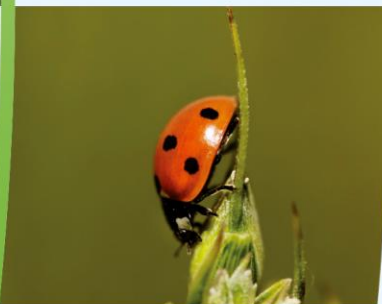


# Soil for life

Rapport 1640.N.16

Ontwikkeling nieuwe  
systematiek voor opstellen  
N-bemestingsrichtlijnen



brancheorganisatie akkerbouw



[www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)

**Rapport 1640.N.16**

## **Ontwikkeling nieuwe systematiek voor opstellen N-bemestingsrichtlijnen**

**Auteur(s) : Romke Postma (NMI)  
Willem van Geel (PPO)  
Janjo de Haan (PPO)**

Dit onderzoek is gefinancierd door :



---

© 2018 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

---

### **Verspreiding**

Edwin de Jongh, BO Akkerbouw

1x

## Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	5
2 Opzet en uitvoering	7
2.1 Algemeen	7
2.2 Beschrijven en evalueren van bestaande adviessystemen en alternatieven	7
2.3 Mogelijkheid om rekening te houden met N-mineralisatie- en opbrengstniveau	7
2.4 Bestaande en nieuwe N-bijmestsystemen voor aardappelen	8
2.5 Synthese	9
3 Bestaande adviessystemen en mogelijke alternatieven	10
3.1 Onderbouwing huidige Nmin-adviezen op basis van responsproeven	10
3.1.1 Werkwijze afleiding Nmin-adviezen	10
3.1.2 Aandachtspunten voor het afleiden van Nmin-adviezen	11
3.1.3 Afleiding Nmin-advies per gewas	12
3.1.4 Discussie Nmin-richtlijnen	15
3.2 Inventarisatie N-adviesystemen in het buitenland	16
3.2.1 De N-index-methode	16
3.2.2 De N-balans-methode	16
3.2.3 Adviesystemen op basis van een dynamische N-balans	18
3.2.4 Adviesystemen op basis van een tussentijdse meting aan het gewas	18
3.3 Evaluatie uiteenlopende adviesystemen	19
3.3.1 Criteria en evaluatie	19
3.3.2 Mogelijkheden om rekening te houden met afwijkende omstandigheden	20
3.3.3 Milieukundige effecten van bemestingsadviezen	21
4 Opbrengstniveau en N-levering	22
4.1 Effecten van opbrengstniveau en N-levering op de N-behoefte	22
4.2 Opbrengstniveau en optimale N-gift bij suikerbieten	24
4.3 Mogelijkheden om opbrengst en N-levering te schatten	26
4.3.1 Schatting van de opbrengst	26
4.3.2 Schatting van de N-levering	26
4.4 Mogelijkheden om opbrengst en N-levering in te passen in het advies	28
4.4.1 Balansmethode	28
4.4.2 Bepalen van posten op de balans	29
4.4.3 N-adviezen consumptieaardappelen volgens balansmethode	31
4.4.4 Vergelijking afleiding N-adviezen wintertarwe	34
5 Stikstofbijmestsystemen	43
5.1 Bestaande en nieuwe N-bijmestsystemen voor aardappelen	43
5.1.1 Voordelen N-bijmestsystemen	43
5.1.2 Bestaande N-bijmestsystemen consumptieaardappelen	43
5.1.3 Nieuwe N-bijmestsystemen consumptieaardappelen	44
5.1.4 Ervaringen met N-bijmestsystemen: vaststelling optimale N-gift en verhogen N-benutting	46
5.1.5 Perspectieven N-bijmestsystemen aardappelen voor praktijk	46
5.2 N-bijmestsystemen granen	47
6 Synthese	49
Literatuur	52

## Samenvatting en conclusies

### Aanleiding

De huidige stikstofbestedingsrichtlijnen zijn afgeleid met behulp van stikstoftrappenproeven, die meerdere jaren op meerdere percelen en grondsoorten zijn uitgevoerd. Op basis van relaties tussen de optimale N-gift in die proeven en de Nmin-voorraad in het voorjaar zijn rekenregels afgeleid, die over het algemeen zijn gegeneraliseerd naar gewas en in enkele gevallen ook naar grondsoort en teeltdoel. Deze rekenregels vormen de basis van de huidige Nmin-adviezen. Er worden bij de adviezen enkele vuistregels gegeven om giften te corrigeren voor specifieke omstandigheden. Aangezien de N-behoefte sterk kan verschillen door verschillen in groeiomstandigheden en gewas / ras, is er een toenemende behoefte aan maatwerk. De beschreven systematiek voor het afleiden van de Nmin-adviezen is echter duur en bewerkelijk, waardoor hij niet geschikt is om tot meer maatwerk te komen. Daarom hebben NMI en Praktijkonderzoek AGV van Wageningen University & Research in opdracht van BO Akkerbouw de mogelijkheden verkend om sneller tot een actualisatie van N-bestedingsadviezen te kunnen komen en om in de adviezen meer rekening te houden met de groeiomstandigheden. Het doel was om hiervoor een systematiek te beschrijven en aan te geven welke gegevens nodig zijn om met behulp van die systematiek te komen tot een nieuw advies.

### Opzet

In een literatuurstudie zijn de volgende onderdelen onderscheiden:

- Beschrijven en evalueren van adviessystemen voor het afleiden van N-bestedingsrichtlijnen in binnen- en buitenland. Ten behoeve van de evaluatie zijn sterke en zwakke punten geëvalueerd;
- Beschrijving van de wijze waarop in de adviezen rekening kan worden gehouden met verschillen in omstandigheden, zoals N-mineralisatie en opbrengstpotentie;
- Verkennen van de mogelijkheden van N-bijmestsystemen als basis voor het N-bestedingsadvies;
- Synthese, waarbij wordt aangegeven welk adviessysteem kan worden gebruikt, wat de aandachtspunten zijn en welke gegevens nodig zijn om tot nieuwe N-adviezen voor de praktijk te komen.

### Adviessystemen

De adviessystemen op basis van Nmin en N-balans zijn verkend. De laatste kan betrekking hebben op het hele of een deel van het groeiseizoen (N-bijmestsystemen).

#### *N-min methode*

Voor de N-min methode is aangegeven hoe de huidige Nmin-adviezen voor consumptie- en zetmeelaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien zijn afgeleid en op welke proeven ze zijn gebaseerd. Een aandachtspunt hierbij is het grote effect van de keuze van een responsmodel op de hoogte van de optimale N-gift. Meestal wordt voor het model gekozen dat de beste fit geeft, maar de gewasreactie in het traject rond de optimale N-gift is in het algemeen zwak. Uit de proefresultaten blijkt dat de optimale N-gift in individuele gevallen soms sterk afwijkt van de adviesgift. Dit komt deels door variaties in groeiomstandigheden en deels door de gevoeligheid van het gekozen responsmodel voor de ligging van het optimum. Sterk punt van de Nmin-methode is dat de optimale N-gift op een betrouwbare wijze wordt vastgesteld. Zwakke punten zijn de hoge kosten en de beperkte vertaalbaarheid naar afwijkende omstandigheden.

