eind juni-begin juli bereikt, terwijl de praktijk vaak al in een eerder stadium informatie wil hebben over de stikstofvoorziening van het gewas c.q. wil bijbemesten. Eerdere bijmestmomenten zijn: bij de laatste keer aanaarden op zand en rond begin knolzetting. Op veel aardappelpercelen op klei en löss maar ook op noordoostelijke zand- en dalgrond wordt of kan niet worden berekend. In die situatie bestaat het risico dat het na bijbemesting met een korrelmeststof wekenlang droogt blijft, waardoor de meststof langzaam oplost en de stikstof niet snel genoeg beschikbaar is voor het gewas of pas goed beschikbaar komt na regen. Door de meststof vroegtijdig te strooien is er ruimere tijd voor het beschikbaar komen van de stikstof dan wanneer laat wordt bijbemest. Momenteel staat ook de bijbemesting met dunne fractie van drijfmest of mineralenconcentraat in de belangstelling. Deze kunnen na gewassluiting niet goed meer worden toegediend (schade aan het loof). De tijdstippen waarop in de praktijk wordt gestart met bijbemesten, liggen in het algemeen voor het moment dat 90% grondbedekking is bereikt.

Als pas rond 1 juli wordt bijbemest, moet een voldoende grote N-gift aan de basis worden gegeven om het risico te vermijden dat er in juni een N-tekort optreedt. Als in die periode een tekort optreedt, bestaat het risico dat het gewas daardoor een groeiachterstand oploopt, die vaak niet meer kan worden ingehaald. Indien al in een eerder stadium (vanaf begin juni) betrouwbare informatie wordt verkregen omtrent de stikstofstatus van het gewas, kan men tijdig ingrijpen als dat nodig is. Er kan dan met een wat lagere basisgift worden gestart, waardoor er meer (potentiële) ruimte overblijft om stikstof te besparen of om de bijmestgift anders te verdelen over percelen of binnen percelen.

In sommige situaties wordt onvoldoende grondbedekking behaald tijdens de teelt en kan de CropScan-methode geen betrouwbaar bijmestadvies genereren. In andere gevallen wordt de 90% grondbedekking erg laat gehaald (na half juli) en komt het bijmestadvies mogelijk te laat.

Een stap voor vervolgstap is om na te gaan of de vaste streefwaarde kan worden vervangen door een normlijn voor het N-opnameverloop in de tijd. Door die normlijn uit te zetten tegen de temperatuursom in plaats van tegen de tijd, wordt rekening gehouden met koudere of warmere perioden en het effect daarvan op de gewasgroei en N-opname. Met zo'n normlijn is het misschien mogelijk om op een eerder tijdstip een achterblijvende (N-opname) vast te stellen en direct te reageren. Als de N-opname (nog) niet achterblijft t.o.v. de norm lijn, wordt in principe niet bijbemest en de volgende meting afgewacht. Zodra de gemeten N-inhoud onder de normlijn komt, wordt bijbemest. De hoogte van de bijmestgift is afhankelijk van hoe sterk de actuele N-inhoud onder de normlijn ligt.

Van Evert et al. (2011) bevelen ook aan om de streefwaarde dan wel de streefopnamecurve afhankelijk te stellen van de opbrengstverwachting. In een jaar en/of op een perceel, of een plek in een perceel, waar een bovengemiddelde opbrengst wordt verwacht, moet het gewas meer stikstof kunnen opnemen en zal de streefwaarde hoger moeten zijn. Verder lijkt het logisch de streefwaarden te differentiëren voor rasverschillen qua N-behoefte, voor gebruiksdoel of grondsoort. Voor het opstellen van dergelijke gedifferentieerde streefwaarden is meer onderzoek nodig.

Een belangrijke vraag hierbij is hoe een hoge opbrengstpotentie en dus hogere N-behoefte vroegtijdig herkend kan worden, zodat ook een hoog-opbrengend gewas adequaat wordt bijbemest. Mogelijk kan een groeisimulatiemodel het groeiverloop vroegtijdig inschatten. Dit vraagt om nader onderzoek.

Hoewel de ijklijn die het verband tussen de WDVl en de N-opname aangeeft, goed door de meetpunten heengaat(figuren 17 en 18), is er wel sprake van een spreiding van de meetpunten rondom de ijklijn. Die spreiding lijkt niet te kunnen worden verkleind door de ijklijn te differentiëren naar teeltdoel, ras of bodemtype. Van Evert et al. (2011) vonden geen effect van teeltdoel, ras of bodemtype op het verband tussen WDVl en N-inhoud. Het lijkt derhalve niet zinvol om aparte ijklijnen hiervoor op te stellen. Er kan momenteel worden volstaan met één ijklijn voor alle situaties.

Het kan nog van wel belang zijn om verder te zoeken naar de factoren die de variatie veroorzaken rondom de ijklijn die het verband tussen de WDVl en de N-opname aangeeft. Als deze factoren kunnen worden onderscheiden en er rekening mee kan worden gehouden, kan dat de nauwkeurigheid van de schatting van de N-inhoud verhogen. Één van die factoren is misschien vroegrijpheid van het ras en het moment van knolzetting.

4 Toedieningsmethode en meststof

4.1 Effect van toedieningsmethode

4.1.1 Stikstofrijenbemesting

Plaatsing van meststoffen door middel van rijenbemesting kan de benutting door het gewas van de gegeven kunstmest verhogen, waardoor de gift omlaag kan met behoud van opbrengst en kwaliteit. De benutting is hoger door vermindering van verliezen via vervluchtiging/denitrificatie, uitspoeling, fixatie, adsorptie en door een verhoging van de nutriëntenaanvoer naar de wortels (Van Erp & Titulaer, 1992). Doordat het fosfaat en/of de stikstof vlakbij de wortels komen te liggen, kunnen de jonge planten het snel opnemen, wat de begingroei stimuleert. Bovendien is door de geconcentreerde toediening de kans op vastlegging van het fosfaat kleiner, omdat het veel minder met de grond wordt vermengd dan bij breedwerpige toediening. Verder wordt uitspoeling van mobiele nutriënten (als stikstof) beperkt, omdat de grond in het nog niet bewortelde gedeelte niet wordt bemest.

In het algemeen biedt rijenbemesting met name voordeel:

- bij nutriënten die weinig mobiel zijn in de grond, zoals fosfaat;
- op arme, zwak-mineraliserende gronden en op fixerende gronden;
- bij zwakwortelende gewassen (met een lage stikstofbenutting)
- bij een slechte bodemstructuur;
- bij lage (bodem)temperatuur tijdens de begingroei;
- bij teelt op ruime rijenafstand;
- bij lagere bemesting (minder snel of beperktere opbrengstderiving).

Vanwege de ruime rijenafstand bij aardappel (75 cm) mag worden verwacht dat stikstofrijenbemesting tot een betere benutting kan leiden. Bovendien wordt op zandgrond de beworteling vaak beperkt door een niet of moeilijk indringbare ondergrond en gaat daardoor soms niet dieper dan 30 cm.

Stikstofrijenbemesting in aardappel is al onderzocht in de jaren '50. Prummel (1957) vond in zeven proeven op zand- en kleigronden een stikstofbesparing in aardappelen door rijenbemesting van gemiddeld 13% ten opzichte van breedwerpige toediening. De resultaten van deze proeven zijn door de gestegen bodemvruchtbaarheid echter niet meer representatief voor de huidige tijd.

Uit latere proeven, uitgevoerd in de perioden 1979-1980 en 1990-1992 op diverse locaties en grondsoorten in Nederland, kwam soms een voordeel van rijenbemesting naar voren in aardappel maar vaak niet. Van Erp en Dijksterhuis (1991) vonden in een proef op noordelijke zandgrond een betere N-benutting door rijenbemesting maar ook een iets hogere rest-N_{min} in de bodem na oogst, waarvoor ze geen verklaring hadden. Uit aardappelproeven uitgevoerd op vier locaties in Flevoland, het zuidwesten en Zuid-Limburg op zavel, klei en löss in 1991 en 1992, kwam slechts incidenteel een beter resultaat naar voren van rijenbemesting (Titulaer, 1991a, 1991b, 1992a, 1992b, 1992c; Alblas, 1999).

Op gronden met hoge bodemvruchtbaarheid en met name een hoog N-leverend vermogen, lijkt de besparingsmogelijkheid door N-rijenbemesting in aardappel gering tot afwezig te zijn. Een indruk is dat de stikstof die in de rij wordt toegediend uit rijenbemesting weliswaar beter wordt opgenomen, maar dat de beschikbare (gemineraliseerde) stikstof elders in de bodem, tussen de rijen, minder goed wordt opgenomen. Verder is de indruk dat volvelds toegediende stikstofgift soms de mineralisatie in de bouwvoor stimuleert, waardoor er extra stikstof beschikbaar komt in de bodem. Bij rijenbemesting treedt dit effect niet op, omdat de meststof niet in de gehele bouwvoor komt, maar geconcentreerd op een kleine plaats.

Rijenbemesting kan worden uitgevoerd met korrelmeststoffen of met vloeibare meststoffen. Vloeibare meststoffen zijn nauwkeuriger te doseren en egaler te verdelen dan korrels, met name bij lage doseringen. De voornoemde proeven zijn alle uitgevoerd met korrelmeststoffen. In 2011 voert PPO op proefboerderij Westmaas (zuidwestelijke zeeklei) een proef uit naar het perspectief van rijenbemesting met vloeibare N-meststoffen in aardappel. De resultaten van de proef waren op moment dat dit verslag tot stand kwam, nog niet bekend.

Rijenbemesting kan ook worden uitgevoerd met spuiwater of mineralenconcentraat (de geconcentreerde dunne fractie van drijfmest). Ook dit wordt in 2001 onderzocht in de voornoemde PPO-proef te Westmaas. Een nieuwe ontwikkeling is om met aangepaste apparatuur drijfmest in de rij of de aardappelruggen te plaatsen. Er zijn systemen ontwikkeld om drijfmest na het poten en vóór rugopbouw uit te rijden over de pootruggen en in te werken. Een andere techniek is het uitvoeren van de rijenbemesting met drijfmest gevolgd door het poten of zaaien in twee aparte werkgangen met ondersteuning van RTK-GPS.

Een bijzondere variant van rijenbemesting is de toediening van *stargiften* aan het gewas met (N)P-meststoffen. Dat kan de begingroei van het gewas stimuleren en dit kan tot een hogere opbrengst leiden. Zo leidde een startgift met de vloeibare NP-meststof ammoniumpolyfosfaat bij het poten van consumptieaardappel in proeven op klei regelmatig tot een hogere knolopbrengst (Van Geel, 2000).

4.1.2 Bladbemesting met stikstof

Bijbemesten met stikstof kan ook plaatsvinden via bladbemesting met vloeibare N-meststoffen als urean of vlb. ureum. In de periode 1995-1997 heeft PPO bladbemesting met urean onderzocht in aardappel op meerdere locaties en grondsoorten (Van Loon et al., 1998). Meermalen kleine hoeveelheden urean spuiten bleek een even goede bijmestmethode als strooien van KAS te zijn, maar leidde niet tot een betere stikstofbenutting.

Onder droge omstandigheden biedt bladbemesting wel voordeel: de plant neemt de meststof dan sneller op dan via de bodem. Bladbemesting kan worden toegepast om een acuut stikstofgebrek zo snel mogelijk op te heffen. Een praktisch voordeel is dat het in combinatie met de phytophthora-besputingen kan worden uitgevoerd.

N-bladbemesting geef wel risico van bladverbranding. De kans op en de mate van schade hangt af van de dosering en de weersomstandigheden (van de afharding van het blad). Met urean kan op een goed afgehard gewas 15-20 kg N per ha per keer worden gespoten. Op een niet goed afgehard gewas (kort na regen) kan bij 20 kg N per ha bladverbranding optreden en lichte opbrengstderving. In combinatie met de phytophthora-besputing is het veiliger om niet meer dan 15 kg N per ha te verspuiten. De kans op schade is bij gebruik van ureum minder groot dan bij gebruik van urean.

In 2009 en 2010 zijn op proefboerderij Vredepeel (zuidoostelijke zandgrond) stikstofbemestingsproeven uitgevoerd waarin ook bijbemesting met KAS of urean is vergeleken. De resultaten zijn weergegeven door Van Evert et al. (2011). Er werden meerdere basisgiften stikstof in de proeven toegediend, waarna bij elke basisgift 50 of 100 kg N per ha is bijbemest met KAS of urean. De bijmestgift KAS werd in één toegediend, bij begin knolzetting en de urean werd vanaf dat moment in meerdere keren verspoten (maximaal 20 kg N per ha per keer).

In de proef van 2009 trad geen significant opbrengstverschil op tussen bijbemesting met KAS of met urean. In de proef van 2010 was er bij een bijmestgift van 50 kg N/ha geen significant opbrengstverschil tussen bijbemesting met KAS of met urean. Bij een bijmestgift van 100 kg N/ha echter, gaf urean een zes ton per ha lagere opbrengst dan bijbemesting met KAS. Dit was een statistisch significant verschil. Een bijbemesting van 100 kg N per ha gaf met KAS een hogere opbrengst dan 50 kg N per ha, maar bij urean leek het eerder een opbrengstverlaging te geven.

In de periode 2005-2010 heeft ALTIC in opdracht van Cebeco Meststoffen op meerdere locaties in Noord-Nederland onderzoek uitgevoerd in aardappelen naar de werking van stikstofbemesting via de bodem of via het blad. Het onderzoek was onderdeel van de discussie omtrent de inzet van stikstofbladmeststoffen. Bij de start van het onderzoek in 2005 leefde de vraag in hoeverre bijbemesting door het verstrooien van korrelvormige stikstofmeststoffen vervangen zou kunnen worden door de inzet van stikstofbladmeststoffen. Het onderzoek is onderverdeeld in de volgende hoofdthema's:

- effect hoogte N-gift
- effect vervangen totale N-bodemgift door N-blad
- effect basis N-gift bodem + N-blad
- effect verschillende N-vormen (bladtoepassingen)

De proeven zijn uitgevoerd op onderstaande locaties:

Jaar	Locatie	Ras
2005	Kollumerwaard	Felsina
2005	Colijnsplaat	Ramos
2006	Kollumerwaard	Felsina
2006	Rolde	Seresta
2008	Rolde	Aveka
2009	Kollumerwaard	Felsina
2010	Kollumerwaard	Innovator

Uit de proeven is gebleken dat het volledig vervangen van de stikstofgift als basisbemesting door een volledige toepassing als periodieke bladbemesting leidde tot een sterke opbrengstdaling. Een kleine basisgift voor het frezen aanvullen met een wekelijkse hoeveelheid stikstof via het blad (75 kg N per ha aan de basis en 10 x10 kg N per ha via blad) leidde eveneens tot een significant lagere opbrengst dan 175 kg N per ha aan de basis eenmalig toegediend. Verlaging van de N-hoeveelheid per toedieningsmoment van 10 naar 5 kg N per ha lijkt het resultaat licht te verbeteren.

Toepassing van N-bladmeststoffen leidde, in tegenstelling tot effect op opbrengst, wel tot een significante toename van de N-afvoer met de geoogste knollen.

Uit de proeven blijkt dat bijbemesting met 50 kg N per ha uit korrelvormige KAS leidde tot een hogere opbrengst en N-afvoer dan bijbemesting via bladbehandeling met tienmaal 5 kg N per ha uit urean of ureum. Stikstofbijbemesting via het blad wordt wel opgenomen en naar de knollen getransporteerd, maar het effect op de opbrengst is veel geringer dan van stikstof toegediend via de bodem.

4.1.3 Fertigatie met stikstof

Met fertigatie via druppelsslangen wordt de stikstofmeststof opgelost in het irrigatiewater. Water en stikstof (en andere nutriënten) kunnen zo gelijktijdig, frequent en in kleine porties verdeeld aan het gewas worden toegediend. Bij aardappel worden de druppelsslangen (of druppeltape) gewoonlijk bovenin de ruggen gelegd. De kosten voor de aanleg van de druppelirrigatiesysteem zijn dermate hoog, dat het in de aardappelteelt niet snel uitkan.

Druppelirrigatie en -fertigatie leveren het grootste voordeel op marginale gronden in droge gebieden (veelal in (sub)tropische klimaatstreken). Onder deze omstandigheden kan het een forse water- en stikstofbesparing opleveren ten opzichte van de traditionele irrigatie- en bemestingsmethoden. Ook wordt vaak een hogere opbrengst en/of kwaliteit verkregen met druppelirrigatie en -fertigatie.

Op vruchtbare gronden in de gematigde klimaatstreken, zoals in Nederland, is het voordeel kleiner. Uit ervaring die zijn opgedaan in diverse gewassen, blijkt evenwel dat een wat hogere opbrengst kan worden verkregen en een uniformer product, bijvoorbeeld een regelmatigere knolsortering in aardappelen.

In 1999-2001 heeft PPO het perspectief onderzocht van druppelirrigatie en -fertigatie in de teelt van consumptieaardappelen op een zuidoostelijke zandgrond te Vredepeel. In het onderzoek is nagegaan in hoeverre druppelirrigatie en -fertigatie tot een betere stikstofbenutting leidt en in hoeverre het de opbrengst en kwaliteit verhoogt (Van Geel, 2004c). Er werden drie systemen vergeleken:

1. beregenen + breedwerpige bemesting met KAS (praktijkreferentie);
2. druppelirrigatie + breedwerpige bemesting met KAS;
3. fertigatie (druppelirrigatie + toediening van stikstof via de druppelsslangen).

Bij alle systemen is een basisgift varkensdrijfmest toegediend voor poten à ca. 120 kg werkzame stikstof per ha.

De verschillen tussen de drie systemen waren klein. Gemiddeld over de drie jaar gaven druppelirrigatie en -fertigatie een iets betere stikstofbenutting en een paar ton meeropbrengst per ha ten opzichte van beregenen. De meeropbrengst was onvoldoende om de kosten van het druppelsysteem te compenseren. Er was geen duidelijk verschil tussen druppelen en fertigeren, met andere woorden: het maakte niet uit of de stikstof breedwerpig was gestrooid of via de druppelsslangen was toegediend. De wat betere stikstofbenutting en hogere knolopbrengst waren een gevolg van de wijze van vochtvoorziening.

De mogelijkheid om met druppelirrigatie of -fertigatie tot een stikstofbesparing te komen, bleek gering te zijn. Voorts had het geen wezenlijk effect op de hoeveelheid N_{min} die na de oogst achterbleef in de laag 0-60 cm; deze was bij alle drie de systemen laag (<35 kg N per ha).

In 1998 en 1999 is op een kleigrond te Lelystad fertigatie in consumptieaardappel vergeleken met druppelirrigatie + breedwerpige N-bemesting (Postma & Van Erp, 2000). In de proef van 1998 verschilden de gewasgroei, knolopbrengst en –kwaliteit en de N-benutting niet sterk tussen de systemen. In de proef van 1999 gaf fertigatie en iets hogere opbrengst en N-benutting. Het positieve effect van fertigatie trad met name op bij proefobjecten waarbij met een lage basisgift stikstof werd gestart.

