



Beoordeling van mogelijk gebruik van N-bijmestsystemen voor aardappelen als equivalente maatregel

F.J. de Ruijter, J.J. Schröder, W.C.A. van Geel, R. Postma

Beoordeling van mogelijk gebruik van N-bijmestsystemen voor aardappelen als equivalente maatregel

F.J. de Ruijter¹, J.J. Schröder¹, W.C.A. van Geel¹, R. Postma²

1 Wageningen Plant Research

2 Nutriënten Management Instituut (NMI)

Dit onderzoek is in opdracht van Brancheorganisatie Akkerbouw (BO Akkerbouw) uitgevoerd door Wageningen Plant Research in samenwerking met het Nutriënten Management Instituut.

Wageningen Plant Research is een samenwerkingsverband tussen Wageningen Universiteit en Stichting Wageningen Research.

Wageningen, februari 2017

Rapport 672

F.J. de Ruijter, J.J. Schröder, W.C.A. van Geel, R. Postma, 2017. *Beoordeling van mogelijk gebruik van N bijmestsystemen voor aardappelen als equivalente maatregel*. Wageningen Plant Research, Rapport 672. 38 blz.; 9 fig.; 10 tab.; 18 ref.

Het vijfde Nederlandse Actieprogramma Nitraatrichtlijn biedt ruimte voor zgn. equivalente maatregelen: maatregelen waarbij gebruiksnormen verhoogd kunnen worden zonder dat de milieukwaliteit verslechterd. Dit onderzoek richt zich op evaluatie van N-bijmestsystemen voor aardappel en gebruik als equivalente maatregel. Een theoretische verkenning laat zien dat ideale N-bijmestsystemen die voor verschillende groeiomstandigheden de juiste N-gift geven een iets lager N-overschot geven (enkele kg's) ten opzichte van bemesting volgens een vaste totale gift. Evaluatie van proeven liet zien dat N-bijmestsystemen mogelijke besparingen ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn veelal goed konden aangeven, maar situaties met een hogere optimale N-gift niet. Daarmee heeft gebruik van N-bijmestsystemen als equivalente maatregel momenteel onvoldoende perspectief.

Trefwoorden: stikstofbijmeststelsysteem, equivalente maatregel, aardappel

© 2017 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

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

Wageningen Plant Research Rapport 672

Foto omslag: Wageningen Plant Research

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	N-benutting van aardappel en mogelijke verbetering daarvan door gebruik van N-bijmestsystemen	10
	2.1 Algemene respons van aardappel op N-bemesting	10
	2.2 N-bijmestsystemen en deling van de N-gift	12
	2.3 Theoretische verkenning: vergelijking van een ideaal N-bijmeststelsel met een vastgestelde totale N-gift onder verschillende scenario's	14
3	Effectiviteit N-bijmestsystemen in proeven	20
	3.1 Proeven t/m 2010	20
	3.1.1 Zetmeel- en consumptieaardappel, 2006-08 (Postma <i>et al.</i> , 2009)	20
	3.1.2 Zetmeelaardappel 2002-03 (Van Geel <i>et al.</i> , 2004)	22
	3.1.3 Overzicht proeven t/m 2010 (Van Geel <i>et al.</i> , 2011)	25
	3.2 Vervolgonderzoek 2012-13	30
4	Evaluatie bruikbaarheid N-bijmestsystemen en conclusies	33
	Literatuur	35
	Bijlage 1 Details theoretische verkenning van de effectiviteit van een ideaal N bijmeststelsel ten opzichte van een vastgestelde totale N-gift	36

Woord vooraf

In het 5e Nederlandse Actieprogramma EU Nitraatrichtlijn is de mogelijkheid vastgelegd om gedurende de looptijd van het actieprogramma zogenaamde equivalente maatregelen in te voeren: maatregelen die landbouwers in hun bedrijfsvoering kunnen nemen om gelijke of betere milieuresultaten te boeken en die beter bij de bedrijfsvoering passen. Het voorliggende onderzoek richt zich op evaluatie van N-bijmestsystemen in aardappelen, en in hoeverre deze systemen gebruikt kunnen worden voor het ontwikkelen van een equivalente maatregel.

Dit onderzoek is gefinancierd door Brancheorganisatie Akkerbouw (BO Akkerbouw).

De auteurs.

Samenvatting

Het gebruiksnormenstelsel, zoals verwoord in 5e Nederlandse Actieprogramma EU Nitraatrichtlijn, is in hoge mate gebaseerd op gemiddelde prestaties. Dat betekent dat op sommige bedrijven meer mest wordt toegediend dan ter plekke milieukundig verantwoord is maar op andere juist minder. Het Actieprogramma biedt handreikingen om gebruiksnormen te verhogen op voorwaarde dat de milieukwaliteit niet verslechtert ('equivalente maatregelen'). In de meeste gevallen zal dit neerkomen op de inzet van maatregelen die de onttrekking vergroten en zo het bodemoverschot van N en P verlagen, waardoor meer meststoffen toegediend kunnen worden met behoud van milieukwaliteit. Dit onderzoek richt zich op een evaluatie van N-bijmestsystemen voor aardappelen en mogelijk gebruik daarvan als equivalente maatregel.

Het algemene N-bemestingsadvies voor aardappel is afgeleid uit een groot aantal proeven, en er is een brede variatie rondom de gemiddelde regressielijn als gevolg van verschillen in weer en groeiomstandigheden tussen jaren. N-bijmestsystemen zijn ontwikkeld om in te kunnen spelen op deze variaties. Hierbij wordt uitgegaan van een basisgift voor het poten, en een bijbemesting waarvan de hoogte wordt bepaald op basis van metingen aan gewas en/of bodem. Een ideaal N-bijmeststelsel geeft voor verschillende groeiomstandigheden de juiste economisch optimale N-gift.

In een theoretische verkenning is een ideaal N-bijmeststelsel vergeleken met een vastgestelde totale N-gift onder verschillende scenario's. Hierbij is gevarieerd in N-levering uit de bodem, benuttingsefficiëntie en opbrengstpotentieel voor telkens drie varianten: de gemiddelde situatie (referentie, gebaseerd op het bemestingsadvies), een lagere variant en een hogere variant. Uit deze theoretische verkenning blijkt dat ideale N-bijmestsystemen die exact de optimale gift kunnen bepalen bij spreiding rondom de referentie gemiddeld genomen een iets lager N-overschot geven (enkele kg's) ten opzichte van bemesting volgens een vaste totale gift. De meeste gebruiksnormen komen overeen met het N-bemestingsadvies en de gehanteerde referentie situatie. Uitzondering hierop zijn de aangescherpte normen voor zuidelijk zand en löss. Dit kan betekenen dat voor zuidelijk zand en löss ideale N-bijmestsystemen leiden tot verhoging van het N-overschot wanneer dergelijke systemen zouden toestaan om de gebruiksnorm te overschrijden als gewas- of bodemanalyses dat aangeven.

In de afgelopen jaren zijn vele proeven gedaan rondom N-bijmestsystemen waarin ook een N-trappenreeks was opgenomen om de (economisch) optimale N-gift te kunnen bepalen. Resultaten laten zien dat N-bijmestsystemen veelal in staat waren om mogelijke besparingen ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn goed aan te geven. In gevallen waarin de optimale N-gift echter hoger was dan de richtlijn werd dit door de N-bijmestsystemen niet goed aangegeven en volgden er te lage adviezen. In de proeven bleven de adviezen volgens de N-bijmestsystemen binnen de N-gebruiksnormen, behalve bij de aangescherpte gebruiksnorm op zuidelijk zand. Voor situaties waarbij de adviezen binnen de gebruiksnorm blijven is er geen perspectief voor N-bijmestsystemen als equivalente maatregel: de N-bijmestsystemen geven dan aan dat er niet meer N nodig dan volgens de gebruiksnorm.

Om situaties met optimale giften hoger dan de N-bemestingsrichtlijn beter te kunnen identificeren zijn in recente jaren op zand en löss verschillende verfijningen van de bijmestsystemen onderzocht, gericht op het beter meenemen van de opbrengstpotentie van het perceel in het lopende jaar. De systemen konden inspelen op verschillen in N-uitspoeling in het voorjaar en de hoogte van de bijbemesting daarop aanpassen. Het gebruik van een opbrengstafhankelijke streefwaarde voor bijbemesting bleek echter onvoldoende te werken en vraagt nog verder onderzoek. Onderzoek naar bepaling van het opbrengstpotentieel loopt momenteel binnen het programma Precisielandbouw 2.0. De mogelijkheid om op basis van teeltgegevens, actuele gewasgroei, weersgegevens en perceelseigenschappen hoog productieve situaties met hoge N-behoefte te identificeren moet zich echter nog bewijzen.

N-bijmestsystemen verhogen de N-efficiëntie wanneer er minder N gegeven wordt dan op basis van de N-bemestingsrichtlijn of gebruiksnorm gegeven wordt. Of er minder gegeven kan worden is afhankelijk van perceel en seizoen. Daarnaast kunnen bijmestsystemen een betere N-efficiëntie laten zien wanneer deze vergeleken worden met een eenmalige gift voor het poten (bij gelijke totale N-gift). Deze verbetering is dan vooral het gevolg van deling van de gift.

N-bijmestsystemen geven een lagere N-efficiëntie wanneer op basis van deze systemen meer wordt bemest dan mogelijk is op basis van de gebruiksnorm. De relatie tussen N-gift en N-efficiëntie is een kromlijngig verband, waarbij de N-efficiëntie afneemt met toenemende N-gift. Het effect van N-bijmestsystemen op de N-efficiëntie hangt dus erg af van de omstandigheden, en met welke bemesting de systemen vergeleken worden. Een lagere N-bemesting dan een standaardadvies of de gebruiksnorm zal vooral geadviseerd worden in jaren met weinig N-uitspoeling in het voorjaar. Een nat voorjaar zal eerder tot hoge adviezen leiden.

N die bespaard wordt kan in het lopende seizoen niet aan de aardappel gegeven worden waarin het N-bijmeststelsel is toegepast, omdat dit gewas het niet nodig heeft. Het kan wel elders in de rotatie ingezet worden voor gewassen die eind juni/begin juli nog worden bijbemest of voor groenbemesters. Besparingen variëren tussen jaren als gevolg van variatie in groeiomstandigheden en N-behoefte. Het bewaren van uitgespaarde N tot een volgend jaar waarin de N-behoefte van het gewas hoger is dan de gebruiksnorm zou deze variatie kunnen opvangen. Binnen de huidige wetgeving is middeling over jaren echter niet mogelijk, aangezien bewaarde N in het nieuwe jaar weer meetelt als aanvoer voor de gebruiksnormen.

Op dit moment is er onvoldoende perspectief voor het gebruik van N-bijmestsystemen als equivalente maatregel. De vereiste hiervoor is dat het N-overschot niet mag toenemen, en er dus een hogere benutting nodig is. De verhoging van N-efficiëntie bij gebruik van N-bijmestsystemen komt doordat de systemen situaties kunnen identificeren waarbij er minder bemest kan worden dan de N-bemestingsrichtlijn of gebruiksnorm. In deze situaties leiden N-bijmestsystemen tot een N-besparing, en dus tot het voorkomen van een onnodig overschot. Binnen de huidige regelgeving staat het de teler echter al vrij om de bespaarde N elders op het bedrijf in te zetten, en voor deze situaties is geen equivalente maatregel nodig.

N-bijmestsystemen blijken vooralsnog ongeschikt om hoogproductieve situaties te identificeren. Informatie hierover dient te worden ingevoerd in de huidige N-bijmestsystemen, zowel wat betreft opbrengstpotentieel van het perceel als de teelt- en groeiomstandigheden in het lopende jaar. Initiatieven hiervoor lopen, maar zijn nog niet bewezen effectief en daarom nog niet bruikbaar als equivalente maatregel.

1 Inleiding

Het gebruiksnormenstelsel, zoals verwoord in 5e Nederlandse Actieprogramma EU Nitraatrichtlijn, is in hoge mate gebaseerd op gemiddelde prestaties. Dat betekent dat op sommige bedrijven meer mest wordt toegediend dan ter plekke milieukundig verantwoord is maar op andere juist minder. Met name op zandgrond is de toegestane N-gift bij een aantal gewassen circa 20% lager dan het landbouwkundige advies. Het Actieprogramma biedt handreikingen om gebruiksnormen te verhogen op voorwaarde dat de milieukwaliteit niet verslechtert ('equivalente maatregelen'). In de meeste gevallen zal dit neerkomen op de inzet van maatregelen die de onttrekking vergroten en zo het bodemoverschot van N en P verlagen. Die verlaging van het bodemoverschot maakt het mogelijk meer meststoffen toe te dienen (hetzij in het desbetreffende gewas, hetzij elders in het bouwplan) met behoud van milieukwaliteit.

Het voorliggende onderzoek richt zich op N-bijmestsystemen voor aardappelen. N-bijmestsystemen gaan uit van deling van de N-gift met een basisbemesting voor poten en een bijbemesting gedurende het seizoen op basis van de N-toestand van de bodem of het gewas. Op deze wijze kunnen bijmestsystemen inspelen op lokale omstandigheden en rekening houden met de mate van N-levering vanuit de bodem en/of de hoeveelheid N-uitspoeling vroeg in het seizoen in een specifiek jaar op een specifiek perceel.

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. Dit betekent dat N-bijmestsystemen kunnen leiden tot een efficiëntere N-benutting¹ wanneer blijkt dat er minder gegeven hoeft te worden dan de gift volgens de N-bemestingsrichtlijn of volgens de N-gebruiksnorm, en daarnaast dat ze situaties kunnen identificeren waar de vraag naar N hoog is, en deze N-gift mogelijk gegeven kan worden zonder het N-overschot te verhogen.

Het doel van dit onderzoek is het evalueren van proeven met bijmestsystemen om vast te stellen wat het perspectief is van deze systemen om een verruiming van de hoeveelheid te geven N te rechtvaardigen.