### *Balansmethode*

De balansmethode wordt o.a. toegepast in Frankrijk, Duitsland en België (Vlaanderen) en kan meerdere vormen aannemen. Kenmerk van de balansmethode is dat de som van aanvoerposten van beschikbare stikstof in evenwicht is met de som van de afvoerposten. Belangrijke elementen zijn de N-opname die nodig is voor het realiseren van de verwachte opbrengst, de N-mineralisatie uit de bodem, gewasresten en organische meststoffen en de benutting van beschikbare N uit de bodem door het gewas. Deze posten moeten zo goed mogelijk worden ingeschat. Door gebruik te maken van een N-bijmeststelsel kan de schatting van de N-opname en de N-mineralisatie worden verbeterd, omdat beter rekening kan worden gehouden met de actuele weersomstandigheden. Sterk punt van deze methode is dat er tegen relatief lage kosten N-adviezen voor uiteenlopende omstandigheden kunnen worden afgeleid. Zwak punt is de beperkte nauwkeurigheid waarmee afzonderlijke posten kunnen worden ingeschat en de consequenties daarvan voor het uiteindelijke advies.

### **Factoren om rekening mee te houden in adviezen**

Het ligt het meest voor de hand om N-adviezen te differentiëren voor i) N-levering uit de bodem, ii) opbrengstniveau en iii) N-benutting door gewassen en rassen. Uit studies die in het verleden zijn gedaan, blijkt dat een differentiatie van het N-advies op basis van het opbrengstniveau vooral zinvol is voor consumptieaardappelen en wintertarwe, en minder voor zetmeelaardappelen, suikerbieten en zaaiuien. Bij de eerstgenoemde gewassen is gebleken dat de optimale N-gift afhangt van het opbrengstniveau, terwijl dat bij de laatstgenoemde gewassen niet of minder duidelijk het geval was.

Voor consumptieaardappelen is met de balansmethode nagegaan hoe een N-advies dat afhankelijk is van opbrengst en N-levering er uit kan zien. De hoogte van het op deze wijze afgeleide N-advies was sterk afhankelijk van het opbrengstniveau, terwijl die afhankelijkheid in het huidige advies volledig ontbreekt. Verder bleek dat de nauwkeurigheid waarmee het opbrengstniveau, de N-levering en de N-benutting vooraf kan worden ingeschat, bepalend is voor de mate waarin de optimale N-gift volgens deze methode wordt benaderd. Bij een verdere ontwikkeling dient daaraan aandacht te worden besteed.

Bij wintertarwe bleek dat een N-balansmethode geen meerwaarde heeft ten opzichte van het Nmin-advies als voor de posten op de balans forfaitaire waarden worden ingevuld, die niet gedifferentieerd zijn naar groeiomstandigheden. Wanneer wel meer wordt gedifferentieerd, verhoogt dat de nauwkeurigheid, maar blijft het risico bestaan dat de N-balans structureel te hoge of te lage adviezen geeft als de parameters niet goed geschat kunnen worden. Ook hier komt naar voren dat het van groot belang is om het opbrengstniveau, de N-levering en de N-benutting nauwkeurig in te kunnen schatten.

In een eerder uitgevoerde toetsing van N-bijmestsystemen op basis van gewassensing bij consumptieaardappelen is gebleken dat de optimale N-gift niet veel beter werd benaderd dan met het gangbare N-advies. Als belangrijkste oorzaak hiervan werd genoemd dat het ook halverwege het groeiseizoen nog moeilijk is het opbrengstniveau goed in te schatten, waardoor de benodigde aanvullende N-gift niet goed kan worden vastgesteld. Verbetering van de systemen is wellicht mogelijk door combinatie met een gewasgroeimodel.

### **Conclusies**

- Vooral voor consumptieaardappelen en wintertarwe is een differentiatie van het N-advies op basis van opbrengst en N-levering gewenst. De huidige Nmin-methode is daar minder geschikt voor en de balansmethode biedt daarvoor goede mogelijkheden.

- Voor het introduceren van de balansmethode is het vooral van belang dat er voor uiteenlopende omstandigheden nauwkeurige schattingen kunnen worden gemaakt van de benodigde N-opname (hangt samen met opbrengst), de N-levering en de benutting van beschikbare N door het gewas. De mate waarin dit mogelijk is bepaalt de bruikbaarheid van de balansmethode als alternatief voor de N<sub>min</sub>-methode als basis voor het afleiden van N-bemestingsadviezen.

### **Aanbevelingen**

Voor de introductie van de balansmethode als alternatieve systematiek voor het afleiden van N-bemestingsadviezen wordt aanvullend onderzoek voorgesteld, dat bestaat uit twee elementen:

- Informatie verzamelen over voorkomende variaties in opbrengstniveau, N-levering en N-benutting op een groot aantal praktijkpercelen met consumptieaardappelen en wintertarwe door het aanleggen van nulveldjes en monitoring van bodem en gewas in het bemeste en onbemeste deel.
- Toetsen van de mate waarin de optimale N-gift kan worden benaderd met de balansmethode op een beperkt aantal proeflocaties waar N-trappenproeven worden aangelegd.
- Nagaan of de verzamelde kengetallen ook bruikbaar zijn om situatie-specifieke correcties aan te brengen op de N<sub>min</sub>-richtlijn en dit vergelijken met de N-balansmethode.

## 1 Inleiding

### *Aanleiding en relevantie*

Bij de stikstofbemesting is er een toenemende behoefte aan maatwerk, waarbij zoveel mogelijk rekening wordt gehouden met de lokale omstandigheden ten aanzien van bodemomstandigheden, opbrengstpotentie, locatie/weer en gewas/ras. Dit is zeker het geval bij precisiebemesting, waarbij het doel is de N-gift in tijd en ruimte zo goed mogelijk af te stemmen op de gewasbehoefte en bodemlevering. Enerzijds gaat het er daarbij om de adviesgift per perceel zo goed mogelijk vast te stellen, waarbij zo goed mogelijk rekening wordt gehouden met het opbrengstpotentieel en de nutriëntenlevering. Anderzijds wordt de N-gift binnen een perceel ook steeds vaker gevarieerd. Op dit moment gebeurt dat vooral op basis van verschillen in de gewasstand en/of aanvullend grondonderzoek. Er is behoefte aan rekenregels voor het vaststellen van N-adviezen, waarbij nauwkeuriger kan worden ingespeeld op variaties in N-levering en opbrengstpotentie (bijvoorbeeld door een beter vochthoudend vermogen en andere relevante factoren). In opdracht van BO Akkerbouw hebben NMI en Praktijkonderzoek AGV van Wageningen University & Research in voorliggende studie het raamwerk van zo'n maatwerk-advies opgesteld. Daardoor wordt het beter mogelijk om voor uiteenlopende situaties een goede gewasopbrengst en –kwaliteit te combineren met lage N-emissies naar water en lucht.