4.2 Effect van meststof

4.2.1 Stikstofwerking van organische mest

Veel akkerbouwers gebruiken organische mest als aanvoerbron van mineralen en organische stof. Bij gebruik van mest is het belangrijk dat de samenstelling van mestpartij vooraf bekend is en de stikstofwerking. De stikstofwerking van mest geeft aan welk deel van de totale hoeveelheid stikstof in de mest qua werking vergelijkbaar is met kunstmeststikstof (KAS), die in het voorjaar wordt toegediend. Als met de mest 100 kg N-totaal per ha wordt toegediend en de N-werking is 70%, dan is dit vergelijkbaar met 70 kg N per ha uit KAS (ofwel: 70 kg N-werkzaam per ha).

De stikstofwerking van organische mest varieert sterk en er zijn veel factoren die daar invloed op hebben. De kennis over de werking van organische mest die uit onderzoek bekend is, is weergegeven in de adviesbasis bemesting (Van Dijk & Van Geel, 2010; hoofdstuk 8). Deze adviesbasis kan online worden geraadpleegd op de website Kennisakker (www.kennisakker.nl).

De werking hangt af van de verhouding tussen minerale stikstof (Nm) en organisch gebonden stikstof (Norg) in de mest. Nm is direct beschikbaar en Norg komt na toediening van de mest geleidelijk vrij door afbraak van de organische stof in de mest. De verhouding tussen Nm en Norg verschilt per mestsoort, maar ook tussen partijen mest van dezelfde soort (bijvoorbeeld varkensdrijfmest) fluctueert die verhouding. Bij emissiearme aanwending heeft mest met een hoog aandeel Nm een hogere N-werking dan mest met een laag aandeel Nm.

Bij vaste mest is het aandeel Nm in de mest vaak zo laag, dat bij aanvang van de teelt in het voorjaar extra minerale stikstof worden toegediend, omdat de Norg niet snel genoeg beschikbaar komt. Zeker in een koud voorjaar is de N-werking laag.

De werking van de Nm-fractie is afhankelijk van de toedieningsmethode, de weersomstandigheden tijdens en na toediening en het toedieningstijdstip. De Nm bestaat uit ammoniumstikstof, die gemakkelijk vervluchtigd. Emissiearme aanwending geeft de minste vervluchtiging. De adviesbasis bemesting hanteert de volgende vuistgetallen voor de werking van Nm:

- bouwlandinjectie: 95%
- bovengrondse toediening en direct inwerken: 80%
- voorjaarstoediening in wintergraan met sleufkouter of zodebemester: 70%

De weersomstandigheden tijdens en na toediening hebben invloed op de ammoniakvervluchtiging en daardoor op de werking van Nm. Zonnig en winderig weer bevorderen de ammoniakemissie en verlagen de N-werking van Nm. Bij regenachtig weer treedt geen of weinig ammoniakemissie op.

In geval van bouwlandinjectie is de werking van Nm minder gevoelig voor de weersomstandigheden (ammoniakvervluchtigingsverlies: 0-5%) dan in geval van oppervlakkige toediening.

Aanwending van mest in de herfst leidt tot meer N-verlies door uitspoeling/denitrificatie dan aanwending in het voorjaar en daardoor tot een lagere N-werking. Vroege aanwending na de winter (februari- begin maart) geeft met name op uitspoelingsgevoelige gronden meer risico op uitspoelingsverlies dan wat latere aanwending.

De werking van de Norg-fractie is afhankelijk van de mestsoort, het toedieningstijdstip en de stikstof-opnameperiode van het gewas. Tussen verschillende diersoorten, met name herkauwers en niet-herkauwers verschilt de afbraaksnelheid van de organische stof in de mest en dit bepaalt de werking van de Norg-fractie. De o.s. in rundveemest breekt langzamer af in de bodem dan die van varkensmest, waardoor de Norg langzamer vrijkomt.

Ook de bodemtemperatuur speelt een rol. Deze beïnvloedt de afbraaksnelheid van o.s. en daarmee de werking van Norg. Bij hogere bodemtemperatuur (in de zomer) breekt de o.s. sneller af dan bij lage temperatuur. Vocht, bodem-pH en textuur hebben eveneens invloed op de afbraaksnelheid van de o.s. en daardoor ook op de werking van Norg.

Een gewas met een langere N-opnameperiode (b.v. suikerbiet) kan meer van de vrijkomende Norg gedurende het groeiseizoen benutten dan een gewas met een kortere N-opnameperiode (b.v. zomergraan). De N-werking van de organische fractie is daardoor in een gewas met een langere N-opnameperiode hoger dan in een gewas met een kortere N-opnameperiode. In de adviesbasis bemesting wordt daarom de N-werking van dierlijke mest weergegeven voor verschillende perioden. Voor de teelt van aardappel geeft de adviesbasis bemesting de volgende stikstofwerkingscoëfficiënten voor de Norg in verschillende mestsoorten bij aanwending in het voorjaar (maart/april):

<i>Drijfmest</i>		<i>Vaste mest</i>	
Rundvee	15%	Rundvee	15%
Kalveren	15%	Leghennen (droge mest)	50%
Varkens	45%	Kippenstrooiselmest	30%
Kippen	45%	Vleeskuikens	40%
		Champost	20%

Indien Nm en Norg afzonderlijk zijn gemeten in de mest, kan de hoeveelheid werkzame stikstof in de mest worden berekend als: Nm-gehalte x werkings% van Nm + Norg-gehalte x werkings% van Norg.

Indien Nm en Norg niet afzonderlijk zijn gemeten, maar alleen N-totaal, moet worden uitgegaan van een gemiddelde verhouding tussen Nm en Norg voor de betreffende mestsoort. In dat geval kan de hoeveelheid werkzame stikstof in de mest worden berekend als: N-totaal-gehalte x werkings% van N-totaal. Voor de teelt van aardappel geeft de adviesbasis bemesting de volgende stikstofwerkingscoëfficiënten voor N-totaal in verschillende mestsoorten bij aanwending in het voorjaar (maart/april):

<i>Drijfmest</i>		<i>Vaste mest</i>	
Rundvee	55%	Rundvee	25%
Kalveren	80%	Leghennen (droge mest)	50%
Varkens	75%	Kippenstrooiselmest	55%
Kippen	75%	Vleeskuikens	50%
		Champost	20%

Bij voorjaarstoepassing van compost geeft de adviesbasis bemesting de volgende indicatieve N-werkingscoëfficiënten:

GFT-compost	15-20%
Groencompost	10-15%
N-arme groencompost	0 tot -10%

In geval van N-arme (groen)compost ($\leq 1,5\%$ N in de organische stof) wordt na toediening (tijdelijk) stikstof vastgelegd.

De bovengenoemde werkingspercentages zijn gemiddelde waarden, die afhankelijk van onder andere de weersomstandigheden kunnen variëren.

Naast onzekerheden/fluctuaties met betrekking tot de N-werking van de mest, heeft men nog te maken met de meetfout van het N-gehalte in de mest. Dit is de afwijking tussen het gemeten N-gehalte in een monster uit de partij en het werkelijk N-gehalte in de partij. Het is bij mest lastig om uit een partij een representatief monster te nemen. Een eerste vereiste voor een betrouwbare bemonstering is dan ook om de mestpartij vóór de monsternamen goed te mengen en te homogeniseren. Bij bemonstering volgens het MINAS-protocol bij het laden van mest, kan de monsternamen resulteren in een toevallige afwijking ten opzichte van de gemiddelde samenstelling van de mestvracht van 12% voor stikstof (Hoeksma et al., 2002).

De organische fractie van pluimveemesten bevat urinezuur. Urinezuur wordt in de bodem in enkel dagen tijd afgebroken. Bij een standaard lab-analyse van mestmonsters wordt urinezuur-N niet gemeten en valt dan in de Norg-fractie, terwijl de N-werking vergelijkbaar is met die van Nm. De fractie urinezuur in de organische stof van pluimveemesten kan variëren van 10-70%. Dit maakt voorspelling van de N-werking van pluimveemest lastig dan wel onbetrouwbaar. In de adviesbasis bemesting is voor de genoemde N-werkingscoëfficiënten voor pluimveemesten geen rekening gehouden met urinezuur. Als in de mest een substantieel

deel van de organische fractie in de vorm van urinezuur aanwezig is, zal de stikstofwerking bij voorjaars-toepassing hoger uitvallen.

Al deze factoren kunnen ervoor zorgen dat de hoeveelheid werkzame N die daadwerkelijk wordt toegediend aan het gewas, afwijkt van de hoeveelheid die men denkt toe te dienen. Dit is te ondervangen door na een basisbemesting met dierlijk mest te corrigeren met kunstmest door toepassing van een N-bijmeststelsel.

Nadat de stikstofopname van het aardappelgewas stopt (begin/half augustus; zie paragraaf 2.2.6) gaat de mineralisatie van stikstof in de bodem uit de Norg-fractie nog gewoon door. De stikstof die dan vrijkomt in de periode tussen einde N-gewasopname en de oogst, hoopt zich op in de bodem en leidt tot een verhoogde N_{min} bij oogst. Daardoor kan gebruik van organische mest het N-verlies in de herfst- en winterperiode iets verhogen.

4.2.2 Alternatieve meststoffen voor KAS

De meest gangbare stikstofkunstmeststof in de aardappelteelt is de korrelmeststof KAS. Er zijn ook vloeibare N-meststoffen beschikbaar en (duurdere) meststoffen met een specifiek werkingsmechanisme (vast en vloeibaar), waardoor de nutriënten beter beschikbaar zouden zijn voor het gewas.

Een voordeel van vloeibare meststoffen is dat verschillende nutriënten snel in de gewenste verhouding kunnen worden gemengd en toegediend. Over het algemeen zijn de nutriënten in vloeibare meststoffen sneller beschikbaar voor het gewas dan die in korrelmeststoffen. Bij de laatste moeten de korrels eerst oplossen. Indien korrelmeststoffen echter tijdig worden gestrooid, zijn de nutriënten ook op tijd beschikbaar.

Clevering (2002) voerde een literatuurstudie uit naar het perspectief van vloeibare meststoffen in de akkerbouw. Zij concludeerde dat vloeibare meststoffen in normale jaren bij akkerbouwgewassen niet beter werken dan vaste meststoffen c.q. geen meeropbrengst geven. Dit geldt ook wanneer in droge jaren kan worden berekend. Bij droogte tijdens en na toediening is de efficiëntie van vloeibare meststoffen iets hoger dan van vaste meststoffen. Doordat korrelmeststoffen onder droge omstandigheden slecht oplossen, komen de nutriënten (te) langzaam beschikbaar.

Slabbekoorn (1999 en 2000) onderzocht gedurende twee jaar de toepassing van de Cultan-methode als basisbemesting in aardappelen op kleigrond (Cultan is de afkorting van Controlled uptake long term ammonium nutrition). Hierbij wordt een vloeibare oplossing van ureum en zwavelzure ammoniak als rijenbemesting dichtbij de plantenwortels gebracht. Normaliter wordt ureum in de bodem omgezet in ammonium en ammonium wordt omgezet in nitraat. Door de hoge zoutconcentratie in het Cultan-depot echter, wordt de omzetting van ammonium naar nitraat sterk afgeremd. Ammonium spoelt veel minder snel uit dan nitraat. In het tweejarig onderzoek werkte de Cultan-methode niet beter dan KAS, noch kon er op de stikstofgift worden bespaard.

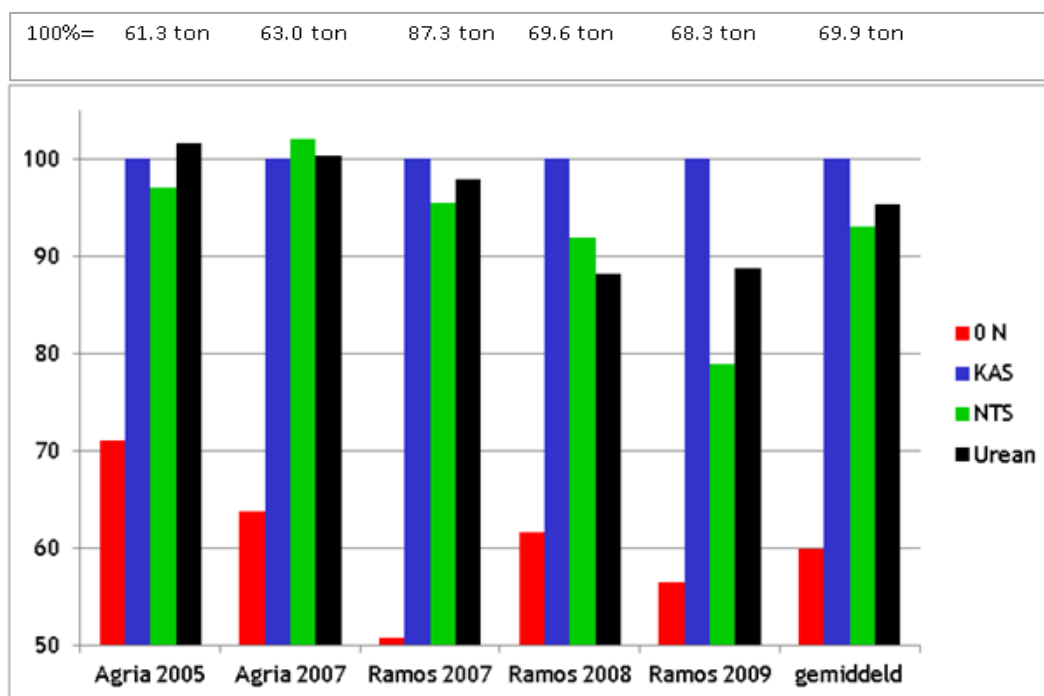
ALTIC heeft meerdere jaren onderzoek uitgevoerd in aardappelen naar de werking van vloeibare N-meststoffen als urean en NTS aan de basis in vergelijking tot korrelvormige KAS. De stikstof in urean is voor 50% opgebouwd uit ureumstikstof, 25% ammoniumstikstof en 25% nitraatstikstof. Een mengsel van 88% urean en 12% ATS vormt de meststof NTS.

ATS is een zwavelhoudende ammoniummeststof en heeft een ureaseremmende werking. Hierdoor verloopt het omzettingsproces van ureum naar ammonium (hydrolyse) vertraagd. Ook de nitrificatie van ammonium naar nitraat wordt door toevoeging van ATS aan urean vertraagd.

Een snelle omzetting van ureum naar ammonium (urean) heeft tot gevolg dat er een snelle (tijdelijke) pH-stijging optreedt met een hoger risico op ammoniakemissie tot gevolg. Bij NTS verloopt de hydrolyse naar ammonium trager, met een minder sterke pH-stijging tot gevolg. Hierdoor is vermindering van de kans op ammoniakemissie te verwachten. Tevens is NTS daardoor een langer werkende meststof dan urean.

In figuur 25 is een overzicht weergegeven van proeven waarbij KAS, NTS en urean zijn vergeleken bij een eenmalige, gelijke N-gift aan de basis. Uit deze meerjarige proeven blijkt dat in enkele jaren urean en NTS vergelijkbaar presteren als KAS. In enkele gevallen blijft de opbrengst na toediening van urean en NTS achter.

In het kader van een meerjarig onderzoek dat ALTIC voor Productschap Akkerbouw uitvoert van 2010-2012 wordt de werking deze meststoffen in aardappelen verder onderzocht.



Figuur 25. Effect van KAS, Urean en NTS als N-meststof aan de basis op de opbrengst van consumptie-aardappelen (bron: Altic)

Postma et al. (2009) onderzochten in 2006, 2007 en 2008 het effect van een aantal alternatieve meststoffen in aardappelen. Totaal werden negen proeven uitgevoerd met consumptieaardappel op zuidoostelijke zandgrond (PPO-proeflocatie Vredepeel), zetmeelaardappel op noordoostelijke zandgrond (PPO-proeflocatie Rolde) en pootaardappel op kleigrond (PPO-proeflocatie Lelystad). De meststoffen betroffen:

- Entec: een meststof waarin de stikstof grotendeels uit ammonium bestaat en waaraan een nitrificatieremmer is toegevoegd (DMPP), die de omzetting van ammonium naar nitraat remt. Daardoor kan de stikstof niet snel uitspoelen.
- Flex Fertilizer: een vloeibare, ureumhoudende 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 zou het beste zijn als de meststof als rijenbemesting wordt toegediend. Het kan ook als bladmeststof worden gebruikt. In de proeven is Flex Fertilizer als basisbemesting bij het poten in de rij toegediend en is een deel via bladbemesting toegediend.
- Een NPK-meststof (Yara Mila Complex of Yara Mila Grower) of een N-meststof (Superstart) als basisbemesting, gevolgd door een bijbemesting met Superstart, Nitrabor en/of Hydophos.
- Agroblen: een gecoatete meststof waaruit de nutriënten in de loop van het groeiseizoen geleidelijk beschikbaar komen voor het gewas en niet gemakkelijk kunnen uitspoelen.

De referentiemeststof in de proeven was KAS.

Verder is de toevoeging van de nitrificatieremmer Piadin aan drijfmest onderzocht (varkensdrijfmest te Vredepeel en Rolde en runderdrijfmest te Lelystad). Ook hiervan is het doel om de omzetting van de minerale stikstof in de mest (die uit ammonium bestaat) naar nitraat in de bodem te remmen en zo uitspoelingsverlies tegen te gaan.

Tot slot is een NBS-bodem (bijmesting op basis van Nmin-meting) in de proeven opgenomen, waarbij KAS is gebruikt.

De verschillen in fosfaat-, kali en magensiumaanvoer tussen de meststoffen/bemestingsystemen werden gelijk getrokken door aanvullende bemestingen.

Uit het onderzoek bleek:

- dat de meerwaarde van de beproefde meststoffen voor het realiseren van de optimale opbrengst bij een verlaagde N-gift beperkt was;
- dat verlaging van de N-gift met kalkammonsalpeter tot 2/3 van het N-advies bij aardappelen gemiddeld leidde tot een opbrengstderving van slechts 4%;
- dat een N-bijmeststelsel de beste mogelijkheden biedt om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren.

Toevoeging van Piadin aan drijfmest leidde steeds tot een wat hogere N-werking van de mest. Bij N-gift met mest van 170 kg N/ha zou door toediening van Piadin ca. 10 kg N/ha op kunstmest kunnen worden bespaard.

Sinds enkele jaren is een nieuwe stroom stikstofhoudende meststoffen beschikbaar gekomen, die worden verkregen door scheiding en bewerking van dierlijke mest of die afkomstig zijn uit luchtwassers. De afgelopen jaren is een proces ontwikkeld waarbij drijfmest met hoogwaardige scheidingstechnieken wordt gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dunne fractie die hierbij ontstaat, wordt vervolgens geconcentreerd via een proces dat omgekeerde osmose heet. Het hieruit ontstane product is *mineralenconcentraat* (MC).

