

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

Deel 1b: ontwerp van systemen en plan van aanpak veldonderzoek

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

© 2012 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. 459

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	7
2 ADVIESSYSTEMEN STIKSTOFBEMESTING AARDAPPEL	9
2.1 Vergelijking huidige N-bemestingsadviessystemen	9
2.2 Kosten en baten van N-bijmestsystemen	10
3 ONTWERP VAN NIEUWE SYSTEMEN.....	13
3.1 Verdere ontwikkeling/verfijning NBS-gewassensing.....	13
3.1.1 Sensor.....	13
3.1.2 Ijklijn	13
3.1.3 Streefwaarde en meet- en bijmestmoment	13
3.1.4 Omgekeerde N-vensters	16
3.1.5 Berekening van de N-gift.....	16
3.1.6 Teeltdoel, grondsoort en ras	18
3.2 Overige systemen.....	19
4 PROEFOBJECTEN EN AFBAKENING	21
4.1 Bouwstenen NBS-gewas	21
4.2 Proefopzet	22
LITERATUUR.....	25

Samenvatting

In opdracht van het Productschap Akkerbouw onderzoeken PPO en Altic voor het Masterplan Mineralen Management (MMM) de mogelijkheden om de stikstofbenutting van aardappel te verbeteren door de ontwikkeling van nieuwe of verbeterde stikstofbemestingssystemen. 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. Dit kan worden verbeterd door te zorgen voor een goede bodemkwaliteit (bewortelbaarheid, gezondheid en vochtvoorziening) en door overdosering van stikstof te voorkomen. Dit project is gericht op het laatst genoemde aspect: een goede afstemming van de stikstofgift op de gewasbehoefte en het stikstofaanbod uit andere bronnen, zoals mineralisatie in de bodem. 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. Daartoe moet de beschikbare stikstof op het bedrijf zo effectief mogelijk over gewassen en percelen worden verdeeld. 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. Door controle en bijsturing van de stikstofvoorziening tijdens de teelt met behulp van een stikstofbijmeststelsel (NBS) kan worden ingespeeld op variatie in mineralisatie en stikstofverliezen tijdens de teelt, zowel tussen percelen als tussen jaren.

In 2011 is 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. De bevindingen hiervan zijn verwoord in het rapport "Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond - Deel 1a: Deskstudie". Hierin is onder meer geconcludeerd dat een N-bijmeststelsel de beste mogelijkheid biedt om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren. Een N-bijmeststelsel gebaseerd op meting van de lichtreflectie door het gewas met een gewassensor (gewassensing) is het meest perspectiefvol, maar staat nog in de kinderschoenen. Verbeteringen zijn nodig en lijken ook mogelijk.

In de tweede fase van het project is voorzien om nieuwe of verbeterde bijmestsystemen te testen in tweejarig veldonderzoek (2012 en 2013) op zand- en lössgrond in het Zuidoosten. De meest perspectiefvolle systemen worden daarna in de derde fase (2014) getoetst en gedemonstreerd op praktijkpercelen. In de fasen 2 en 3 is een klankbordgroep van aardappeltelers op zuidoostelijk zand en löss bij het project betrokken om de resultaten mede te beoordelen en de praktische uitvoerbaarheid en acceptatie van de systemen.

In het voorliggende rapport worden nieuwe dan wel verbeterde N-bijmeststrategieën op basis van gewassensing ontworpen en wordt een plan van aanpak opgesteld om deze strategieën te testen.

De huidige methode op basis van NBS-gewassensing geeft pas een N-bijmestadvies bij gewassluiting (meestal eind juni-begin juli). Uit de gewasreflectie wordt de stikstofopname door het gewas afgeleid en deze wordt vergeleken met een streefwaarde. Als de N-opname onder de streefwaarde ligt, wordt een bijmestgift berekend. De methode houdt geen rekening met opbrengstpotentie van het perceel.

In praktijk kan het gewenst zijn om eerder bij te bemesten dan wel eerder de stikstoftoestand van het gewas te kunnen controleren. Daarom is een systeem ontworpen waarbij de vaste streefwaarde bij gewassluiting wordt vervangen door een streefopnameverloop in de tijd. Als de actuele N-opname door het gewas op enig moment onder die streefopnamecurve komt, wordt een bijmestadvies berekend. De streefopnamecurve wordt afhankelijk gesteld van het teeltdoel en de opbrengstverwachting en uitgezet tegen de temperatuursom vanaf poten. Daardoor wordt rekening gehouden met koudere of warmere perioden en het effect daarvan op de gewasgroei en N-opnamesnelheid.

Een stap verder is om naast de werkelijke en gewenste N-opname door het gewas ook de stikstoflevering uit de bodem te betrekken: de actuele N-mineraalvoorraad en een voorspelling van de stikstof die nog zal mineraliseren. Voor de berekening van de bijmestgift wordt dan een N-balansmethode gehanteerd: $N\text{-gift} = \text{nog op te nemen hoeveelheid stikstof door het gewas} + \text{buffer} - N_{\text{min}} - N_{\text{mineralisatie}}$. De hoogte van de buffer is afhankelijk van de grondsoort en het tijdstip van meting.

Rascorrecties zijn vooralsnog geen punt van onderzoek in het project. Dit vraagt om een vrij omvangrijk onderzoek. Er kan eerst het beste een verbeterde methode voor NBS-gewassensing worden ontwikkeld, waarna in vervolgonderzoek verfijningen voor ras worden aangebracht.

Een ander concept is het hanteren van omgekeerde N-vensters. Deze vensters worden hoger bemest dan de rest van het perceel en fungeren als referentie met een ruim voldoende stikstofvoorziening. Als de rest van het perceel achterblijft bij de vensters, wordt een bijmestadvies gegeven.

Aardappelmonitoring Online is ook een nieuwe bijmestmethode die gebruikt maakt van gewassensing. Het klassieke Aardappelmonitoring is gebaseerd op meting van het nitraatgehalte in de bladsteeltjes en het loofgewicht van vijf planten. Bij Aardappelmonitoring Online wordt de loofgroei gemonitord aan de hand van satellietbeelden. In dit onderzoeksproject wordt dat vervangen door monitoring met een gewassensor op de trekker.

Een tweede, nieuwe variant van aardappelmonitoring is de Aardappelbemestingsindicator van Altic. Dit systeem bestaat uit een beperkt aantal metingen volgens het klassieke aardappelmonitoring aangevuld met meting van de Nmin-voorraad.

In de veldproeven op zand en löss zullen drie systemen op basis van gewassensing worden opgenomen:

- NBS-gewassensing vanaf gewassluiting, rekening houdend met opbrengstverwachting;
- NBS-gewassensing met een temperatuur- en opbrengstafhankelijke streefopnamecurve plus aanvulling met bodemdata (Nmin en mineralisatievoorspelling);
- Aardappelmonitoring Online met een gewassensor in plaats van satellietbeelden.

De intentie is verder om bij het 2^e systeem gebruik te maken van een nieuwe sensor van Dacom die de stikstofvoorraad in de bodem continu meet, mits deze sensor beschikbaar is.

Verder wordt het klassieke Aardappelmonitoring opgenomen als referentie en de Aardappelbemestingsindicator. Tevens wordt een reeks vaste N-trappen aangelegd om een optimale N-gift te kunnen afleiden voor de betreffende groeiomstandigheden in de proeven en de bijmestadviezen te kunnen beoordelen.

Bijbemesting op basis van een omgekeerde N-venster wordt niet direct in de proeven opgenomen. Aan de hand van de vaste N-trappen en de metingen die worden gedaan, kan het perspectief van die methode wel worden beoordeeld.

Het huidige NBS- gewassensing is ontwikkeld met de CropScan-sensor, die echter te kwetsbaar is voor gebruik in het veld op landbouwwerktuigen. In het onderzoek zal daarom de Yara N-sensor worden gebruikt en worden de rekenregels van de CropScan-sensor vertaald naar de Yara N-sensor.

1 Inleiding

Het Masterplan Mineralen Management (MMM) streeft naar een emissie-neutrale 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 moeten 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.

Aardappel is een gewas dat de aangeboden stikstof matig tot vrij slecht benut. Veelal wordt niet meer dan 50% van de toegediende (werkzame) stikstof teruggewonnen via de geoogste knollen en blijft er na oogst veel stikstof achter in de bodem. Deze gaat in de herfst- en winterperiode deels verloren door uitspoeling en denitrificatie. Op droge zandgronden en lössgronden (waar nauwelijks denitrificatie plaatsvindt) betreft het verlies merendeels uitspoeling.