### *Van generieke bemestingsadviezen naar rekenregels voor precisiebemesting*

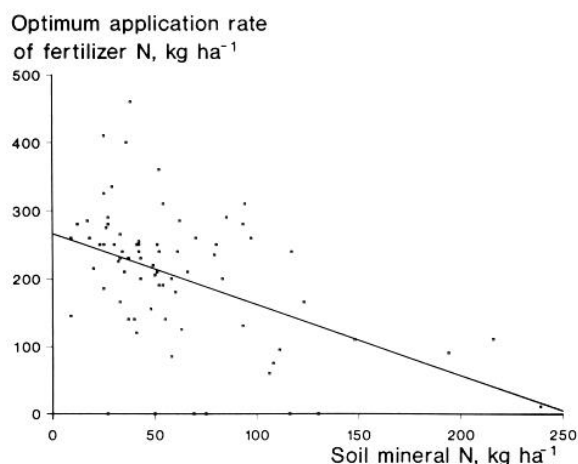
De huidige stikstofbemestingsrichtlijnen zijn over het algemeen gegeneraliseerd naar gewas en in enkele gevallen ook naar grondsoort (klei / zand), teeltdoel (consumptie-/zetmeelaardappel) of teeltperiode (voor sommige groentegewassen). Voor een efficiënte bemesting en om aan te sluiten bij ontwikkelingen in de precisielandbouw is het gewenst om de richtlijnen plaats specifiek te maken en daarbij te koppelen aan andere bodemindicatoren, zoals N-leverend vermogen, structuur en bewortelbaarheid en duidelijker afhankelijk te maken van het opbrengstniveau. Om dit mogelijk te maken is een andere, meer flexibele systematiek voor het opstellen van N-bemestingsrichtlijnen nodig.

De systematiek die is gebruikt voor de huidige N-bemestingsrichtlijnen is de Nmin-methode, die bestaat uit een rekenregel per gewas en grondsoort, waarin naast de gewasbehoefte de Nmin-voorraad in het voorjaar het enige element vormt (Tabel 1.1).

Tabel 1.1. N-bemestingsrichtlijnen voor aardappelen en suikerbieten (Nmin-methode; bron: handboekbodemenbemesting.nl).

Teeltdoel	grondsoort	N-gift, kg/ha	bemonsteringsdiepte
Consumptieaardappelen	klei/löss	285-(1,1xNmin)	0-60 cm
	zand/dal	300-(1,8xNmin)	0-30 cm
Zetmeelaardappelen	zand/dal	275-(1,8xNmin)	0-30 cm
Pootaardappelen		140-(0,6xNmin)	0-60 cm
Suikerbieten		200-(1,7xNmin)	0-60 cm

De rekenregel is steeds afgeleid uit een groot aantal veldproeven, waarin de relatie tussen de optimale N-gift (die wordt afgeleid uit responsproeven) en de Nmin-voorraad in het voorjaar empirisch via regressie-analyse wordt afgeleid (Figuur 1.1).



Figuur 1.1. Relatie tussen de Nmin-voorraad in het voorjaar in de 0-60 cm laag en de optimale N-gift voor consumptieaardappelen op klei- en zavelgrond (Bron: Neeteson, 1990). Het N-advies is hier direct van afgeleid.

In de rekenregel wordt de Nmin-voorraad vermenigvuldigd met een factor. Deze factor integreert een aantal zaken, zoals de opname-efficiëntie van het gewas, optredende N-verliezen en de N-mineralisatie (Whitmore, 1999). De Nmin-methode is goed bruikbaar voor gemiddelde omstandigheden, maar biedt onvoldoende mogelijkheden om rekening te houden met verschillen in omstandigheden, bijvoorbeeld door verschillen in N-mineralisatie (o.a. Neeteson, 1990). Bij de richtlijnen wordt daarom ook aangegeven dat deze op basis van ervaring en kennis van percelen en gewassen aan de eigen situatie kan worden aangepast. In beperkte mate zijn vuistregels beschikbaar voor dergelijke aanpassingen, o.a. voor de N-nawerking van een groenbemester en oogstresten (zie

<http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Stikstof/Nkorting-na-onderwerken-van-groenbemers-en-oogstresten/Groenbemers.htm>), maar door de opzet en afleidingsmethode leent de Nmin-methode zich hier niet goed voor, waardoor het moeilijk is om dit is niet afdoende om tot nauwkeurige N-bemestingsadviezen te komen.

Methoden waarbij meer expliciet rekening kan worden gehouden met de N-mineralisatie zijn de balansmethode en simulatiemodellen. Kenmerk van de balansmethode is dat de som van aanvoerposten van beschikbare stikstof (Nmin-voorraad, N-depositie, N-nalevering uit gewasresten, groenbemers en organische meststoffen, N-mineralisatie uit bodemorganische stof en N-gift met kunstmest) in evenwicht is met de som van de afvoerposten (N-behoefte gewas en N-verlies via uitspoeling, ammoniakvervluchtiging en denitrificatie). Daarnaast bieden deze methoden ook betere mogelijkheden om rekening te houden met verschillen in de N-behoefte van het gewas tussen percelen en tussen rassen. De N-behoefte hangt af van het opbrengstniveau (en de daarmee samenhangende N-opname) en de benutting door het gewas van de aangeboden stikstof.

#### *Doel*

Ten aanzien van de doelstelling van het project kunnen de volgende subdoelstellingen worden onderscheiden:

- Beschrijven van een systematiek voor het opstellen van stikstofbemestingsadviezen waarmee beter rekening kan worden gehouden met verschillen in omstandigheden (die kunnen worden veroorzaakt door bodem, locatie/weer en gewas/ras) dan de huidige Nmin-methode.
- Inventariseren wat er nodig is (type gegevens, proefresultaten, etc.) voor het ontwikkelen van nieuwe adviezen volgens de voorgestelde systematiek.