MC bevat vooral minerale stikstof en kali, nagenoeg geen tot zeer weinig fosfaat (<1 kg P₂O₅ per ton) en een geringe hoeveelheid organische stof en organische gebonden stikstof (ca. 5-15% van N-totaal, afhankelijk van de producent). Het N-totaalgehalte varieert van ca. 4 tot 11 kg N per ton en het kaligehalte van ca. 7 tot 19 kg K₂O per ton, afhankelijk van de producent. MC wordt beoogd als kunstmestvervanger. In 2009-2011 heeft de Rijksoverheid in samenwerking met het landbouwbedrijfsleven onderzoek laten uitvoeren naar de landbouwkundige en milieukundige effecten van het gebruik van mineralenconcentraten. Binnen dat onderzoeksproject hebben Van Geel & Van Dijk (2011b) de mineralenconcentraten in 2009 en 2010 beproefd in consumptieaardappel op kleigrond te Lelystad en in zetmeelaardappel op zandgrond te Rolde (Drenthe). Doel was het vaststellen van de N-werking bij emissiearme toediening ten opzichte van kalkammonsalpeter (KAS). Theoretisch is die N-werking geschat op ruim 90%. In de aardappelproeven zijn de mineralenconcentraten toegepast vóór poten en als bijbemesting bij rugopbouw (alleen in de kleiproef) of bij knolzetting. Er zijn mineralenconcentraten van meerdere producenten opgenomen in de proeven bij meerdere N-niveaus om de N-werking nauwkeurig te kunnen vaststellen. Zowel vóór poten als tijdens de bijbemestingen zijn de concentraten emissiearm toegediend met kouters.

Gemiddeld over de twee proefjaren werd bij inzet van het MC als basisbemesting bij zetmeelaardappel te Rolde een stikstofwerking afgeleid van 92%. Dit was conform de verwachting. Bij consumptieaardappel te Lelystad (klei) bedroeg de afgeleide N-werking gemiddeld 80% en bleef achter bij de verwachting. Mogelijk heeft er op de kalkrijke klei te Lelystad wat meer ammoniakvervluchtiging plaatsgevonden en/of was er sprake van tijdelijke vastlegging van ammoniumstikstof in de bodem.

De N-werking van mineralenconcentraten als bijbemesting varieerde sterk tussen de beide proefjaren, met uitersten van 40% tot ruim 100%. De werking was op beide locaties laag in 2009 en hoog in 2010. Voor dit verschil tussen beide jaren is geen sluitende verklaring gevonden.

In de proeven is ook de dikke fractie opgenomen, vlak vóór poten verspreid en met een eg ingewerkt. De N-werking van de dikke fractie was relatief laag: 32-34% in drie van de vier proeven en 55% in één proef. Op basis van de samenstelling werd theoretisch een werking verwacht van 60-65%. Mogelijk is er vrij veel ammoniak vervluchtigd na toediening door de ondiepe inwerking en/of was de werking lager doordat het wat kluitiger, plakkeriger product niet zo uniform was te verdelen als kunstmest.

Naast het bovengenoemde project wordt van 2009 t/m 2011 een aanvullend onderzoeksproject uitgevoerd met toepassing van mineralenconcentraten in meerdere gewassen. Dit project is meer verbredend met een accent op vergelijking van verschillende toedieningstechnieken. Ook aardappel is in deze proeven opgenomen. De resultaten van de proeven van 2009 en 2010 zijn samengevat door Van Geel et al. (2011c). De resultaten van de proeven van 2011 waren op moment van schrijven van dit verslag nog niet bekend.

In 2010 gaf de toediening van MC vóór poten met een bouwlandinjecteur in consumptieaardappel op zuidoostelijk zand (Vredepeel) alswel in zetmeelaardappel op noordoostelijk zand (Rolde) een vergelijkbare N-werking als KAS. De toediening van MC als bijbemesting met sleepslangen bij ≥80% grondbedekking door

het loof gaf op beide locaties eveneens een vergelijkbare N-werking als bijbemesting met KAS. In 2009 is alleen een proef met zetmeelaardappel uitgevoerd, maar hieruit kon geen N-werking worden afgeleid. In een proef met consumptieaardappel op zuidwestelijk klei (Westmaas) gaf oppervlakkige toediening van MC met sleepslangen (onder droge omstandigheden) plus een dag later inwerken ook een gelijkwaardige N-werking als KAS. Bijbemesting met MC met sleepslangen bij 50% grondbedekking door het loof gaf een beduidend lagere N-werking t.o.v. bijbemesting met KAS. Bijbemesting met sleepslangen wordt momenteel wettelijk niet aangemerkt als emissiearme toedieningstechniek en is daarom niet toegestaan.

Om de ammoniakemissie uit stallen of gesloten composteringssystemen sterk te verminderen, worden zogenoemde luchtwassers gebruikt. Daartoe wordt de uitgaande ventilatielucht door een luchtwasser geleid die de ammoniak bindt; in geval van chemische luchtwassers aan zwavelzuur, waardoor ammoniumsulfaat ontstaat. *Spuiwater* uit luchtwassers mag volgens de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet als meststof worden toegepast. Afhankelijk van het type luchtwasser, varieert de samenstelling van het spuiwater sterk; het N-gehalte varieert van slechts enkele procenten tot zo'n 8%.

Spuiwater uit chemische luchtwassers is het best te vergelijken met de meststof zwavelzure ammoniak. Bij emissiearme toediening (wettelijk niet verplicht) is de N-werking naar verwachting gelijk aan die van KAS. Bij niet-emissiearme aanwending (bijvoorbeeld met de veldspuit) kan met name op kalkrijke gronden wat meer ammoniakvervluchtiging optreden en is de werking lager dan van KAS (naar schatting 90-95%). Naast stikstof wordt met de meststof zwavel aangevoerd. Verder werkt de meststof sterk verzurend.

5 Bevindingen en aanbevelingen

In deze deskstudie is veel informatie op en rij gezet over de mogelijkheden (en onmogelijkheden) om de stikstofbenutting bij de teelt van aardappel te verbeteren. De stikstofbenutting door aardappel is matig tot vrij slecht. Van de toegediende (werkzame) stikstof via meststoffen aan aardappel wordt vaak niet meer dan 50% teruggewonnen via de geoogste knollen. De rest blijft achter op het veld, deels in de gewasresten. Een hoger stikstofoverschot gaat in de regel gepaard met een hogere N_{min} in de bodem na oogst.

Niettemin laten resultaten uit diverse onderzoeken zien dat er verschillen zijn tussen percelen en jaren en dat het mogelijk is een hogere benutting te behalen, tot ca. 60% van de toegediende (werkzame) stikstof op basis van de N-opname in de knollen.

De N-benutting door het aardappelgewas heeft aanmerkelijke invloed op de benodigde stikstofgift. Door een hogere N-benutting is minder stikstof nodig en is het stikstofoverschot lager.

Voor verbetering van de stikstofbenutting komen uit de deskstudie drie hoofdaandachtspunten naar voren:

1. zorgen voor een goede bodemkwaliteit;
2. perceelsgericht bemesten en onnodig hoge stikstofgiften vermijden door toepassing van een stikstofbijmeststelsel;
3. veredeling van rassen waarbij een lage stikstofbehoefte wordt gecombineerd met andere gewenste eigenschappen.

Bodemkwaliteit

Stikstofopname en -benutting worden sterk beïnvloed door de groeiomstandigheden. Een goede bodemkwaliteit vormt de basis voor een goede N-benutting en een goede gewasgroei en opbrengst. Voorwaarden voor een goede benutting van stikstof (en andere nutriënten) zijn een goed doorwortelbaar bodemprofiel (zowel in de diepte als in de breedte), een goede vochtvoorziening van het gewas en een goede bodemgezondheid (geen of zo min mogelijk aantasting van het wortelstelsel door bodemziekten en -plagen, met name aaltjes).

Een goede N-benutting in de aardappelteelt vraagt dus op de eerste plaats om een goede bodemkwaliteit. Bodemkwaliteit staat momenteel sterk in de belangstelling en er lopen meerdere projecten gericht op handhaving of verbetering van bodemkwaliteit

N-opnamepatroon

In verhouding tot de totale teeltperiode, neemt aardappel zijn stikstof in vrij korte periode op, vanaf opkomst tot begin/half augustus. De stikstof die vrijkomt door mineralisatie in de periode nadat de gewasopname stopt tot aan de oogst, hoopt zich op in de bodem en leidt tot een verhoogde N_{min} bij oogst. Hier is door bemestingsmaatregelen tijdens de aardappelteelt niets aan te doen. De mogelijkheden van na-oogstmaatregelen zijn ook beperkt.

De bodemmineralisatie zou kunnen worden verlaagd door geen organische mest meer aan te voeren (het zogenaamde uitmijnen). In meerjarig onderzoek op zuidoostelijk zand leidde dat tot een beperkte reductie (gemiddeld ca. 20%) van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater, maar ook tot een lagere organische-stofaanvoer en opbrengstderving op 1/3 deel van de percelen. Ingrijpen in de organische-stofvoorziening is daarom geen goede oplossingsrichting. Organische stof is juist belangrijk voor het in stand houden van een goede structuur, bewortelbaarheid en het vochtbergend vermogen van de bodem.

Verschillen in N-behoefte tussen rassen

Tussen verschillende aardappelrassen bestaan aanmerkelijke verschillen in stikstofbehoefte, die oplopen tot meer dan 100 kg N per ha. Voor het grootste deel van het aardappelareaal bedragen ze niet meer dan ca. 50 kg N per ha. Een lagere N-behoefte hoeft niet samen te gaan met een lager opbrengstniveau. Het verdient aanbeveling om na te gaan of door veredeling rassen kunnen worden ontwikkeld die een lage N-behoefte en hoge productie combineren met andere gewenste eigenschappen en in hoeverre daardoor het stikstofverlies in de aardappelteelt kan worden verminderd. Dit valt echter buiten het bereik van dit project.

Afstemming op mineralisatie

De hoogte van de stikstofgift heeft in samenhang met het stikstofaanbod in de bodem uit andere bronnen, met name mineralisatie, belangrijke invloed op de stikstofbenutting en de hoeveelheid niet-benutte stikstof die na de oogst in de bodem achterblijft. Een (te) hoge stikstofgift leidt tot een onnodige verhoging van het stikstofoverschot, een lagere stikstofbenutting en kan ook nadelig effect hebben op de kwaliteit en de opbrengst.

Vanwege de relatief hoge N-rest na de oogst zijn de N-gebruiksnormen voor zand en löss verlaagd. De krappe N-gebruiksnormen maken het noodzakelijk om zo efficiënt mogelijk met stikstof om te gaan om opbrengstderving zo veel mogelijk te beperken.

Het is hierbij zaak om zo goed mogelijk perceelsgericht te bemesten. Door op percelen met een sterkere stikstoflevering te besparen op de stikstofgift, houdt men meer stikstof over om de schralere percelen wat extra te geven. Perceelsgerichte bemesting is in principe mogelijk door een goede voorspelling van het N-leverend vermogen van de grond of door toepassing van N-bijmestsystemen.

Het is in praktijk echter lastig te voorspellen hoeveel stikstof er precies mineraliseert en wanneer. Er zijn diverse indicatoren gebaseerd op chemische meetmethoden beschikbaar die een indicatie kunnen geven over de hoogte van het mineralisatieniveau van de bodem. Ze geven echter geen nauwkeurige voorspelling van de te verwachten mineralisatie.

Met name op percelen waar een hoge mineralisatie wordt verwacht, lijkt gebruik van een NBS momenteel een beter alternatief. Op percelen met een verwachte hoge mineralisatie (uit de bodemorganische stof of uit gewasresten, bijv. op gescheurd grasland) is het zinvol een stikstofbijmeststelsel (NBS) te gebruiken, maar ook na een basisbemesting met dierlijke mest in het voorjaar. Bij gebruik van organische mest staat minder zeker vast dan bij gebruik van kunstmest hoeveel werkzame stikstof er precies is toegediend.

Beoordeling verschillende N-bijmestsystemen

Uit de diverse proeven waarin de verschillende N-bijmestsystemen voor aardappel zijn vergeleken, blijkt dat de CropScan-methode minstens even goed voldeed als andere N-bijmestsystemen, terwijl de methode minder arbeid kost, het snelste van alle systemen (direct na meting) een advies kan geven en de mogelijkheid biedt om variabel bij te bemesten binnen een perceel. De CropScan-methode c.q. een NBS op basis van gewasreflectiemeting is daarom het meest perspectiefvol om mee verder te gaan.

In het algemeen valt er aan de nauwkeurigheid van advisering door de bijmestsystemen nog wel wat te verbeteren. Indien een besparing mogelijk was ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn, gaven de bijmestsystemen dit meestal wel goed aan. Indien de optimale N-gift echter hoger was dan de richtlijn, gaven ze dit niet goed aan.

Een ander aandachtspunt is de hoogte van de basisgift. Deze mag niet te krap mag zijn, afhankelijk van het ras en de groeiomstandigheden. Vooralsnog lijkt, op basis van de in 2009 en 2010 uitgevoerde proeven, een basisgift van 150 kg N per ha te voldoen, maar op een N-arme grond kan misschien beter een wat hogere basisgift worden gekozen (ca. 175 kg N per ha) om een vroegtijdig N-tekort te voorkomen.

Praktijkervaringen met NBS

Uit ruim 12 jaar praktijkervaringen, via projecten als Telen met toekomst, blijkt dat geleide bemesting een goede methode is in de aardappelteelt. Op veel bedrijven is met succes de bladsteeltjesmethode en aardappelmonitoring toegepast. Ten opzichte van de standaardgiften is een besparing te behalen tot 50 kg per ha. De animo voor deze arbeidsintensieve methode was er met name doordat dit in projectverband werd uitgevoerd. Op eigen initiatief bleek dit maar voor een enkele teler weggelegd.

Zoeken naar meer technische oplossingen zoals gewasmeting met de N-sensor, werd als een gewenste oplossing gezien om een brede toepassing in de praktijk te realiseren.

Sensor NBS

Het toepassen van gewassensoren is nog geen gemeengoed in de landbouw en de adviesmethode op basis van deze techniek en het bijbehorende adviessysteem voor N-bijbemesting heeft nog ontwikkelstappen. De CropScan-sensor is een te kwetsbaar instrument voor gebruik in het veld op landbouwwerktuigen. De adviesmethode op basis van gewassensing moet nog verder worden ontwikkeld voor de meeste commerciële sensoren die wel voor dit doel in praktijk kunnen worden ingezet. Toetsen van een adviessysteem op basis van de Yara N-sensor lijkt het meest kansrijk.

Verfijning NBS-gewassensing

Hoewel N-bijmesting op basis van gewassensing praktijkrijp is, vallen er nog een aantal punten te verbeteren. De huidige ontwikkelde CropScan-methode geeft pas een N-bijmestadvies bij $\geq 90\%$ grondbedekking. Vanaf dat moment kan de uit de gewasreflectie afgeleide N-inhoud van het gewas worden vergeleken met een streefwaarde. Indien de N-opname onder de streefwaarde ligt, wordt een bijmestadvies gegenereerd. Een bodembedekking van 90% wordt meestal pas rond 1 juli bereikt, maar bij een trage gewasontwikkeling in het voorjaar kan dit nog later zijn.

In praktijk wil men ook al kunnen bijbemesten voordat 90% bodembedekking is bereikt. Streefwaarden voor de N-opname door het gewas ontbreken dan echter nog. Een aanbeveling voor vervolgonderzoek is daarom om na te gaan of de streefwaarde op een vast moment kan worden vervangen door een normlijn voor het N-opnameverloop in de tijd of door deze uit te zetten tegen de temperatuursom. Bij het gebruik van een temperatuursom wordt namelijk rekening gehouden met koudere of warmere perioden en het effect daarvan op de gewasgroei en N-opname. Met zo'n normlijn is het misschien mogelijk om op een eerder tijdstip een achterblijvende N-opname vast te stellen en direct te reageren. Als de N-opname (nog) niet achterblijft t.o.v. de norm lijn, wordt in principe niet bijbemest en de volgende meting afgewacht. Zodra de gemeten N-inhoud onder de normlijn komt, wordt bijbemest. De hoogte van de bijmestgift moet dan worden berekend op basis van het verschil tussen de actuele N-inhoud en de norm.

Verder houdt de CropScan-methode geen rekening met verschillen in opbrengstpotentie tussen percelen. Bij een bovengemiddelde opbrengst moet het gewas ook meer stikstof kunnen opnemen. Het verdient daarom aanbeveling om de streefwaarde of streefopnamecurve afhankelijk te stellen van de opbrengstverwachting. Een belangrijke vraag hierbij is hoe een hoge opbrengstpotentie en dus hogere N-behoefte vroegtijdig kan worden herkend. Mogelijkheden daartoe zijn:

- Een inschatting vooraf op basis van in het verleden behaalde opbrengsten op het perceel c.q. kennis van het perceel. Afhankelijk van het groeiseizoen en de gewasontwikkeling in het voorjaar kan de opbrengstverwachting naar boven of beneden worden bijgesteld op het moment van bijbemesting.
- Een groeisimulatiemodel dat op basis van bodem- en klimaatgegevens het groeiverloop inschat. Dit is echter nog niet praktijkrijp en vraagt om nader onderzoek, dat buiten het bereik van dit project valt.
- Het gebruik van omgekeerde N-vensters. Uit eerder onderzoek is gebleken dat het gebruik van omgekeerd vensters in combinatie met gewasreflectiemeting perspectief biedt, maar dat nader onderzoek nodig is naar de juiste hoogte van de omgekeerde vensters en de afleiding van een bijmestadvies op basis van het verschil tussen de vensters en de rest van het perceel.

Verder lijkt het logisch de streefwaarden te differentiëren voor rasverschillen qua N-behoefte, voor gebruiksdoel of grondsoort. Voor het opstellen van dergelijke gedifferentieerde streefwaarden is meer onderzoek nodig.

Van sensor-meting naar N-inhoud

Voor de vertaling van gewasreflectiemeting naar stikstofinhoud van het gewas is een ijklijn opgesteld. Er is echter sprake van variatie rondom die ijklijn (afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde). Om de nauwkeurigheid van het systeem te verhogen, is van belang om onderzoek te doen naar de factoren die deze variatie veroorzaken. Als deze kunnen worden onderscheiden en er rekening mee kan worden gehouden, kan dat de nauwkeurigheid van de schatting van de N-inhoud verhogen. Het zoeken naar deze factoren is echter vrij fundamenteel onderzoek, dat buiten de reikwijdte van dit project valt.