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

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

De stikstofbenutting van aardappel kan worden verbeterd door:

1. te zorgen voor een goede bodemkwaliteit (bewortelbaarheid, gezondheid en vochtvoorziening);
2. veredeling op een betere stikstofefficiëntie;
3. overdosering van stikstof te voorkomen door een goede afstemming van de stikstofgift op de gewasbehoefte en het stikstofaanbod uit andere bronnen, zoals mineralisatie in de bodem.

Dit project richt zich op het laatst genoemde punt. 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 (NBS). Door controle en bijsturing van de stikstofvoorziening tijdens de teelt met behulp van een NBS kan worden ingespeeld op variatie in mineralisatie en stikstofverliezen tijdens de teelt, zowel tussen percelen als tussen jaren.

Het project “Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond” is verdeeld in drie fasen. In fase 1 (2011) is 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 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), getoetst op een aantal praktijkbedrijven op zand en löss (of indien gewenst ook op klei).

Aan het begin van fase 2 is een klankbordgroep gevormd bestaande uit acht aardappeltelers uit het zuidoostelijk zandgebied en drie telers uit het lössgebied. Deze groep is in de fasen 2 en 3 actief bij het

project betrokken en beoordeelt met name de praktische uitvoerbaarheid en acceptatie door de praktijk van de bijmeststrategieën. Aan het einde van de tweede fase zal in overleg met de leden van de klankbörgroep worden vastgesteld welke bemestingssystemen in de derde fase in praktijk worden getoetst.

De punten a. en b. van de eerste fase zijn uitgewerkt in het rapport “Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond - Deel 1a: Deskstudie”. Hierin is onder meer geconcludeerd dat een N-bijmestssysteem de beste mogelijkheid biedt om een hoge N-benutting bij behoud van opbrengst en kwaliteit te realiseren. Een N-bijmestssysteem op basis van gewassensing is het meest perspectiefvol, maar staat nog in de kinderschoenen. Verbetering zijn nodig en lijken ook mogelijk. Aanbevolen is het vervolg van het onderzoek hierop in te steken. Het voorliggende rapport (deel 1b) omvat een beschrijving van nieuwe dan wel verbeterde N-bijmeststrategieën op basis van gewassensing en een plan van aanpak om deze strategieën te toetsen in veldproeven en te vergelijken met huidige en nieuwe strategieën. Het plan van aanpak en de te toetsen strategieën zijn tijdens twee bijeenkomsten met de klankbörgroep in het eerste kwartaal van 2012 bediscussieerd en vastgesteld.

In hoofdstuk 2 van dit rapport worden de verschillende N-bemestingsadviesystemen voor aardappel in het kort behandeld. In hoofdstuk 3 worden de vernieuwde NBS-systemen op basis van gewassensing uitgewerkt en worden overige nieuwe N-bijmestsystemen genoemd die interessant zijn om te vergelijken. Hoofdstuk 4 bevat een plan van aanpak voor de op te nemen proefobjecten en de uitvoering van de veldproeven.

2 Adviessystemen stikstofbemesting aardappel

2.1 Vergelijking huidige N-bemestingsadviesystemen

Er zijn voor aardappel meerdere stikstofbemestingsadviesystemen ontwikkeld, die in de deskstudie zijn beschreven en beoordeeld:

Systeem	Principe
Stikstofbemestingsrichtlijn	Een vaste gift, rekening houdend met de Nmin-voorraad in de bodem na de winter en met het ras. De richtlijn geeft aan wat gemiddeld genomen een optimale N-gift is.
NBS-bodem	Na meting van de beschikbare minerale stikstof in de bodem tijdens de teelt en afleiding van de stikstofbehoefte op basis van een standaard stikstof-opnamecurve en een buffervoorraad, wordt de bijmestgift berekend.
Bladsteeltjesmethode	Vanaf 3-4 weken na opkomst wordt 4-5 keer tijdens de groeiperiode het nitraatgehalte in de bladsteeltjes gemeten. Dit wordt vergeleken met een normlijn voor het verloop van het nitraatgehalte in de tijd. Als het gehalte onder de norm zit, wordt 30-50 kg N per ha bijbemest.
Aardappelmonitoring	Naast het nitraatgehalte in de bladsteeltjes wordt het loofgewicht bepaald en vergeleken met een norm. Op basis van het verloop van het nitraatgehalte en loofgewicht ten opzichte van de normlijnen, wordt een bijmestgift berekend.
Aardappelmonitoring Online	Een variant van aardappelmonitoring waarbij het loofgewicht wordt afgeleid van (remote)sensing-gegevens van het perceel.
NBS op basis van gewassensing	De stikstofinhoud van het gewas wordt afgeleid uit de lichtreflectie door het loof, gemeten met een gewasreflectiesensor. De stikstofinhoud wordt vergeleken met een norminhoud en als deze onder de norm zit wordt een bijmestgift berekend. De methode is ontwikkeld met de CropScan-sensor.

Voor gedetailleerdere informatie over de N-bemestingsadviesystemen wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van de literatuurstudie van dit project (Van Geel et al., 2011).

In de literatuurstudie zijn ook de resultaten opgesomd van veldproeven met aardappel op zand- en kleigrond waarin de verschillende N-bijmestsystemen zijn vergeleken. In deze proeven is tevens een stikstof-trappenreeks opgenomen om te kunnen afleiden wat onder de betreffende groeiomstandigheden een optimale N-gift was.

Door de bank genomen deden de N-bijmestsystemen 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 zat het advies op basis van gewassensing het dichtste bij het juiste advies.

Vanuit praktijkprojecten is door telers aangegeven dat het vele werk (bladsteeltjes plukken, grond bemonsteren) een groot bezwaar is voor toepassing van een NBS. Een NBS op basis van gewassensing kost minder arbeid. Omdat het ook qua nauwkeurigheid van advisering minstens even goed presteert als andere N-bijmestsystemen en na meting direct een advies kan geven, is dit systeem het meest perspectiefvol. Ook kan gewassensing gemakkelijk worden ingezet voor plaats specifieke bijbemesting binnen een perceel.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de verschillende aspecten waar de N-bemestingsadviesystemen wel of geen rekening meer houden.

Tabel 1. Aspecten van de huidige N-bemestingsadviesystemen voor aardappel

	N-bemestings-richtlijn	NBS-bodem	Bladsteeltjes-methode	Aardappel-monitoring	NBS-gewas-sensing
Houdt rekening met:					
Grondsoort	ja	ja	nee	nee	nee
Teeltdoel	ja	ja	ja	ja	ja
Ras	ja	ja	nauwelijks ³	ja	nee
Opbrengstniveau	nee	ja	nee	nee	nee
Groeiomstandigheden	nee ¹	ja	ja	ja	ja
Kosten ²	+	-	-	-	- ⁴
Arbeid ²	+	-	-	-	+

¹ Voor de nalevering van stikstof uit ondergewerkte groenbemesters en gewasresten kan een korting op de gift worden aangebracht. 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. Vooral op percelen met een hoge mineralisatie is echter moeilijk te voorspellen hoeveel stikstof er precies mineraliseert en wanneer.

² + = relatief lage kosten of weinig arbeid; - = relatief hoge kosten (monsterkosten) of veel arbeid

³ Bij consumptieaardappel zijn normlijnen opgesteld voor Bintje en Agria. Voor andere rassen zijn er geen aparte normlijnen. Voor zetmeelaardappel is één normlijn opgesteld, ongeacht het ras.

⁴ Geen monsterkosten, wel een eenmalige investering in een gewassensor met toebehoren.

2.2 Kosten en baten van N-bijmestsystemen

Op basis van de berekende optimale N-giften in de proeven die in de literatuurstudie zijn beschreven, is afgeleid dat gemiddeld een besparing van zo'n 30 kg N per ha mogelijk is ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn zonder opbrengstderiving. Op percelen met een hoge mineralisatie (uit de bodemorganische stof en/of uit gewasresten) is de besparingsmogelijkheid het grootst en kan oplopen tot meer dan 100 kg N per ha. Omdat het op dergelijke percelen lastig is om te voorspellen hoeveel er precies mineraliseert en wanneer, is het hier sowieso zinvol een N-bijmeststelsel te gebruiken.

Dit geldt ook na een basisbemesting met dierlijke mest in het voorjaar. De hoeveelheid werkzame stikstof die hiermee daadwerkelijk wordt toegediend aan het gewas, kan afwijken van de hoeveelheid die men denkt toe te dienen. Dit is te ondervangen door na een basisbemesting met dierlijk mest te corrigeren met kunstmest via toepassing van een N-bijmeststelsel.

Tegenover de besparing op stikstofkosten staan arbeid voor monsternamen, kosten voor monsteranalyse of investering in apparatuur. Aardappelmonitoring bijvoorbeeld kost €155 per perceel incl. advies. Men moet hierbij zelf de monsters nemen.