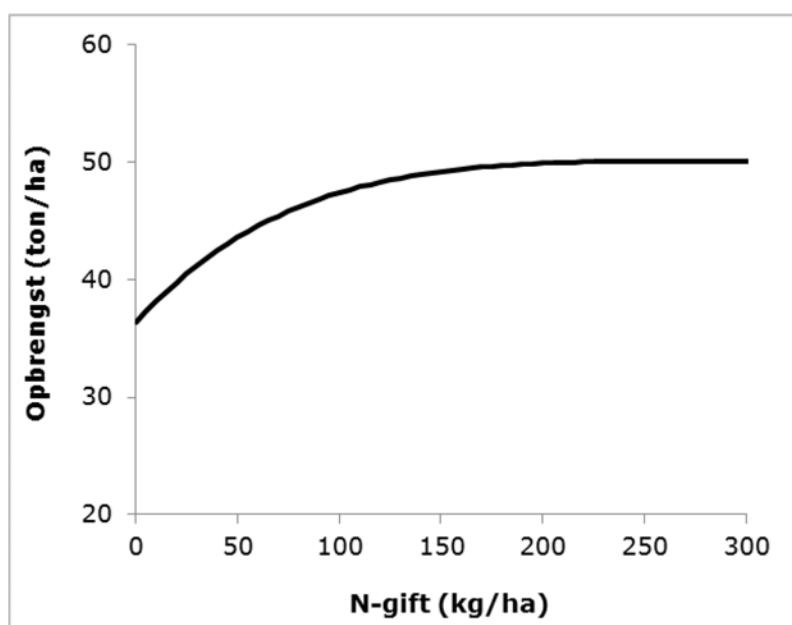
Het voorliggende rapport begint met een raamwerk waarin is beschreven hoe N-bijmestsystemen kunnen bijdragen aan verhoging van de N-benutting door in te spelen op aspecten zoals N-levering vanuit de bodem, N-uitspoeling in het voorjaar en groei van het gewas (hoofdstuk 2). Vervolgens worden resultaten van eerdere proeven geanalyseerd in het licht van dit raamwerk (hoofdstuk 3), gevolgd door een concluderende evaluatie rondom de bruikbaarheid van N-bijmestsystemen voor verhoging van de N-benuttingsefficiëntie en het creëren van meer N-gebruiksruimte (hoofdstuk 4).

¹ N-benutting wordt in dit rapport uitgedrukt als ANR (apparent nitrogen recovery): het percentage van de toegediende N dat wordt teruggevonden in het geoogste product. Dit wordt berekend als $(N\text{-opname bemest gewas} - N\text{-opname onbemest gewas})/N\text{-gift}$.

2 N-benutting van aardappel en mogelijke verbetering daarvan door gebruik van N-bijmestsystemen

2.1 Algemene respons van aardappel op N-bemesting

De respons van aardappel op toenemende N-bemesting voor een gemiddelde situatie is weergegeven in Figuur 1. Bij afwezigheid van N-bemesting is er toch een opbrengst vanwege opname van N uit de bodem afkomstig van N-mineraal die na de winter in de bodem aanwezig is, N-mineralisatie van bodemorganische stof en N-depositie. Bij toenemende N-gift neemt de opbrengst toe, maar deze toename is geleidelijk minder ('wet van de afnemende meeropbrengst') totdat er een maximale productie is bereikt en extra toediening van N geen extra productie meer geeft. Het bemestingsadvies is gebaseerd op deze responscurven, waarbij de adviesgift overeenkomt met de economisch optimale gift (zie verder). De N-opname neemt bij toenemende N-gift langer toe dan de versopbrengst doordat het N-gehalte in de knollen toeneemt. Dit is zichtbaar te maken door in een figuur ook de relatie tussen N-gift en N-opname en die tussen N-opname en knolopbrengst apart weer te geven (Figuur 2). Te zien is dat bij toenemende N-gift de N-opname vrij constant doorgaat totdat er een maximum bereikt is en er geen extra N meer opgenomen kan worden (kwadrant rechtsonder). Bij granen is dit verloop tussen N-gift en N-opname een rechte lijn totdat een maximale N-opname is bereikt (Van Keulen en Goudriaan, 1991). Voor aardappel is dit verband niet helemaal recht, en kan het worden beschreven met een kwadratische functie (Vos, 2009). In het kwadrant rechtsboven is aan de kromming van de figuur te zien dat de opbrengst niet recht evenredig toeneemt met toenemende N-opname. Hierbij varieert het N-gehalte in de knollen tussen ongeveer 2 kg/ton vers zonder N-bemesting tot 3.3 kg/ton bij ruime N-gift. Het verband tussen N-gift en opbrengst (kwadrant linksboven) is daardoor wat krommer dan het verband tussen N-gift en N-opname.

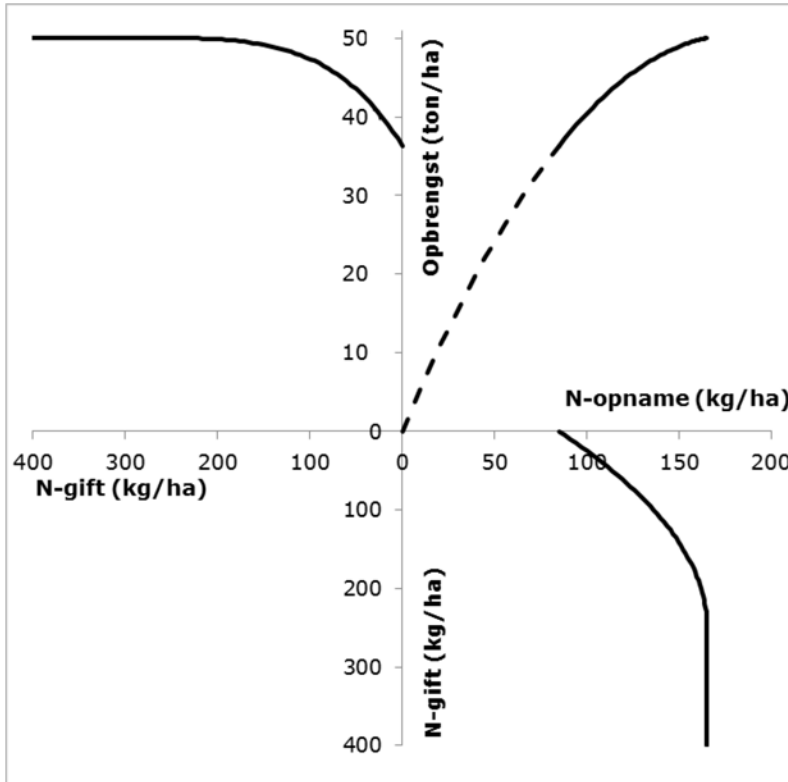


Figuur 1 Respons van aardappelopbrengst op toenemende N-gift.

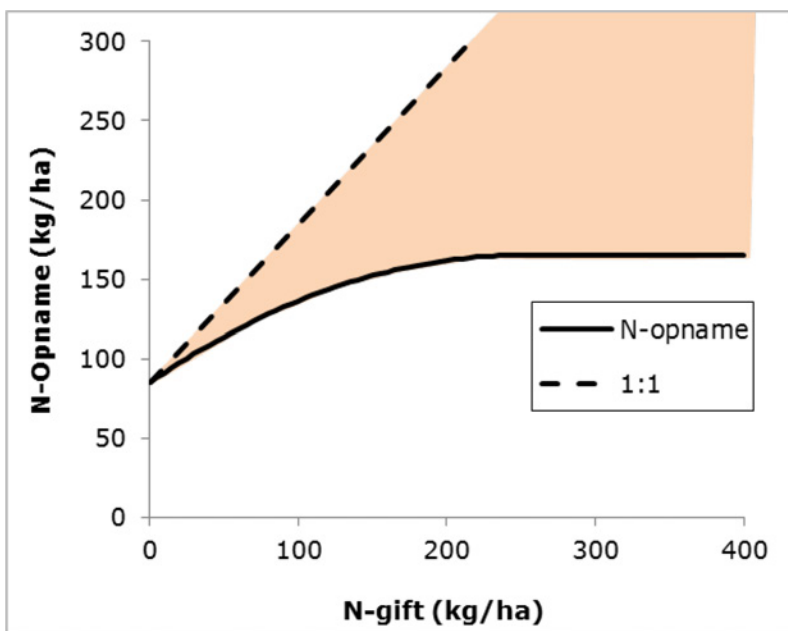
Uit de relatie tussen de N-gift en N-opname is de apparent nitrogen recovery (ANR) af te leiden: de benutting van de toegediende N, uitgedrukt als percentage van de toegediende N die wordt teruggevonden in het geoogste product en gecorrigeerd voor de opname in het onbemeste gewas. Figuur 3 bevat dezelfde lijn als die in het kwadrant rechtsonder van Figuur 2. De stippellijn geeft de

1:1 lijn weer waar de N-opname gelijk is aan de N-gift, en de ANR 100% is. Het oranje gearceerde deel in de figuur geeft aan wat er van de toegediende N niet wordt opgenomen. Door de kromming van de figuur neemt bij toenemende N-gift de ANR af, en de hoeveelheid niet-opgenomen N neemt toe (Tabel 1).

Figuur 3 geeft het verloop in een gemiddelde situatie weer. In hoofdstuk 2.3 wordt verkend wat er met het N-overschot gebeurt in verschillende situaties die afwijken van het gemiddelde, en wat er gebeurt als bijmestsystemen die afwijkende situatie precies kunnen inschatten.



Figuur 2 Het verband tussen N-gift en knolopbrengst (linksboven), tussen N-opname en knolopbrengst (rechtsboven) en tussen N-gift en N-opname (rechtsonder).



Figuur 3 Verband tussen N-gift en N-opname (doorgetrokken lijn). Het verschil met de stippellijn geeft het N-overschot weer: een toenemend overschot bij toenemende N-gift (oranje gearceerd).

Tabel 1 Relatie tussen N-gift, N-opname en ANR, en de hoeveelheid N die niet-benut wordt. Getal voorbeeld behorende bij Figuur 3.

N-gift (kg/ha)	N-opname (kg/ha)	ANR ¹	Niet benutte N uit N-gift (kg/ha)
0	85	-	-
150	152	0.45	83
200	162	0.38	123
250	165	0.32	170
300	165	0.27	220

¹ Berekend als (N-opname bemest gewas - N-opname onbemest gewas)/N-gift.

2.2 N-bijmestsystemen en deling van de N-gift

De in Hoofdstuk 2.1 getoonde figuren geven een gemiddelde situatie weer, maar de N-benuttings-efficiëntie, N-opname en het N-overschot variëren tussen jaren en locaties als gevolg van verschillen in weer en groeiomstandigheden. Om in te kunnen spelen op deze variaties zijn N-bijmestsystemen ontwikkeld (Van Geel *et al.*, 2011; Van Geel *et al.*, 2012). N-bijmestsystemen gaan uit van een basisgift plus één of meer eventuele bijbemestingen. De noodzaak en hoogte van de bijbemesting wordt bepaald via metingen aan gewas en/of bodem.

Bijmestsystemen zijn bedoeld om in te kunnen spelen op de lokale omstandigheden in een specifiek groeiseizoen, waarbij er zowel meer als minder N dan volgens het algemene bemestingsadvies gegeven kan worden. In onderzoek is de aandacht veelal gericht geweest op mogelijke besparingen op de N-gift. Van Evert *et al.* (2012) berekenden na 4-jarig onderzoek dat bijbemesting op basis van gewasreflectie een besparing op de mestgift gaf van 10 tot 109 (gemiddeld 56) kg N per ha. In 2-jarig vervolgonderzoek bedroeg de berekende besparing 8 tot 88 (gemiddeld 44) kg N per ha. In vrijwel alle gevallen werd deze besparing berekend ten opzichte van het N-bemestingsadvies op basis van N_{min}, welke als eenmalige gift bij poten werd toegediend. Dat betekent dat de besparing in beginsel het gecombineerde effect is van:

- de verdiensten van N-deling als zodanig, en
- de verdiensten van het beter afstemmen van de gift op een (gewas-)behoefte en/of bodemlevering. Met andere woorden, (een deel van) het effect zou mogelijk ook door alleen het besluit tot deling tot stand gebracht kunnen worden.

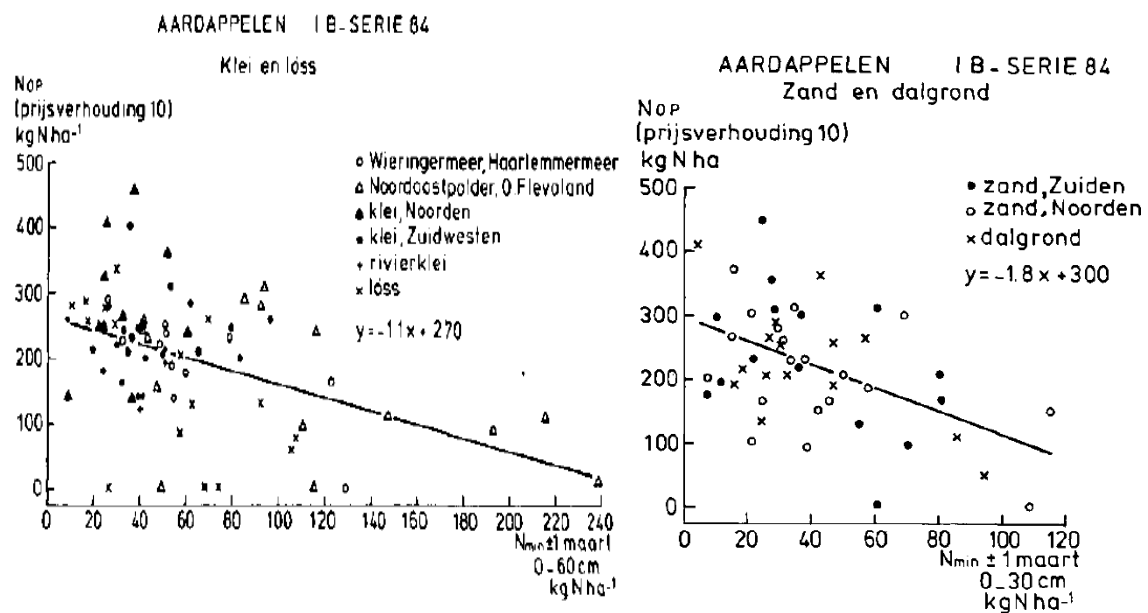
De situatie waarmee een N-bijmeststelsel wordt vergeleken heeft daarmee invloed op de uiteindelijke conclusies. De beschreven berekende besparingen door Van Evert *et al.* (2012) kunnen lager uitvallen wanneer vergeleken wordt met een standaard gedeelde gift in plaats van een eenmalige gift bij poten. Deling van de N-gift beperkt de minerale N-voorraad in de bodem en verkleint daarmee de N-uitspoeling in gevallen van overmatige neerslag vroeg in het seizoen. Vos (1999) concludeerde dat deling ten opzichte van een vaste gift een hogere knolopbrengst geeft wanneer N vroeg in het seizoen uitspoelt en bij de vaste gift niet meer wordt bijbemest. In andere situaties gaf deling vaak wel een verhoging van de N-opname, maar niet zozeer van de knolopbrengst waardoor het N-gehalte in de knollen dus steeg bij deling (Vos, 1999). Het effect van deling van de gift varieert tussen rassen: bij het ene ras heeft het een gunstig effect en bij het andere een ongunstig effect op de opbrengst (Van Geel *et al.*, 2011).