Plaats specifieke bijbemesting

Een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing kan in principe goed worden gebruikt om in te spelen op variatie binnen een perceel en plaats specifiek bij te bemesten. Die methode moet nog wel verder worden ontwikkeld. Enkel reageren op verschillen in gewasontwikkeling of N-inhoud door op plekken met een slechtere ontwikkeling meer stikstof te geven en op plekken met een goed ontwikkeling minder, leidt niet of nauwelijks tot een betere opbrengst of betere N-benutting. De gewasreflectie geeft weliswaar de toestand van het loof weer, maar geeft geen uitsluitsel over de precieze oorzaak van een achterblijvende loofontwikkeling op plekken binnen het perceel. Behalve stikstoftekort kan dit een gevolg zijn van vochttekort, bodemziekten, tekorten aan andere nutriënten of structuurgebreken. Voor een effectief gebruik van variabele bijbemesting zou eigenlijk eerst bekend moeten zijn wat binnen een perceel de pleksgewijze

opbrengstpotentie is, zodat de streefwaarde voor de N-inhoud van het gewas hierop kan worden afgestemd. Dat kan tot een efficiënter gebruik van stikstof leiden.

Toedieningsmethode en meststof

Het dicht bij de planten plaatsen van de stikstofmeststof door middel van rijenbemesting kan tot een hogere benutting en een besparing op de N-gift leiden op arme, zwak-mineraliserende, uitspoelingsgevoelige gronden en/of bij een slechte bodemstructuur. Uit proeven die in de afgelopen 30 jaar zijn uitgevoerd, bleek het in aardappel soms een beter resultaat te geven. Rijenbemesting is derhalve een instrument om in te zetten voor specifieke groeiomstandigheden. Op percelen waar wordt ervaren dat het gewas structureel meer stikstof nodig heeft dan gemiddeld en/of dat de bodem weinig stikstof levert, kan worden nagegaan of N-rijenbemesting verbetering geeft.

Het toedienen van startgiften aan aardappel via rijenbemesting met vaste of vloeibare (N)P-meststoffen kan de begingroei van het gewas stimuleren en dit kan tot een hogere opbrengst leiden.

Stikstofbijbemesting via bladbespuitingen met urean is een (praktisch) alternatief voor bijbemesting met korrelmeststoffen, maar het verhoogt de stikstofbenutting doorgaans niet. Bij toepassing van een N-bijmeststelsel, waarbij onder droge omstandigheden moet worden bijbemest en niet kan worden berekend, heeft bladbemesting met urean de voorkeur boven strooien van KAS, omdat de stikstof sneller door het gewas wordt opgenomen.

Fertigatie in aardappel via druppelsslagen heeft op de Nederlandse, vruchtbare gronden weinig perspectief. De Cultan-methode in aardappel werkte in tweejarig onderzoek op klei niet beter dan KAS, noch kon er op de stikstofgift worden bespaard.

Vloeibare meststoffen hebben enkele praktische gebruiksvoordelen en ze zijn nauwkeuriger te doseren en egalier te verdelen dan korrels, met name bij lage doseringen. De nutriënten in vloeibare meststoffen zijn sneller beschikbaar voor het gewas dan die in korrelmeststoffen en bij toediening onder droge omstandigheden leidt dat tot een betere efficiëntie. In normale omstandigheden werken vloeibare meststoffen niet beter dan vaste meststoffen. Het gebruik ervan moet men laten afhangen van praktische voor- en nadelen en persoonlijke voorkeur.

Uit een driejarige onderzoek naar een aantal alternatieve meststoffen/bemestingsmethoden op verschillende locaties en grondsoorten bleek dat de meerwaarde van de beproefde meststoffen/methoden voor het realiseren van de optimale opbrengst bij een verlaagde N-gift beperkt was en dat een N-bijmeststelsel met KAS de beste mogelijkheden bood om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren.

Toevoeging van een nitrificatieremmer aan drijfmest gaf in dit driejarig onderzoek een wat hogere N-werking van de mest. Bij N-gift met mest van 170 kg N/ha zou daardoor ca. 10 kg N/ha op kunstmest kunnen worden bespaard.

Bij gebruik van een N-bijmeststelsel moet vooraf worden nagegaan of de betreffende N-meststof daar in past. Voor de bijbemesting worden goed oplosbare, snelwerkende minerale N-meststoffen aanbevolen (Van Dijk & Van Geel, 2011). Als een basisgift is uitgevoerd met langzaamwerkende meststoffen, moet worden ingeschat hoeveel stikstof in een bepaalde periode vrijkomt. Bij alternatieve meststoffen hoort veelal een eigen bemestingsstrategie qua toedieningswijze en timing van de giften.

Bij gebruik van mineralenconcentraat moet men er rekening mee houden dat de N-werking van ervan iets kan fluctueren ten opzichte van KAS, afhankelijk van jaar en grondsoort. De stikstofwerking varieerde in proeven van gelijkwaardig aan KAS tot lager dan KAS.

Spuiwater uit chemische luchtwassers is het best te vergelijken met de meststof zwavelzure ammoniak. Bij emissiearme toediening (wettelijk niet verplicht) is de N-werking naar verwachting gelijk aan die van KAS. Bij niet-emissiearme aanwending (bijvoorbeeld met de veldspuit) kan met name op kalkrijke gronden wat meer ammoniakvervluchtiging optreden en is de werking lager dan van KAS (naar schatting 90-95%). Naast stikstof wordt met de meststof zwavel aangevoerd. Spuiwater wordt in 2011 beproefd in aardappelen.

Aanbevelingen voor verdere ontwikkeling van bijmestsystemen en –strategieën:

Als vervolg op deze literatuurstudie zullen in een opvolgend rapport in 2011 de hierboven gedane voorstellen tot verbetering van een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing nader worden uitgewerkt en wordt een plan van aanpak opgesteld om een aantal verschillende mogelijkheden in veldproeven te toetsen.

De belangrijkste aanbevelingen voor vervolgonderzoek met betrekking tot het ontwikkelen van nieuwe bijmestsystemen en -strategieën zijn:

- Ga door met de verdere ontwikkeling/verbetering van een N-bijmeststelsel op basis van gewassensing. Een N-bijmeststelsel biedt de beste mogelijkheid om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren. Een NBS op basis van gewassensing is het meest perspectiefvol.
- Onderzoek daarbij de mogelijkheid om eerder bijmestadviezen te kunnen geven door het opstellen van een normlijn voor het N-opnameverloop van het gewas uitgezet tegen de temperatuursom.
- Ga na of en hoe de streefwaarde of normlijn voor de N-opname door het gewas afhankelijk moet worden gesteld van het te verwachten opbrengstniveau. Onderzoek in dat verband ook de mogelijkheid van omgekeerde N-vensters als referentie.

Verder verdient het aanbeveling om:

- na te gaan na of en hoe perceelsinformatie in de vorm van mineralisatie-indicatoren kunnen worden betrokken bij de keuze van de basisgift stikstof bij NBS;
- een verbeterd N-bijmeststelsel te toetsen onder (praktijk)omstandigheden waarbij op zandgrond een basisbemesting met dierlijke mest wordt uitgevoerd;
- met een klankbordgroep van telers en praktijkdeskundigen de praktische inpasbaarheid van NBS met sensoren te bespreken;
- af te bakenen welke aspecten kunnen worden meegenomen in het onderzoek om binnen de looptijd van het project tot een inpasbaar systeem te komen.

Literatuur

- Alblas, J. (1999). Stikstofrijenbemesting heeft geen effect op de wortelverdeling bij aardappelen. PAV bulletin Akkerbouw, oktober 1999, p. 29-31.
- Baltissen, A.H.M.C. & L. Slootweg (1992). Een stikstofbijmeststelsel (NBS) voor aardappelen op basis van grondonderzoek. IKC-informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroente, maart 1992, nr. 2, p. 13- 25.
- Berge, H.F.M. ten, S.L.G.E. Burgers, J.J. Schröder & E.J. Hofstad (2002). 'Partial balance' – regression models for $N_{min,H}$. In: A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands (ed.: H.F.M ten Berge). Reeks Sturen op Nitraat 2. Rapport 31. Plant Research International, Wageningen, p. 25-60.
- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag (1990). Introduction to potato production. Pudoc, Wageningen, 208 p.
- Booij R. & D. Uenk (2004). Crop-reflection-based DSS for supplemental nitrogen dressings in potato production In: D. Mackerron and A. J. Haverkort (Eds.), Decision support systems in potato production: bringing models to practice., Wageningen Academic Publishers. p. 46-53.
- Clevering, O.A. (2002). Toepassingsmogelijkheden van vloeibare NPK-meststoffen in de akkerbouw. Projectrapport 1125246. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 52 pp.
- Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2009). Advies fritesrassen en aardappelrassen met een hoge en een lage stikstofnorm. Bijlage bij de WOT-brief met kenmerk 09/N&M0079 van 4 september 2009, 13 pp.
- Dijk, W. van, H. Brinks & R. Postma (2011). Flexibilisering gebruiksnormen. Verkenning perspectieven voor de akkerbouw. PPO projectnr. 32 501941 00. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 67 pp.
- Dijk, W. van & W. van Geel (2010). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 100 p. + bijlagen. Alleen elektronisch beschikbaar op de web site Kennisakker (www.kennisakker.nl)
- Enckevort, P.L.A. van, J.R. van der Schoot & W. van den Berg (2002). Relatie tussen N-overschot en N-uitspoeling. Projectrapport 1125234, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 60 pp.
- Erp, P.J. van & H.H.H. Titulaer (1992). Rijenbemesting in de akkerbouw met vollegrondsgroenteteelt. Meststoffen 1992, p. 10-15.
- Evert, F.K. van, D.A. van der Schans, J.T. Malda, W. van den Berg. W. van Geel & J. N. Jukema (2011). Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen. Integratie van sensormetingen in een N-bijmeststelsel. PPO nr. 423. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 138 pp.
- Geel, W.C.A. van, H.A.G. Verstegen & J.J. de Haan (2011a). Opbrengstvergelijking percelen Nutriënten Waterproof en praktijkpercelen. PPO nr. 428. PPO-AGV, Lelystad, 36 pp.
- Geel. W. van, W. van Dijk & W. van den Berg (2011b). Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Projectrapport 32 501316 00, PPO-AGV, Lelystad, 68 pp.
- Geel. W. van, W. van den Berg, W. van Dijk & R. Wustman (2011c). Aanvullend onderzoek mineralenconcentraten 2009-2010 op bouwland en grasland. Projectrapport 32 501 792 en 32 501 793, PPO-AGV, Lelystad, 40 pp.
- Geel, W.C.A. van, K.H. Wijnholds & C. Grashoff (2004a). Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen bij de teelt van zetmeelaardappelen 2002-2003. Project 510168, PPO-AGV, Lelystad, 81 pp.
- Geel. W.C.A. van, K.H. Wijnholds & C. Grashoff (2004b). Geleide bemesting in zetmeelaardappel. Infoblad Mest- en Mineralenprogramma's LNV.

- Geel, W.C.A. van (2004c). Perspectief druppelirrigatie en -fertigatie in consumptieaardappelen op droge zandgrond valt tegen. Alleen beschikbaar op de website Kennisakker (www.kennisakker.nl)
- Geel, W.C.A. van (2000). Geen meerwaarde polyfosfaat. PAV Bulletin Akkerbouw, april 2000, p. 38-41.
- Haan, J. de & W. van Geel (2010). Nutriënten Waterproof. Nitraatnorm op zand verdraagt geen intensieve landbouw. Project 32530133. PPO-AGV, Lelystad, 24 pp.
- Haan, J. de (2005). Nutriënten Waterproof. Interne rapportage van de planvormingsfase. Project 530133. PPO-AGV, Lelystad.
- Hoeksma, P., J.V. v/d Berg, E., Evers, M.M.W.B., Hendriks & G.C.C. Kupers (2002). Bemonsteringsnauwkeurigheid bij laden en lossen van transportvoertuigen voor drijfmest. IMAG-nota P 2002-79.
- Kroonen-Backbier, B.M.A., G.J. Molema, V.T.J. Achten & C. Grashoff (2004). 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). Systeeminnovatierapport, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten, december 2004, 47 pp.
- Janssen, B.H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, p. 39-45.
- Jongschaap R.E.E. & R. Booij (2004). Spectral measurements at different spatial scales in potato: relating leaf, plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5, p. 205-218.
- Lokhorst, K., P. Dekker, K. Grashoff, T. Guiking & S. van 't Riet (2003). Perspectieven geleide bemesting in de open teelten: van deskstudie naar onderzoek. IMAG-nota 2003-51.
- Loon, C.D. van, K.H. Wijnholds & A.H.M.C. Baltissen (1995). Optimalisering van de N-voeding van zetmeelaardappelen. Verslag nr. 192. PAGV, Lelystad.
- Loon, C.D. van & C.D. Houwing (1989). Optimalisering van de stikstofvoeding van consumptieaardappelen. Publikatie nr. 42. PAGV, Lelystad.
- Loon, C.D. van, H.W.G. Froot & H.A.G. Verstegen (1998). Urean goed alternatief. PAV-Bulletin Akkerbouw, november 1998, p. 3-5.
- Love, S.L., J.C. Stark & T. Salaiz (2005). Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. *American Journal of Potato Research* 82, p. 21-30.
- Marion L.P. van (2002). Ruimtelijk variabele stikstofbijbemesting in aardappelen op basis van gewasreflectiemetingen. Eindverslag afstudeervak Plant Research International B.V. en leerstoelgroep Gewas- en Onkruidecologie, Wageningen.
- Miedema, M. & P.C. Meeuwissen. Stikstofkringloop. Serie: Bewust omgaan met mineralen. IKC Akker- en Tuinbouw, Ede, 36 pp.
- Neeteson, J.J. (1989). Evaluation of the performance of three advisory methods for nitrogen fertilization of sugar beets and potatoes. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37, p. 143-155.
- Neeteson, J.J., D.J. Greenwood & A. Draycott (1987). A dynamic model to predict yield and optimum nitrogen fertilizer applications rate for potatoes. *Proceedings 262 of the Fertiliser Society, London*, 31 pp.
- Neeteson, J.J. (1984). Nieuwe stikstofbemestingsadviezen voor aardappelen. *Bedrijfsontwikkeling*, jrg. 15, p. 331-333
- Neeteson, J.J. (1989). Effect of reduced fertilizer nitrogen application rates on yield and nitrogen recovery of sugar beet and potatoes. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37, p. 227-236.
- Postma, R. & P.J. van Erp (2000). Stikstofbemesting van consumptieaardappelen via druppelfertigatie. *Meststoffen* 2000, p. 36-44.

- Postma, R., P. Dekker, L. van Schöll, J. Paauw, K. Wijnholds, H. Verstegen (2009). Toetsing van meststoffen en bemestingssystemen in de aardappelteelt; veldproeven 2006-2008. Rapport 1161. Nutriënten management instituut, Wageningen, 50 pp.
- Prummel, J. (1957). Fertilizer placement experiments. *Plant and Soil* 8, p. 213-253.
- Radersma, S, W.C.A. van Geel, C. Grashoff, G.J. Molema & N.S. van Wees (2004). Geleide bemesting in de open teelten: Ontwikkeling van systemen. PPO 334. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 32 pp.
- Ros G.H., E.J.M. Temminghoff & E. Hoffland (2011). Nitrogen mineralisation - a meta-analysis on the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science* 61(1), p. 162-173.
- Schoot, J.R. van der, J. Neuvel en W. van Dijk (2002). Interactie stikstof- en fosfaatvoorziening bij aardappel. Projectrapport nr. 11 25.2.36. PPO-AGV, Lelystad, 40 pp.
- Slabbekoorn, H. (2003). Stikstofbijmestsystemen in consumptieaardappelen, 2003. Een vergelijking van verschillende adviessystemen. Projectrapport 510320 (vertrouwelijk), PPO-AGV, 48 pp.
- Slabbekoorn, H. (2000). Stikstofbijmestsystemen in consumptieaardappelen, 2000. Een vergelijking van verschillende adviessystemen. Projectrapport 110166 (vertrouwelijk), PPO-AGV, 32 pp.
- Slabbekoorn, H. (1999). Cultan in consumptieaardappelen 1999. Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt regio Zuidwest, Westmaas, 23 pp.
- Slabbekoorn, H. (2001). Cultan in consumptieaardappelen 1999. Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt regio Zuidwest, Westmaas, 23 pp.
- Smit, A.L. (1994). Stikstofbenutting. In: Themadag stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt (ed.: A.J. Haverkort, K.B. Zwart, P.C. Struik & P.H.M. Dekker). Themaboekje nr. 18, PAGV, Lelystad, p. 9-22.
- Smet, L.A.H. de (1982). Bodemkundige beperkingen voor de teelt van aardappelen. In: Themadag teelt van consumptie-aardappelen. Themaboekje nr. 3, PAGV, Lelystad, p. 11-28.
- Smit, A.L. (1994). Stikstofbenutting. In: Themadag stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt (ed.: A.J. Haverkort, K.B. Zwart, P.C. Struik & P.H.M. Dekker). Themaboekje nr. 18, PAGV, Lelystad, p. 9-22.
- Steltenpool, J.A.N. en P.J. van Erp (1995). Schatting van de actuele N-opname door aardappelen. Meststoffen 1995, p. 45-50.
- Titulaer, H.H.H. (1999). Met stikstofbemesting inspelen op mineralisatie en gewasbehoefte. In: Naar maatwerk in bemesting (ed.: P.H.M. Dekker). Themaboekje nr. 22, PAV, Lelystad, p. 46-55.
- Titulaer, H.H.H. (1992a). Rijenbemesting bij poot- en consumptieaardappelen. Landbouwkundig onderzoek 1992. Stichting Proefbedrijven Flevoland en Stichting Proefboerderij Prof. Dr. J.M. van Bemmelenhoeve, p. 103-106.
- Titulaer, H.H.H. (1992b). Rijenbemesting consumptieaardappelen (1991 en 1992). Resultaten van het landbouwkundig onderzoek in Zuidwest-Nederland 1992. Vereniging ROC Westmaas en Stichting Proefboerderij Rusthoeve, p. 18-21.
- Titulaer, H.H.H. (1992c). Rijenbemesting bij aardappelen. Van onderzoek naar voorlichting löss / rivierklei 1991. Stichting Proefboerderij Wijnandsrade, p. 65-66.
- Titulaer, H.H.H. (1991a). Rijenbemesting bij poot- en consumptieaardappelen. Landbouwkundig onderzoek 1991. Stichting Proefbedrijven Flevoland en Stichting Proefboerderij Prof. Dr. J.M. van Bemmelenhoeve, p. 113-117.
- Titulaer, H.H.H. (1991b). Rijenbemesting bij consumptie-aardappelen. Van onderzoek naar voorlichting löss / rivierklei 1991. Stichting Proefboerderij Wijnandsrade, p. 57-60.
- Uenk, D., C. Grashoff & W.C.A. van Geel (2005). Stikstofbijbemesting op aardappelen op basis van omgekeerde N-vensters in combinatie met CropScan. Nota 336. Plant Research International, Wageningen, 22 p + bijlagen.