Bij NBS-gewassensing heeft men niet te maken met arbeid voor monsternamen en monsterkosten. Het meten van gewasreflectie kan gelijktijdig plaatsvinden met de phytosphora-besputtingen. De aanschaf van een gewassensor is een eenmalige investering. De duurste sensor, de Yara N-sensor ALS, kost €30.000. Andere sensoren (o.a. de conventionele Yara N-sensor, OptRx Crop sensor, Greenseeker, Fritzmeier-sensor) kosten €15.000-20.000. De jaarlijkse vaste kosten bedragen €4.000-7.500 voor afschrijving (in vijf jaar), rente en onderhoud.

Zo'n sensor kan echter voor meerdere doeleinden worden gebruikt op het bedrijf, bijvoorbeeld voor plaatselijke dosering van het loofdoingsmiddel, afhankelijk van plekgewijze verschillen in loofafsterving. Hiermee kan €20 per ha worden bespaard aan loofdoingsmiddel ten opzichte van één vaste dosering op de gehele oppervlakte, waarbij de plek waar het loof het minst ver is afgestorven bepalend is voor de hoogte van de dosering. Andere toepassingen zijn N-bijbemesting en groeiregulatie in granen.

Als de sensor voor meerdere doeleinden op het bedrijf wordt gebruikt en naarmate het aantal hectares waarop de sensor wordt ingezet hoger is, zijn de toegerekende kosten per ha voor gebruik bij N-bijbemesting in aardappel, lager.

Op zand- en lössgronden zijn de N-gebruiksnormen voor aardappel gemiddeld lager dan het niveau van de N-bemestingsrichtlijn, waardoor opbrengstderiving kan optreden. Verhoeven et al. (2011) inventariseerden

de stikstofbemesting aan aardappel op zuidelijke zandgrond. Van 40% van het aardappelareaal op het zuidelijk zand kregen ze een beeld van de geteelde rassen en arealen. Dit combineerden ze met de bemestingsadviezen die de afnemers/verwerkers/handelshuizen verstrekten. Op basis van deze gegevens is geschat dat aan het aardappelareaal dat na 1 september wordt geoogst, gemiddeld genomen zo'n 250 kg N per ha wordt bemest (exclusief het areaal Hansa). Op de lössgronden in Zuid Limburg worden veel rassen geteeld die vallen in de categorie hoge stikstofnorm: Fontane, Innovator en Ramos. De N-inzet wijkt niet veel af van de gemiddelde bemesting op zand en bedraagt circa 240-250 kg N per ha.

De stikstofgebruiksnorm 2012/2013 voor aardappel op zandgrond bedraagt 235 kg N per ha (met een differentiatie van 260 kg N per ha voor rassen met een hoge norm en 210 kg N per ha voor rassen met een lage norm). Voor löss bedraagt die norm 230 kg N per ha (met een differentiatie van 255 kg N per ha voor rassen met een hoge norm en 205 kg N per ha voor rassen met een lage norm). De normen van 2012/2013 zijn voor zand 30 kg N per ha lager dan de aanvangsnormen van 2006 en voor löss zijn deze 35 kg N per ha lager.

Op basis van gegevens van Van Dijk et al. (2007) is geschat dat de N-gebruiksnorm 2012/2013 op zand van 235 kg N per ha tot een gemiddelde opbrengstderving van 0,4 ton per ha leidt ten opzichte van de voornoemde gemiddelde praktijkgift. Bij een uitbetalingsprijs van 10 cent per kg (Schreuder et al., 2009) is dat een derving van €40 per ha. Wanneer wordt aangenomen dat 265 kg N per ha een optimale N-gift is voor zand (bijvoorbeeld voor percelen met wat minder N-nawerking in de bodem vanuit verleden mestgiften), dan zou verlaging naar 235 kg N per ha gemiddeld genomen een opbrengstderving geven van 0,8 ton per ha c.q. €80 per ha.

Voor löss is geschat dat de N-gebruiksnorm 2012/2013 voor de rassen met een hoge norm gemiddeld net uit kan en voor deze rassen nog niet tot een opbrengstderving leidt bij de huidige bodemvruchtbaarheids-toestand van de percelen. Wanneer wordt aangenomen dat 290 kg N per ha een optimale N-gift is voor de rassen met een hoge norm op löss (bijvoorbeeld voor zwakker mineraliserende percelen), dan zou verlaging naar gemiddeld 255 kg N per ha een opbrengstderving geven van 1,1 ton per ha. Bij een uitbetalingsprijs van 12 cent per kg (tafelaardappelen; Schreuder et al., 2009) is dat een derving van €132 per ha.

Door beter in te spelen op verschillen tussen percelen en meer te profiteren van N-mineralisatie waar dat mogelijk is, kan de opbrengstderving waarschijnlijk tot (bijna) nul worden beperkt. Een betere verdeling van de beschikbare stikstof over de percelen kan dan enkele tientallen euro's tot meer dan 100 euro per ha opleveren.

Voor klei geldt een hogere N-gebruiksnorm 2012/2013: 250 kg N per ha (met een differentiatie van 275 kg N per ha voor rassen met een hoge norm en 225 kg N per ha voor rassen met een lage norm). Dit is 25 kg N per ha lager dan in 2006. Door de hogere norm op klei zal het risico van opbrengstderving hier minder groot zijn dan op zand en löss. Toch komen ook hier situaties voor dat er meer stikstof nodig is dan de richtlijn aangeeft en dat een juiste N-bijbemesting dan opbrengstderving kan voorkomen.

3 Ontwerp van nieuwe systemen

3.1 Verdere ontwikkeling/verfijning NBS-gewassensing

In de literatuurstudie is aanbevolen om het veldonderzoek te richten op verdere verbetering en verfijning van het stikstofbijmeststelsel (NBS) op basis van gewassensing. Het ontwikkelde NBS in aardappel op basis van gewassensing met de CropScan bestaat uit vier stappen:

- Meting van de gewasreflectie met de CropScan-sensor, die de intensiteit van verschillende golflengtes in het spectrum van zichtbaar licht tot infrarood meet.
- Afleiding van de vegetatie-index (WDVI) uit de reflectiewaarden voor groen of rood en infrarood licht.
- Afleiding van de N-opname door het gewas uit de vegetatie-index met behulp van een ijklijn.
- Vaststelling van de stikstofbijmestgift door vergelijking van de meetwaarde met een streefwaarde voor de N-inhoud van het gewas.

Voor gedetailleerdere informatie wordt verwezen naar paragraaf 3.3.4 en bijlage 3 van de literatuurstudie van dit project (Van Geel et al., 2011).

N-bijmesting op basis van gewassensing is in principe praktisch toepasbaar: praktijksensoren zijn beschikbaar, relaties tussen sensormeting en stikstofopname zijn uit onderzoeksgegevens afgeleid en er zijn (vaste) streefwaarden opgesteld voor de N-opname bij gewassluiting om een optimale productie te bereiken.

3.1.1 Sensor

De CropScan-sensor is een nauwkeurig instrument en geschikt voor onderzoek. Het is echter een te kwetsbaar instrument voor gebruik in het veld op landbouwwerktuigen. Bij gebruik van andere commerciële sensoren die wel in praktijk kunnen worden ingezet, moeten de rekenregels van CropScan-methode worden vertaald naar die andere sensoren. De Yara N-sensor is hiervoor goed bruikbaar en kansrijk als sensor in een NBS op basis van gewassensing.

In het onderzoek zal daarom de Yara N-sensor worden gebruikt. Hierbij worden de meetwaarden van de Yara N-sensor omgerekend naar de vegetatie-index van de CropScan (WDVI), waarna de ijklijn kan worden gebruikt om de N-inhoud van het aardappelgewas te schatten.

3.1.2 Ijklijn

De ijklijn die het verband tussen N-opname en vegetatie-index beschrijft, is gebaseerd op proeven op zand met het ras Bintje. De ijklijn lijkt evenwel bruikbaar voor andere grondsoorten en rassen. Of er verschillen zijn tussen grondsoorten en rassen en in hoeverre het mogelijk en zinvol is om hiervoor aparte ijklijnen op te stellen, moet blijken uit het PPL-project "Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectiemetingen". De eindrapportage hiervan wordt in de loop van 2012 verwacht.

3.1.3 Streefwaarde en meet- en bijmestmoment

De huidige bijmestmethode op basis van gewassensing kan pas een N-bijmestadvies geven bij gewassluiting (meestal eind juni-begin juli). Dit is onder praktijkomstandigheden soms te laat. In vervolgonderzoek zal daarom een methode worden beproefd waarmee eerder een bijmestadvies kan worden gegeven (vanaf begin knolzetting). Hiertoe wordt de streefwaarde voor de stikstofinhoud van het gewas op een vast moment (bij gewassluiting) vervangen door een normlijn voor het stikstofopnameverloop in de tijd. Zodra de actuele gewasopname onder de normlijn komt, wordt een bijmestadvies berekend.