Een gedeelde gift wordt ook geadviseerd in de huidige Bemestingsadviesbasis via onderstaande toelichting (Van Dijk, 2003; Van Dijk & Van Geel, 2012):

"In verband met zoutschade wordt geadviseerd vóór het poten niet meer dan 150-200 kg N per ha te geven. Wanneer de adviesgift hoger is, kan het resterende deel circa één week na knolzetting worden gegeven."

In de praktijk zal bij een basisbemesting met dierlijke mest de bijbemesting met kunstmest vaak ook rond knolzetting worden gegeven.

Het bemestingsadvies is afgeleid uit een groot aantal proeven met N-bemestingstrappen waarbij de economisch optimale N-gift is afgeleid (Neeteson, 1984; Van Geel *et al.*, 2011). In deze proeven was alle N in één keer als kalkammonsalpeter gegeven (Neeteson, 1984). Later is in de Bemestingsadviesbasis het advies toegevoegd om grotere N-giften niet ineens te geven maar te delen. De proefresultaten van Neeteson (1984) laten een brede variatie zien rondom de gemiddelde regressielijn (Figuur 4). Deze variatie kan veroorzaakt worden door verschillen in N-uitspoeling vroeg in het seizoen, door verschillen in de mate van mineralisatie, door verschillen in opbrengend vermogen van percelen, of andere factoren die de gewasgroei en N-benutting beïnvloeden. Een ideaal N-bijmeststelsel geeft voor de verschillende groeiomstandigheden de juiste economisch optimale N-gift. Het volgende hoofdstuk geeft een theoretische verkenning van de effectiviteit van ideale N-bijmestsystemen (waarbij de economisch optimale N-gift precies wordt gerealiseerd) ten opzichte van een vastgestelde totale N-gift.



Figuur 4 Verband tussen de optimale N-gift en N_{min}-voorjaar in proeven op klei en löss (links) en zand en dalgrond (rechts) (Neeteson, 1984).

2.3 Theoretische verkenning: vergelijking van een ideaal N-bijmeststelsel met een vastgestelde totale N-gift onder verschillende scenario's

Hoofdstuk 2.1 beschrijft het verloop tussen N-gift en N-opname, N-opname en knolopbrengst, en N-gift en knolopbrengst voor aardappel in een gemiddelde situatie. Deze gemiddelde situatie wordt hier als referentie genomen, en is gebaseerd op een optimale N-gift² van 250 kg per ha, met een opbrengst van 50 ton per ha en een N-opname³ van 165 kg per ha. De N-opname zonder N-gift⁴ bedraagt 85 kg per ha.

In de praktijk is er echter zelden sprake van een gemiddelde situatie: de N-vraag van het gewas varieert als gevolg van variatie in opbrengstpotentieel van percelen, groeiomstandigheden tussen jaren, rasverschillen en verschillen in teeltdoel. Daarnaast varieert de N-beschikbaarheid door variatie in N-uitspoeling aan het begin van de teelt, variatie in mineralisatie vanuit organische stof als gevolg van verschillen in bodemeigenschappen, perceelshistorie en/of voorvruchten, mestgebruik en weersomstandigheden zoals temperatuur en neerslag. Met name mineralisatie is kwantitatief een belangrijke post, die echter lastig is te meten of voorspellen. De N-benutting kan variëren door verschillen in N-uitspoeling als gevolg van verschillen in neerslag en door verschillen in beworteling als gevolg van verschillen in bodemstructuur of bodemgezondheid (o.a. aaltjesdruk). Wanneer er meer N bemest wordt dan nodig is voor het behalen van de maximale opbrengst heeft dit een negatief effect op de N-benutting.

Ten opzichte van de referentie zijn verkenningen uitgevoerd in een vijftal scenario's door te variëren in mate van mineralisatie en N-levering vanuit de bodem, mate van N-benutting, en opbrengstpotentieel, uitgedrukt als N-opname in de knollen (Tabel 2).

Tabel 2 Scenario's ter verkenning van het effect van variatie op het stikstofoverschot bij toepassing van een ideaal N-bijmeststelsel ten opzichte van een vastgestelde N-gift.

Code	Variatie	Mogelijke oorzaak van variatie
A	N-levering vanuit de bodem	Mineralisatie als gevolg van perceelshistorie of weersomstandigheden
B	Benuttingsefficiëntie van toegediende N, samen met opbrengstniveau	Invloed van bodemeigenschappen op groei en N-benutting
C	Benuttingsefficiëntie van toegediende N – bij gelijkblijvend opbrengstniveau	Versil in N-uitspoeling in het voorjaar
D	Opbrengstpotentieel	Groeiomstandigheden vanwege bodemeigenschappen of het weer
E	N-levering vanuit de bodem en opbrengstpotentieel	Mineralisatie en bodemeigenschappen

² Optimale N-gift gebaseerd op de Bemestingsadviesbasis (Van Dijk, 2003; Van Dijk & Van Geel, 2012):
Consumptieaardappelen:

- Klei: $285 - 1.1 \cdot N_{\min}(0-60)$, geeft 250 kg/ha bij een N_{\min} van 32 kg/ha
- Zand: $300 - 1.8 \cdot N_{\min}(0-30)$, geeft 250 kg/ha bij een N_{\min} van 28 kg/ha

Zetmeelaardappelen:

- $275 - 1.8 \cdot N_{\min}(0-30)$, geeft 250 kg/ha bij een N_{\min} van 14 kg/ha

³ Opbrengst en N-opname bij optimale N-gift gebaseerd op Bijlage VI uit Schröder *et al.* (2004):

Regio	Opbrengst (kg/ha)	N-gehalte (g/kg vers)	N-opname (kg/ha)
NZK	44600	3.3	147
CZK	56800	3.3	187
ZWK	48600	3.3	160
ZON	50000	3.3	165
LOSS	50000	3.3	165

⁴ Bronnen voor N-opname zonder bemesting:

- Van Dijk *et al.* (2012) met gemiddelde waarden (min-max tussen haakjes) voor:
 - Zand: 96 kg/ha (51-196)
 - Löss: 72 kg/ha (53-109)
- Ten Berge *et al.* (2000) geven voor aardappel waarden tussen 90 en 154 kg/ha.

In deze verkenningen is de relatie tussen N-opname en N-gift vereenvoudigd tot een lineair verband gevolgd door een plafond. Ten opzichte van de referentie is telkens een variabele uit Tabel 2 verlaagd en verhoogd met 15% (zie Appendix 1). Het effect daarvan op de N-opname is weergegeven in Figuur 5. Vervolgens is bekeken wat het N-overschot is wanneer in alle drie de situaties een vaste totale gift van 250 kg/ha is toegediend, en vergeleken met de situatie waarbij een bijmeststelsel in staat is om exact de optimale gift te bepalen, in dit geval de knik in de figuur (een ideaal N-bijmeststelsel). In Figuur 6 is dit voor scenario D als voorbeeld uitgewerkt, waarbij is weergegeven hoe voor de verschillende varianten de N-gift, N-opname en het niet-benutte deel van de N-gift is bepaald. De referentie bestaat uit een N-gift van 250 kg/ha, met een N-opname van 165 kg/ha. Deze N-opname komt deels uit de bodem, 85 kg/ha, en deels uit de toegediende N, 80 kg/ha. Het verschil tussen de opname-curve en de gestippelde 1 op 1 lijn geeft weer welk deel van de toegediende N niet is opgenomen, 170 kg/ha.

Bij variant 1 (opbrengstpotentieel 15% lager dan referentie) ligt de optimale gift op 173 kg/ha, N-opname is 140 kg/ha (85 uit de bodem; 55 uit de N-gift), en de niet-benutte-N uit de N-gift bedraagt 117 kg/ha. Een vaste N-gift van 250 kg/ha geeft in variant 1 ook een N-opname van 140 kg/ha (85 uit de bodem; 55 uit de N-gift), waardoor de niet-benutte-N uit de N-gift 195 kg/ha bedraagt. Bij de optimale gift wordt 77 kg/ha minder gegeven dan bij de vaste gift van 250 kg/ha. Dit geeft een gelijke afname van de niet-benutte N: ook 77 kg/ha.

Bij variant 2 (opbrengstpotentieel 15% hoger dan referentie) ligt de optimale gift op 327 kg/ha, N-opname is 190 kg/ha (85 uit de bodem, 105 uit de N-gift), en de niet-benutte N uit de N-gift bedraagt 223 kg/ha. Ten opzichte van de vaste N-gift van 250 kg/ha wordt bij de optimale gift 77 kg/ha meer N gegeven, maar de N-opname is ook hoger dan bij de vaste gift: 190 kg/ha i.p.v. 165 kg/ha. Hierdoor neemt bij de optimale gift ten opzichte van de vaste gift de N-gift toe met 77 kg/ha, maar neemt de niet-benutte N uit de N-gift toe met 53 kg/ha.

In scenario D geeft gemiddeld over de drie situaties het gebruik van optimale N-bijmestsystemen in vergelijking met vaste giften op het niveau van de referentie een iets lagere hoeveelheid onbenutte N (85 vs. 93 kg/ha), en een iets hogere ANR (0.32 vs. 0.29). Dit komt doordat bij het goed identificeren van een lagere optimale gift de uitgespaarde N volledig bijdraagt aan een verlaging van de niet-benutte N. Bij het goed identificeren van een hogere optimale gift neemt de hoeveelheid niet-benutte N weliswaar toe, maar omdat de N-opname ook hoger is draagt de extra toegediende N slechts gedeeltelijk bij aan verhoging van de niet-benutte N.

Appendix 1 geeft voor alle scenario's resultaten van de berekeningen bij variatie rondom de referentie. Hierbij is het beeld veelal vergelijkbaar als bovenstaand voorbeeld voor scenario D. Gemiddeld over de varianten geeft dit een klein verschil tussen het hanteren van een vaste totale gift of het gebruik van een ideaal N-bijmeststelsel dat precies de optimale gift weet te bepalen (Tabel 3). Dit betekent dat wanneer N-bijmestsystemen de optimale gift kunnen identificeren, zowel lager als hoger, het N-overschot ten opzichte van vaste giften licht daalt.

Tabel 3 Gemiddelde N-gift, N-opname, niet-benutte N uit N-gift en ANR bij hantering van een vaste gift of een ideaal N-bijmeststelsel dat de optimale N-gift weet te identificeren. Verschil geeft de resultaten van de optimale gift t.o.v. de vaste gift weer (zie Appendix 1 voor details van de varianten).

Scenario	Bemesting	N-gift ¹ (kg/ha)	N-opname (kg/ha)	Niet-benutte N uit N-gift (kg/ha)	ANR (-)
A	Onbemest	0	85		
	Vaste gift	250	161	89	0.30
	Optimale gift ¹	250 (210-290)	165	85	0.32
	Vershil	0	4	-4	0.02
B	Onbemest	0	85		
	Vaste gift	250	165	85	0.32
	Optimale gift	250 (-)	165	85	0.32
	Vershil	0	0	0	0.00
C	Onbemest	0	85		
	Vaste gift	250	162	88	0.31
	Optimale gift	250 (213-288)	165	85	0.32
	Vershil	0	3	-3	0.02
D	Onbemest	0	85		
	Vaste gift	250	157	93	0.29
	Optimale gift	250 (173-327)	165	85	0.32
	Vershil	0	8	-8	0.03
E	Onbemest	0	85		
	Vaste gift	250	161	89	0.30
	Optimale gift	250 (213-288)	165	85	0.32
	Vershil	0	4	-4	0.02

¹ Tussen haakjes de range die bekeken is bij de optimale gift.

Bovenstaande analyse geldt voor de onderzochte situatie van evenredige variatie rondom het gemiddelde. Mocht in de praktijk de optimale bemesting gemiddeld lager zijn dan de referentie (bijvoorbeeld doordat de praktijk efficiëntere bemestingsmethoden gebruikt dan die waarop de referentie gebaseerd is) dan leiden ideale N-bijmestsystemen tot gemiddelde lagere overschotten. Wanneer de optimale bemesting gemiddeld hoger is dan de referentie (bijvoorbeeld door een hogere N-behoefte van nieuwe rassen) zal het omgekeerde snel het geval zijn, aangezien het gemiddelde voordeel van ideale N-bijmestsystemen boven vaste giften beperkt is. In dat geval leiden ideale N-bijmestsystemen tot gemiddeld hogere overschotten.

Wanneer als vaste totale gift een hoeveelheid lager dan 250 kg/ha wordt genomen, dan wordt het overschot ook lager. Bij verlaging tot suboptimale bemesting gaat het overschot *altijd* omlaag. Wanneer een vaste totale, suboptimale gift wordt vergeleken met systemen die precies de optimale gift weten te bepalen dan geeft gebruik van die systemen een hoger overschot. De meeste gebruiksnormen komen overeen met het N-bemestingsadvies en de hier beschreven referentie situatie. Uitzondering hierop zijn de aangescherpte normen voor zuidelijk zand en löss. Dit kan betekenen dat voor zuidelijk zand en löss ideale N-bijmestsystemen leiden tot verhoging van het N-overschot wanneer dergelijke systemen zouden toestaan om de gebruiksnorm te overschrijden als gewas- of bodemanalyses dat indiceren. Bij de scenario's uit Figuur 5 is de gemiddelde optimale gift 250 kg/ha. Ten opzichte van vaste giften van 208 kg/ha, de N-gebruiksnorm voor zuidelijk zand voor 2015-17, wordt bij optimale giften gemiddeld 42 kg N/ha meer toegediend, en is de hoeveelheid niet-benutte N uit de N-gift gemiddeld 28 kg/ha hoger.