- Uenk D., Grashoff C. & Booi R. (2003). N-vensters in aardappelen op Telen met toekomstbedrijven. Jaarrapport 2002. Nota 232, Plant Research International, Wageningen.
- Velthof G.L. (2003). Relaties tussen mineralisatie, denitrificatie en indicatoren voor bodemkwaliteit in landbouwgronden. Alterra-rapport 769, Sturen op Nitraat rapport nr. 6. Alterra, Wageningen, 38 pp.
- Velthof, G.L., O. Oenema & J.A. Nelemans (2000). Vergelijking van indicatoren voor stikstofmineralisatie in bouwland. Meststoffen 2000, p. 45-51.
- Verhoeven, J., C. Bus, W. van Dijk, W. van Geel, H. van Schooten, J. Schröder & R. Wustman (2011). Teeltvervroeging bij consumptieaardappel en snijmais ten behoeve van vanggewassen. Deskstudie naar mogelijkheden en beperkingen. Projectrapport 32 501730 10, PPO-AGV, Lelystad, 67 pp.
- Veerman, A., R. Wustman, C.B. Bus & K.H. Wijnholds (2006). Zetmeelaardappelen. Teelthandleiding, PPO 325. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 151 pp.
- Veerman, A. (2003). Teelt van consumptieaardappelen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 88 pp.
- Vos, J. (2009). Nitrogen responses and nitrogen management in potato. Potato research 52, p. 305-317.
- Vos J. (1999). Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget. Journal Of Agricultural Science 133, p. 263-274.
- Vos, J. (1993). Naar een optimale stikstofbemesting van consumptie- en zetmeelaardappelen. In: Themadag aardappelen (ed.: C.D. van Loon). Themaboekje nr. 16, PAGV, Lelystad, p. 30-39.
- Wijnholds, K.H. (2005). Invloed van stikstofniveau en -deling op eiwitgehalte en opbrengst van zetmeelaardappelen. PPO nr. 510 428. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 14 pp.
- Wijnholds, K.H. (2000). Opbrengst en onderwatergewicht sturen door stikstofbemesting aan te passen. PAV-bulletin Akkerbouw, december 2000, p. 31-34.

Bijlage 1. Meerjarige relatie tussen nitraatgehaltenes en (niet opgevolgde) adviezen in het seizoen en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer

Door ALTIC zijn in opdracht van Cebeco Meststoffen diverse proeven uitgevoerd waarin de werking van stikstofmeststoffen en toedieningstrategieën is onderzocht. Om de werking en efficiëntie van stikstof per proef vast te stellen is in veel gevallen een aantal referentieobjecten in de proeven opgenomen met verschillende N-niveaus.

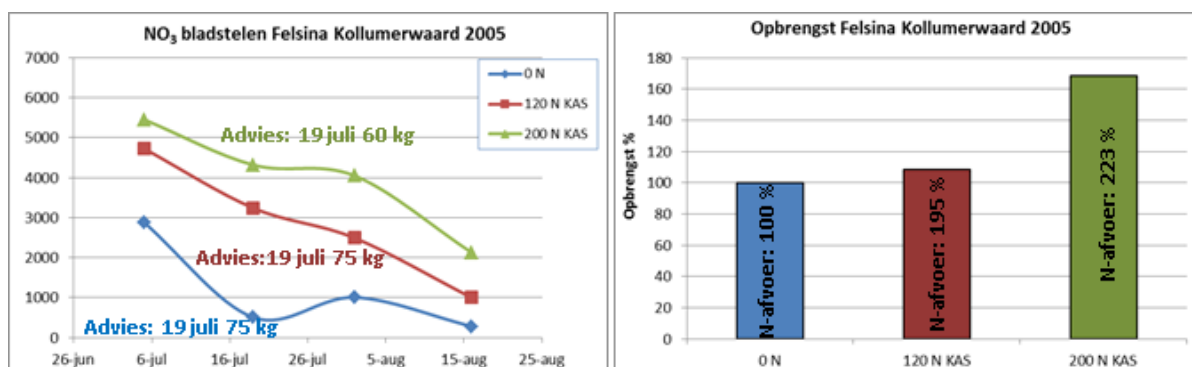
Een deel van de proeven is uitgevoerd in de zuidwestelijke, centrale en noordelijke zeekelegebieden. De proeven op zandgrond zijn veelal in Drenthe uitgevoerd voor de teelt van zetmeelaardappelen.

In stikstofproeven past ALTIC standaard aardappelmonitoring toe om de werking van de stikstofmeststoffen en -niveaus gedurende het seizoen te volgen. Met aardappelmonitoring wordt in praktijkvelden op basis van nitraatgehalte en loofgewicht viermaal een N-advies gegeven en, indien nodig, een kalium en- of mangaanwaarschuwing. In de praktijkproeven wordt aardappelmonitoring (meestal) niet gebruikt voor de advisering, maar vooral om de N-werking inzichtelijk te maken. In diverse onderstaande proeven zijn de resultaten van aardappelmonitoring gepresenteerd, voorzien van de bijbehorende stikstofbijbemestingsadviezen. De N-adviezen zijn niet opgevolgd, tenzij nadrukkelijk anders vermeld. In deze vergelijking wordt geïllustreerd wat aardappelmonitoring geadviseerd zou hebben en wat de respons op opbrengst en N-afvoer is bij een hogere basis N-gift.

Felsina Kollumerwaard

In 2005, 2006 en 2009 zijn in het ras Felsina op proefboerderij Kollumerwaard proeven uitgevoerd naar de effecten van stikstof bij meerdere N-niveaus. In de figuren 1, 2 en 3 is het verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen gedurende het groeiseizoen gepresenteerd, aangevuld met de bijbehorende N-adviezen uit aardappelmonitoring.

Aan de rechterzijde is het effect van de basis N-gift op de opbrengst de kolommen weergegeven. De berekende N-afvoer op basis van het N-gehalte van de geoogste knollen en de opbrengst is in de kolommen van de opbrengstgegevens vermeld.

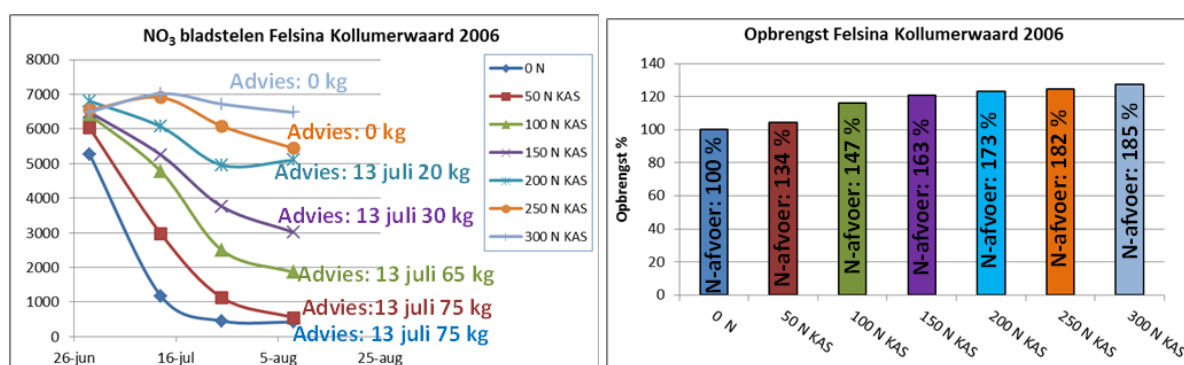


Figuur 1. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

Uit figuur 1 blijkt dat reeds aan het begin van het groeiseizoen (vanaf 3 weken na opkomst) groot verschil in stikstofvoorziening zichtbaar was in de bladstelen. Op moment 2 werd zowel bij de nulreferentie als bij 120 kg N/ha het maximale advies van 75 kg N/ha gegeven. Ook bij een gift van 200 kg N/ha werd nog een advies van 60 kg N/ha gegeven. Doordat de adviezen niet zijn opgevolgd, kan geen uitspraak worden gedaan over de effectiviteit van bijbemesting. Wel kan worden gesteld dat een niet optimaal stikstofniveau in de plant gesignaleerd kan worden met aardappelmonitoring. Gezien het grote verschil in opbrengst

tussen 120 kg N/ha en 200 kg N/ha en het gegeven N-advies van 60 kg N/ha lijkt de optimale N-gift bij 200 kg N/ha nog niet bereikt te zijn.

Mede naar aanleiding van de resultaten in 2005 is in 2006 in het ras Felsina een uitgebreidere N-trappenproef aangelegd. In figuur 2 is het verloop van het nitraatgehalte voorzien van de adviezen die met aardappelmonitoring gegeven zijn (niet opgevolgd). Per N-niveau is aan de rechterzijde van figuur 2 het effect op opbrengst en N-afvoer geïllustreerd.

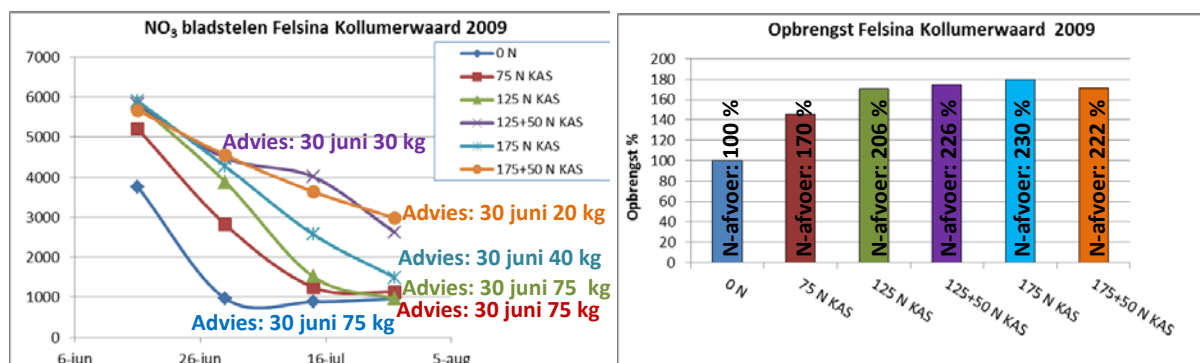


Figuur 2. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbestedingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

In figuur 2 is goed zichtbaar op welke wijze verhoging van de N-niveaus van 0-300 kg N/ha leidde tot niveauverschil in nitraatgehalte gedurende het groeiseizoen. Bij een basisgift van 0, 50 en 100 kg N/ha gaf het nitraatgehalte (in combinatie met het loofgewicht) aanleiding voor hoge N-adviezen. Bij een gift van 150 en 200 kg N/ha werd nog een correctie-advies gegeven van respectievelijk 30 en 20 kg N/ha. Toediening van 250 en 300 kg N/ha leidde niet meer tot een N-advies.

Met een gift van 100 kg N/ha werd reeds het grootste deel van de opbrengstverhoging ingevuld. Verhoging van 100 kg N/ha naar 300 kg N/ha leidde bij iedere stap van 50 kg N/ha tot een lichte verdere verhoging van de opbrengst. Effect van de verhoging van de N-gift had meer effect op de N-afvoer dan op de opbrengst. Gezien de effecten op opbrengst lijkt aardappelmonitoring bij de N-niveaus van 100, 150 en 200 kg N/ha een goede inschatting te hebben gemaakt van de N-voorziening op dat moment. Doordat de adviezen niet zijn opgevolgd (monitoring is voor gebruikt om het N-verloop gedurende het groeiseizoen vast te stellen), is niet aantoonbaar wat de daadwerkelijke effecten van bijbesteding zouden zijn geweest.

In 2009 is nogmaals een N-proef uitgevoerd op de Kollumerwaard in het ras Felsina, waarvan de resultaten zijn weergegeven in figuur 3. In deze proef is niet alleen een N-trap aangelegd, maar tevens het effect van bijbesteding onderzocht.



Figuur 3. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbestedingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

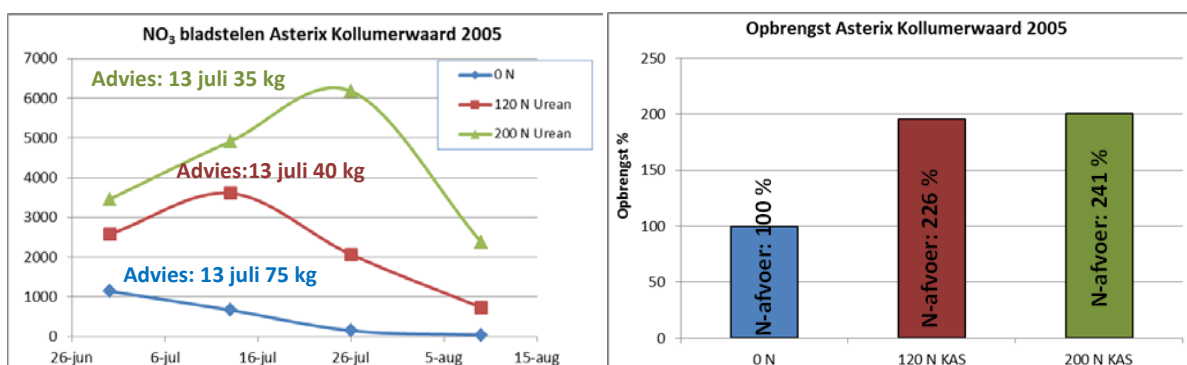
In de Felsinaproef in 2009 is een N-trap aangelegd met de N-niveaus 0, 75, 125 en 175 kg N/ha met KAS. Bij de N-niveaus van 125 en 175 kg N/ha is tevens een bijbemesting uitgevoerd met 50 kg N/ha met KAS. Deze bijbemesting is conform proefopzet uitgevoerd voor het tweede moment van aardappelmonitoring. Uit figuur 3 blijkt dat 0, 75 en 125 kg N/ha aan de basis allen leidden tot een bijbemestingsadvies van 75 kg N/ha (moment 2). Bijbemesting met 50 kg N/ha bij een basisgift van 125 kg N/ha resulteerde op moment 2 nog tot een (niet opgevolgd) bijbemestingsadvies van 30 kg N/ha. De bijbemesting leidde tot een hogere opbrengst dan 125 kg N/ha, maar lager dan 175 kg N/ha. Bijbemesting bij een basisgift van 175 kg N/ha leidde tot een verhoogd nitraatgehalte in de bladstelen later in het seizoen. Dit leidde echter niet tot effect op de opbrengst en N-afvoer. In 2009 leek de optimale gift reeds bereikt bij een gift van 175 kg N/ha.

Conclusie Felsina

De tijdens het groeiseizoen gemeten nitraatwaarde (in combinatie met loofgewicht) leidden tot N-adviezen die over het algemeen goed corresponderen met de opbrengstrespons die gegenereerd werd door verhoging van de N-gift aan de basis. Op basis van deze gegevens kan voor het ras Felsina geen uitspraak worden gedaan over de effectiviteit van eventueel uitgevoerde bijbemestingen.

Asterix Kollumerwaard

In 2005 is op de Kollumerwaard in het ras Asterix een proef aangelegd waarin tevens met Urean een N-trap met de niveaus van 0, 120 en 200 kg N/ha is aangelegd. Van het ras Asterix is bekend dat met een relatief lage N-gift reeds een optimale opbrengst kan worden gerealiseerd. Volgens hetzelfde protocol als bij Felsina is gedurende het groeiseizoen het nitraatgehalte in de bladstelen gemeten. De resultaten zijn in figuur 4 uitgewerkt en voorzien van N-bijbemestingsadviezen. Van de N-niveaus is tevens de opbrengst vastgesteld en de N-afvoer berekend.



Figuur 4. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

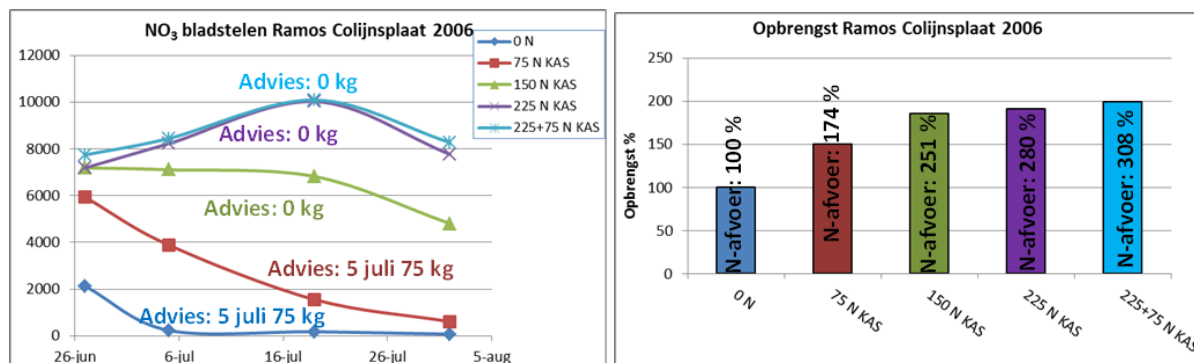
Verhoging van de N-gift aan de basis van 0, naar 120 en 200 kg N/ha leidde tot een sterke verhoging van het nitraatgehalte in de bladstelen. Op 13 juli was het verschil tussen 120 N en 200 kg N/ha niet groot. Mede door het loofgewicht werd voor beide behandelingen een gelijke N-bijbemestingsadvies gegeven. Uit figuur 4 blijkt dat met 120 kg N/ha reeds een optimale opbrengst werd gerealiseerd. Verhoging van de gift naar 200 kg N/ha resulteerde enkel in een verhoogde N-afvoer. Uit de resultaten blijkt dat het op moment 2 gegeven maximale N-advies van 75 kg N/ha (op moment 3 kan nogmaals worden geadviseerd) terecht was. Het gewas had geen optimale N-voeding. Bij 120 en 200 kg N/ha was het advies wellicht nog aan de hoge kant, doordat geen opbrengstverschil is vastgesteld tussen 120 en 200 kg N/ha.

Conclusie Asterix

Op basis van 1 jaar onderzoek kunnen geen meerjarige conclusies over de N-advisering met aardappelmonitoring voor het ras Asterix worden getrokken. Wel lijkt Asterix met een relatief lage N-gift een optimale opbrengst te kunnen realiseren. Wellicht dat de berekende N-advisering bij bij 120 en 200 kg N/ha nog aan de hoge (veilige) kant was.

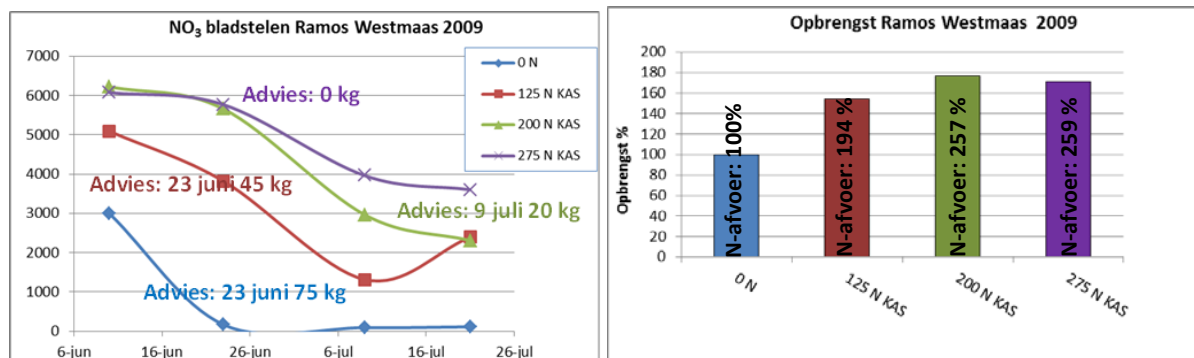
Ramos Zuidwest Nederland

In Colijnsplaat (2006) en Westmaas (2009 en 2010) is het effect van stikstofbemesting onderzocht op het ras Ramos. De effecten op nitraatverloop, opbrengst en N-afvoer zijn weergegeven in de figuren 5, 6 en 7.