Biemond & Vos (1992) deden een pottenproef met aardappel met drie verschillende stikstofniveaus. In figuur 1 is het verloop van de droge-stofproductie en N-opname per plant weergegeven. Bij het hoogste N-niveau (N3) gingen de planten langer door met stikstof opnemen en droge stof produceren dan bij de twee lagere N-niveaus (N1 en N2). Het verschil in N-opname werd eerder zichtbaar in de tijd dan het verschil in droge-stofproductie.

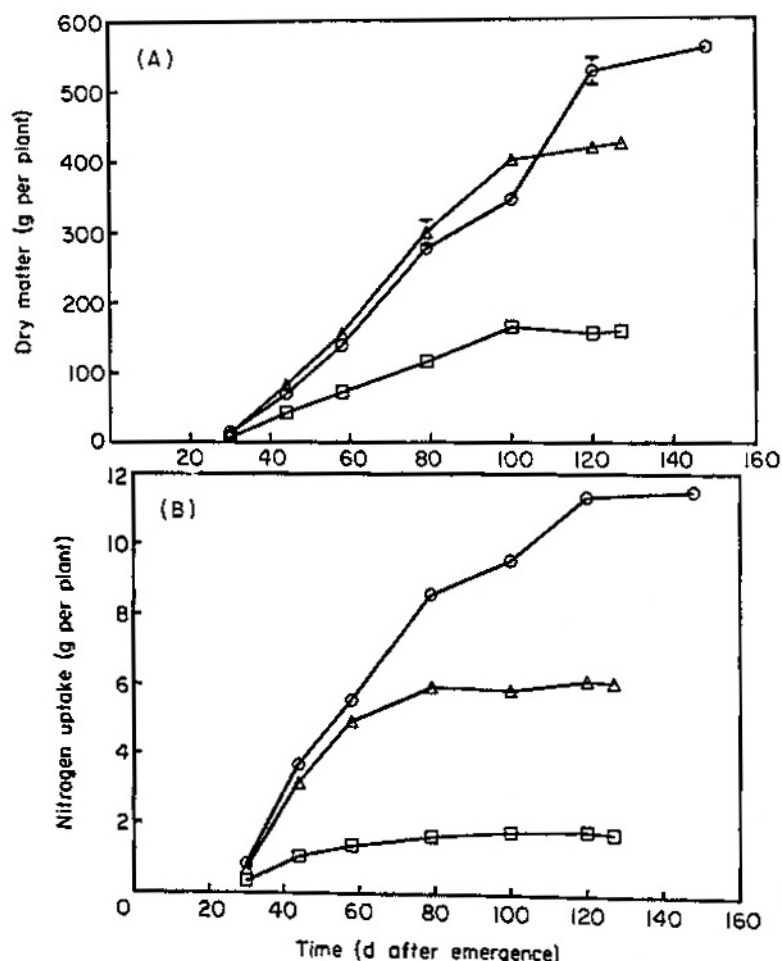
Bij N3 vond de knolzetting later plaats. Het percentage van de opgenomen stikstof en de geproduceerde droge stof dat in de knollen van de volgroeide planten terecht kwam, verschilde niet tussen de N-niveaus.

Bij N1 was er duidelijk sprake van een tekort. Dit kwam al vroeg in het groeiseizoen tot uiting in de stikstofinhoud van de planten (vanaf 30 dagen na opkomst). N2 was net niet toereikend, maar dit kwam pas aan het eind van de groeiperiode tot uiting in de droge-stofproductie (vanaf ca. 110 dagen na opkomst). Daarvoor ging de droge-stofproductie bij N2 en N3 gelijk op. In de N-inhoud van de planten kwam het verschil tussen N2 en N3 echter al eerder tot uiting (vanaf ca. 60 dagen na opkomst). Hieruit kan worden afgeleid dat de N-inhoud van het gewas eerder een indicatie geeft over de stikstofvoorziening dan de biomassa. Op het moment dat een achterblijvende N-opname wordt gesignaleerd, kan nog tijdig worden bijgestuurd.

Een fors gebrek wordt al vroeg zichtbaar in het groeiseizoen, zodat ook vroeg kan worden bijbemest. Een klein tekort wordt pas laat zichtbaar en zal resulteren in een late bijbemesting (na gewassluiting).

Vervanging van de streefwaarde op een vast moment door een normlijn voor het N-opnameverloop hoeft dus niet per se te leiden tot een eerder bijmestmoment, maar maakt het wel mogelijk om eerder in het groeiseizoen de stikstoftoestand van het gewas te controleren en in te grijpen als dat nodig is. Daardoor loopt men bijvoorbeeld minder risico als met een lage basisgift stikstof wordt gestart.

Als men toch bij knolzetting een N-bijmestgift wil berekenen terwijl de N-inhoud van het gewas op dat moment nog niet achterblijft, is een aanvullende Nmin-meting nodig. Dan kan met behulp van een N-balansmethode de bijmestgift worden berekend (zie verder paragraaf 3.1.5, berekening van de N-gift, *Methode 3*).



Figuur 1. Verloop van de droge-stofproductie en de stikstofopname van aardappelplanten in een pottenproef bij drie verschillende stikstofniveaus (naar Biemond & Vos, 1992)
 (□=2,5 g N per pot (N1), △= 8,0 g N per pot (N2), ○= 16,0 g N per pot (N3))

Verder houdt de huidige bijmestmethode op basis van gewassensing geen rekening met verschillen in opbrengstpotentie tussen percelen. Er geldt nu een vaste streefwaarde van 200 kg N per ha voor

consumptieaardappel en 175 kg N per ha voor zetmeelaardappel. Door de streefwaarde of normlijn afhankelijk te stellen van de opbrengstverwachting, kunnen hiervoor gedifferentieerde bijmestadviezen worden gegeven en kan de kans op over- of onderdosering van stikstof worden verkleind. De verwachte opbrengst kan worden geschat op basis van in het verleden behaalde aardappelopbrengsten 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.

Door de streef-N-opnamecurve uit te zetten tegen de temperatuursom in plaats van tegen het aantal dagen na poten of opkomst, wordt rekening gehouden met de invloed van temperatuur op het verloop van gewasgroei en N-opname. Er zal gebruik worden gemaakt van de T-somcurve die is opgesteld door Steltenpool & Van Erp (1995). Zij beschrijven het stikstofopnamepatroon in de periode vanaf poten tot half augustus met de formule:

$$N_{max} * e^{-e^{-0,00494 * (T-som - 544)}}$$

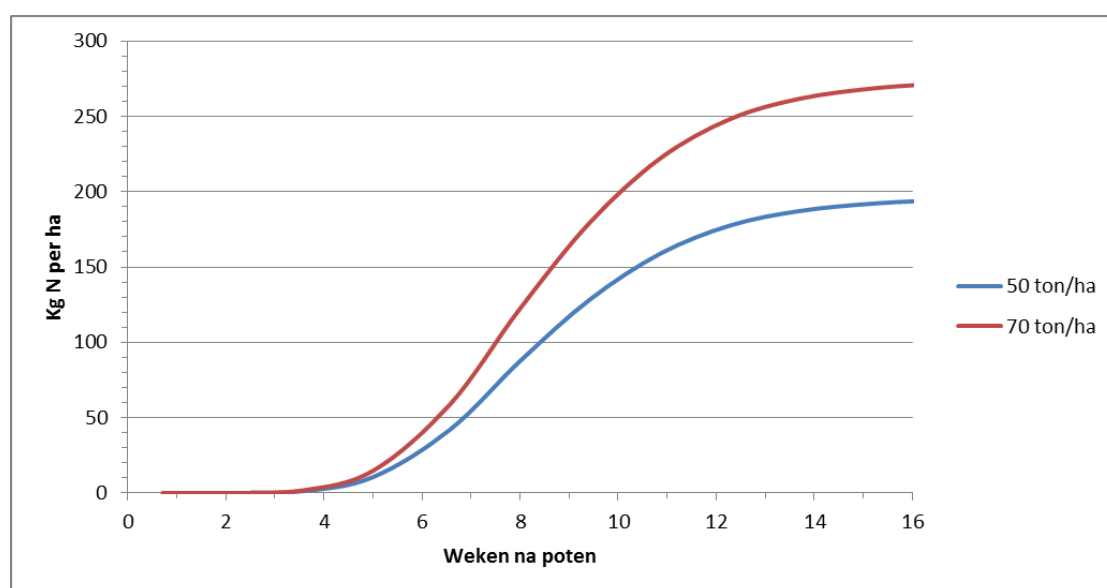
of anders geschreven: $N_{max} * \text{EXP}(-\text{EXP}(-0,00494 * (T-som - 544)))$

waarbij: $N_{max} = 1,188 * \text{totale N-opname in de knollen bij oogst (Neeteson et al., 1987)}$