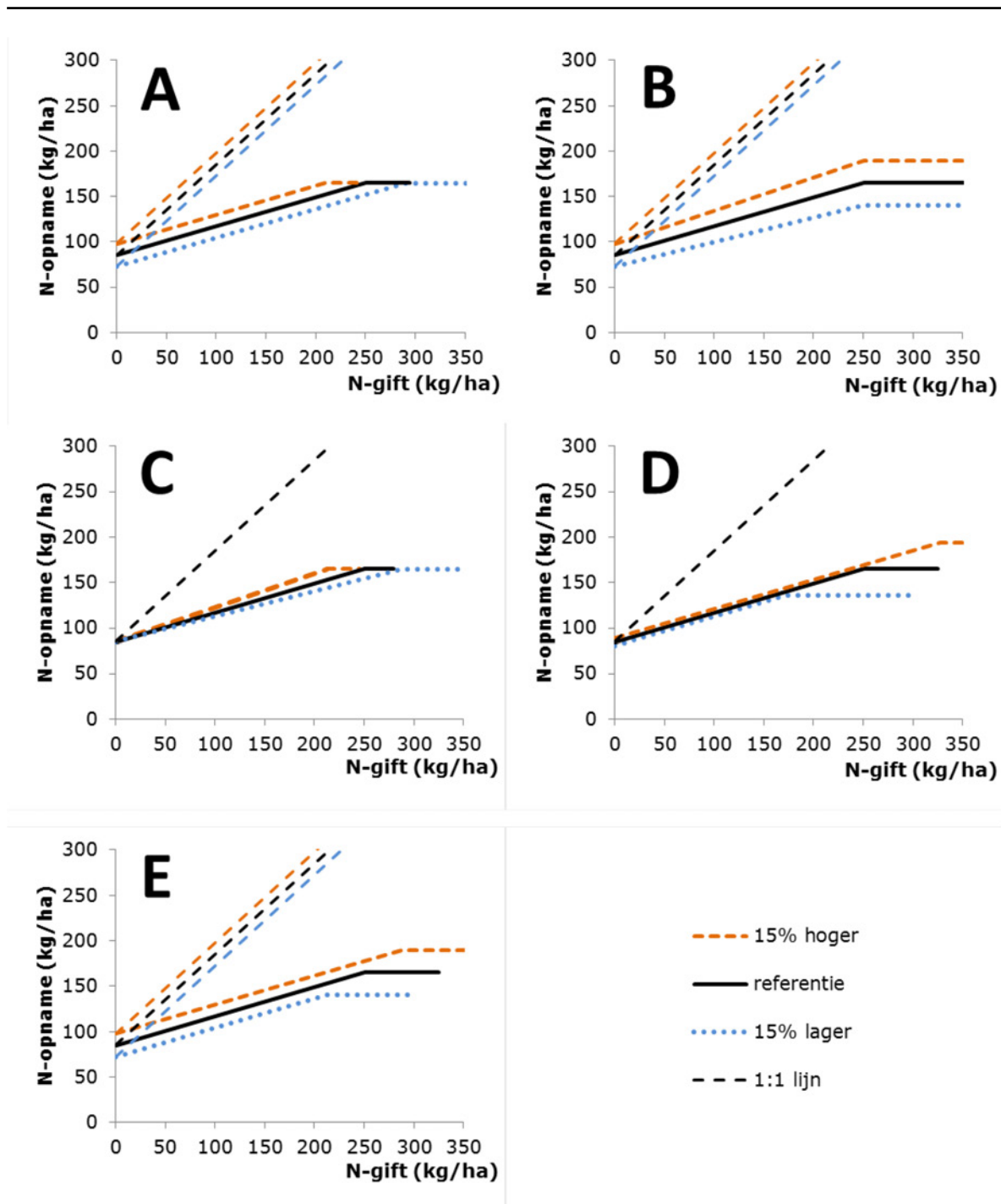
Een alternatieve werkwijze bij de aangescherpte gebruiksnormen voor zuidelijk zand en löss kan zijn om N-bijmestsystemen in te zetten om de N die beschikbaar is volgens de gebruiksnormen zodanig te verdelen over de percelen binnen een bedrijf dat opbrengstderiving zoveel mogelijk wordt beperkt.

Hierbij worden situaties geïdentificeerd waar N kan worden bespaard ten opzichte van de gebruiksnorm, en wordt (in hetzelfde teeltjaar) de uitgespaarde N verdeeld over percelen die meer N nodig hebben dan de gebruiksnorm. Wanneer de scenario's van Figuur 5 gezien worden als drie verschillende percelen, en als vaste gift de gebruiksnorm 2015-17 voor zuidelijk zand van 208 kg/ha wordt gehanteerd, dan blijkt alleen bij scenario D een andere verdeling van N zinvol. In dit scenario wordt door deze betere verdeling gemiddeld 4 kg/ha meer opgenomen dan bij de vaste giften van 208 kg/ha, en is de hoeveelheid niet-benutte N uit de N-gift 4 kg/ha lager. Gebruik van N-bijmestingsystemen om N beter te verdelen over percelen heeft alleen zin wanneer er situaties zijn waarbij de optimale gift lager is dan die welke volgens de gebruiksnorm mogelijk is.

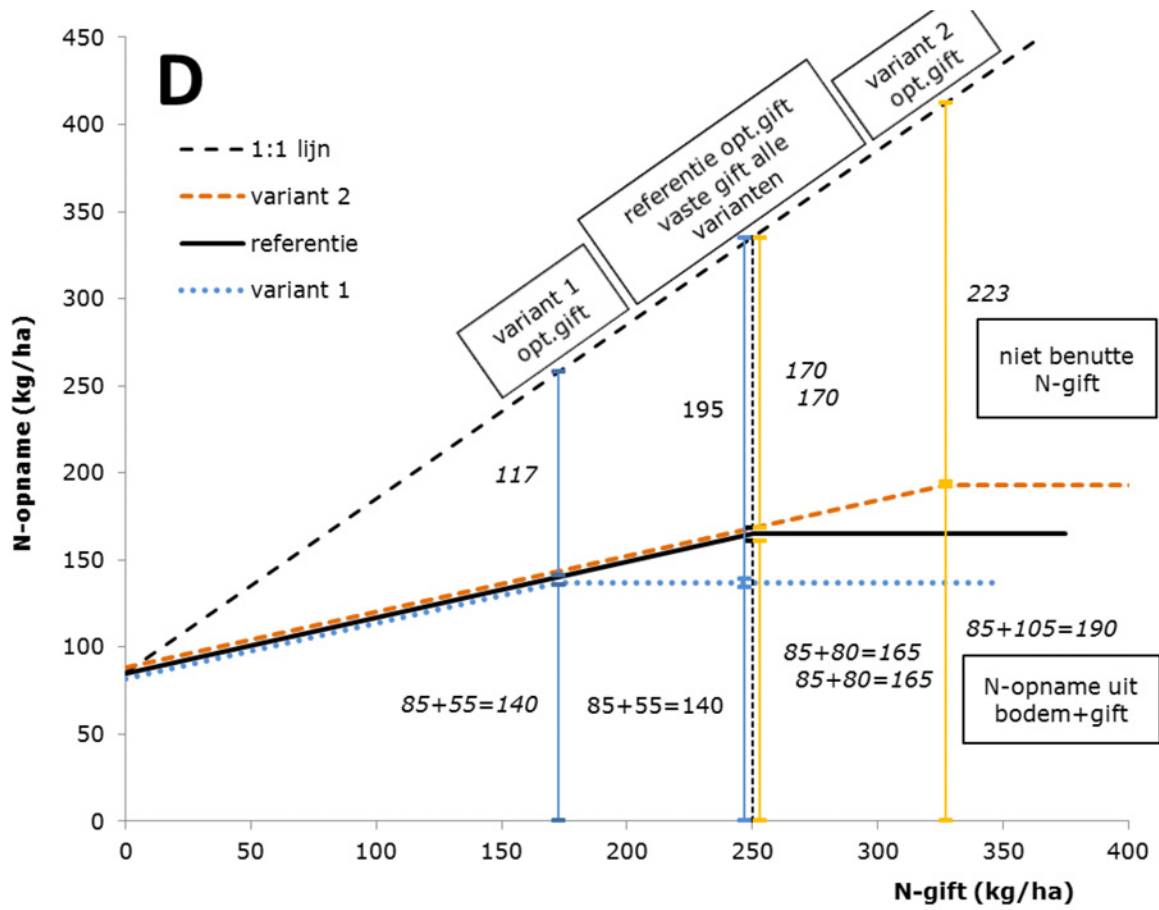
Bovenstaande verkenning is uitgevoerd onder de aanname dat het bemestingsadvies de gemiddelde situatie beschrijft, en dat variatie evenredig rondom dat bemestingsadvies is verdeeld. Het valt echter te verwachten dat de huidige praktijkbemesting iets efficiënter is dan de situatie waaruit de rekenregels van de Bemestingsadviesbasis zijn afgeleid omdat de N-gift tegenwoordig gedeeld wordt. Bij deling van de gift zou in jaren met uitspoeling vroeg in het seizoen de optimale gift iets lager zijn geweest, waardoor de regressievergelijking tot lagere gemiddelde adviezen komt. Dat betekent dat de thans geadviseerde N-giften, gebaseerd op onderzoek met een ongedeelde N-gift, mogelijk iets hoger zijn dan nodig bij de (thans gebruikelijke) gedeelde N-gift. Hoe groot dit effect kan zijn zou nader onderzocht moeten worden.

Conclusies van deze theoretische verkenning:

- N-bijmestingsystemen die exact de optimale gift bepalen:
 - geven gemiddeld een iets lager N-overschot in vergelijking met bemesting volgens een vaste totale N-gift, gebaseerd op het bemestingsadvies. Hierbij is ervan uitgegaan dat het bemestingsadvies de gemiddelde situatie beschrijft.
 - geven gemiddelde een hoger N-overschot in vergelijking met suboptimale bemesting. Dit kan een rol spelen bij de aangescherpte N-gebruiksnormen die thans gelden in zuid Nederland op zand en löss.
- Bij aangescherpte N-gebruiksnormen zouden N-bijmestingsystemen gebruikt kunnen worden om de beschikbare N beter te verdelen over de verschillende percelen van een bedrijf. Dit is echter alleen zinvol wanneer er situaties zijn waarbij de optimale gift lager is dan die welke volgens de gebruiksnorm mogelijk is, en uitgespaarde N aan andere percelen kan worden toegediend.
- Vanwege deling van de N-gift is de huidige praktijkbemesting gemiddeld genomen mogelijk efficiënter dan de bemesting waarop de adviezen zijn gebaseerd. De mate van dit effect zou onderzocht moeten worden, maar in dat geval kunnen ideale N-bijmestingsystemen gemiddeld tot een kleiner overschot komen dan bemesting volgens het bemestingsadvies.



Figuur 5 Relatie tussen N-opname en de N-gift bij variatie ten opzichte van de referentie in:
 A: mate van mineralisatie en N-levering uit de bodem
 B: benutting van toegediende N in combinatie met verschil in opbrengstpotentieel
 C: benutting van toegediende N, bij gelijk opbrengstniveau
 D: opbrengstpotentieel bij gelijke N-benutting
 E: levering van N uit de bodem in combinatie met verschil in opbrengstpotentieel
 Variatie in opbrengstpotentieel is uitgedrukt als variatie in N-opname.



Figuur 6 Detaillering van berekening voor scenario D van N-opname en niet-benutte N voor situaties waarbij de optimale gift bepaald wordt en voor vaste gift van 250 kg/ha op het niveau van de referentie.

3 Effectiviteit N-bijmestsystemen in proeven

In de afgelopen decennia zijn vele proeven gedaan rondom N-bijmestsystemen. Het voorliggend onderzoek maakt gebruik van bestaande kennis rondom N-bijmestsystemen en van de proefgegevens die in deze periode zijn verzameld. Voor gebruik van N-bijmestsystemen als equivalente maatregel is het belangrijk dat deze systemen in staat zijn de optimale gift voor de betreffende teelt in te schatten, en dat het N-overschot daarbij niet toeneemt ten opzichte van het N-overschot bij het landbouwkundig N-bemestingsadvies (referentie). Bij de beoordeling van proefgegevens wordt daarom gekeken naar de volgende aspecten:

- Wat is de (economisch) optimale N-gift in de proeven?
- Hoe verhoudt de economisch optimale N-gift zich tot het landbouwkundig bemestingsadvies (Van Dijk, 2003; Van Dijk & Van Geel, 2012)?
- Hoe verhoudt de economisch optimale N-gift zich tot de huidige N-gebruiksnorm (RVO, 2015)?
- Wat is de kwaliteit van de adviezen van de verschillende N-bijmestsystemen?
 - Wordt er inderdaad een lagere N-gift geadviseerd dan het landbouwkundig bemestingsadvies wanneer de economisch optimale N-gift ook lager is?
 - Is het advies inderdaad hoger in situaties waar de economisch optimale N-gift hoog is?
- Wat is het effect van N-bijmestsystemen op het N-overschot?

Postma *et al.* (2009) onderzochten in 2006, 2007 en 2008 het effect van NBS-bodem (bijmesting op basis van N_{min}-meting), naast het gebruik van speciale meststoffen, op opbrengst en N-gift. Zij concludeerden dat met bemesting volgens NBS een sterke reductie van de N-gift behaald kon worden, en dat de meerwaarde van 'nieuwe' meststoffen voor het realiseren van de optimale opbrengst bij een verlaagde N-gift beperkt was.

Van Geel *et al.* (2011) hebben een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd rondom N-benutting door aardappel waaronder de verschillende N-bijmestsystemen die in 2010 en voorafgaande jaren beschikbaar waren. In een vervolgstudie is gekeken naar mogelijke verbeteringen en vernieuwingen in de bijmestsystemen, welke later zijn getest in veldproeven in 2012 en 2013 (Van Geel *et al.*, 2012;2014).