## 2 Opzet en uitvoering

### 2.1 Algemeen

In een literatuurstudie worden verschillende bestaande adviessystemen voor het afleiden van N-bemestingsrichtlijnen in binnen- en buitenland met elkaar vergeleken. De focus zal worden gelegd op een vergelijking van de Nmin-methode en de balansmethode, maar ook andere systemen worden meegenomen. De bruikbaarheid van de systemen wordt geëvalueerd op basis van een weging van sterke en zwakke punten. Ook wordt nagegaan welke inspanning moet worden geleverd om te komen tot een aanpassing van N-adviezen volgens de nieuwe systematiek. Daarbij wordt tevens gebruik gemaakt van het Protocol voor de aanpassing van bemestingsadviezen voor stikstof (Ten Berge et al., 2004) en de sterrensystematiek van de CBAV. Bij de verkenning wordt een aantal onderdelen onderscheiden, die in de volgende paragrafen worden beschreven.

### 2.2 Beschrijven en evalueren van bestaande adviessystemen en alternatieven

Het beschrijven en evalueren van bestaande adviessystemen en mogelijke alternatieven voor N per gewas zal als volgt worden gedaan:

- Nagaan van de onderbouwing van de huidige Nmin-richtlijnen voor de gewassen aardappelen (consumptie, zetmeel en poot-), suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien en nagaan hoe de adviezen er uit zouden hebben gezien als ze volgens de balansmethode zouden zijn opgesteld.
- Inventariseren welke adviessystemen voor N in ons omringende landen, zoals België, Duitsland, Frankrijk en Engeland worden gebruikt en welke elementen daaruit bruikbaar zijn voor ons.
- Evaluatie van de uiteenlopende adviessystemen op basis van een aantal criteria, zoals flexibiliteit, betrouwbaarheid, nauwkeurigheid en robuustheid. Hierbij zal met name worden ingegaan op de wenselijkheid om de adviezen flexibeler te maken, door beter rekening te kunnen houden met verschillen in bodemfactoren (bijvoorbeeld N-mineralisatie / N-levering, textuur, vochthoudend vermogen, structuur, beworteling) en/of gewas (opbrengst, rasverschillen, etc.).

### 2.3 Mogelijkheid om rekening te houden met N-mineralisatie- en opbrengstniveau

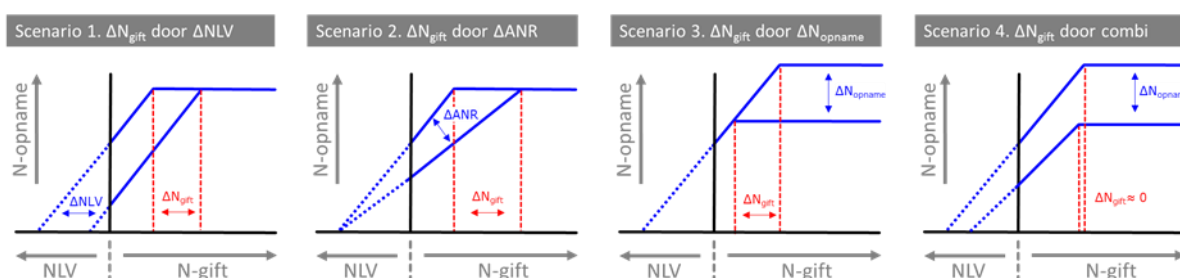
De wijze waarop in adviezen rekening kan worden gehouden met verschillen in omstandigheden, zoals N-mineralisatie en opbrengstpotentie, wordt geëvalueerd. Relevante aspecten zijn:

- Verschillen in N-mineralisatie uit voorvrucht, groenbemester en/of bodemorganische stof. Grofweg wordt nagegaan hoe dit momenteel gebeurt in de huidige adviezen in binnen- en buitenland (bijvoorbeeld via correctieposten en/of een meting) en hoe dit eventueel kan worden verbeterd op basis van recente onderzoeksresultaten. Daarbij wordt o.a. onderscheid gemaakt naar het corrigeren voor N-mineralisatie via correctieposten (stelposten) en/of via een bodemmeting (bijvoorbeeld N-totaal). Hierbij wordt tevens gebruik gemaakt van een recente studie voor grasland (Ros en Van Eekeren, 2016)
- Verschillen in bodemstructuur en/of vochtlevering: dit zal vooral van invloed zijn op de hoogte van het advies, via de opbrengstpotentie (zie verder).
- Verschillen in opbrengstpotentie – hoe wordt daar rekening mee gehouden in huidige adviezen en hoe kan dat worden verbeterd?

–

Het is van belang om stil te staan bij de wijze waarop de hoogte van de N-mineralisatie en het opbrengstniveau van invloed zijn op de benodigde N-gift. Zo betekent een hogere opbrengst niet automatisch dat de benodigde N-gift hoger is. Er kan ook sprake zijn van een hogere opname- of benuttingsefficiëntie. Dit is voor een aantal uiteenlopende situaties weergegeven in Figuur 2.1:

- Scenario 1: een hogere N-mineralisatie (NLV) leidt bij dezelfde opbrengst / N-opname en N-benutting (ANR) tot een lagere optimale N-gift;
- Scenario 2: een hogere N-benutting (ANR) leidt bij dezelfde opbrengst / N-opname en N-mineralisatie (NLV) tot een lagere optimale N-gift;
- Scenario 3: een hogere opbrengst / N-opname leidt bij dezelfde N-mineralisatie (NLV) en N-benutting (ANR) tot een hogere optimale N-gift;
- Scenario 4: ondanks verschillen in de N-mineralisatie en het opbrengstniveau (N-opname) is de optimale N-gift vrijwel gelijk. Dit is te verklaren doordat het effect van de hogere N-mineralisatie en de hogere opbrengst / N-opname elkaar in dit voorbeeld deels opheffen, en omdat er in de situatie met de hoogste N-opname sprake is van een hogere N-benutting (ANR).



Figuur 2.1. Wijze waarop de N-mineralisatie (NLV; scenario 1), de N-benutting (ANR; scenario 2) en de N-opname (scenario 3) van invloed zijn op de optimale N-gift. In scenario 4 is het gecombineerde effect van een hogere NLV, ANR én N-opname op de optimale N-gift weergegeven.

Bij het analyseren van proefresultaten is het van belang rekening te houden met de effecten zoals die zijn beschreven in Figuur 2.1, maar ook bij het opstellen van bemestingsadviezen dient dat te gebeuren, aangezien het doel van bemestingsadviezen is de optimale N-gift vooraf zo goed mogelijk te benaderen. Aangezien het doel van deze studie is om in de adviezen beter rekening te houden met het niveau van de N-mineralisatie en de opbrengst, is kennis over de wijze waarop deze aspecten van invloed zijn op de optimale N-gift belangrijk.