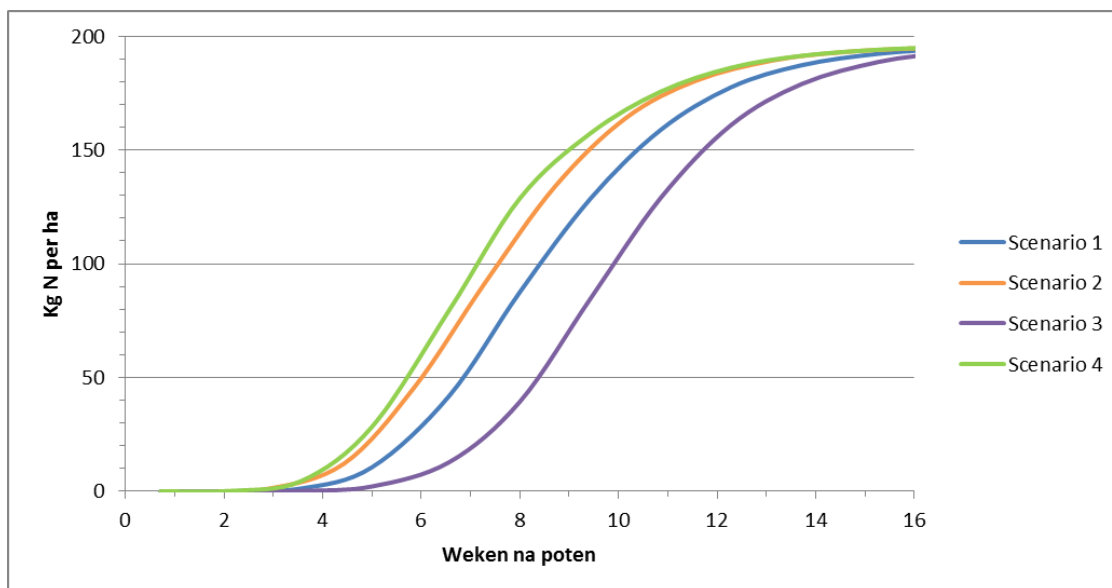
Voor de berekening van de T-som is een basistemperatuur van 2 °C genomen. Dit houdt in dat de T-som is berekend op basis van de gemiddelde etmaaltemperatuur minus 2 graden.

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. De N-opname in de knollen kan worden geschat door de bruto-knolopbrengst te vermenigvuldigen met een gemiddeld N-gehalte in de aardappelknollen van 3,3 kg per ton voor consumptieaardappel en 3,7 kg per ton voor zetmeelaardappel (Van Dijk & Van Geel, 2010).

In de figuren 2 en 3 zijn enkele voorbeelden gegeven van een geconstrueerd N-opnameverloop op basis van de temperatuursom en het opbrengstniveau. Bij gebruik in praktijk wordt de curve opgesteld met de actuele, gemiddelde dagtemperaturen vanaf poten. De curve kan dan uiteraard niet verder worden getrokken dan tot aan de actuele dag in het groeiseizoen. Wel kan worden afgeleid hoeveel stikstof er op dat moment in het gewas zou moeten zitten. Ook kan worden afgeleid hoeveel procent van N_{max} er op dat moment is opgenomen en hoeveel er nog moet worden opgenomen. De door Steltenpool & Van Erp opgestelde opnamecurve is namelijk een logistische curve die in feite van 0 tot 100% loopt (waarbij N_{max} 100% is). De temperatuursom bepaalt hoe snel de curve naar de 100% gaat en geeft op elk moment in het groeiseizoen aan hoeveel procent van N_{max} al is opgenomen.



Figuur 2. N-opnamecurve van consumptieaardappel bij poten op 15 april, een gemiddeld Nederlands temperatuurverloop en een opbrengstniveau van 50 en 70 ton per ha



Figuur 3. **N-opnamecurve van consumptieaardappel (50 ton per ha) bij verschillende pootmomenten en bij een koud en warm voorjaar**

Scenario 1: poten op 15 april en een gemiddeld Nederlands temperatuurverloop

Scenario 2: poten op 1 mei en een gemiddeld Nederlands temperatuurverloop

Scenario 3: poten op 15 april en een koud voorjaar

Scenario 4: poten op 15 april en een warm voorjaar

3.1.4 Omgekeerde N-vensters

Een ander concept is het hanteren van omgekeerde N-vensters. Dit zijn vensters die hoger worden bemest dan de rest van het perceel en als referentie met een ruim voldoende stikstofvoorziening fungeren. Op basis van het verschil in gemeten N-opname tussen de omgekeerde vensters en de rest van het perceel, wordt een bijmestadvies afgeleid.

Belangrijke aandachtspunten bij deze methode zijn het vaststellen van de juiste hoogte van de omgekeerde vensters en de berekening van het bijmestadvies. In veldproeven met omgekeerde N-venster in 2002 en 2003 (Uenk et al., 2005) werd gestart met basisgiften van 67% en 80% van de adviesgift. Als omgekeerd venster werd 100% van de adviesgift gehanteerd. In 2002 fungeerde het omgekeerde venster goed, maar in 2003 bleek het te laag te zijn gekozen. In de veldproeven 2012-2013 voor dit MMM-project zal worden nagegaan of een hoger venster, à ca. 130% van de adviesgift, beter voldoet.

Voor meer informatie over omgekeerde N-vensters wordt verwezen naar paragraaf 3.3.4.2 van de literatuurstudie van dit project (Van Geel et al., 2011).

3.1.5 Berekening van de N-gift

Bij de huidige CropScan-methode wordt de bijmestgift berekend als het verschil tussen de streef-N-inhoud van het gewas en de gemeten N-inhoud. Als de gemeten N-inhoud hoger is dan de streefinhoud, is het bijmestadvies nul.

In de proeven voor dit MMM-project wordt met de Yara N-sensor vanaf 3-4 weken na opkomst één- tot tweewekelijks gemeten. De metingen gaan door tot het loof in elkaar gaat zakken. Dan is geen betrouwbare meting meer mogelijk.

Zodra gemeten N-opname achterblijft ten opzichte van de normlijn of het omgekeerde venster, wordt bijbemest. De bijmestgift kan op de volgende wijzen worden bepaald:

Methode 1

Afhankelijk van hoogte van het verschil ten opzichte van de norm of het omgekeerde venster wordt 30 tot 50 kg N per ha bijbemest. De metingen worden daarna vervolgd en zonodig wordt nogmaals 30-50 kg N per ha bijbemest.

Methode 2

De bijmestgift wordt berekend met behulp van een N-balansmethode, analoog aan het NBS-bodem:

$N\text{-gift} = N\text{-opname} + \text{buffer} - N_{\text{min}} - N\text{-mineralisatie}$.

Voor meer informatie over de N-balansmethode voor aardappel wordt verwezen naar paragraaf 3.3.1 van de literatuurstudie van dit project (Van Geel et al., 2011).

De nog op te nemen hoeveelheid stikstof door het gewas wordt berekend als: $N_{\text{max}} - \text{gemeten actuele } N\text{-opname}$.

De buffer bedraagt bij aanvang van de metingen 80 kg N per ha voor klei- en lössgrond en 60 kg N per ha voor zand- en dalgrond. Vanaf het moment van de eerste meting wordt de buffer verlaagd met 5 kg N per ha per week.

Omdat de N-inhoud achterblijft bij de normlijn of het omgekeerde venster, wordt aangenomen dat de N_{min} -voorraad op dat moment zeer laag is: ≤ 14 kg N per ha in de laag 0-30 cm voor zand- en dalgrond of ≤ 28 kg N per ha in de laag 0-60 cm voor klei en löss. Dit zal in de veldproeven worden geverifieerd.

In geval van droogte kan de N-opname van het gewas achterblijven zonder dat de N_{min} -voorraad laag is. Door de droogte kan het gewas de stikstof niet goed opnemen. In die situatie is het zinvol om de N_{min} -voorraad te controleren. In de veldproeven van 2012-2013 op zandgrond wordt via berekening gezorgd voor een optimale vochtvoorziening en doet deze situatie zich niet voor. In de proeven op löss wordt niet berekend en moet rekening worden gehouden met het effect van droogte.