Hoofdstuk 3.1 geeft een overzicht van de effectiviteit van N-bijmestsystemen tot en met 2010; hoofdstuk 3.2 beschrijft de resultaten van het recentere onderzoek naar verbeterde of vernieuwde bijmestsystemen.

3.1 Proeven t/m 2010

3.1.1 Zetmeel- en consumptieaardappel, 2006-08 (Postma *et al.*, 2009)

Bemesting volgens het bemestingsadvies is gedurende drie jaren vergeleken met bemesting volgens NBS-bodem in proeven met zetmeelaardappelen en consumptieaardappelen. De gift volgens het bemestingsadvies is hierbij in één keer toegediend voor het poten. In alle drie de jaren was bij bemesting volgens NBS de N-gift beduidend lager vergeleken met het bemestingsadvies: bij zetmeelaardappelen was de N-gift gemiddeld 55% van het bemestingsadvies, bij consumptieaardappelen gemiddeld 57% van het bemestingsadvies (Tabel 3). Bij zetmeelaardappelen was de opbrengst ook 8% lager, bij consumptieaardappelen 4% hoger. Het N-overschot was bij zetmeelaardappelen 66 kg/ha lager, bij consumptieaardappelen 78 kg/ha.

De proeven bevatten een reeks van vijf N-trappen, variërend van 0, 1/3, 2/3, 3/3 en 4/3 van het bemestingsadvies. Op basis van deze reeks kan een responscurve gemaakt worden, die voor consumptieaardappelen gebaseerd is op de knolopbrengst, en voor zetmeelaardappelen op het uitbetalingsgewicht wat wordt berekend uit de knolopbrengst en het zetmeelgehalte (Figuur 7). Wanneer de resultaten van NBS op deze lijn liggen, is er bij de betreffende N-gift geen verschil in

N-benutting tussen de NBS-bemestingsmethodiek en de methodiek zoals gebruikt bij de reeks. De resultaten van bemesting volgens NBS lagen veelal op of dicht bij de lijn van de N-trappenreeks (Figuur 7). Dit betekent dat de verhoogde N-benutting bij NBS vooral veroorzaakt is door een lagere bemesting, en dat er nauwelijks verschil was tussen deling van de gift (zoals bij NBS) en een eenmalige gift voor het poten (zoals bij de reeks). Deling van de gift maakt het wel mogelijk om de optimale gift beter te bepalen. In Figuur 7 is ook te zien dat de N-afvoer langer toeneemt bij toenemende N-gift dan de opbrengst.

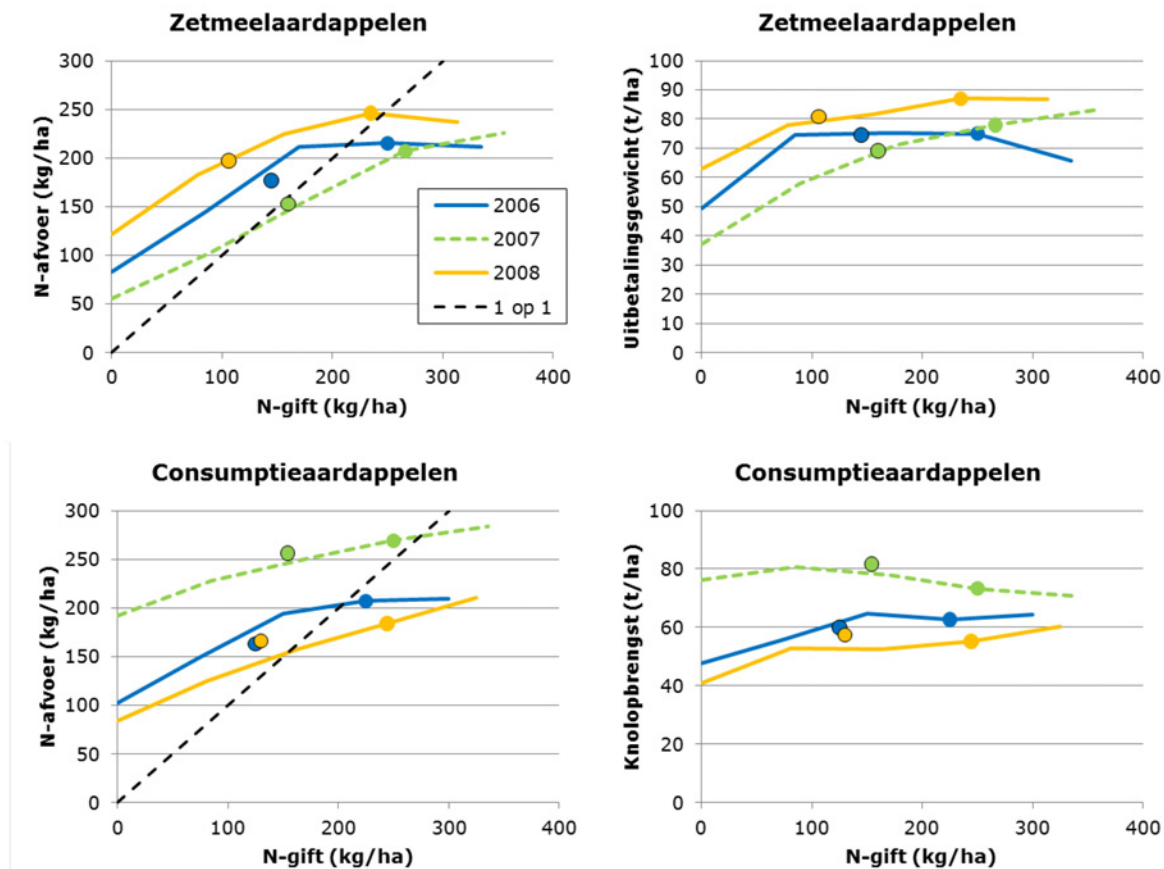
In Figuur 7-rechts is ook te zien dat de opbrengstrespons op toenemende N-gift zwak is, en dat via NBS veelal de ruimte tot verlaging van de gift zonder of met kleine opbrengstderving gerealiseerd kon worden. De lagere gift bij NBS ten opzichte van het bemestingsadvies maakt dat in de figuur met de relatie tussen N-afvoer en N-gift (Figuur 7-links) de punten opschuiven richting de 1 op 1 lijn met een overschot van nul, of zelfs boven de lijn met een negatief overschot.

Tabel 4 Resultaten van veldproeven met zetmeelaardappelen (Rolde) en consumptieaardappelen (Vredepeel) in 2006, 2007 en 2008 (Postma et al, 2009).

Proefjaar	Volgens Bemestingsadvies					Volgens NBS-bodem				
	N-gift (kg/ha)	Opbr. (t/ha)	UBG ¹ (t/ha)	N-ov. ² (kg/ha)	ANR	N-gift (kg/ha)	Opbr. (t/ha)	UBG ¹ (t/ha)	N-ov. ² (kg/ha)	ANR
<i>Zetmeelaardappelen (Seresta)</i>										
2006	250	54.3	75.0	35	0.53	145	50.8	74.6	-32	0.65
2007	266	51.8	77.9	59	0.57	160	46.1	69.1	7	0.61
2008	235	55.7	87.0	-11	0.53	106	51.4	80.8	-91	0.71
<i>Gemiddeld</i>	<i>250</i>	<i>53.9</i>	<i>80.0</i>	<i>28</i>	<i>0.54</i>	<i>137</i>	<i>49.4</i>	<i>74.8</i>	<i>-39</i>	<i>0.66</i>
<i>Consumptieaardappelen (Saturna)</i>										
2006	225	62.7		18	0.46	125	60.0		-38	0.48
2007	250	73.3		-19	0.31	154	81.7		-102	0.42
2008	244	55.3		60	0.41	130	57.4		-36	0.63
<i>Gemiddeld</i>	<i>240</i>	<i>64.0</i>		<i>20</i>	<i>0.39</i>	<i>136</i>	<i>66.0</i>		<i>-59</i>	<i>0.51</i>

¹ UBG: uitbetalingsgewicht;

² N-overschot, berekend als (N-gift minus N-opname knollen). N-afvoer is berekend op basis van werkelijk gemeten N-gehalten in de knollen.



Figuur 7 N-afvoer (links) en aardappelopbrengst (rechts) voor drie proefjaren met zetmeelaardappelen (boven) en consumptieaardappelen (onder). De lijnen zijn gebaseerd op vijf N-trappen (0, 1/3, 2/3, 3/3, 4/3) met 3/3 de bemesting volgens het bemestingsadvies en aangegeven in de figuren met een bolletje. Het zwart omcirkelde bolletje geeft resultaten van bemesting volgens NBS weer (naar: Postma et al., 2009).

3.1.2 Zetmeelaardappel 2002-03 (Van Geel et al., 2004)

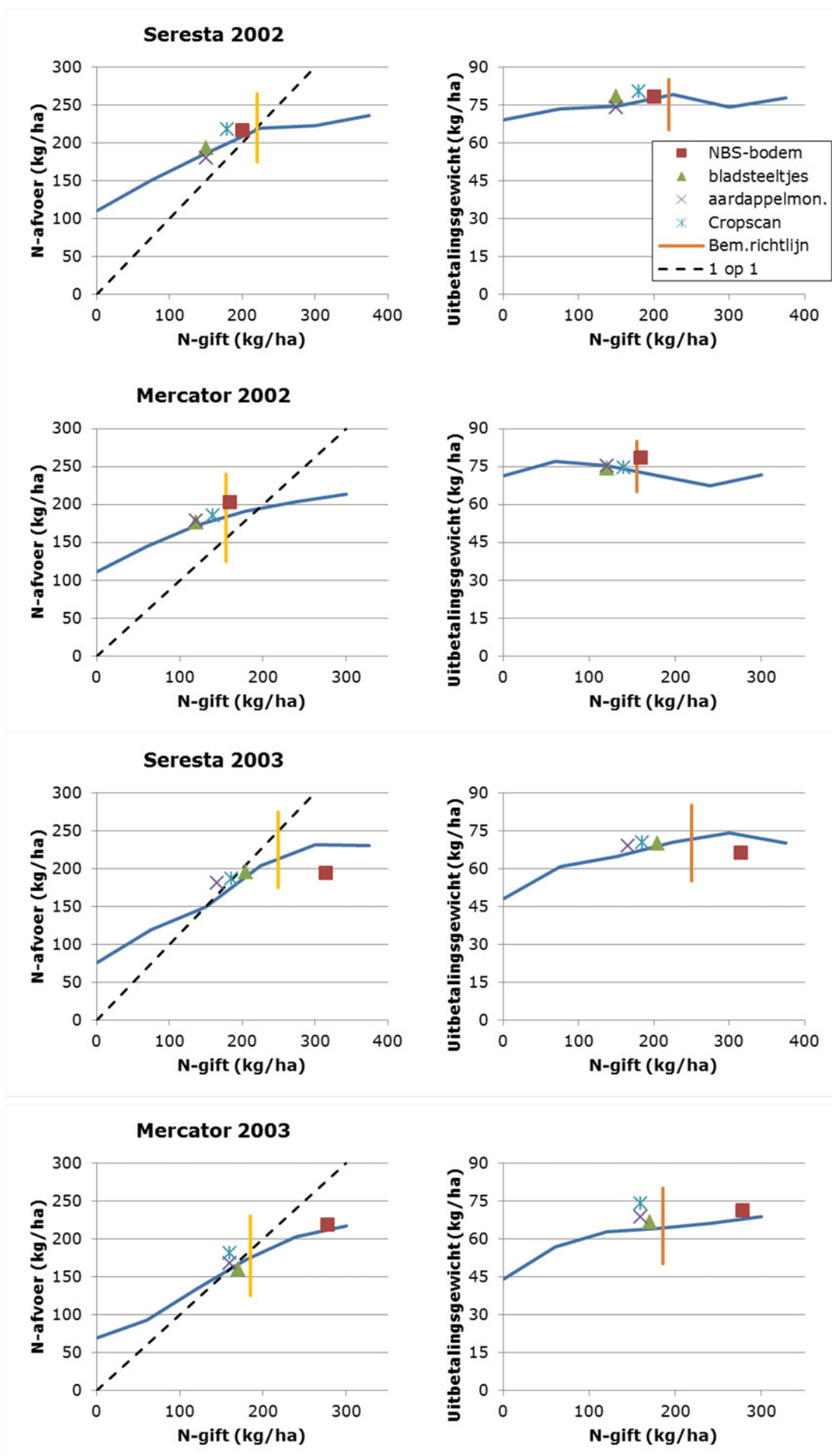
Verschillende N-bijmestssystemen zijn getest in twee proefjaren met zetmeelaardappelen (Van Geel et al., 2004). De systemen zijn vergeleken met een responscurve gebaseerd op vaste N-giften welke eenmalig voor poten zijn toegediend. De N-afvoer in de proeven is berekend vanuit de knolopbrengst en gemeten N-gehalten in de knollen. In 2002 was de respons van het uitbetalingsgewicht op de toenemende N-gift zwak (Figuur 8), en lag de optimale N-gift onder de N-gift die is bepaald op basis van de bemestingsrichtlijn. De bijmestssystemen gaven in dit jaar lagere giften aan dan de adviesgift, waardoor er N kon worden bespaard en het N-overschot lager lag dan bij bemesting volgens de richtlijn (Tabel 5). In 2003 lag de economisch optimale gift boven die van de bemestingsrichtlijn, maar waren bij het ras Mercator de N-bijmestssystemen wel in staat een gelijke opbrengst te halen als de bemestingsrichtlijn, met een lagere N-gift en een lager N-overschot. Bij Seresta bleef de opbrengst bij de bijmestssystemen wat achter bij die van bemesting volgens de bemestingsrichtlijn. Waarschijnlijk was de basisgift van 115 kg/ha voor Seresta te laag, en heeft dit ras hogere basisgiften nodig (Van Geel et al., 2011).

Het verschil tussen de bemesting van de objecten die zijn gebruikt voor de responscurve en de bijmestssystemen is het delen van de gift, en een verbeterde N-benutting is daardoor ook toe te schrijven aan deling van de N-gift.