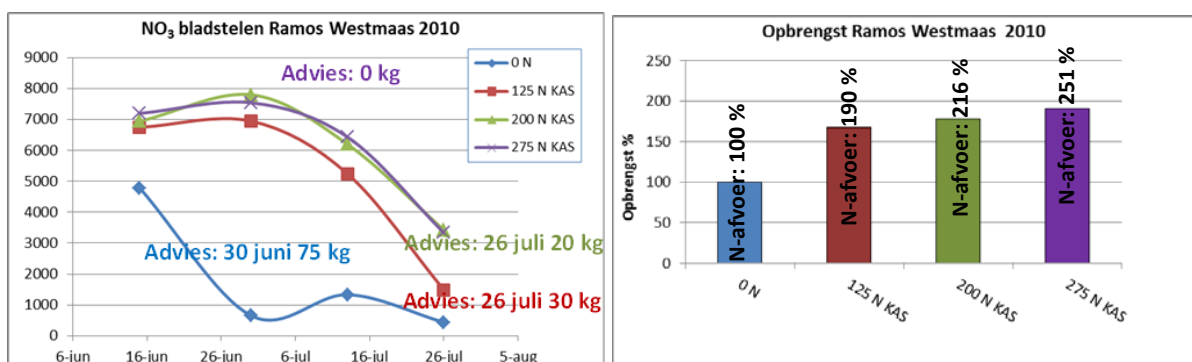
Figuur 5. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geogoste product

In figuur 5 valt op dat er in 2006 gedurende het groeiseizoen hoge nitraatgehalte werden gemeten, al bij een gift van 150 kg N/ha. In de proef is in de loop van het seizoen visueel kaliumgebrek geconstateerd. Uit de resultaten van zowel uitgevoerde bodem- als plantsapanalyses bleek de hoeveelheid opneembare kali de beperkende factor voor verdere groei. Met name de loofontwikkeling bleef sterk achter bij de meerjarige gemiddeldes voor het ras Ramos. Doordat stikstof geen beperkende factor was, werd in het gedrongen loof een hoger nitraatgehalte teruggemeten. Vanwege de lage kaliumbeschikbaarheid werd reeds bij 150 kg N/ha de maximale opbrengst bereikt. Verhoging van de N-gift leidde nog slechts zeer ten dele tot verdere opbrengststijging en had voornamelijk effect op de N-afvoer met de geogoste knollen.



Figuur 6. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geogoste product

In 2009 lag een proef met Ramos op Westmaas met de N-niveaus van 0, 125, 200 en 275 kg N/ha. Bij een basisgift van 200 kg N/ha werd op 9 juli (moment 3) een N-advies van 20 kg N/ha gegeven. Bij 275 kg N/ha aan de basis werd geen N-advies gegeven. Wellicht dat het optimale N-niveau iets boven de 200 kg N/ha heeft gelegen, maar verhoging van de basisgift naar 275 kg N/ha leidde niet tot een verhoging van de opbrengst en N-afvoer vergeleken met 200 kg N/ha. Bij lagere N-giften aan de basis dan 200 kg N/ha werden N-adviezen gegeven die duidelijk aangaven dat de optimale N-gift nog niet was bereikt.



Figuur 7. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoguste product

In 2010 is dezelfde N-trap als in 2009 in het ras Ramos neergelegd, wederom in Westmaas. Uit figuur 7 blijkt dat 125 kg N/ha in 2010 leidde tot een hoger nitraatgehalte in de bladstelen dan in 2009. Pas bij het vierde meetmoment op 26 juli kwam bij de behandeling met 125 kg N/ha aan de basis een bijbemestingsadvies van 30 kg N/ha (wat niet is opgevolgd). Vanwege de combinatie met loofgewicht en het afnemende nitraatgehalte kreeg ook de behandeling met 200 kg N/ha aan de basis op 26 juli een bijbemestingsadvies van 20 kg N/ha.

Uit de opbrengstcijfers blijkt dat ook 275 kg N/ha nog leidde tot een verhoogde opbrengst vergeleken met 200 kg N/ha.

Met aardappelmonitoring is hiermee reeds tijdens het groeiseizoen gesignaleerd waar de optimale N-gift lag.

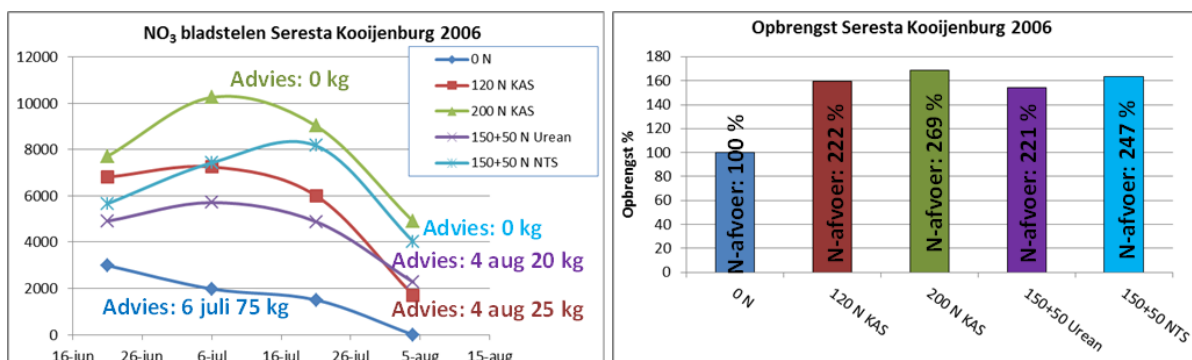
Conclusie Ramos

Met aardappelmonitoring kan voor het ras Ramos goed ingeschat worden waar de optimale gift ligt. Het nitraatgehalte en het loofgewicht biedt geen directe vertaalslag naar de daadwerkelijk te realiseren opbrengst. Wanneer andere factoren dan stikstof beperkend zijn, levert voldoende stikstof niet automatisch een goede opbrengst. De gegeven adviezen sluiten goed aan bij de aan de hand van de opbrengstcijfers ingeschatte optimale N-gift.

Zetmeelaardappelen Rolde

In 2006, 2008 en 2010 zijn in Rolde proeven uitgevoerd waarbij in de proef een aantal N-niveaus is neergelegd.

Gedurende het groeiseizoen is met aardappelmonitoring het effect van de uitgevoerde bemestingen op het nitraatgehalte in de bladstelen gevolgd. In de figuren 8, 9 en 10 zijn bij de nitraatgehalten in de bladstelen de bijbemestingsadviezen gepresenteerd.



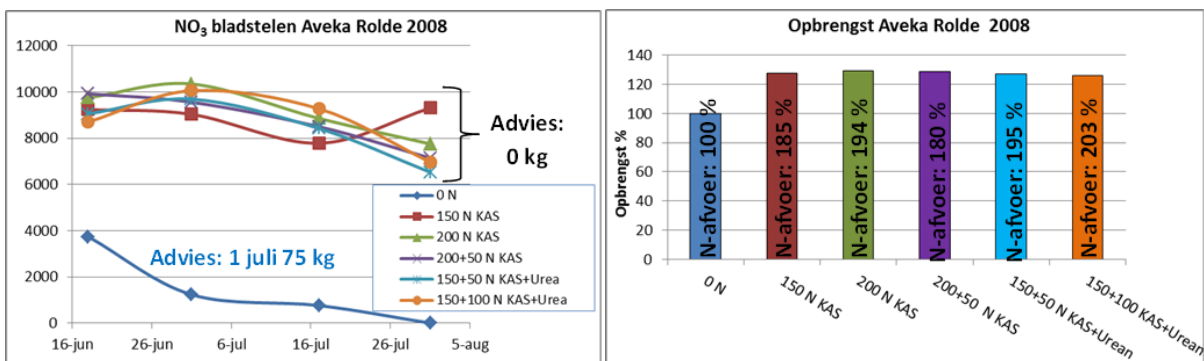
Figuur 8. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoguste product

Uit figuur 8 blijkt dat de nitraatgehaltes in de bladstelen als gevolg van de verschillende N-niveaus aan de basis varieerden. De behandelingen met 120 kg N/ha aan de basis en 150 kg N/ha met aanvullende bladbespuitingen met Urean leidden op moment 4 tot een advies van 20 en 25 kg N/ha. De behandeling met 150 kg N/ha aan de basis met bladbespuitingen uit NTS leidde niet tot een advies.

Met 200 kg N/ha werd de hoogste opbrengst (en ook uitbetalingsgewicht) gerealiseerd. Bladbespuitingen met NTS leidden tot een verhoogd nitraatgehalte in de bladstelen dan bladbespuitingen met Urean en leidde ook tot een hogere opbrengst. Het niveauverschil in nitraatgehalte bij de diverse behandelingen is terug te vinden in de gerealiseerde opbrengstverschillen.

De adviezen op 4 augustus bij de behandelingen met 120 kg N/ha en 150 kg N/ha met aanvullende bladbespuitingen uit Urean kregen zijn terecht gegeven. Met deze toepassingen was het optimale eindresultaat nog niet bereikt.

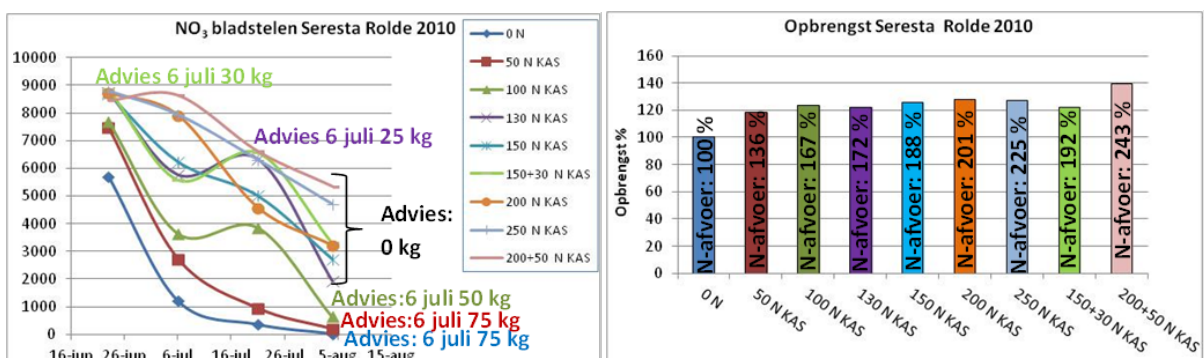
In 2008 is een proef aangelegd in het ras Aveka, waarbij ook het effect van korrelvormige bijbemesting uit KAS is getoetst. In figuur 9 zijn de resultaten van de bladsteelanalyses, opbrengst- en N-afvoergegevens van de zetmeelproef (Aveka 2009) gepresenteerd.



Figuur 9. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geogste product

Uit figuur 9 blijkt dat een gift van 150 kg N/ha reeds tot een dusdanig hoog nitraatgehalte leidde, dat geen bijbemestingsadvies behoefde te worden gegeven. Verhoging van de N-gift naar 200 of 200 + 50 kg N/ha leidde niet tot effect op opbrengst en N-afvoer. Zowel een hogere basisgift dan 150 kg N/ha als extra bijbemesting leidde niet tot effect op de opbrengst en N-afvoer.

In 2010 is een proef uitgevoerd in opdracht van het Productschap Akkerbouw tevens gebruikt voor metingen met de Cropscan en aardappelmonitoring. De resultaten van aardappelmonitoring en de relatie met opbrengst en N-afvoer is in figuur 10 gepresenteerd.



Figuur 10. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geogste product

Uit de resultaten van aardappelmonitoring blijkt dat met name de behandelingen met 0, 50 en 100 kg N/ha tekort aan stikstof hadden, wat resulteerde in een bijbemestingsadvies op 6 juli. De behandeling met 130 kg N/ha kreeg een bijbemestingsadvies van 25 kg N/ha. De behandeling met 150 kg N/ha + advies op basis van monitoring kreeg een advies van 30 kg N/ha. Dit advies is opgevolgd en leidde vervolgens tot een verhoogd nitraatgehalte.

Uit de opbrengstgegevens blijkt dat de bijbemesting bij het object met 150 kg N/ha niet heeft geleid tot een hogere opbrengst (en uitbetalingsgewicht). De behandeling met 200 + 50 kg N/ha leidde tot de hoogste opbrengst. Het onderwatergewicht was echter significant lager, waardoor het uitbetalingsgewicht slechts een fractie hoger was dan het uitbetalingsgewicht na een eenmalige gift van 150 kg N/ha aan de basis.

Conclusie zetmeelaardappelen

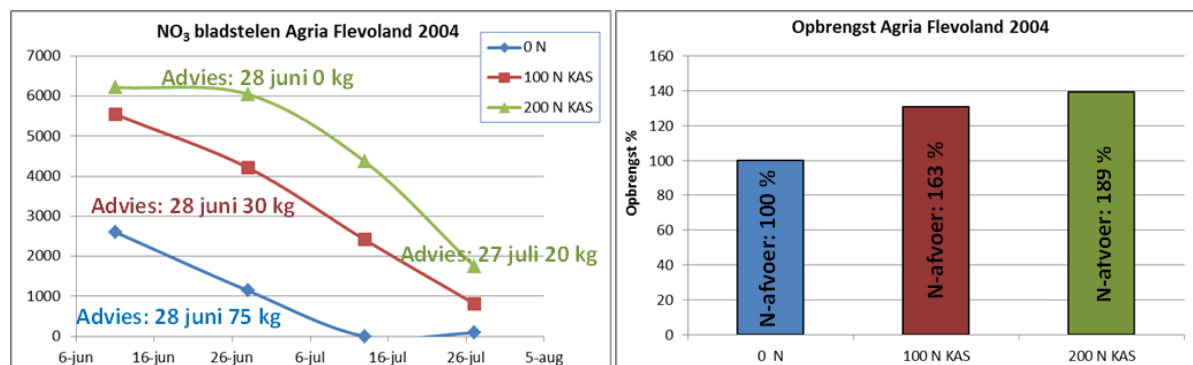
De verschillen tussen de 3 jaren waren vrij groot. In 2006 leidde aardappelmonitoring bij Seresta tot een juiste inschatting van de stikstof status. Ook bij Aveka in 2008 was dit het geval. Bijbemesting bleek bij een N-niveau van 150 kg N/ha aan de basis niet meer zinvol.

In 2010 bleek bij Seresta dat de opbrengst wel kon worden verhoogd door meer dan 150 kg N/ha aan de basis toe te dienen. Het uitbetalingsgewicht werd echter vrijwel niet meer verhoogd bij meer dan 150 kg N/ha. Met name bij zetmeelaardappelen in 2010 leek het bijbemestingsadvies bij 150 kg N/ha aan de basis al 'over de top'.

Agria Flevoland

Op zware kleigrond in Oostelijk Flevoland is door ALTIC in 2004, 2006 en 2010 een proef in Agria's aangelegd waarin de effectiviteit van stikstofbemesting is onderzocht.

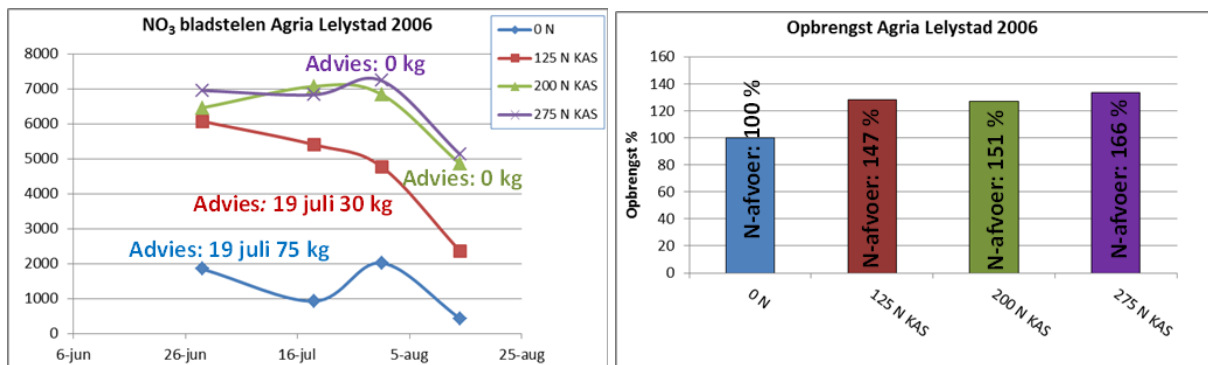
Gedurende het groeiseizoen is het gewas gevolgd met bladsteelanalyses (aardappelmonitoring), waarvan de resultaten in figuur 11 zijn weergegeven. In figuur 11 staan tevens de opbrengstgegevens en de gerealiseerde N-afvoer met het geoogste product vermeld.



Figuur 11. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

In 2004 leidde 100 kg N/ha aan de basis tot een sterke verhoging van het nitraatgehalte. Op 28 juni was het advies met aardappelmonitoring 30 kg N/ha. Een basisgift van 200 kg N/ha leidde tot een verdere verhoging van het nitraatgehalte in de bladstelen en leidde op 28 juni niet tot een bijbemestingsadvies. Eind juli daalde het nitraatgehalte in de behandeling met 200 kg N/ha aan de basis dusdanig snel, dat nog een correctie-advies van 20 kg N/ha werd gegeven. Een basisgift van 200 kg N/ha leidde nog tot een significante stijging van de opbrengst en N-afvoer met de geoogste knollen vergeleken met 100 kg N/ha.