Van het benodigde N-aanbod wordt de bijdrage door stikstofmineralisatie in de bodem afgetrokken. In het NBS-bodem wordt hiertoe gerekend met gemiddeld 1 kg N per ha per dag tot 1 augustus voor consumptie-aardappel en tot 15 augustus voor zetmeelaardappel. Voor een naar verwachting zwakker mineraliserende grond wordt 0,8 kg N per ha per dag aangehouden en voor een sterker mineraliserende grond 1,2 kg N per ha per dag.

Als de bodemmineralisatie op een andere manier nauwkeuriger kan worden geschat, kan daar uiteraard beter van worden uitgegaan. Voor dit project zal daartoe worden nagegaan of de resultaten van het MMM-project "Sturen van de N-mineralisatie met kennis over organische stof" kunnen worden gebruikt, zodra die beschikbaar zijn.

Naast de bodemmineralisatie moet ook de N-werking uit organische mest of ingewerkte groenbemesters of N-rijke gewasresten (verse organische stof) in mindering worden gebracht. Hiervan kan een schatting worden gemaakt met een rekenmodel zoals MINIP. Voor meer informatie over mineralisatie wordt verwezen naar paragraaf 2.2.4.1 van de literatuurstudie van dit project (Van Geel et al., 2011).

Rekenvoorbeeld voor zandgrond:

Stel: N_{max} is vastgesteld op 200 kg N per ha. Er wordt gepoot op 15 april. De temperatuur volgt een gemiddeld verloop. Zo'n 10 weken na poten (24 juni) zou het gewas volgens de normlijn 145 kg N per ha moeten hebben opgenomen. De gemeten opname bedraagt 115 kg N per ha. Er zijn geen aanwijzingen dat andere groeifactoren de gewasgroei en N-opname hebben belemmert. Het gewas moet nog 85 kg N per ha opnemen. Stel dat de eerste keer 8 weken na poten is gemeten, dan bedraagt de buffer op zand 10 weken na poten 50 kg N per ha. De bijdrage door bodemmineralisatie bedraagt 37 kg N per ha (37 dagen \times 1 kg N per ha per dag). Er is geen nawerking uit verse organische stof. De N_{min} -voorraad wordt op 14 kg N per ha gesteld. De bijmestgift wordt dan: $85 + 50 - 37 - 14 = 84$ kg N per ha.

Methode 3

Als bij knolzetting blijkt dat de N-opname door het gewas niet achterblijft ten opzichte van de normlijn en men wil toch een bijmestgift berekenen, dan is een aanvullende N_{min} -meting nodig. Vervolgens kan met de N-balansmethode worden bepaald of een bijbemesting nodig is en hoeveel.

Rekenvoorbeeld zandgrond:

Stel: N_{max} is vastgesteld op 200 kg N per ha. Er wordt gepoot op 15 april. De temperatuur volgt een gemiddeld verloop. Begin juni (7-8 weken na poten) zou het gewas volgens de normlijn 70 kg N per ha moeten hebben opgenomen. De gemeten opname bedraagt 75 kg N per ha. Het gewas moet nog 125 kg

N per ha opnemen. Ervan uitgaande dat het de eerste meting betreft, wordt de buffer op 60 kg N per ha gesteld. De gemeten Nmin-voorraad (0-30 cm) bedraagt 95 kg N per ha. De bijdrage door bodem-mineralisatie bedraagt 54 kg N per ha (54 dagen x 1 kg N per ha per dag). Er is geen nawerking uit verse organische stof. De bijmestgift wordt dan: $125 + 60 - 54 - 95 = 36$ kg N per ha.

Methode 4

Bij methode 2 kan Nmax ook worden afgeleid van het omgekeerde N-venster. Stel dat 10 weken na poten de N-inhoud van het gewas (24 juni) achterblijft ten opzichte van het venster. De gemeten opname bedraagt 130 kg N per ha en die van het venster 160 kg N per ha. Van de T-somcurve wordt afgeleid dat op dat moment 72% van Nmax is opgenomen. Potentieel kan dus een Nmax worden bereikt van $160/0,72 = 222$ kg N per ha. Het gewas moet dan nog 92 kg N per ha opnemen. De bijmestgift wordt dan: $92 + 50 - 37 - 14 = 91$ kg N per ha.

3.1.6 Teeltdoel, grondsoort en ras

Het ligt voor de hand de streefwaarden voor de N-opname te differentiëren naar teeltdoel, grondsoort of ras.

Teeltdoel

Als het onderwatergewicht van de knollen direct een rol speelt in de uitbetaling (zetmeelaardappel) is de N-bemestingsrichtlijn 25 kg N per ha lager dan voor consumptieaardappel op zand (Van Dijk & Van Geel, 2010). Ook bij de huidige CropScan-methode wordt voor zetmeelaardappel een 25 kg N per ha lagere streefwaarde aangehouden dan voor consumptieaardappel. Bij toepassing van het hierboven beschreven verfijnde NBS-gewassensing kan daarom bij hantering van de streef-N-opnamecurve op basis van de temperatuursom (zie paragraaf 3.1.3) de berekende Nmax wellicht het beste met 25 kg N per ha worden verlaagd. Via veldproeven moet worden gevalideerd of deze benadering juist is. Die validatie zal echter niet in de geplande veldproeven in 2012-2013 van dit MMM-project plaatsvinden, aangezien deze zijn toegespitst op consumptieaardappel op zand en löss.

Of toepassing van een omgekeerd N-venster geschikt is voor zetmeelaardappel moet worden betwijfeld. Bij een hogere N-gift zal het gewas meer stikstof opnemen, maar dit hoeft niet te leiden tot een hogere financiële opbrengst. Teveel stikstof verlaagt het onderwatergewicht en daardoor de uitbetalingsprijs en de financiële opbrengst. Een royaal van stikstof voorzien omgekeerd venster (zie paragraaf 3.1.4) is derhalve geen goede referentie voor zetmeelaardappel.

Grondsoort

Het verfijnde NBS-gewassensing houdt rekening met opbrengstniveau. Bij berekening van de N-gift volgens de methoden 2, 3 en 4 (paragraaf 3.1.5) wordt een verschillende buffer gehanteerd voor zand en klei. Anderszins worden geen correcties aangebracht voor grondsoort.

Ras

Tussen de diverse aardappelrassen bestaan aanmerkelijke verschillen in N-behoefte, die voor een belangrijk deel samenhangen met vroegrijpheid (zie paragraaf 2.3 van de literatuurstudie van dit project voor meer informatie). De rassen verschillen van elkaar in stikstofbenutting. Dit kan zowel opname-efficiëntie betreffen (kg opgenomen N per kg toegediende N) als productie-efficiëntie (kg knolopbrengst per kg opgenomen N). Dit resulteert erin dat de rassen van elkaar verschillen in kg knolopbrengst per kg toegediende stikstof. De vraag is hoe deze rasverschillen moeten worden ingepast in NBS-gewassensing. Wellicht kan hiervoor het beste worden uitgegaan van de rascorrecties die worden gehanteerd bij de N-bemestingsrichtlijnen. Die richtlijnen zijn opgesteld aan de hand van proeven met het ras Bintje. Voor andere rassen wordt een correctie op de richtlijn naar boven of beneden gegeven ten opzichte van Bintje. In de meeste gevallen betreft het een correctie naar beneden.

Hoe die correcties het beste kunnen worden versleuteld in de berekening van de N-gift bij NBS-gewassensing is nog een nader punt van onderzoek. Er kunnen hiervoor enkele mogelijkheden worden bedacht, maar deze zullen moeten worden gevalideerd in veldonderzoek. Dit is vrij omvangrijk onderzoek. Er kan eerst het beste een verbeterde methode voor NBS-gewassensing worden ontwikkeld, waarna in vervolgonderzoek verfijningen voor ras worden aangebracht.

In geval van toepassing van omgekeerd N-vensters zal geen rascorrectie nodig zijn, omdat het ras in de vensters en op de rest van het perceel gelijk is.

3.2 Overige systemen

Als referentiesystemen in de veldproeven worden de huidige CropScan-methode opgenomen en aardappelmonitoring. Daarnaast wordt een variant van Aardappelmonitoring Online opgenomen, waarbij de loofgroei niet wordt gemonitord aan de hand van satellietbeelden (wat nu wordt gebruikt) maar met de Yara N-sensor. Voor deze toepassing wordt een relatie gelegd tussen een vegetatie-index en biomassa. Hiervoor is een ijklijn beschikbaar.