Tabel 5 N-gift, opbrengst en N-overschot bij bemesting volgens bemestingsrichtlijn en verschillende bijmestsystemen in twee proefjaren met twee rassen (naar: Van Geel et al., 2004). Berekening van het N-overschot is gebaseerd op gemeten N-gehalten in de knollen.

	Jaar 2002		Jaar 2003		Gemiddeld	Verschil met advies
	Seresta	Mercator	Seresta	Mercator		
Advies (bemestingsrichtlijn)						
N-gift (kg/ha)	220	155	250	185	203	
UBG (t/ha)	78.7	73.0	71.7	64.2	71.9	
N-overschot (kg/ha)	155	157	149	114	144	
Bladsteeltjes						
N-gift (kg/ha)	150	120	205	170	161	-41
UBG (t/ha)	78.2	74.3	69.9	66.4	72.2	0.3
N-overschot (kg/ha)	67	55	86	79	72	-72
Aardappelmonitoring						
N-gift (kg/ha)	150	120	165	160	149	-54
UBG (t/ha)	73.8	75.3	69.0	68.6	71.7	-0.2
N-overschot (kg/ha)	80	52	60	62	64	-80
Cropscan						
N-gift (kg/ha)	180	140	185	160	166	-36
UBG (t/ha)	80.2	74.5	70.2	73.9	74.7	2.8
N-overschot (kg/ha)	73	66	75	48	66	-78
NBS-bodem						
N-gift (kg/ha)	200	160	315 ^a	278 ^a	238 ^a	36 ^a
UBG (t/ha)	78.2	78.4	66.1	71.1	73.5	1.6
N-overschot (kg/ha)	94	68	197	128	122	-22

^a Bijbemestingen in 2003 waren niet gemaximeerd.



Figuur 8 N-afvoer (links) en aardappelopbrengst (rechts) voor twee proefjaren met twee zetmeelaardappelrassen. De lijnen zijn gebaseerd op zes N-trappen (naar: Van Geel et al., 2004).

3.1.3 Overzicht proeven t/m 2010 (Van Geel *et al.*, 2011)

In hun literatuurstudie geven Van Geel *et al.* (2011) een overzicht van verschillende proeven met N-bijmestsystemen uit de jaren 2002 t/m 2010. Deze proeven uit 2010 zijn ook beschreven door Van Evert *et al.* (2011), en bevatten ook de proeven zoals beschreven in 3.1.2 en 3.1.3. Uit de eerdere hoofdstukken bleek dat N-bijmestsystemen in staat zijn de benodigde N-gift goed te identificeren wanneer deze lager ligt dan het bemestingsadvies. De lagere N-gift geeft daarmee ook een verlaging van het N-overschot en een betere N-benutting. Daarnaast kan een betere N-benutting bij N-bijmestsystemen gevonden worden wanneer N-bijmestsystemen worden vergeleken met een vaste gift welke voor het poten wordt toegediend. In situaties met N-verliezen vroeg in het seizoen zal de gedeelde N-gift bij bijmestsystemen een betere N-benutting geven.

Een goed N-bijmeststelsel geeft niet alleen aan wanneer de optimale N-gift lager ligt dan volgens de bemestingsrichtlijn, maar ook wanneer deze hoger is. Het overzicht van Van Geel *et al.* (2011) geeft een beeld in hoeverre N-bijmestsystemen in staat zijn de optimale N-gift te identificeren.

Tabel 6 geeft een overzicht van de verschillende proeven met N-bijmestsystemen zoals gerapporteerd in de literatuurstudie door Van Geel *et al.* (2011) en door Van Evert *et al.* (2011). Deze proeven bevatten naast de behandelingen met N-bijmestsystemen een reeks met verschillende N-trappen (giften in zijn geheel toegediend voor poten) waarmee een economisch optimale N-gift afgeleid kon worden. In Tabel 6 zijn de gebruiksnormen voor 2015-17 opgenomen, en vergeleken met de N-gift op basis van de N-bemestingsrichtlijn, met de N-giften zoals bepaald met de verschillende N-bijmestsystemen, en met de afgeleide economisch optimale N-gift. Met rode arcering zijn N-giften hoger dan de gebruiksnorm 2015-17 aangegeven, met groen wanneer de N-gift binnen de gebruiksnorm 2015-17 valt.

De N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn is in 4 van de 13 gevallen hoger dan de gebruiksnorm 2015-17. Dit is twee keer voor het zetmeelras Seresta dat een rasgerichte bemestingsrichtlijn voor zandgrond van 250 kg N/ha heeft (Veerman *et al.*, 2006), en waarbij geen korting op de N-gift vanwege nawerking uit eerder ingewerkte gewasresten aanwezig was. De twee andere gevallen betreffen proeven op Vredepeel waar de scherpe gebruiksnorm voor zuidelijke zandgrond geldt.

De afgeleide economisch optimale N-gift is in bijna de helft van de gevallen (6 van de 13) hoger dan de gebruiksnorm 2015-17. Dit geldt voor één van de twee eerdergenoemde proeven met Seresta en voor beide proeven op Vredepeel. Daarnaast werd er voor drie proeven op kleigrond (2x Agria, 1x Felsina) een economisch optimale N-gift afgeleid die hoger was dan de gebruiksnorm 2015-17.

De N-bijmestsystemen gaven alleen voor de proeven op Vredepeel een advies dat hoger was dan de gebruiksnorm 2015-17. Dit advies lag onder of rond de N-gift volgens de N-bemestingsrichtlijn. In alle andere gevallen was de totale N-gift zoals bepaald met de N-bijmestsystemen lager dan de gebruiksnorm 2015-17.

In Tabel 7 is de verdeling van de N-gift over basisbemesting en bijbemesting gegeven voor de verschillende N-bijmestsystemen in de verschillende proeven. Bekeken is in hoeverre de adviezen van de verschillende N-bijmestsystemen zich verhouden tot het afgeleide economische optimum. Voor de 7 gevallen waarin de afgeleide economisch optimale N-gift lager was dan de gebruiksnorm 2015-17 (groen gearceerd in de laatste kolom) gaven de N-bijmestsystemen 6x een te laag advies en 14x een goed of te hoog advies. 'Te hoog' was hoger dan nodig voor het afgeleid economisch optimum; deze adviezen waren in alle gevallen lager dan de gebruiksnorm, en meestal lager en soms vergelijkbaar met die van de N-bemestingsrichtlijn. In deze gevallen, waarbij de afgeleide economisch optimale N-gift lager is dan de gebruiksnorm 2015-17, kan het gebruik van N-bijmestsystemen inderdaad leiden tot besparing op de N-gift. Deze N kan in andere gewassen in het bouwplan gebruikt worden, en niet voor aardappel omdat deze het in de betreffende situatie niet nodig heeft.

Voor de 6 gevallen waarin de afgeleide economisch optimale N-gift hoger was dan de gebruiksnorm 2015-17 (rood gearceerd in de rechter kolom) gaven de N-bijmestsystemen geen verhoogd advies. De N-bijmestsystemen konden dus de hoge economisch optimale N-gift niet signaleren. Voor Vredepeel op zand geldt de aangescherpte gebruiksnorm 2015-17 en was in beide jaren de gift volgens de N-bemestingsrichtlijn hoger dan de gebruiksnorm (en overeenkomend met de afgeleide economisch

optimale N-gift). Het advies volgens Cropscan was in beide jaren hoger dan de gebruiksnorm 2015-17, maar lager dan die volgens de N-bemestingsrichtlijn.

Samengevat concluderen Van Geel *et al.* (2011):

“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.”

Daarnaast kan geconcludeerd worden dat adviezen volgens de N-bijmestsystemen binnen de gebruiksnorm blijven, behalve bij de aangescherpte gebruiksnorm op zand. Voor situaties waarbij de adviezen binnen de gebruiksnorm blijven is er geen perspectief voor N-bijmestsystemen als equivalente maatregel: de N-bijmestsystemen geven dan aan dat er niet meer N nodig dan volgens de gebruiksnorm.

Tabel 6 Overzicht van verschillende proeven met bijmestsystemen, ter vergelijking van adviseerde N-giften (kg N per ha) met de afgeleide economisch optimale N-gift en met de gebruiksnorm 2015-17 (naar Van Geel et al. (2011) en Van Evert et al. (2011)). Rood betekent een N-gift hoger dan de gebruiksnorm, groen een N-gift lager dan de gebruiksnorm. De geadviseerde giften bij NBS-bodem en Cropscaan-2009/2010 zijn niet daadwerkelijk gestrooid, waardoor evaluatie van het effect op het N-overschot niet mogelijk is.

Proeflocatie en jaar	Grondsoort	Teelt-doel	Ras	Gebruiksnorm 2015-17	N-bemestingsrichtlijn ^a	Totale gift Bladsteeltjes	Aardappelmonitoring	Cropscaan	NBS-bodem	Afgeleide optimale N-gift
Colijnsplaat, 2002	klei	consumptie	Agria	225	181	110	150	80	120	100
Colijnsplaat, 2002	klei	consumptie	Felsina	275	266	131	131	131	156	175
Colijnsplaat, 2003	klei	consumptie	Agria	225	169	102	142	162	157	> 254
Colijnsplaat, 2003	klei	consumptie	Felsina	275	234	171	191	176	141	> 352
Rolde, 2002	zand	zetmeel	Seresta	230	220	150	150	180	200	180
Rolde, 2002	zand	zetmeel	Mercator	230	155	120	120	140	160	60
Rolde, 2003	zand	zetmeel	Seresta	230	250	205	165	185	200	262
Rolde, 2003	zand	zetmeel	Mercator	230	185	170	160	160 ^c	180	- b
Vredepeel, 2009	zand	consumptie	Fontane	208	248	-	-	195 ^d	-	245
Vredepeel, 2010	zand	consumptie	Fontane	208	268	-	- ^h	235 ^d	-	> 250
Valthermond, 2010	dalgrond	zetmeel	Seresta	230	205	-	125	210 ^e	-	170
Rolde, 2010	zand	zetmeel	Seresta	230	250	-	180	- ^f	-	60
Lelystad, 2010	klei	consumptie	Agria	225	200	-	150	213 ^g	-	> 250
Colijnsplaat, 2010	klei	consumptie	Victoria	275	250	-	190	- ^f	-	170

^a Inclusief rascorrectie en eventuele korting voor N-nawerking uit gewasresten of groenbemester volgens de vuilstregels van de Adviesbasis bemesting.

^b Geen afleiding van een optimale N-gift mogelijk.

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

^d Bij een basisgift van 150 kg N per ha.

^e 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).

^f Geen advies mogelijk door onvoldoende grondbedekking.

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

^h Er was geen bijmestobject op basis van monitoring in de proef opgenomen, maar monitoring gaf vanaf de eerste meting wel de noodzaak voor bijbemesting aan.

Tabel 7 Overzicht van verschillende proeven met bijbemestingsystemen, ter vergelijking van adviseerde N-giften (kg N per ha) met de afgeleide economisch optimale N-gift en met de gebruiksnorm 2015-17 (naar Van Geel et al. (2011) en Van Evert et al. (2011)). Rood betekent een N-gift hoger dan de gebruiksnorm, groen een N-gift lager dan de gebruiksnorm. Bij de bijbemesting betekent blauw een meer dan 30 kg N/ha te laag advies, oranje een meer dan 30 kg N/ha te hoog advies, en lichtgroen een correct advies: max 30 kg afwijkend van de afgeleide economisch optimale gift.

Proeflocatie en Jaar	Grond-soort	Teelt-doel	Ras	Gebruiks-norm 2015-17	N-bemesting-richtlijn ^a	Basisgift	Bijbemesting Blad-steeltjes	Aardappel-monitoring	Cropscan	NBS-bodem	Afgeleide optimale N-gift
Colijnsplaat, 2002	klei	consumptie	Agria	225	181	80	30	70	0	40	100
Colijnsplaat, 2002	klei	consumptie	Felsina	275	266	131	0	0	0	25	175
Colijnsplaat, 2003	klei	consumptie	Agria	225	169	102	0	40	60	55	>254
Colijnsplaat, 2003	klei	consumptie	Felsina	275	234	141	30	50	35	0	>352
Rolde, 2002	zand	zetmeel	Seresta	230	220	150	0	0	30	50	180
Rolde, 2002	zand	zetmeel	Mercator	230	155	120	0	0	20	40	60
Rolde, 2003	zand	zetmeel	Seresta	230	250	115	90	50	70	85	262
Rolde, 2003	zand	zetmeel	Mercator	230	185	90	80	70	70 ^c	90	- ^b
Vredepeel, 2009	zand	consumptie	Fontane	208	248	150	-	-	45 ^d	-	245
Vredepeel, 2010	zand	consumptie	Fontane	208	268	150	-	- ^h	85 ^d	-	>250
Valthermond, 2010	dalgrond	zetmeel	Seresta	230	205	125	-	0	85 ^e	-	170
Rolde, 2010	zand	zetmeel	Seresta	230	250	150	-	30	- ^f	-	60
Lelystad, 2010	klei	consumptie	Agria	225	200	150	-	0	63 ^g	-	>250
Colijnsplaat, 2010	klei	consumptie	Victoria	275	250	150	-	40	- ^f	-	170

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

^b Geen afleiding van een optimale N-gift mogelijk.

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

^d Bij een basisgift van 150 kg N per ha.

^e 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).

^f Geen advies mogelijk door onvoldoende grondbedekking.

^g Er kon pas eind juli een bijbemestingsadvies worden gegenereerd, na een basisgift van 150 kg N per ha.

^h Er was geen bijbemestingsobject op basis van monitoring in de proef opgenomen, maar monitoring gaf vanaf de eerste meting wel de noodzaak voor bijbemesting aan.

Tabel 8 Overzicht van proeven met bijmestingsystemen (naar: Van Geel et al., 2014). Alle waarden zijn in kg N per ha. Proeven zijn uitgevoerd met het ras Fontane, bestemd voor verwerking tot frites. **Rood** betekent een N-gift hoger dan de gebruiksnorm, **groen** een N-gift lager dan de gebruiksnorm. Bij de bijbemesting betekent **blauw** een meer dan 30 kg N/ha te laag advies, **oranje** een meer dan 30 kg N/ha te hoog advies, en **lichtgroen** een correct advies: max 30 kg afwijkend van de afgeleide economisch optimale gift. Alle bijmestingsystemen kwamen tot een lagere totale gift dan volgens de N-bemestingsrichtlijn; adviezen die in totaal minder dan 30 kg N/ha afwijken van de N-bemestingsrichtlijn zijn onderstreept.