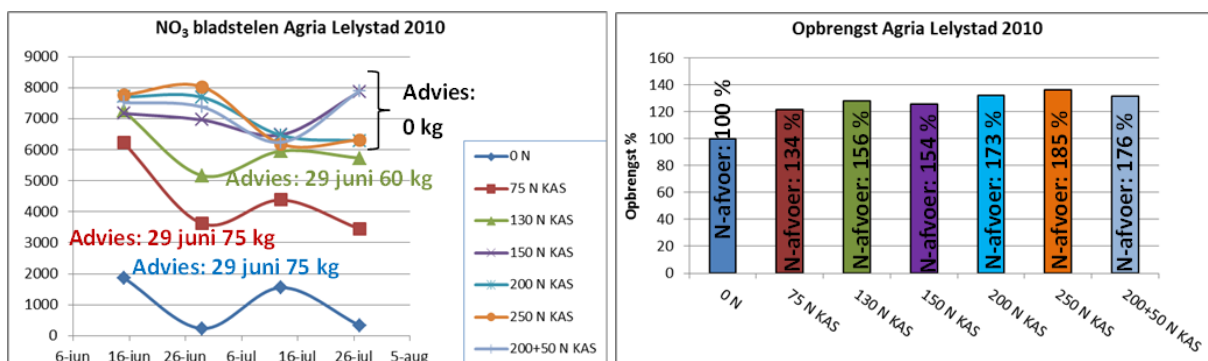
In 2006 is op dezelfde locatie in Oostelijk Flevoland een proef in Agria's aangelegd met een N-trap van 0, 125, 200 en 275 kg N/ha aan de basis met KAS.



Figuur 12. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

Bij een basisgift van 0 en 125 kg N/ha gaf aardappelmonitoring een N-bijbemestingsadvies van respectievelijk 75 en 30 kg N/ha op moment 2 (niet opgevolgd). Met 275 kg N/ha werd slechts een fractie hogere opbrengst bereikt dan met 125 kg N/ha. Dat er met aardappelmonitoring geen bijbemestingsadvies is gegeven bij 200 en 275 kg N/ha bleek terecht te zijn. Het advies van 30 kg N/ha bij een N-niveau van 125 kg N/ha aan de basis lijkt wat aan de hoge kant, waarbij het nut van een daadwerkelijk uitgevoerde bijbemesting uit deze proef niet kan worden aangetoond.

In 2010 is een proef die uitgevoerd is in opdracht van het Productschap Akkerbouw in het kader van het Programma Precisielandbouw (PPL) tevens gebruikt voor het testen van de mogelijkheden van bijbemesting op basis van sensoren (Cropscan). De resultaten hiervan zijn beschreven in het rapport '017 Adviesregels'.



Figuur 13. Verloop van het nitraatgehalte in de bladstelen (aardappelmonitoring) en de daaruit berekende bijbemestingsadviesgift (links) en de gerealiseerde opbrengst en N-afvoer met het geoogste product

Uit figuur 13 blijkt dat bij een N-gift van 0, 75 en 130 kg N/ha aan de basis op het tweede moment van aardappelmonitoring een N-bijbemestingsadvies werd gegeven (niet opgevolgd). Bij een N-gift van 150 kg N/ha aan de basis werd geen advies gegeven. Zonder daadwerkelijk bijbemesting uit te voeren, leidde 130 kg N/ha tot een hogere opbrengst dan 150 kg N/ha en vrijwel vergelijkbaar aan 200 + 50 kg N/ha. Hieruit blijkt dat de optimale opbrengst al bij een relatief lage N-hoeveelheid werd bereikt. Alleen 250 kg N/ha in 1 keer toegediend aan de basis leidde tot een hogere opbrengst en N-afvoer.

Conclusie Agria

Uit de drie uitgevoerde proeven blijkt dat met aardappelmonitoring een vrij goede inschatting gemaakt kan worden voor de stikstofvoorziening in Agria's. In 2006 leek het advies iets ruim, terwijl in 2010 een hogere advisering positiever effect had gehad. Duidelijk is wel dat aan de hand van aardappelmonitoring voor Agria's een vrij goede inschatting gemaakt kan worden over de stikstofstatus op dat moment en de waarde van eventueel uit te voeren bijbemestingen.

Bijlage 2. Effecten van stikstofbemesting via de bodem of via het blad

In de periode 2005-2010 is door ALTIC in opdracht van Cebeco Meststoffen in aardappelen onderzoek uitgevoerd naar de werking van stikstofbemesting via de bodem of via het blad.

Het onderzoek is onderdeel van de discussie omtrent de inzet van stikstof bladmeststoffen. Bij de start van het onderzoek in 2005 leefde de vraag in hoeverre bijbemesting door het verstrooien van korrelvormige stikstofmeststoffen vervangen zou kunnen worden door de inzet van stikstof bladmeststoffen.

Het onderzoek is onderverdeeld in de volgende hoofdthema's:

- Effect hoogte N-gift
- Effect vervangen totale N-bodemgift door N-blad
- Effect basis N-gift bodem + N-blad
- Effect verschillende N-vormen (bladtoepassingen)

Door ALTIC is in alle proeven gedurende het groeiseizoen het verloop van het nitraatgehalte gevolgd met behulp van aardappelmonitoring. Dit geeft een goede indicatie van de aan aardappelplant aangeboden hoeveelheid stikstof. Het systeem wordt op praktijkpercelen veel gebruikt als ondersteuning in de bijbemesting.

Van de proeven is de opbrengst en de minerale samenstelling van de geoogste knollen vastgesteld. Op basis opbrengst en N-gehalte in de knollen is de gerealiseerde stikstofafvoer als resultaat van de uitgevoerde bemestingssystemen in kaart gebracht.

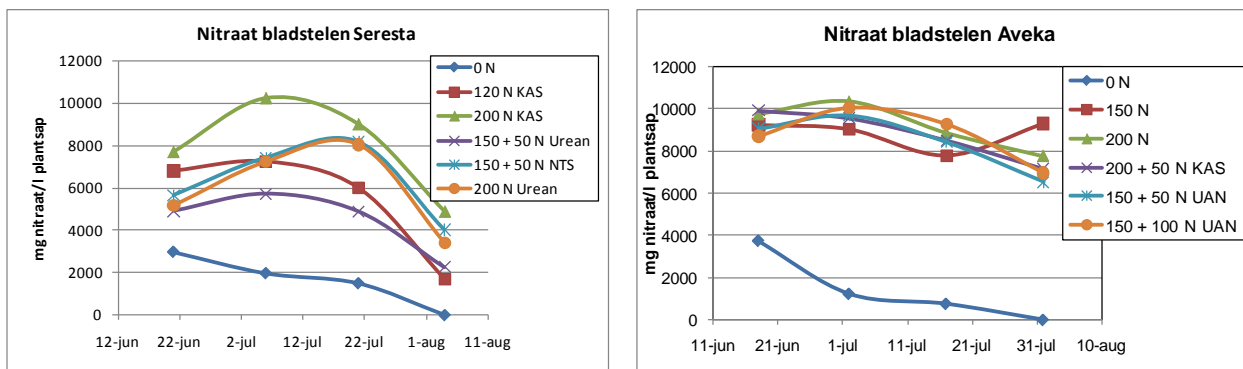
Tabel 1. Meerjarig overzicht van de proeflocaties met algemene bodemkarakteristieken

Jaar	Locatie	ras	lutum (%)	afslib (%)	pH (KCl)	CaCO ₃ (%)	o.s, (%)
2005	Kollumerwaard	Felsina	13	20	7,8	7,3	2
2005	Colijnsplaat	Ramos	12	18	7,8	6,7	1,7
2006	Kollumerwaard	Felsina	25	22	7,2	9,2	3,6
2006	Rolde	Seresta			5,1		4,6
2008	Rolde	Aveka			5,7		4,6
2009	Kollumerwaard	Felsina	15	22	7,5	7,7	2,1
2010	Kollumerwaard	Innovator		32-40	7,4		3,4

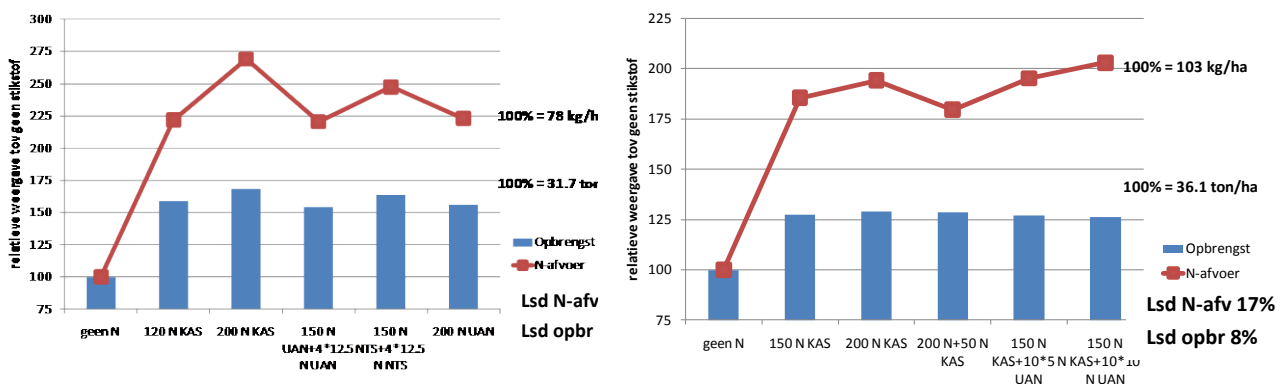
Zetmeelaardappelen Kooijenburg 2006 en 2008

In 2006 is door ALTIC op Kooijenburg (Drentse zandgrond) een proef aangelegd in zetmeelaardappelen van het ras Seresta. In de proef is een stikstoftrap aangelegd en enkele vergelijkende objecten waarin de werking van bladbemesting en basisbemesting met Urean is getoetst. In 2008 is de proef in het ras Aveka herhaald, waarbij verschillende doseringen Urean als bladmeststof zijn toegepast.

In figuur 1 is het verloop van het nitraatgehalte gedurende het seizoen weergegeven voor beide proeven en in figuur 2 het effect op opbrengst en stikstofafvoer.



Figuur 1. Verloop van de nitraatgehaltes in de bladstelen bij Seresta Kooijenburg 2006 (links) en Aveka Kooijenburg 2008 (rechts)



Figuur 2. Effect van de uitgevoerde bemestingen op opbrengst en N-afvoer in 2006 op Seresta Kooijenburg (links) en Aveka Kooijenburg 2008 (rechts)

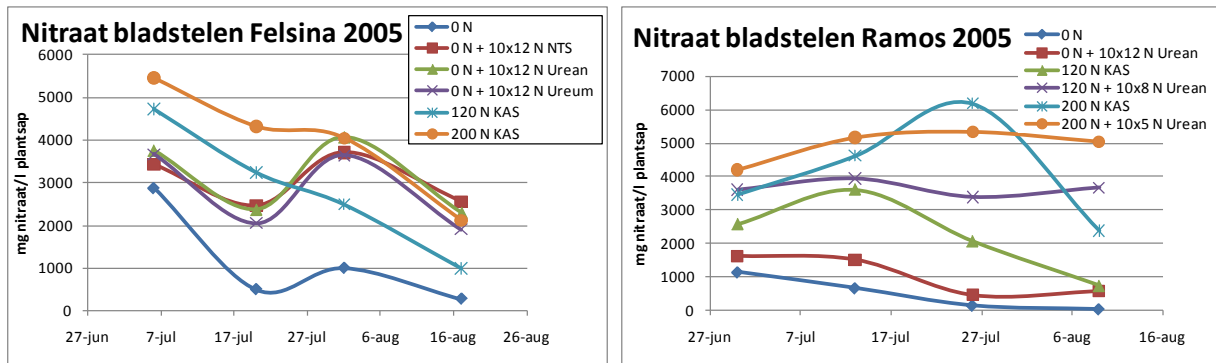
Uit figuur 1 blijkt dat bij de Seresta-proef in 2006 duidelijk niveauverschil aanwezig was tussen het nitraatgehalte in de behandeling 120 kg N/ha en 200 kg N/ha. Dit manifesteerde zich aan het einde van het groeiseizoen in een (niet significante) verhoging van de opbrengst en uitbetalingsgewicht.

In 2008 waren de verschillen in nitraatgehalte tussen de behandeling met 150 kg N/ha en 200 kg N/ha kleiner. Opvallend was dat aan het einde van het seizoen bij 150 kg N/ha een toename van het nitraatgehalte werd gemeten. De opbrengsten tussen beide behandelingen waren vrijwel identiek en ook de N-afvoer werd slechts beperkt verhoogd als resultaat van verhoging van de N-gift van 150 kg N/ha naar 200 kg N/ha.

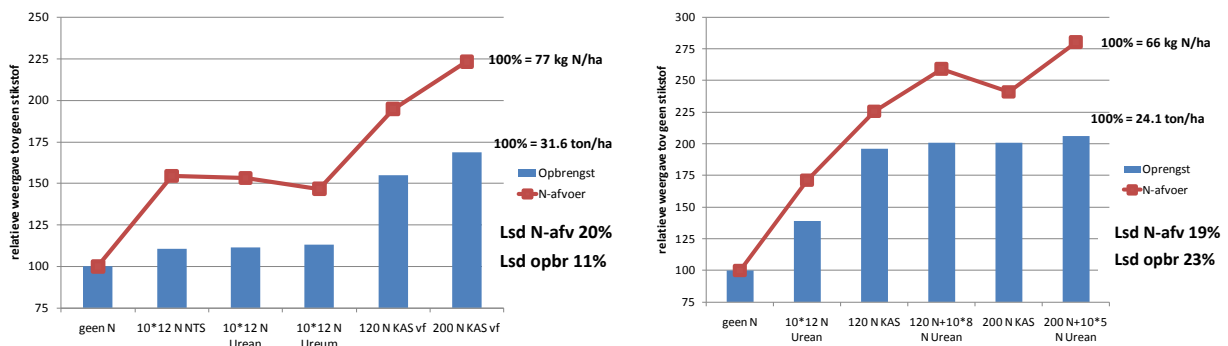
Figuur 2 laat zien dat aanvullende bladbemesting met Urean bij zetmeelaardappelen niet leidde tot effect op opbrengst. Met name in 2008 (Aveka) leidde bladbemesting met Urean wel tot een verhoging van de N-afvoer met de geogste knollen. Aanvullen met bladbemesting tot een gelijke N-hoeveelheid als een eenmalige basis (200 kg N/ha) resulteerde in een lagere opbrengst dan 200 kg N/ha éénmalig als basisbemesting. Bijbemesting met KAS bij een basisbemesting van 200 kg N/ha leidde in 2008 niet tot een meeropbrengst en een lagere N-afvoer.

Consumptieaardappelen Kollumerwaard en Colijnsplaat 2005

In 2005 is op een tweetal kleilocaties ((Kollumerwaard en Colijnsplaat) het effect van het volledig vervangen van de N-gift door bladbemesting onderzocht. Gedurende het groeiseizoen is tienmaal 12 kg N/ha toegediend met Urean in vergelijking tot een eenmalige N-gift met 120 kg N/ha uit KAS voor het frezen toegediend. Op de Kollumerwaard is naast het effect van Urean tevens het effect van Ureum en NTS onderzocht.



Figuur 3. Verloop van de nitraatgehaltes in de bladstelen bij Felsina Kollumerwaard 2005 (links) en Ramos Colijnsplaat 2005 (rechts)



Figuur 4. Effect van de uitgevoerde bemestingen op opbrengst en N-afvoer in 2005 op de Kollumerwaard (links) en Colijnsplaat (rechts)

Uit figuur 3 blijkt dat de N-trappen in beide proeven goed zichtbaar zijn in het niveauverschil in nitraatgehalte gedurende het groeiseizoen. Bij de Felsina-proef in de Kollumerwaard leidde de extra stikstof (200 kg N/ha) tot een significante opbrengstverhoging in vergelijking met 120 kg N/ha. Bij de Ramos-proef in Colijnsplaat bleek de extra nitraat (in de bladstelen) in het object met 200 kg N/ha echter niet te leiden tot een meeropbrengst. De oorzaak was kaligebrek, waardoor het gewas onvoldoende groeipotentie overhield om verder uit te groeien.

Uit figuur 4 blijkt dat het volledig uitvoeren van de N-bemesting via het blad leidde tot een significante verhoging van de opbrengst. Dezelfde N-gift éénmalig toegediend voor het frezen leidde in 2005 op beide locaties echter tot een aanzienlijke meeropbrengst dan enkel bladbemesting.

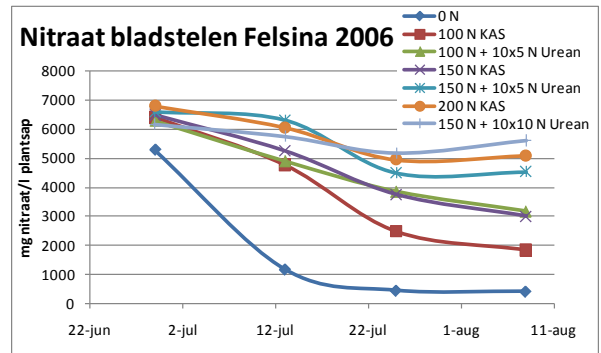
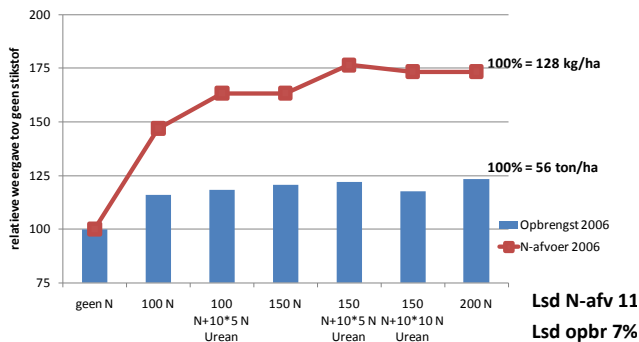
De verschillen in opbrengst tussen de toegepaste bladmeststoffen zijn gering.

In Colijnsplaat leidde aanvullende bladbemesting bij een basisgift van 120 kg N/ha en 200 kg N/ha tot een geringe (niet significante) meeropbrengst.

Het effect van bladbemesting op N-afvoer is veel sterker dan op de opbrengst. Stikstof via het blad toegediend leidde tot een significante verhoging van de N-afvoer. Vanaf 2006 is N-bladbemesting enkel toegepast als aanvulling op reeds uitgevoerde basisbemestingen.

Consumptieaardappelen Felsina Kollumerwaard 2006 en 2009

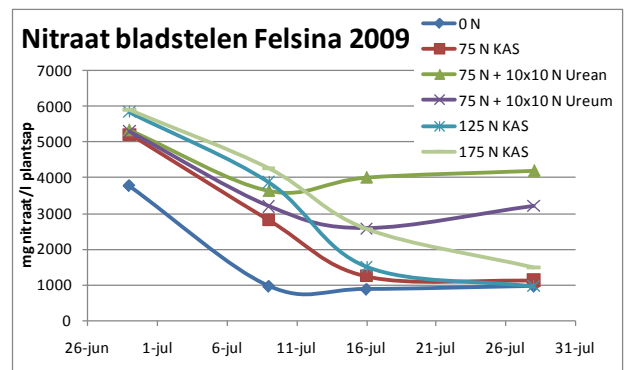
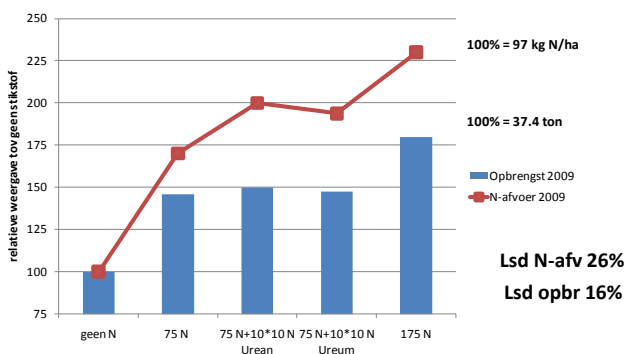
In 2006 en 2009 is in het ras Felsina op de Kollumerwaard verder onderzoek gedaan naar de effecten van de hoogte van de N-gift aan de basis en de effecten van N-bladbemesting.