Verder wordt een tweede, nieuwe variant van aardappelmonitoring opgenomen: de Aardappelbemestingsindicator van Altic. Dit systeem bestaat uit het traditionele aardappelmonitoring aangevuld met gelijktijdige meting van de Nmin-voorraad in de laag 0-30 cm. Rond knolzetting wordt twee keer bemonsterd (bladstelen, loof en bodem) met een tussenperiode van een week. Het bijmestadvies wordt berekend door eerst het aardappelmonitoringsadvies op basis van loofgewicht en nitraatgehalte in de bladstelen vast te stellen. Vervolgens wordt op dit advies een correctie aangebracht op basis van de minerale N-voorraad.

Deze verbeterde variant van de "klassieke" N-bijmestsystemen zal als referentie in het onderzoek worden opgenomen. Het systeem wordt momenteel nog verder ontwikkeld door Altic.

4 Proefobjecten en afbakening

4.1 Bouwstenen NBS-gewas

Het moment en de hoogte van de stikstofbijbemesting wordt bepaald door een samenspel tussen gewas, bodem en weer. De balans tussen stikstofopname en stikstofbeschikbaarheid hangt af van:

- de gewasgroei: de N-opnamesnelheid door het gewas en de totale N-opname;
- de stikstofhuishouding in de bodem: N-leverend vermogen, het gemak waarmee het gewas de stikstof kan opnemen (afhankelijk van met name wortelbaarheid en vocht) en uitspoelingsgevoeligheid;
- weefactoren als straling, temperatuur en neerslag: deze hebben zowel invloed op de gewasgroei als de stikstofbeschikbaarheid in de bodem.

Bouwstenen van N-adviesystemen zijn gebaseerd op gewasindicatoren, bodemindicatoren of een combinatie van beide.

Gewas

Indicatoren om de stikstoftoestand van het gewas te bepalen:

<i>Indicator</i>	<i>Referentie</i>
Nitraatgehalte bladstelen	Rasafhankelijke normlijn voor het verloop van het nitraatgehalte
Loofmassa	Rasafhankelijke normlijn voor de ontwikkeling van de loofmassa
Actuele N-opname gemeten met sensor	Vaste streefwaarde N-inhoud gewas bij gewassluiting
Actuele N-opname gemeten met sensor	Streefopnamepatroon, afhankelijk van: - opbrengstverwachting - dagen na opkomst of temperatuursom
Actuele N-opname gemeten met sensor	Omgekeerd N-venster

Bodem

Indicatoren om de stikstoflevering uit de bodem te bepalen:

- Nmin-meting
- Voorspellen mineralisatie
 - vuistregels
 - rekenmodellen
 - bodem N-sensor Dacom

De bodem N-sensor van Dacom is nog in ontwikkeling. Het is een sensor die de stikstofvoorraad in de bodem continu meet. De intentie is om deze sensor in het onderzoek te beproeven. Hierover vindt overleg plaats met Dacom.

Nieuwe strategieën

De benodigde inputdata voor nieuwe strategieën op basis van gewassensing kunnen worden onderscheiden naar eenvoudigere systemen en complexere, nauwkeurigere systemen:

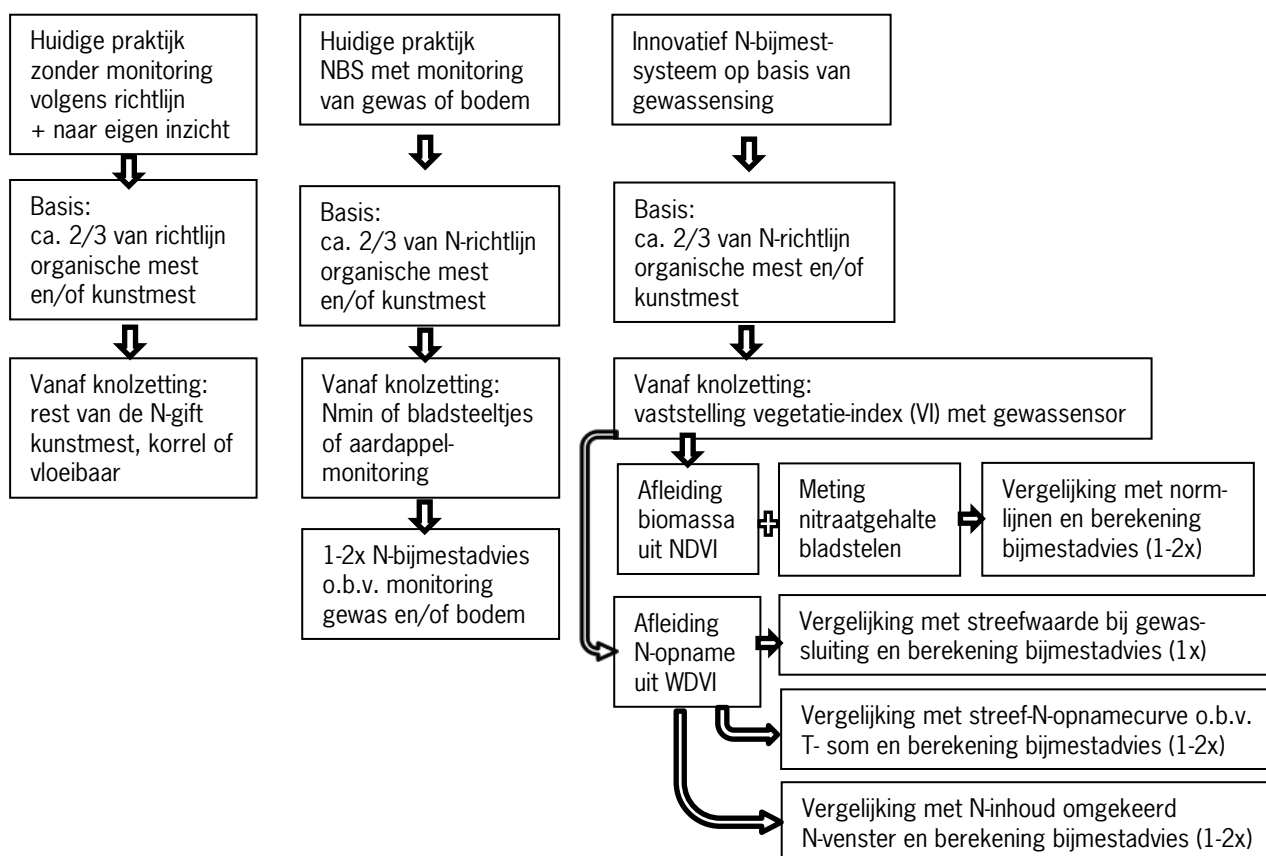
<i>Inputdata</i>	<i>Bepaling bijmestgift</i>
A. Gewassensing-gegevens	Vergelijking met opbrengstafhankelijke streefwaarde bij gewassluiting of met omgekeerd N-venster
B. Gewassensing-gegevens + dagtemperaturen	Vergelijking met opbrengstafhankelijke streefopnamecurve
C. Gewassensing-gegevens + dagtemperaturen + bodemdata (Nmin, mineralisatie)	Toepassing N-balansmethode

A is het meest eenvoudige systeem, dat enkel gebruik maakt van gewasdata uit gewassensing, op basis waarvan de actuele N-opname door het gewas wordt afgeleid. De voorheen bewerkelijke gewasbemonstering wordt hierbij vervangen door een sensoropname. In systeem B worden hieraan actuele temperatuursgegevens toegevoegd, waarmee een weersafhankelijke N-opnamecurve wordt opgesteld. Systeem C integreert de actuele gewasopname, de weersafhankelijke N-opnamecurve, de actuele Nmin-

voorraad in de bodem en de verwachte N-mineralisatie. De verzamelde data worden in een N-balans ingevuld, waarna de gift wordt berekend als het verschil tussen N-behoefte (gewasopname + buffer) en N-aanvoer (Nmin-voorraad + mineralisatie).

Voor de innovatieve N-bijmestsystemen in de proeven van 2012-2013 wordt de Yara N-sensor ingezet. Uit de gewasreflectiegegevens worden biomassa of N-opname afgeleid. De methode van afleiding wordt in overleg met Yara opgesteld.

Hieronder zijn de bouwstenen van de gangbare en vernieuwde N-bijmestsystemen in een schema weergegeven.



4.2 Proefopzet

Basisgift

De N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn voor consumptie aardappel ligt globaal tussen de 200 en 300 kg N per ha in, afhankelijk van teeltdoel, grondsoort, ras en Nmin na de winter. Veelal wordt de gift gedeeld in een basisbemesting bij poten en één of enkele bijbemestingen.