## 2.4 Bestaande en nieuwe N-bijmestsystemen voor aardappelen

Voor aardappelen en een aantal vollegrondsgroentegewassen zijn bijmestsystemen beschikbaar die ook zijn beschreven in het Handboek bodem en bemesting. Voordeel van dit systeem is dat de beslissing over de hoogte van de N-gift verdeeld wordt over meerdere beslismomenten, waarbij bij de tweede gift rekening kan worden gehouden met de gewasontwikkeling, de opgetreden N-mineralisatie en tussentijdse N-verliezen. Het betreft steeds NBS bodem, waarbij de beslissing over een tweede gift wordt gebaseerd op een tussentijdse meting van de Nmin-voorraad.

In de praktijk worden vooral bij precisiebemesting in toenemende mate bijmestsystemen toegepast die zijn gebaseerd op sensormetingen aan het gewas (o.a. Ros et al., 2013; Van Geel et al., 2011, 2012 en 2014). Deze systemen zijn niet opgenomen in het Handboek bodem en bemesting. Nagegaan wordt hoe beslissingen over de N-bijbemesting worden genomen en eventueel kunnen worden verbeterd. Op basis

daarvan wordt een voorstel gedaan voor opname in het Handboek bodem en bemesting. De activiteiten zullen worden afgestemd met het project Precisielandbouw 2.0.

## **2.5    *Synthese***

Op basis van de voorgaande stappen wordt nagegaan hoe het N-adviesstelsel voor verschillende gewassen kan worden aangepast en wordt een voorstel gedaan voor de wijze waarop dat in het Handboek bodem en bemesting kan worden opgenomen.

Daarbij wordt ook beschreven welk type informatie nodig is om de hoogte van het N-advies aan te passen aan variaties in omstandigheden en hoe die informatie kan worden verkregen (bijvoorbeeld uit grondonderzoek, monitoring, responsproeven, etc.). Hierbij wordt o.a. gebruik gemaakt van het Protocol voor de aanpassing van bemestingsadviezen voor stikstof (Ten Berge et al., 2004) en de sterrensystematiek van de CBAV.

### 3 Bestaande adviessystemen en mogelijke alternatieven

#### 3.1 Onderbouwing huidige Nmin-adviezen op basis van responsproeven

De huidige Nmin-richtlijnen zijn voor de belangrijkste akkerbouwgewassen afgeleid van dosis-responsproeven. Hierna beschrijven we hoe die adviezen tot stand zijn gekomen, welke stappen er nodig zijn om zo'n advies te ontwikkelen, wat daarbij de belangrijkste aandachtspunten zijn en welke voor- en nadelen er zijn van deze werkwijze.

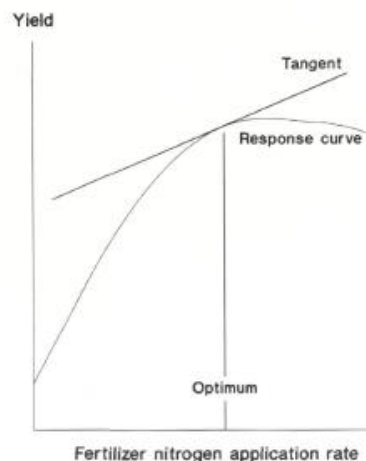
##### 3.1.1 Werkwijze afleiding Nmin-adviezen

De werkwijze voor het afleiden van Nmin-adviezen bestaat uit 2 stappen die hierna zijn beschreven:

1. Afleiden optimale N-gift met responsmethode in individuele veldproeven
2. Regressie-analyse op basis van het verband tussen de Nmin-voorraad in het voorjaar en de economisch optimale N-gift in een groot aantal veldproeven.

Ad 1.

De methode die nodig is voor het afleiden van de optimale N-gift met de responsmethode in individuele veldproeven is o.a. beschreven door Neeteson et al (1990) en is schematisch weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1. Wijze waarop optimale N-gift in individuele proeven wordt afgeleid met de responsmethode. De helling van de tangent geeft de verhouding aan tussen meststofkosten en opbrengstprijs van het product.

De optimale N-gift is dus een economisch optimum, waarbij gebruik wordt gemaakt van de volgende informatie:

- Responscurve, die de respons van een toenemende N-gift met meststoffen op de marktbare opbrengst beschrijft; de financiële opbrengst wordt berekend uit de opbrengst van het product en de opbrengstprijs;
- Meststofkosten.

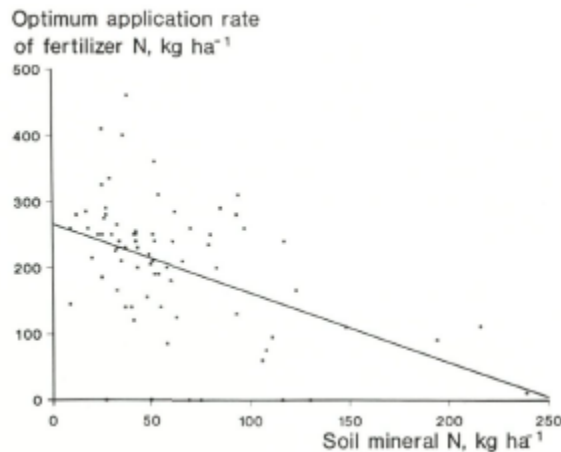
Hieruit wordt berekend bij welke meststofgift een hogere gift niet meer leidt tot een financiële meeropbrengst. Dit is de economisch optimale gift.

Bij het vaststellen van de economisch optimale gift wordt dus ook rekening gehouden met kwaliteitsaspecten, voor zover die de financiële opbrengst bepalen – dit geldt in het algemeen voor poot-

en consumptieaardappelen (sortering), zetmeelaardappelen (zetmeelgehalte of onderwatergewicht) en suikerbieten (suikergehalte en winbaarheid).

Ad 2. Afleiding adviesregel uit relatie tussen Nmin-voorjaar en economisch optimale N-gift

De adviesregels die worden gehanteerd in de bemestingsadviezen zijn tot stand gekomen via lineaire regressie-analyse van de relatie tussen de Nmin-voorjaar en de economisch optimale N-gift (zie Figuur 3.1), zoals dat voor consumptieaardappelen op klei en löss is weergegeven in Figuur 3.2. De gegevens in Figuur 3.2 zijn gebaseerd op 77 veldproeven op klei en löss in uiteenlopende regio's in Nederland (Neeteson et al., 1984). In de regel wordt de Nmin daarbij in meerdere bodemlagen afzonderlijk gemeten en wordt in de regressie-analyse nagegaan met welke bodemlaag (0-30 cm, 0-60 cm of 0-90 cm) de beste correlatie wordt gevonden tussen de Nmin-voorraad en de optimale N-gift.



Figuur 3.2. Relatie tussen de Nmin-voorraad (0-60 cm) in het voorjaar en optimale N-gift voor consumptieaardappelen op klei en löss (Neeteson et al., 1984).