Figuur 5. Verloop van het nitraatgehalte en het effect op de opbrengst en N-afvoer bij de Felsina-proef op de Kollumerwaard in 2006

Uit figuur 5 blijkt dat verhoging van de basisbemesting met stikstof leidde tot een verhoging van de opbrengst en de stikstofafvoer met de geogste knollen. Gedurende het groeiseizoen was het verschil in N-dosering reeds op te merken met de uitgevoerde bladsteelanalyses.

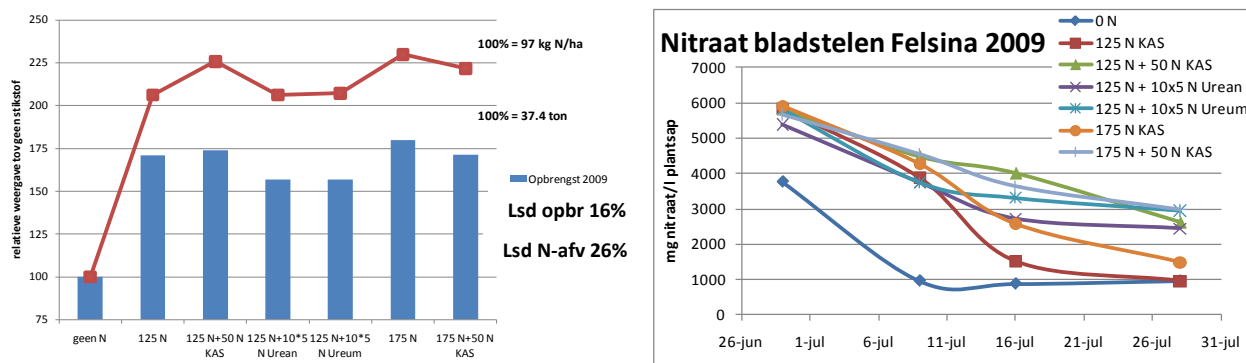
De uitgevoerde bladbemestingen met Urean leidden tot een verhoging van het nitraatgehalte in de bladstelen gedurende het groeiseizoen. De N-afvoer met de geogste knollen werd door de aanvullende bladbespuitingen significant verhoogd. Toepassing van tienmaal 5 kg N/ha met Urean bij een basisgift van 150 kg N/ha tot een verhoging van de opbrengst, maar lager dan een eenmalige gift van 200 kg N/ha aan de basis. Het toedienen van 10 kg N/ha per spuitbeurt met Urean lijkt risicovoller dan een gift van 5 kg N/ha per bespuiting.



Figuur 6. Verloop van het nitraatgehalte en het effect op de opbrengst en N-afvoer bij de Felsina-proef op de Kollumerwaard in 2009

Uit figuur 6 blijkt dat 10 bespuitingen met 10 kg N/ha uit Urean of Ureum bij een basisgift van 75 kg N/ha uit KAS niet leidden tot een significante verhoging van de opbrengst in de Felsina-proef in 2009. De N-afvoer met de geogste knollen werd echter wel significant verhoogd. Een gift van 175 kg N/ha uit KAS leidde tot een significant hogere opbrengst en N-afvoer dan 100 kg N/ha met bladbespuitingen toegediend bij een basisgift van 75 kg N/ha.

Uit figuur 6 blijkt dat de bladbespuitingen aanvullend op 75 kg N/ha leidden tot hogere nitraatgehalten dan 125 kg N/ha en 175 kg N/ha aan de basis toegediend.



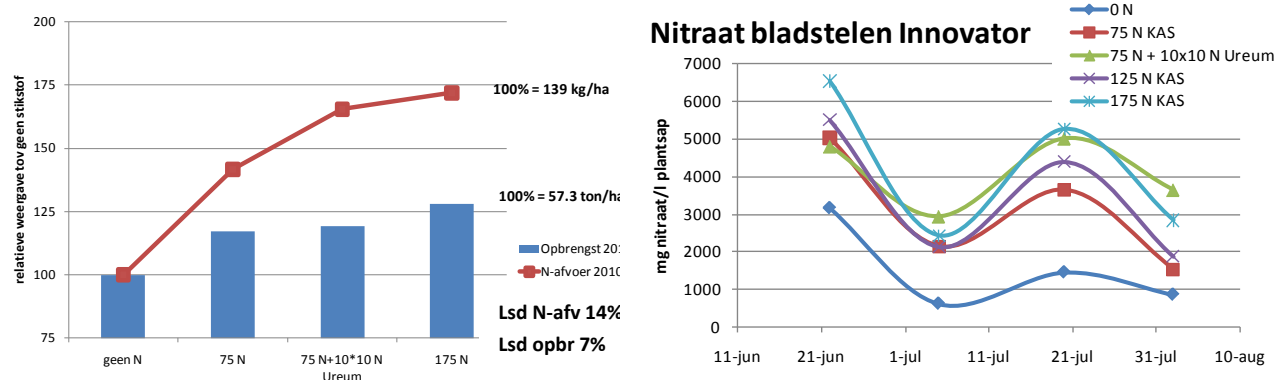
Figuur 7. Verloop van het nitraatgehalte en het effect op de opbrengst en N-afvoer bij de Felsina-proef op de Kollumerwaard in 2009

In 2009 leidden aanvullende bladbemestingen met stikstof bij een basisgift van 125 kg N/ha tot een verlaging van de opbrengst. Bijbemesting met 50 kg N/ha uit KAS leidde bij een basisgift van 125 kg N/ha tot een (niet significante) verhoging van de opbrengst, bij een basisgift van 175 kg N/ha voegde bijbemesting met KAS niets meer toe. Het bijbemesten van 50 kg N/ha met KAS bij een basisgift van 125 kg N/ha leidde half juli tot een hoger nitraatgehalte in de bladstelen dan met de Ureum- en Ureanbespuitingen werd bereikt. Eind juli leidde Ureum tot een hoger nitraatgehalte dan de eenmalig uitgevoerde bijbemesting met KAS.

Uit de proeven in het ras Felsina op de Kollumerwaard blijkt dat stikstof uit bladbemesting wel opgenomen wordt door het gewas, maar slechts heel gering opbrengsteffect genereert.

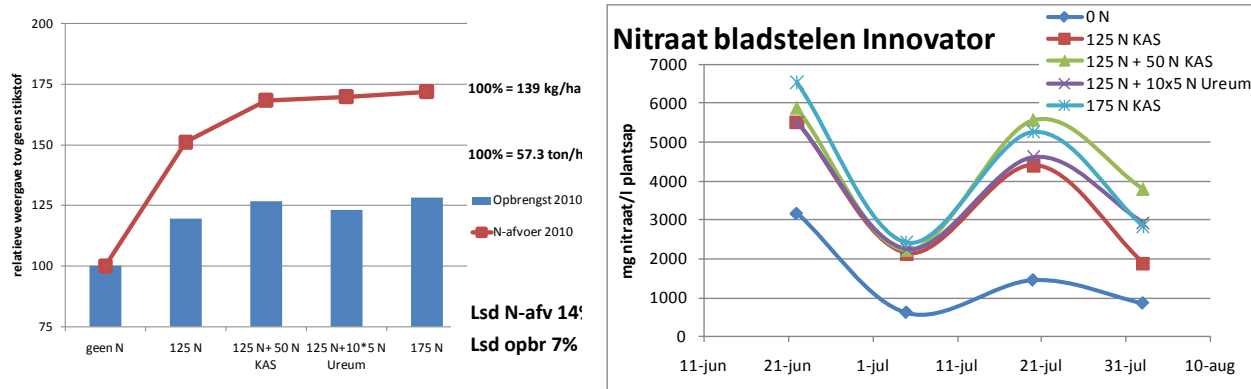
Consumptie-aardappelen Innovator Kollumerwaard 2010

In 2010 is het in voorgaande jaren in het ras Felsina uitgevoerde onderzoek voortgezet op Innovator. In de proef is bij twee hoeveelheden stikstof aan de basis extra stikstof middels bladbespuitingen met Ureum toegediend. Als referentie is een vergelijkend object toegevoegd waar de bijbemesting is uitgevoerd met KAS.



Figuur 8. Verloop van het nitraatgehalte en het effect op de opbrengst en N-afvoer bij de Innovator-proef op de Kollumerwaard in 2010

In figuur 8 is het verloop van het nitraatgehalte gedurende het groeiseizoen weergegeven, als resultaat van de hoogte van de N-gift en aanvullende bladbespuitingen met stikstof. Verhoging van de N-gift aan de basis leidde tot een verhoging van het nitraatgehalte in de bladstelen en een significant hogere opbrengst en N-afvoer. Aanvullende N-bladbemestingen met Ureum bij een basisgift van 75 kg N/ha tot een totaal van 175 kg N/ha leidde tot een opbrengst vergelijkbaar aan 125 kg N/ha met KAS aan de basis.



Figuur 9. Verloop van het nitraatgehalte en het effect op de opbrengst en N-afvoer bij de Innovator-proef op de Kollumerwaard in 2010

In de proef is onderzocht wat het effect is van N-bijbemesting via blad en bodem bij een basisgift van 125 kg N/ha met KAS. Uit figuur 9 blijkt dat bijbemesting met KAS leidde tot een sterkere verhoging van het nitraatgehalte in de bladstelen dan tien bespuitingen met 5 kg N/ha uit Ureum. Opgemerkt dient wel te worden dat op het moment van uitvoering van de bladsteelanalyses nog niet alle Ureumbespuitingen reeds waren uitgevoerd. Bijbemesting met KAS of Ureum via het blad leidden beide tot een vergelijkbare significante verhoging van de N-afvoer met de geogste knollen. Bijbemesting met KAS na een basisbemesting van 125 kg N/ha leidde tot een (niet significant) hogere opbrengst dan wanneer bij dezelfde basisgift tienmaal 5 kg N/ha met Ureum werd gespoten.

Conclusies meerjarige proeven N-(blad)bemesting

Uit de diverse door ALTIC in opdracht van Cebeco Meststoffen uitgevoerde proeven is gebleken dat stikstofbemesting meerjarig leidde tot significant effect op opbrengst en stikstofafvoer met de geogste knollen.

Het volledig vervangen van de stikstofgift als basisbemesting door een volledige toepassing als periodieke bladbemesting leidde tot een sterke opbrengstdaling. Een kleine basisgift voor het frezen aanvullen met een wekelijkse hoeveelheid stikstof via het blad (75 kg N/ha aan de basis en 10x10N/ha via blad) leidde eveneens tot een significant lagere opbrengst dan 175 kg N/ha aan de basis eenmalig toegediend. Verlaging van de N-hoeveelheid per toedieningsmoment van 10 naar 5 kg N/ha lijkt het resultaat licht te verbeteren.

Toepassing van N-bladmeststoffen leidde, in tegenstelling tot effect op opbrengst, wel tot een significante toename van de N-afvoer met de geogste knollen.

Uit de proeven blijkt dat bijbemesting met 50 kg N/ha uit korrelvormige KAS leidde tot een hogere opbrengst en N-afvoer dan bijbemesting via bladbehandeling met tienmaal 5 kg N/ha uit Urean of Ureum.

Stikstofbijbemesting via het blad wordt wel opgenomen en naar de knollen getransporteerd, maar het effect op opbrengst is veel geringer dan van stikstof toegediend via de bodem.

Bijlage 3. Handleiding voor de toepassing van sensorgestuurde N-bijbemesting

In het rapport van Van Evert et al. (2011) over geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectiemetingen, is op basis van de ervaringen hiermee in 2009 en 2020 een handleiding opgesteld voor de toepassing van sensorgestuurde N-bijbemesting in de praktijk. In deze bijlage is een verkorte versie hiervan opgenomen. De handleiding is een resultaat van praktische integratie van de bevindingen in de voornoemde studie tot één systeem. De handleiding moet nog worden getoetst in praktijk. In de handleiding komen ook hiaten en onzekerheden in de keten van sensing naar advies naar voren.

Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat het N-bijmeststelsel met de CropScan in de meeste gevallen tot een goed stikstofbijmestadvies leidt. De resultaten zijn echter niet zondermeer toepasbaar. Voor het breed toepasbaar maken van de resultaten van dit onderzoek en om aan te sluiten bij de praktijk zijn aanvullende richtlijnen nodig.

Deze bijlage geeft een praktische handleiding op basis van de mogelijkheden en beperkingen van het systeem. De handleiding kan in de toekomst worden aangepast op basis van voortschrijdend inzicht dat worden verkregen uit onderzoek en praktijkervaringen.

Het bijmestadviesstelsel in aardappel op basis van gewasreflectiemeting kent drie stappen:

1. Sensormeting van de gewasreflectie en het daaruit afleiden van een vegetatie index (WDVI).
2. Afleiden van N-opname uit de vegetatie index met behulp van een ijklijn.
3. Vaststellen van de stikstofbijmestgift op basis van een streefwaarde.

Hieronder worden punten ten aanzien van de implementatie van deze drie stappen in een praktijksituatie uitgewerkt. Aan het eind van deze bijlage wordt dit in een stroomschema gepresenteerd.

Een eerste vraag is of de meetuitslag van de gewassensor betrouwbaar is. Als het loof in elkaar is gezakt of is verwaaid door wind of zware regen of de gewasstructuur anderszins afwijkingen vertoont, is de meetuitslag niet betrouwbaar en is bijbemesting op basis van gewassensing niet mogelijk. In dat geval moet de N-bijmestgift op een andere manier worden vastgesteld.

Als de meetuitslag betrouwbaar is, maar de sensormeting aangeeft dat er (veel) te weinig stikstof door het gewas is opgenomen, is een volgende vraag hoe dat komt. Zijn de gewasgroei en N-opname belemmerd door droogte, een slechte structuur of ziekten en plagen? In dat geval kan een N_{min}-meting uitsluiting geven over de stikstofvoorraad in de bodem. Als deze hoog is, heeft bijbemesten meestal geen zin. Het kan enkel helpen om effecten van een slechte structuur of aaltjesaantasting te doen verminderen. Om te bepalen of de N_{min}-voorraad hoog genoeg is, kan men aan de hand van een N-opnamecurve schatten hoeveel stikstof het gewas nog nodig heeft. Hiervoor kan de standaard N-opnamecurve worden gebruikt van het NBS-bodem (figuur zie figuur 6 en paragraaf 3.3.1) of een N-opnamecurve uitgezet tegen de temperatuursom. Het laatste is nauwkeuriger.

Als de gewasgroei niet door andere oorzaken is belemmerd en/of een lage N_{min}-voorraad wordt gevonden, is stikstofgebrek de meest waarschijnlijke oorzaak. In dat geval kan het beste worden bijbemest en na 1-2 weken opnieuw worden gemeten met de gewassensor. Voorstel is om de gift dan vooralsnog af te toppen op 60 kg N per ha en de volgende meetuitslag af te wachten. In een vervolgproject moet worden uitgewerkt of ook in dit geval de hoogte van de gift kan worden geschat op basis van een N-opnamecurve (op basis van temperatuursom).

Bij de huidige methode kan geen bijmestadvies worden gegeven als de grondbedekking door het loof <90% is. Een basisbemesting van 125-150 kg N per ha (ca. 60% van de vaste adviesgift) was in proeven voldoende om de groei van het gewas te waarborgen tot het moment dat het loof de bodem volledig had bedekt. Bij twijfel hierover, bijvoorbeeld op een N-arme grond, kan de basisgift desgewenst worden verhoogd naar 75% van de vaste adviesgift.

Het vaststellen van de stikstofinhoud aan de hand van sensormetingen en WDVI is wel mogelijk in vroege gewasstadia, maar er zijn geen streefwaarden vastgesteld voor de N-inhoud van het gewas op dat moment. Een opname met een gewassensor levert dan wel een beeld van de regelmaat van de N-opname door het gewas op het perceel. Maar de teler moet zelf een gift vaststellen.

Een begrenzing van het moment waarop een stikstofbijmestadvies wordt gegeven, kan beter worden vervangen door een streefopnamecurve, uitgezet tegen de temperatuursom of een indicatie voor gewasontwikkeling, bijvoorbeeld en schatting voor het percentage bodembedekking. Dit moet in een vervolgproject worden uitgewerkt en getest.

Later meten dan vijf weken na het bereiken van 90% bodembedekking is niet meer zinvol voor bijbemesting. Het gewas heeft dan zijn stikstof al grotendeels opgenomen. Late bijmestgiften worden vaak nog wel gegeven om het loofapparaat langer vitaal te houden. De CropScan kan hierbij mogelijk worden gebruikt om vroegtijdig te detecteren dat het loof dreigt te gaan aftakelen, maar niet om de hoogte van de gift te berekenen.

De streefwaarde voor de totale stikstofinhoud van het gewas vanaf het moment dat >90% grondbedekking is bereikt, is nochtans vastgesteld op 200 kg N per ha voor consumptieaardappelen en 175 kg N per ha voor zetmeelaardappelen. Differentiatie van de streefwaarde naar opbrengstniveau en ras lijkt gewenst, maar vraagt om aanvullend onderzoek.

Stappen

Stappen (uit te voeren tijdens het groeiseizoen) met de huidige methode:

1. Adviesgift vaststellen vóór poten, afhankelijk van teeltdoel, de grondsoort, het ras en de Nmin-voorraad in de bodem
2. Bij poten 60-75% van de adviesgift volgens de N-richtlijn
3. Starten meting met gewasreflectiesensoren bij ca. 90% bodembedekking
4. Vaststellen N-opname gewas met een ijklijn per gewassensor
5. Streefwaarde kiezen afhankelijk van teeltdoel
6. Gift = streefwaarde – N-opname volgens meetwaarde
7. Na N-bemesting 2 weken wachten voor een nieuwe meting en bijmestadvies

Bovenstaand stappenplan geeft alleen een betrouwbaar advies als er geen bijzonder omstandigheden of beperkingen zijn voor de N-opname. Droogte of overmatige neerslag kunnen de beschikbaarheid van stikstof beperken. Een slechte bodemstructuur, ziekten en nematoden kunnen oorzaak zijn voor onvoldoende N-opname terwijl er voldoende stikstof beschikbaar is in de bodem. Voor deze situaties geeft een senorgestuurd N-bijmestadvies uiteraard geen advies. De beoordeling of dergelijke situaties optreden is aan de teler. In figuur op de volgende pagina is de procedure weergegeven in een stroomschema.

Stroomschema voor sensorgestuurde N-bijbemesting in aardappel