In de veldproeven van 2012-2013 wordt een basisgift van ca. 150 kg N per ha aangehouden (ca. 60% van de N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn). Op percelen met een sterke N-mineralisatie kan soms totaal met een lagere N-gift worden volstaan dan 150 kg N per ha. Om die besparing te kunnen realiseren, kan dan beter met een lagere basisgift worden gestart. Omgekeerd kan op zwak mineraliserende percelen beter met een hogere basisgift worden gestart om vroegtijdig N-gebrek te vermijden. Bij aanleg op praktijkpercelen in fase 3 van dit project (2014) is de intentie om bij de vaststelling van de basisgift rekening te houden met mineralisatieverschillen tussen percelen. Hiervoor zal de opgedane kennis worden gebruikt van het MMM-project "Sturen van de N-mineralisatie met kennis over organische stof".

De basisgift in de veldproef op zand bestaat uit een gift varkensdrijfmest (15-20 m³/ha; ca. 100 kg werkzame N per ha) aangevuld met ca. 50 kg N per ha als KAS vlak voor het poten. Vervolgens wordt gepoot en kort daarna aangeaard. In de proef op löss wordt er om praktische redenen van uitvoering voor gekozen om de gehele basisbemesting met KAS uit te voeren vóór poten. Poten en aanaarden worden in één werkgang uitgevoerd.

Vaste N-trappen

In beide veldproeven wordt een aantal N-bijmestsystemen vergeleken. Tevens wordt een reeks vaste N-trappen aangelegd (incl. een nulobject) om inzicht te krijgen in wat een optimale N-gift is voor de betreffende groeiomstandigheden in de proeven. De onderstaande vaste trappen worden opgenomen:

Proef op zand

1. Nulobject (geen N-bemesting)
2. Basisgift 15-20 m³/ha VDM (ca. 100 kg N-werkzaam per ha)
3. Basisgift 15-20 m³/ha VDM + 50 kg N/ha bij poten (als KAS)
4. Basisgift 15-20 m³/ha VDM + 50 kg N/ha bij poten + 75 kg N/ha bij knolzetting
5. Basisgift 15-20 m³/ha VDM +100 kg N/ha bij poten + 75 kg N/ha bij knolzetting + 25 kg N/ha eind juni

Proef op löss

1. Nulobject (geen N-bemesting)
2. Basisgift 100 kg N per ha
3. Basisgift 150 kg N/ha
4. Basisgift 150 kg N/ha + 75 kg N/ha bij knolzetting
5. Basisgift 200 kg N/ha + 75 kg N/ha bij knolzetting + 25 kg N/ha eind juni

Object 5 fungeert tevens als omgekeerd N-venster. De basisbemesting bij de N-bijmestobjecten is gelijk aan object 3.

N-bijmestsystemen

Na discussie met de klankbordgroep is besloten de onderstaande N-bijmestsystemen als objecten in de proeven op te nemen:

6. Aardappelmonitoring: nitraatgehalte bladsteeltjes en loofmassa
7. Aardappelbemestingsindicator: nitraatgehalte bladsteeltjes, loofmassa en N_{min}
8. NBS-gewassensing, vanaf gewassluiting
9. NBS-gewassensing + temperatuursgegevens + bodemdata
10. NBS-gewassensing + nitraatgehalte bladsteeltjes

Het klassieke aardappelmonitoring (object 6) wordt als referentie opgenomen in de proeven om de nieuwe bijmestsystemen te kunnen vergelijken met een traditioneel systeem.

Bij object 8 wordt de bijmestgift berekend aan de hand van een opbrengstafhankelijk streefwaarde voor de N-opname bij gewassluiting. Er wordt een vergelijk gemaakt met de huidige, vaste streefwaarde van 200 kg N/ha, maar de op basis van deze huidige methode berekende N-gift wordt niet daadwerkelijk gestrooid. Er zal enkel (achteraf) worden beoordeeld in hoeverre de berekende gift in de buurt van het optimum ligt.

Bij object 9 wordt de bijmestgift berekend volgens de N-balansmethode (zie paragraaf 3.1.5). De klankbordgroep zag hierin meer perspectief dan in methode 1 die in paragraaf 3.1.5 is genoemd, waarbij steeds 30-50 kg N per ha wordt bijbemest als de gemeten N-inhoud van het gewas lager is dan de norm of het omgekeerde N-venster. Deze methode wordt daarom niet in het onderzoek opgenomen.

Bijbemesting op basis van omgekeerde N-venster wordt na de discussie met de klankbordgroep evenmin als object in de proeven opgenomen. De aanleg van een omgekeerd N-venster is niet praktisch. In de proeven fungeert object 5 als omgekeerd N-venster en zal wel een bijmestgift worden berekend, volgens methode 4 in paragraaf 3.1.5., maar deze gift wordt niet daadwerkelijk gestrooid. Enkel zal (achteraf) worden beoordeeld in hoeverre de berekende gift in de buurt van het optimum ligt.

Object 10 betreft aardappelmonitoring waarbij het handmatig bepalen van de loofmassa wordt vervangen door berekening van de loofmassa uit gewassensing-gegevens.

De gewasreflectiemetingen in de proeven worden uitgevoerd met de Yara N-sensor en op een aantal momenten ook met de CropScan. De bijmestadviezen worden afgeleid van de meetgegevens van de Yara N-sensor. De CropScan loopt parallel mee om te beoordelen of de afgeleide N-gewasinhoud m.b.v. de Yara N-sensor goed overeenkomt met de afleiding aan de hand van de CropScan-meting.

De veldproeven 2012-2013 worden aangelegd in 4 herhalingen op de PPO-proeflocaties te Vredepeel (zandgrond) en op een praktijkperceel op löss bij een lid van de klankbordgroep op het bedrijf. De resultaten van de proeven op löss zijn naar verwachting ook representatief of vertaalbaar naar klei. Per proef wordt één ras opgenomen. In overleg met de klankbordgroep is voor beide proeflocaties het ras Fontane gekozen, het meeste geteelde ras in de regio.

Er wordt in principe bijbemest met KAS. In de proef op zand wordt berekend, waardoor voor een optimale vochtvoorziening wordt gezorgd en de stikstof goed door het gewas kan worden opgenomen. In de proef op löss wordt, na raadpleging van de klankbordgroep, niet berekend. Dit is de meest representatieve situatie voor de praktijk. In geval van droogte zal worden bijbemest via bladbemesting met urean.

In verband met het risico van een beperking van de N-opname bij droogte kan het wenselijk zijn de gehele bijmestgift vroeg te strooien (bij knolzetting). In de proef op löss is daarom een 11^e object opgenomen, waarbij een eenmalige bijmestgift bij knolzetting is voorzien. Dit object zal in het groeiseizoen in overleg met de klankbordgroep nader worden ingevuld, voor wat betreft bepaling van de hoogte van N-gift en het type meststof.

Na oogst worden de knolopbrengst vastgesteld, de maatsortering, de uitval, het onderwatergewicht, de droge-stofproductie en de N-opname in de knollen. Verder zal per object de stikstofbenutting worden berekend.

Plaatsspecifieke bijbemesting met behulp van gewassensing wordt in 2012-2013 nog niet in het veldonderzoek opgenomen. Bij toetsing van een verbeterd NBS-gewassensing op praktijkbedrijven in 2014, kan dit wel worden opgenomen. Eerst moet echter tot een verbeterd NBS-gewassensing worden gekomen.

Literatuur

- Biemond, H. & J. Vos (1992). Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2. The Partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. *Annals of Botany* 70, p. 37-45.
- 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)
- Dijk, W. van, S. Burgers, H.F.M. ten Berge, A.M. van Dam, W.C.A. van Geel & J.R. van der Schoot (2007). Effecten van een verlaagde stikstofbemesting op marktbaar opbrengst en stikstofopname van akker- en tuinbouwgewassen. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving* (PPO 366), Lelystad, 186 pp.
- 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. van, B. Kroonen-Backbier, D. van der Schans & J.T. Malda (2011). Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1a: Deskstudie. PPO nr. 439. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Lelystad, 88 pp.
- 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.
- Schreuder, R., M. van Leeuwen, J. Spruijt, M. van der Voort, P. van Asperen & V. Hendriks-Goossens (2009). Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2009. Publicatie: PPO 383. PPO-AGV, Lelystad, 280 pp.
- Steltenpool, J.A.N. en P.J. van Erp (1995). Schatting van de actuele N-opname door aardappelen. *Meststoffen 1995*, p. 45-50.
- 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.
- Verhoeven, J., C. Bus, W. van Dijk, W. van Geel, H. van Schooten, J. Schröder & R. Wustman (2011). Teeltvervroeging bij consumptieaardappel en snijmaïs ten behoeve van vanggewassen. Deskstudie naar mogelijkheden en beperkingen. *Projectrapport 32 501730 10, PPO-AGV*, Lelystad, 67 pp.
- Vos, J. & H. Biemond (1992). Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 1. Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching. *Annals of Botany* 70, p. 27-35.