De lijn die is weergegeven in Figuur 3.2 wordt beschreven door de formule  $y = 270 - 1,1 * N_{min} (0-60 \text{ cm})$ , waarbij  $y$  = de optimale N-gift in kg N/ha. Dit was in eerste instantie dan ook de adviesregel die de basis vormde voor het bemestingsadvies. Later is dit enigszins aangepast (zie verder).

Overigens blijkt uit Figuur 3.2. dat vaak sprake is van een grote spreiding / ruis rond de advieslijn. Dit betekent dat de optimale N-gift niet alleen wordt verklaard door de Nmin-voorraad in het voorjaar, maar ook door andere factoren. Daarbij valt te denken aan verschillen in bodemeigenschappen van de betreffende proefvelden (bijvoorbeeld het organische stofgehalte en mineralisatie, de textuur en vochtlevering), verschillen in de voorvrucht en verschillen in het weer. In België is aangetoond dat de relatie tussen Nmin-voorjaar en de optimale N-gift kon worden verbeterd door rekening met andere factoren die van invloed zijn op de N-beschikbaarheid in het groeiseizoen (N-index-methode; zie verder; Boon, 1981; Geypens & Vandendriessche, 1996).

### 3.1.2 Aandachtspunten voor het afleiden van Nmin-adviezen

Aandachtspunten voor het afleiden van Nmin-adviezen zijn:

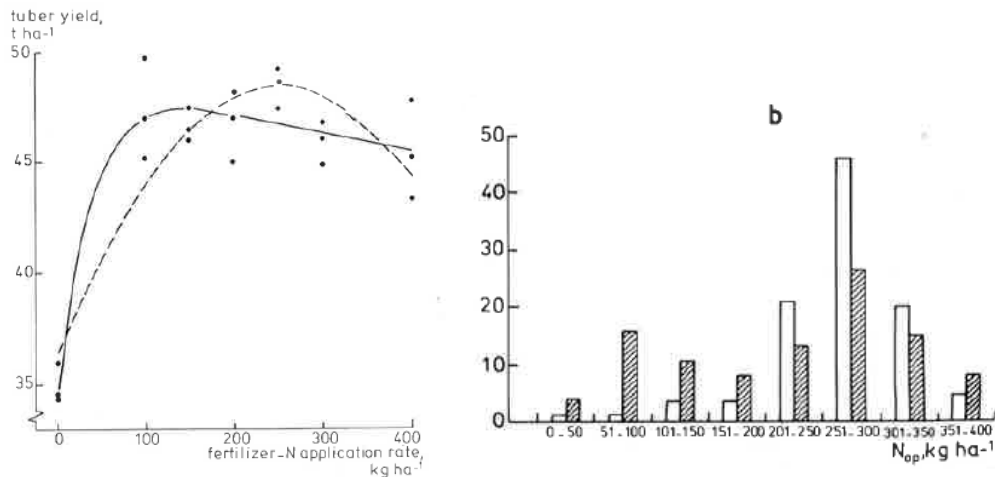
1. het grote effect van de keuze van het responsmodel voor de hoogte van de optimale N-gift;
2. de beperkte bijdrage van de Nmin-voorraad aan de verklaarde variantie van de optimale N-gift.

Ad 1. Om de respons op de N-gift (ofwel de responscurve) te beschrijven, worden vaak meerdere modellen / functies gebruikt (bijvoorbeeld Neeteson & Wadman, 1987; Schröder et al., 1998; Ten Berge et al., 2004; Dekker & Postma, 2006). Daarbij kan worden gedacht aan de volgende modellen:

- Exponentiële model
- Lineair exponentiële model
- Broken-stick model
- Tweede graads polynoom

De genoemde modellen zijn door Dekker & Postma (2006) vergeleken om de respons van N-bemesting op de opbrengst van zaaiuien te beschrijven.

Het gekozen model is van invloed op de ligging van het optimum (Figuur 3.3). Voor suikerbieten en aardappelen is het effect van het gekozen model (**kwadratisch** model en **aangepast exponentieel** model) op de ligging van de optimale N-gift onderzocht voor een groot aantal proeven (144 voor suikerbieten en 86 voor aardappelen) die zijn uitgevoerd tussen 1973 en 1982. De consequenties daarvan zijn voor alle proeven met aardappelen weergegeven in Figuur 3.3. Hieruit blijkt dat het aangepast exponentiële model in het algemeen tot lagere optimale N-giften leidt dan het kwadratisch model. Neeteson & Wadman (1987) hebben beargumenteerd dat de keuze voor het aangepast exponentiële model de voorkeur verdient, omdat het tot de beste fit leidt.



Figuur 3.3. Effect van uiteenlopende respons-curven bij aardappelen op de ligging van de optimale N-gift. Links voor een individuele proef (stippellijn: kwadratisch en doorgetrokken lijn: aangepast exponentieel); rechts voor de frequentieverdeling van 76-86 proeven (aantal proeven op y-as; wit: kwadratisch en gearceerd: aangepast exponentieel) (bron: Neeteson & Wadman, 1987).

Ad 2. De beperkte bijdrage die de Nmin-voorraad levert aan de verklaarde variantie is in het verleden als bezwaar van de Nmin-methode benoemd (Geypens & Vandendriessche, 1996). In Engeland en België is om deze reden de N-index-methode geïntroduceerd, waarmee een correctie is toegepast voor andere bodemfactoren die mede verantwoordelijk zijn voor de hoogte van de optimale N-gift (zie verder).

### 3.1.3 Afleiding Nmin-advies per gewas

#### Aardappelen

Ten behoeve van het N-advies voor aardappelen wordt onderscheid gemaakt naar teeltdoel (consumptie- en zetmeelaardappelen) en naar grondsoort (klei- en lössgrond enerzijds en zand- en dalgrond anderzijds) (Neeteson et al., 1984). De afgeleide adviezen (Tabel 3.1) zijn gebaseerd op lineaire regressie en kunnen allemaal worden beschreven met de volgende adviesregel:

$$\text{N-advies} = a - b * \text{Nmin.}$$

Tabel 3.1. N-richtlijnen voor aardappelen beschreven door Neeteson et al. (1984). De a-factor is de optimale N-gift bij een Nmin-voorraad van 0 en de b-factor is de richtingscoëfficiënt van de regressielijn. De formule voor het N-advies =  $a - b * N_{min}$ .