Proeflocatie en -jaar ^a	Grondsoort	Gebruiksnorm 2015-17	N-bemestingsrichtlijn	Basisgift	Aardappel monitoring classic	Aardappel monitoring online	NBS sensing vanaf gewassluiting	Bemestingsnavigators	NBS sensing +N-balans	NBS sensing meermalig	Afgeleide Optimale N-gift
VP, 2012	zand	208	266	145	70	70	90	<u>120</u>	<u>120</u>	-	>350
VP, 2013	zand	208	287	150	40	-	53	40	41	28	235
HB, 2012	löss	204	232	150	0	0	0	20	0	-	>300
HB, 2013	löss	204	216	150	0	-	<u>59</u>	25	<u>54</u>	<u>63</u>	>300

^a VP=Vredepeel; HB=Huisberg

3.2 Vervolgonderzoek 2012-13

Omdat de N-bijmestsystemen niet in staat bleken hoge optimale N-giften aan te geven, is in vervolgonderzoek gekeken naar verfijningen van de bijmestsystemen (Van Geel *et al.*, 2012).

Belangrijk onderdeel voor het voorliggende onderzoek is het opnemen van de opbrengstpotentie van het perceel in bijmestsystemen op basis van gewassensing. Er zijn hierbij drie systemen beproefd:

- bij NBS-sensing-vanaf-gewassluiting wordt een opbrengstafhankelijke streefwaarde gehanteerd: één getal voor de N-inhoud bij gewassluiting;
- bij NBS-sensing-meermalig wordt een opbrengstafhankelijke streefopnamecurve gebruikt, waarbij het verloop van de curve afhangt van pootdatum en temperatuurverloop;
- bij NBS-sensing+N-balans wordt deze curve ook gebruikt, en wordt ook N_{min} en te verwachten mineralisatie meegenomen in de berekening van de hoeveelheid te geven N.

De opbrengstverwachting wordt gebaseerd op in het verleden behaalde opbrengsten op het perceel, en kan worden bijgesteld op basis van het lopende groeiseizoen en de gewasontwikkeling in het voorjaar. Voor details van de verschillende methoden wordt verwezen naar Van Geel *et al.* (2012).

Het meenemen van de opbrengstverwachting in de N-bijmestsystemen is getest in 2012 en 2013 op twee proeflocaties: Vredepeel-zandgrond en Hulsberg-löss (Van Geel *et al.*, 2014). Voor beide locaties waren in 2012 de gehanteerde streefopbrengsten lager dan de uiteindelijk hoogst behaalde opbrengst; in 2013 was uitgegaan van hogere streefopbrengsten en waren de uiteindelijk hoogst behaalde opbrengsten lager (Tabel 9).

Tabel 9 Gebruikte streefopbrengsten en uiteindelijk behaalde hoogste opbrengsten in testen van nieuwe bijmestsystemen (data uit: Van Geel *et al.*, 2014).

Proeflocatie en -jaar	Grondsoort	Gehanteerde streefopbrengst (t/ha)	Hoogste opbrengst in proef (t/ha)
Vredepeel, 2012	Zand	62.5 ^a	72.0
Vredepeel, 2013	Zand	70.0	64.0
Hulsberg, 2012	Löss	62.5	65.5
Hulsberg, 2013	Löss	67.5	60.0

^a Bijgesteld van 67.5 t/ha op basis van matige groei in het voorjaar.

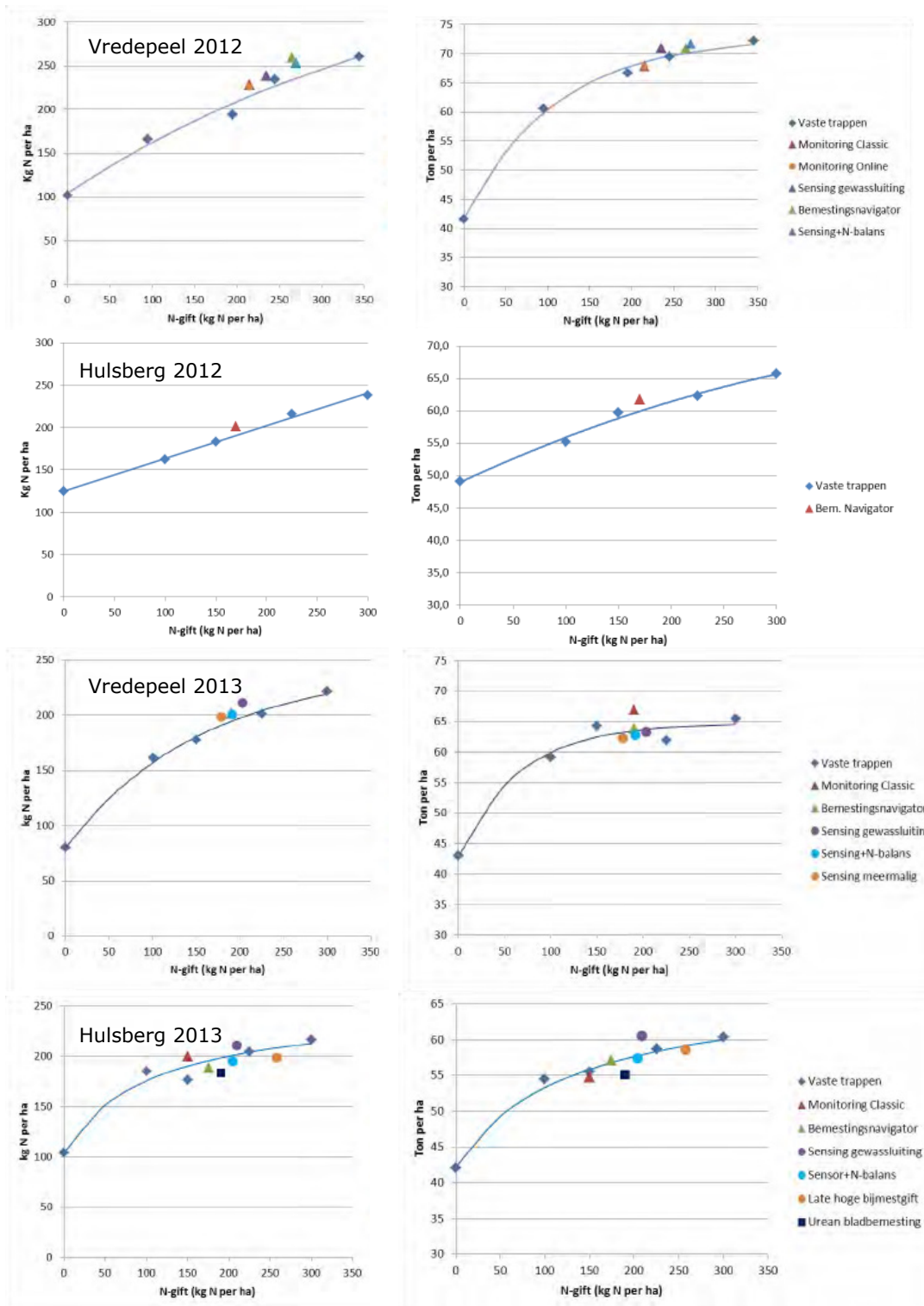
De resultaten van de N-bijmestsystemen zijn samengevat in een vergelijkbare overzichtstabel als de eerdere proeven (Tabel 8). In alle vier de gevallen was de afgeleide economisch optimale N-gift hoger dan de gebruiksnorm 2015-17, en in drie van de vier gevallen was de afgeleide economisch optimale N-gift ook hoger dan de gift volgens de N-bemestingsrichtlijn.

Op Vredepeel-zand waren er tussen beide proefjaren duidelijke verschillen in uitspoeling in het vroege voorjaar. In 2012 viel er veel neerslag, en gaven de bijmestsystemen ook een hoger advies dan in 2013 waarin N-verlies door uitspoeling niet van betekenis was. Ondanks de hogere aangehouden streefopbrengst werd er in 2013 via de bijmestsystemen N bespaard ten opzichte van de bemestingsrichtlijn, en in vrijwel alle gevallen ook iets ten opzichte van de gebruiksnorm 2015-17. De giften volgens de N-bijmestsystemen waren in 2013 weliswaar lager dan de afgeleide economisch optimale N-gift, maar de opbrengstrespons op stikstof was vrij beperkt (Figuur 9) zodat gesteld kan worden dat de bijmestsystemen effectief waren.

De proeven op löss in Hulsberg gaven onverwachte resultaten. In beide jaren waren er in juni en juli geen duidelijke verschillen in loofontwikkeling en -kleur tussen verschillende bemestingen. Metingen volgens de verschillende N-bijmestsystemen gaven in 2012 aan dat er geen bijbemesting nodig was, en in 2013 werd er een beperkte bijbemesting geadviseerd. Aan het eind van het seizoen ontstonden er echter duidelijke verschillen tussen de verschillende N-trappen en bleef het loof bij de hogere N-gift langer groen waardoor de productie langer doorging. Hierdoor werd in beide jaren een economisch optimale N-gift afgeleid van meer dan 300 kg/ha, iets wat niet kon worden voorzien op basis van waarnemingen in juni en juli.

Het is onduidelijk wat een rol heeft gespeeld in de afwijkende groeiomstandigheden en afwijkende N-dynamiek in Hulsberg. In beide jaren was de voorvrucht wintertarwe + gele mosterd, en was de groenbemester flink ontwikkeld. Deze is in beide jaren in februari doodgevroren, en eind maart/begin april ingewerkt. Het is onduidelijk of het inwerken van de groenbemester een rol speelde in de afwijkende N-dynamiek in de bodem. Wel is duidelijk dat de N-bijmestssystemen deze dynamiek niet mee konden nemen.

De bijmestssystemen werden in deze proeven vergeleken met een responscurve waarbij de hogere N-trappen ook als gedeelde gift gegeven werden. Een betere N-benutting bij bijmestssystemen kan veroorzaakt worden door eenvoudigweg delen van de gift, en dit effect werd hierdoor grotendeels uitgesloten. Betere timing van giften bij bijmestssystemen kan nog steeds een rol spelen, maar deze was beperkt aangezien er geen duidelijke verschillen waren tussen de N-benutting bij de bijmestssystemen en die bij de responscurve (Figuur 9-links). Daardoor kon in dit onderzoek goed bekeken worden of bijmestssystemen de benodigde hoogte van de N-gift goed kunnen inschatten. Geconcludeerd kan worden dat de N-bijmestssystemen op Vredepeel-zand konden inspelen op verschillen in N-uitspoeling in het voorjaar en de hoogte van de bijbemesting daarop aanpassen (zie voor meer detail Van Geel *et al.*, 2014). Het gebruik van een streefopbrengst voor bepaling van de opbrengstafhankelijke streefwaarde bij gewassluiting of de opbrengstafhankelijke streefopnamecurve is echter nog onvoldoende uitgekristalliseerd en vraagt verder onderzoek. Te hoge waarden voor de streefopbrengst kunnen resulteren in te hoge mestgiften en achteruitgang van de milieukwaliteit. Te lage waarden kunnen resulteren in onderbemesting wat ten koste kan gaan van opbrengst. Bijstellen van de streefopbrengst op basis van de gewasgroei in het voorjaar lijkt een goede strategie; in Vredepeel 2012 bleek dit echter niet eenvoudig. Onderzoek naar bepaling van het opbrengstpotentieel in afhankelijkheid van teeltgegevens, actuele gewasgroei, weersgegevens en perceelseigenschappen loopt momenteel binnen het programma Precisielandbouw 2.0. Hierbij wordt gekeken naar verbetering van de bemestingsadviezen door gebruik te maken van real-time data in combinatie met historische gegevens en een gewasgroeimodel (PL2.0, 2016; Van Evert *et al.*, 2016). De mogelijkheid om op deze wijze hoog productieve situaties met hoge N-efficiëntie te identificeren moet zich echter nog bewijzen.



Figuur 9 N-afvoer (links) en aardappelopbrengst (rechts) voor twee proefjaren met consumptie-aardappelen op twee locaties. De lijnen zijn gebaseerd op vijf N-trappen, waarbij de bovenste twee trappen als gedeelde gift gegeven zijn (uit: Van Geel et al., 2014).

4 Evaluatie bruikbaarheid N-bijmestsystemen en conclusies

De mogelijkheden van gebruik van N-bijmestsystemen voor verhoging van de N-benuttingsefficiëntie en het creëren van meer N-gebruiksruimte wordt in onderstaande geëvalueerd aan de hand van een aantal vragen.