Gewas	grondsoort	aantal proeven	bemonsterings- diepte	richtlijn	
				a-factor	b-factor
consumptie- aardappelen	klei & lössgrond	77	0-60	270	1,1
zetmeelaardappelen	zand & dalgrond	49	0-30	300	1,8
zetmeelaardappelen	zand & dalgrond	49	0-30	275	1,8

Opmerkingen bij de tabel:

- Uitgangspunt was een prijsverhouding tussen N-kunstmest en financiële opbrengst was 10:1. (bijvoorbeeld 1 kg N kost 1 gulden en 1 kg aardappelen levert 0,10 gulden op). Bij een lagere verhouding (bv 5), wordt het N-advies 20-50 kg N/ha hoger.
- Het advies voor zetmeelaard is afgeleid op basis van relatie tussen N-gift en uitbetalingsgewicht, waarbij een prijsverhouding tussen kunstmest en opbrengst van 13 is aangehouden

De Nmin-richtlijn voor consumptieaardappel op klei en löss is in 1984 opgesteld op basis van de resultaten uit 77 proeven, uitgevoerd in de periode 1973-1982 (Neeteson et al., 1984). Aanvankelijk werd hieruit de relatie  $270 - 1,1 * N_{min}$  (0-60) afgeleid. De relatie tussen optimale N-gift en Nmin betreft een regressielijn, waarbij de kans op een bepaalde afwijking van de optimale N-gift naar boven even groot is als de kans op een gelijke afwijking naar beneden. Echter, de financiële consequentie van een afwijking naar boven bleek groter te zijn dan die van een afwijking naar beneden. Een afwijking naar boven betekent dat de daadwerkelijk optimale N-gift hoger is dan de berekende gift volgens de richtlijn en dat bemesting volgens de richtlijn tot opbrengstderving leidt. Een afwijking naar beneden betekent dat bij opvolging van de richtlijn teveel stikstof wordt gegeven, waardoor onnodige, extra meststofkosten worden gemaakt, maar verder geeft het geen of een geringere opbrengstderving dan een te lage N-gift. De financiële onbalans tussen onder- en overbemesting is in 1985 gelijk getrokken door de richtlijn met 15 kg N per ha te verhogen (Neeteson, 1986).

De Nmin-richtlijnen voor consumptie- en zetmeelaardappelen op zand- en dalgrond zijn ook in 1984 opgesteld op basis van de resultaten uit 49 proeven, uitgevoerd in de periode 1973-1982 (Neeteson et al., 1984). Bij zetmeelaardappel is naast opbrengst rekening gehouden met het zetmeelgehalte/onderwatergewicht (OWG). Hoge N-giften verlagen het OWG en zetmeelgehalte en dit leidt tot een lagere uitbetalingsprijs. Veldopbrengst en OWG zijn met elkaar verrekend tot een zogenoemd uitbetalingsgewicht. De economisch optimale N-gift voor zetmeelaardappel bleek gemiddeld 25 kg N per ha lager te liggen dan die voor consumptieaardappel.

Deze richtlijnen zijn sindsdien nooit meer herzien. Wel zijn later rasgerichte correcties toegevoegd aan de richtlijnen op basis van vroegrijpheid en zijn er N-bijmestadviezen ontwikkeld op basis van Nmin of het nitraatgehalte in de bladsteeltjes.

De N-richtlijnen die destijds zijn opgesteld voor aardappel gelden voor het ras Bintje. De meeste andere aardappelrassen hebben minder stikstof nodig dan Bintje. Dit betreft rassen die later rijpend zijn dan Bintje. Voor deze rassen is op basis van het vroegrijpheidscijfer een correctie opgesteld ten opzichte van Bintje, namelijk een korting van 20 kg N per ha per 0,5 punt vroegheidsverschil voor rassen met een vroegrijpheidscijfer lager dan 6,5 voor consumptieaardappel of lager dan 4,5 voor zetmeelaardappel.

De vroegrijpheidscorrectie is niet volledig dekkend. Er zijn daarnaast nog andere rassen specifieke eigenschappen die van invloed kunnen zijn op de stikstofbehoefte, waardoor deze soms hoger of lager kan zijn dan op basis van de vroegrijpheidscorrectie.

#### Suikerbieten

De Nmin-richtlijn voor suikerbiet is afgeleid op basis van 157 proeven op verschillende grondsoorten (uitgezonderd dal- en veengronden), uitgevoerd in de jaren '70 (Bakker et al., 1981). De richtlijn is voor alle grondsoorten gelijk, maar geldt niet voor de dal- en veengronden. Op deze gronden is de voorspellende waarde van Nmin gering en wordt geadviseerd niet meer dan 150 kg N per ha te geven. Aanvankelijk was de richtlijn van 220 – Nmin (0-60 cm) gebaseerd op het behalen van een maximale suikeropbrengst. Vanwege uitbetaling naar suikergehalte en winbaarheid is later uitgegaan van het behalen van een maximale financiële opbrengst en dit heeft geleid tot een verlaging van de richtlijn naar 200 – Nmin (0-60 cm). Hierbij is geen rekening gehouden met meststofkosten.

Ook na de '70 zijn en worden er nog steeds N-bemestingsproeven met suikerbieten gedaan. Hieruit blijkt dat de N-richtlijn nog steeds voldoet, ondanks dat de wortelopbrengst in de loop der jaren flink is toegenomen. Het N-gehalte in de bieten is echter afgenomen en de N-opname door de bietenwortel is slechts licht toegenomen. Dit komt vooral omdat de huidige rassen efficiënter zijn dan de vroegere rassen: ze produceren per kg opgenomen stikstof meer winbare suiker. De optimale stikstofgift voor suikerbieten is onafhankelijk van de hoogte van de opbrengst en is niet hoger is dan in het verleden (Wilting, 2005, 2015). In hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan.

#### Wintertarwe

De N-bemestingsrichtlijnen voor wintertarwe zijn uitgesplitst naar grondsoort (klei/löss en zand) en voor klei/löss ook naar voertarwe of baktarwe. Om te kunnen voldoen aan de minimumeisen voor baktarwe (eiwitgehalte), is de N-richtlijn hoger dan voor voertarwe. De richtlijn voor wintertarwe op zandgrond is niet gebaseerd op proefresultaten, maar op een berekende N-behoefte ten opzichte van wintertarwe op kleigrond op basis van verschil in opbrengst en N-opname.

De richtlijnen zijn ruim 40 jaar geleden opgesteld en sindsdien regelmatig aangepast aan de veranderende situatie (andere rassen en hogere opbrengstniveaus). De laatste actualisering dateert van 2006 (Dekker & Postma, 2006). Deze actualisering is gebaseerd op 17 proeven op klei die zijn uitgevoerd in de periode 1996-2000. Uit de proeven zijn optimale N-giften afgeleid voor de teelt als voertarwe en voor de teelt als baktarwe.

Verder is bij wintertarwe de afgeleide optimale N-gift afhankelijk van het opbrengstniveau. Ook dit is bij de N-richtlijn aangegeven. Geadviseerd wordt de stikstofgift aan wintertarwe in twee keer toe te dienen op zandgrond en in drie keer op klei/löss. De hoogte van de 2<sup>e</sup> gift geldt voor een opbrengstniveau van  $\geq 11$  ton per ha op klei/löss en  $\geq 9,5$  ton per ha op zand. Voor een lagere verwachte opbrengst dan 11 respectievelijk 9,5 ton per ha, kan de 2<sup>e</sup> N-gift worden verlaagd met 20 kg N per ton korrelopbrengst.