- Verhoogt het gebruik van N-bijmestsystemen de N-efficiëntie?
 - Ja, wanneer er minder N gegeven wordt dan op basis van N-bemestingsrichtlijn of gebruiksnorm gegeven wordt. Of er minder gegeven kan worden is afhankelijk van perceel en seizoen.
 - Ja, wanneer een bijmeststelsysteem wordt vergeleken met een eenmalige gift voor het poten (bij gelijke totale N-gift). In proeven wordt deze efficiëntieverhoging echter niet altijd gevonden.
 - Nee, wanneer op basis van N-bijmestsystemen meer wordt bemest dan mogelijk is op basis van de gebruiksnorm, dan daalt de N-efficiëntie. De relatie tussen N-gift en N-efficiëntie is een kromlijng verband, waarbij de N-efficiëntie afneemt met toenemende N-gift (zie Figuur 2 en Figuur 3, en de responscurven in de proeven).
 - Het effect van N-bijmestsystemen op de N-efficiëntie hangt dus erg af van de omstandigheden, en met welke bemesting de systemen vergeleken worden. Een lagere N-bemesting dan een standaardadvies of de gebruiksnorm zal vooral geadviseerd worden in jaren met weinig N-uitspoeling in het voorjaar. Een nat voorjaar zal eerder tot hoge adviezen leiden.
- Waardoor wordt de N-efficiëntie verhoogd?
 - Doordat de N-behoefte van het gewas gemeten wordt, wordt er niet meer N gegeven dan nodig is. Als dit resulteert in een lagere N-gift dan wanneer er bemest zou worden volgens de N-bemestingsrichtlijn of de gebruiksnorm, dan geeft gebruik van het N-bijmeststelsysteem een verhoging van de N-efficiëntie.
 - Deling van de N-gift verhoogt veelal de N-efficiëntie. Echter, ook zonder N-bijmeststelsysteem is deling van de gift goede landbouwpraktijk. De meerwaarde van N-bijmestsystemen ligt dus in het niet meer N geven dan nodig is.
- Wat kan er gedaan worden met de bespaarde N?
 - Deze kan in het lopende seizoen niet aan de aardappel gegeven worden waar het N-bijmeststelsysteem wordt toegepast: via het N-bijmeststelsysteem is juist bepaald dat aardappel het niet nodig heeft.
 - De bespaarde N kan wel elders in het bouwplan ingezet worden. Aangezien er eind juni/begin juli geen andere akkerbouwgewassen meer worden bijbemest zijn de mogelijkheden beperkt tot sommige vollegrondsgroententeelten, andere percelen met aardappel met een hogere N-behoefte, of een groenbemester na graan.
 - Besparingen variëren tussen jaren als gevolg van variatie in groeiomstandigheden en N-behoefte. Het bewaren van uitgespaarde N tot een volgend jaar waarin de N-behoefte van het gewas hoger is dan de gebruiksnorm zou deze variatie kunnen opvangen. Binnen de huidige wetgeving is middeling over jaren echter niet mogelijk, aangezien bewaarde N in het nieuwe jaar weer meetelt als aanvoer voor de gebruiksnormen.
- Houden N-bijmestsystemen rekening met hoogproductieve percelen en adviseren ze daar bijpassende hoge N-giften?
 - Nauwelijks. Uit het onderzoek aan N-bijmestsystemen t/m 2011 kon geconcludeerd worden dat bij optimale N-giften hoger dan de richtlijn te lage adviezen werden gegeven. In het onderzoek in 2012-13 is de opbrengstverwachting ingebouwd in de NBS-gewassensing systemen. De afgeleide economisch optimale gift was in drie van de vier proeven ruim boven die volgens de N-bemestingsrichtlijn, maar de N-bijmestsystemen gaven hiervoor geen bijpassend advies. Van Geel *et al.* (2014) doen wel enkele suggesties voor testen en optimaliseren van de N-bijmestsystemen. Binnen PrecisieLandbouw 2.0 wordt momenteel gekeken naar verbetering van de bemestingsadviezen door gebruik te maken van real-time data in combinatie met perceelshistorie en een gewasgroei-model. De

mogelijkheid om op deze wijze hoog productieve situaties met hoge N-efficiëntie te identificeren moet zich nog bewijzen.

- Is er perspectief voor het gebruik van N-bijmestssystemen als equivalente maatregel? Vereiste hiervoor is dat het N-overschot niet mag toenemen, en er dus een hogere benutting nodig is.
 - Op dit moment niet of nauwelijks.
 - De verhoging van N-efficiëntie bij gebruik van N-bijmestssystemen komt doordat de systemen situaties kunnen identificeren waarbij er minder bemest kan worden dan de N-bemestingsrichtlijn of gebruiksnorm. In deze situaties leiden N-bijmestssystemen tot een N-besparing, en dus tot het voorkomen van een onnodig overschot. Binnen de huidige regelgeving staat het de teler vrij om de bespaarde N elders op het bedrijf in te zetten, en voor deze situaties is geen equivalente maatregel nodig.
 - Uit een theoretische verkenning blijkt dat wanneer bovenstaande uitgespaarde N wordt gebruikt op percelen waar deze N goed benut kan worden er een iets lager N-overschot (enkele kilo's) is dan wanneer ieder perceel dezelfde N-gift krijgt. In theorie kan dan de N-input voor aardappel op het bedrijf iets worden verhoogd om op een gelijk N-overschot uit te komen. Hiervoor is de combinatie van deze percelen nodig. Bij suboptimale gebruiksnormen zal er veelal geen N kunnen worden bespaard, is er dus geen mogelijkheid N beter te verdelen over percelen en is het perspectief voor equivalente maatregel gering.
 - De huidige N-bijmestssystemen blijken vooralsnog ongeschikt om hoogproductieve situaties te identificeren. Informatie hierover dient te worden ingevoerd in de huidige N-bijmestssystemen, zowel wat betreft opbrengspotentieel van het perceel als de teelt- en groeiomstandigheden in het lopende jaar. Initiatieven hiervoor lopen, maar zijn nog niet bewezen effectief en daarom nog niet bruikbaar als equivalente maatregel.

Literatuur

- Neeteson, J.J., 1984. Nieuwe stikstofbestedingsadviezen voor aardappelen. *Bedrijfsontwikkeling*, jaargang 15: 331-333. <http://edepot.wur.nl/261869>
- PL2.0, 2016. *Precisielandbouw 2.0 (PL2.0)*, Onderdeel 3: Integratie. Deelproject 3d: Online bemestingsadvies. <http://www.precisielandbouw.eu>
- Postma, R., P. Dekker, L. van Schöll, J. Paauw, K. Wijnholds, H. Versteegen, 2009. Toetsing van meststoffen en bemestingssystemen in de aardappelteelt; veldproeven 2006-2008. Wageningen, NMI Rapport 1161. <http://www.kennisakker.nl/node/2846>
- RVO, 2015. Mestbeleid 2014 – 2017 Tabellen. Tabel 1 Stikstofgebruiksnormen 2015-2017. <http://www.rvo.nl/file/tabel-1-stikstofgebruiksnormen-2015-2017-1>
- Ten Berge, H.F.M., Withagen, J.C.M., De Ruijter, F.J., Jansen, M.J.W. & Van der Meer, H.G., 2000. Nitrogen responses in grass and selected field crops: QUADMOD parameterisation and extensions for STONE-application. Wageningen, Plant Research International, report 24. <http://edepot.wur.nl/46015>
- Van Dijk, W., 2003. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. <http://edepot.wur.nl/300273>
- Van Dijk, W. & Van Geel, W., 2012. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. http://www.kennisakker.nl/files/Adviesbasis_januari_2012.pdf
- Van Dijk, W., Van der Schoot, J.R., Ten Berge, H., 2012. Differentiatie stikstofbestedingsadviezen. Verkenning bij het gewas consumptieaardappel. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., publicatienummer 458. <http://edepot.wur.nl/194804>
- Van Evert, F.K., Van der Schans, D.A., Malda, J.T., Van der Berg, W., Van Geel, W.C.A., Jukema, J.N., 2011. Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen. Integratie van sensormetingen in een N-bijmeststelsel. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR, PPO nr. 423. <http://edepot.wur.nl/181147>
- Van Evert, F.K., Booij, R., Jukema, J.N., Ten Berge, H.F.M., Uenk, D., Meurs, E.J.J., Van Geel, W.C.A., Wijnholds, K.H., Slabbekoorn, J.J., 2012. Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. *Eur. J. Agron.* 43: 58– 67.
- Van Evert, F.K., Meurs, B., Van der Schans, D., Booij, J., Van Geel, W. and Kempenaar, C., 2016. Using Aerial Imaging in a Large-Scale Roll-out of N Sidedress Recommendations for Potato. Abstract ASA, CSSA and SSSA International Annual Meeting, Nov 6-9, 2016, Phoenix Arizona. <https://scisoc.confex.com/scisoc/2016am/webprogram/Paper101792.html>
- Van Geel, W., Kroonen-Backbier, B., Van der Schans, D., Malda, J.T., 2011. Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1a: Deskstudie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR, PPO Nr: 439. <http://edepot.wur.nl/188546>
- Van Geel, W., Kroonen-Backbier, B., Van der Schans, D., Malda, J.T., 2012. Nieuwe bijmestsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1b: ontwerp van systemen en plan van aanpak veldonderzoek. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR, PPO nr. 459. <http://edepot.wur.nl/211191>
- Van Geel, W., Kroonen-Backbier, B., Van der Schans, D., Malda, J.T., 2014. Nieuwe bijmestsystemen en strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 2: Resultaten veldproeven 2012 en 2013. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR, PPO nr. 615. <http://edepot.wur.nl/313483>
- Van Keulen, H., Goudriaan, J., 1991. Grenzen aan de plantaardige productie. In: Karssen, C.M., Van Emden, H.M. (red.). *Planten in gebruik*. Amsterdam, KNAW (Biologische Raad reeks) - ISBN 906984057X, p. 15 – 38. <http://edepot.wur.nl/216703>
- Verman, A., Wustman, R., Bus, C.B., Wijnholds, K.H., 2006. Zetmeelaardappelen. Teelthandleiding. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, PPO nr. 325. <http://edepot.wur.nl/350354>
- 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: 263-274.
- Vos, J., 2009. Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato. *Potato Research* 52:305–317.

Bijlage 1 Details theoretische verkenning van de effectiviteit van een ideaal N bijmeststelsysteem ten opzichte van een vastgestelde totale N-gift

Voor de vijf scenario's zoals gegeven in Tabel 2 zijn verschillende onderdelen gevarieerd, waarbij een variant 15% lager dan de referentie is gekozen, en een variant 15% hoger dan de referentie. Onderstaand overzicht geeft aan welke onderdelen zijn gevarieerd. Zie ook hoofdstuk 2.3 en Figuur 5.

A: Verschil in mate van mineralisatie en N-levering uit de bodem

- N-opname bij onbemest zowel 15% lager als hoger: 72 ; 85 ; 98
- Gelijke benutting van toegediende N, waardoor optimum gift varieert: 290 ; 250 ; 210

B: Verschil in benutting van toegediende N in combinatie met verschil in opbrengstpotentieel

Aangehouden is dat verschil in opbrengstpotentieel leidt tot verschil in N-opname bij de adviesgift, N-opname bij onbemest en de benutting van toegediende N (ANR).

- Maximale N-opname bij adviesgift zowel 15% lager als hoger: 140 ; 165 ; 190
- N-opname bij onbemest zowel 15% lager als hoger: 72 ; 85 ; 98
- ANR zowel 15% lager als hoger: 0.27 ; 0.32 ; 0.37

C: Verschil in benutting van toegediende N, bij gelijk opbrengstniveau

- N-gift waarbij optimum bereikt wordt, zowel 15% lager als hoger: 213 ; 250 ; 288
- Alleen de efficiëntie van toegediende N wordt gevarieerd, niet die van bodem-N waardoor N-opname bij onbemest gelijk blijft. ANR varieert door bovenstaande met: 0.38 ; 0.32 ; 0.28

D: Verschil in opbrengstpotentieel bij gelijke N-benutting

- Maximale N-opname zowel 15% lager als hoger: 140 ; 165 ; 190
- Benodigde N-gift voor N-opname, bij gelijke ANR: 173 ; 250 ; 327

E: Verschil in levering van N uit de bodem in combinatie met verschil in opbrengstpotentieel

- N-opname bij onbemest zowel 15% lager als hoger: 72 ; 85 ; 98
- Maximale N-opname zowel 15% lager als hoger: 140 ; 165 ; 190
- Bij gelijke ANR varieert hierdoor de N-gift waarbij het optimum bereikt wordt: 213 ; 250 ; 288

Table A.1 Detaillering theoretisch verkenning van het effect van variatie op de effectiviteit van een ideaal N-bijmeststelsel ten opzichte van een vastgestelde gift bij vijf scenario's (zie hoofdstuk 2.3 en Figuur 5). Nopn=N-opname; onbenut=niet benutte deel van de N-gift; opt.gift=optimale gift bepaald volgens een ideaal N-bijmeststelsel. Verschil geeft de resultaten van de optimale gift t.o.v. de vaste gift weer.

	Variant 1			Referentie			Variant 2			Gemiddeld		
	Ngift	Nopn.	onbenut ANR	Ngift	Nopn.	onbenut ANR	Ngift	Nopn.	onbenut ANR	Ngift	Nopn.	onbenut ANR
<i>A: Verschil in mate van mineralisatie en N-levering uit de bodem (+/- 15% van N-opname zonder bemesting)</i>												
onbemest	0	98		0	85		0	72		0	85	
vaste gift	250	165	183	250	165	170	250	152	170	250	161	174
opt.gift	210	165	143	250	165	170	290	165	197	250	165	170
Verschil	-40	0	-40	0	0	0	40	13	27	0	4	-4
<i>B: Verschil in benutting van toegediende N in combinatie met verschil in opbrengstpotentieel (+/- 15% van maximale N-opname)</i>												
onbemest	0	98		0	85		0	72		0	85	
vaste gift	250	190	158	250	165	170	250	140	182	250	165	170
opt.gift	250	190	158	250	165	170	250	140	182	250	165	170
Verschil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>C: Verschil in benutting van toegediende N, bij gelijk opbrengstniveau (+/- 15% van opt.N-gift)</i>												
onbemest	0	85		0	85		0	85		0	85	
vaste gift	250	165	170	250	165	170	250	155	180	250	162	173
opt.gift	213	165	133	250	165	170	288	165	208	250	165	170
Verschil	-38	0	-38	0	0	0	38	10	27	0	3	-3
<i>D: Verschil in opbrengstpotentieel bij gelijke N-benutting (+/- 15% van maximale N-opname)</i>												
onbemest	0	85		0	85		0	85		0	85	
vaste gift	250	140	195	250	165	170	250	165	170	250	157	178
opt.gift	173	140	117	250	165	170	327	190	223	250	165	170
Verschil	-77	0	-77	0	0	0	77	25	53	0	8	-8
<i>E: Verschil in levering van N uit de bodem in combinatie met verschil in opbr.potentieel (+/- 15% van N-opname bij 0-gift & +/- 15% van max. N-opname)</i>												
onbemest	0	72		0	85		0	98		0	85	
vaste gift	250	140	182	250	165	170	250	178	170	250	161	174
opt.gift	213	140	145	250	165	170	288	190	196	250	165	170
Verschil	-38	0	-38	0	0	0	37	12	26	0	4	-4

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Wageningen Plant Research
Rapport 672

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Correspondentie adres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport 672

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