#### Zaai-uien

De N-bemestingsrichtlijn voor zaaiui is ca. 30 jaar geleden opgesteld, op basis van proeven in de periode 1978-1982 en voor het laatst geactualiseerd in 2009 op basis van zeven veldproeven in 2007 en 2008 (Van den Brink et al., 2009). De richtlijn is niet uitgesplitst naar grondsoort. De meeste uien worden geteeld op kleigrond en de proeven die ten grondslag liggen aan de richtlijn zijn alle op klei uitgevoerd. De richtlijn houdt geen rekening met de Nmin-voorraad in de bodem na de winter, omdat in de proeven geen relatie met de Nmin werd gevonden. Het advies is om de gift in drie keer toe te dienen en de eerste gift (bij zaai) beperkt te houden (30-40 kg N per ha) om zoutschade te voorkomen.



Bij de richtlijn in het Handboek bodem en bemesting is opgemerkt dat bij de proeven die ten grondslag liggen aan de huidige richtlijn (175 kg N per ha), sterk mineraliserende percelen zijn vermeden en de Nmin-voorraad bij zaai laag was (<25 kg N/ha in de laag 0-30 cm). Derhalve wordt geadviseerd om bij een hogere Nmin-voorraad hier toch rekening mee te houden en de formule 190-Nmin (0-30) te hanteren. In geval van een sterke mineralisatie kan de N-gift waarschijnlijk worden verlaagd. Overigens vraagt men zich in de praktijk af of de N-richtlijn niet te hoog is voor de kwaliteit van uien die de bewaring in gaan.

#### 3.1.4 Discussie Nmin-richtlijnen

De huidige Nmin-richtlijnen zijn gebaseerd op dosis-responsproeven, waarmee de optimale N-gift steeds per proef is afgeleid. Voor sommige gewassen zijn die proeven 30-40 jaar geleden uitgevoerd, voor andere gewassen zijn er recenter proeven gedaan. Doordat het effect van meerdere N-giften op de opbrengst proefondervindelijk is vastgesteld, wordt voor de betreffende omstandigheden relatief betrouwbare informatie over de optimale N-gift verkregen. Het is mogelijk dat gewijzigde omstandigheden en/of nieuwe rassen hebben geleid tot hogere opbrengsten en daardoor tot een hogere N-bemestingsbehoefte. Sinds de N-adviezen worden gebruikt als basis voor de N-gebruiksnormen, is het daarom mogelijk om een N-advies te actualiseren. Daartoe is een protocol beschikbaar, waarin de te volgen procedure is beschreven (Ten Berge et al., 2004).

Een aandachtspunt bij de dosis-responsproeven is de wijze waarop de optimale N-gift wordt afgeleid uit de data. Hiervoor kunnen uiteenlopende regressiemodellen worden gebruikt, maar de keuze voor een model kan grote effecten hebben op de hoogte van de optimale N-gift. In het algemeen wordt het model gekozen dat de beste fit geeft. Overigens is de gewasreactie op de N-gift in het traject rond de optimale N-gift voor de akkerbouwgewassen meestal zwak (Van Dijk et al., 2007; D'Haene et al., 2014). Mede daardoor is de spreiding rond het verband tussen de Nmin-voorraad en de optimale N-gift in de meeste situaties vrij hoog. Het geeft ook aan dat naast de Nmin-voorraad ook andere factoren van invloed zijn op de hoogte van de optimale N-gift. Die factoren worden niet / nauwelijks meegenomen in het huidige Nmin-advies dat in Nederland wordt gehanteerd. Hierin speelt mee dat het moeilijk is om deze factoren vooraf te kwantificeren, bijvoorbeeld de hoogte van de N-mineralisatie in de bodem.

Uit proefresultaten valt op te maken dat de optimale gift in individuele gevallen soms sterk kan afwijken van de adviesgift, bij suikerbiet tot wel +/- 100 kg N per ha en bij aardappel tot wel +/- 150 kg N per ha. Oorzaken hiervan zijn verschillen in niveau van bodemmineralisatie, stikstofnawerking uit gewasresten en groenbemesters, ondergeploegd stro (immobilisatie van stikstof), verschillen in weersgesteldheid tijdens het groeiseizoen, optreden van denitrificatie, een slechte structuur c.q. bewortelbaarheid van de grond en aantasting van het wortelgestel door aaltjes. Voor een deel is met deze factoren rekening te houden door correcties op de richtlijn toe te passen voor de nawerking uit gewasresten en groenbemesters, een slechte structuur en de lange-termijn nawerking van stikstof bij frequent gebruik van dierlijke mest. Met het weer c.q. de jaarsinvloed is op voorhand geen rekening te houden. Wel kan hier in sommige gewassen (o.a. aardappel) beter op worden ingespeeld door een N-bijmeststelsel toe te passen.

Verder zijn de economisch optimale N-giften per proef afgeleid op basis een verhouding tussen kunstmestprijs en productprijs. Alleen bij suikerbieten is geen rekening gehouden met meststofkosten. Na vaststelling van de richtlijn kunnen de prijzen veranderen. Zo is de prijs van kunstmest-N in de loop der jaren gestegen. Verandering van de prijsverhouding leidt tot andere economisch optimale giften en een andere richtlijn (op basis van dezelfde dataset van proeven). Hoewel het mogelijk zou zijn om met bestaande proefresultaten en actuele prijzen de richtlijnen te updaten, wordt dit nooit gedaan.

Bij het opnemen van de Nmin-richtlijnen in het Handboek bodem en bemesting (handboekbodemen-bemesting.nl) zijn de nodige correcties toegepast op de oorspronkelijke adviezen. De correcties hebben vooral betrekking op de N-mineralisatie uit voorvrucht, groenbemesters en/of organische meststoffen. De rekenregels die de basis vormen voor het Nmin-advies lenen zich echter niet goed voor het toepassen van zo'n correctie, aangezien de verwachte N-mineralisatie (deels) tot uiting komt in de Nmin-voorraad in het geval dat die wordt vermenigvuldigd met een factor die groter is dan 1. Hierdoor is er een risico dat dubbel wordt gecorrigeerd voor N-mineralisatie: via een hogere Nmin-voorraad (in die gevallen dat die wordt vermenigvuldigd met een factor groter dan 1) én via het toepassen van correcties voor voorvrucht, groenbemesters en organische meststoffen.

### 3.2 Inventarisatie N-adviesystemen in het buitenland

Er is een beperkte inventarisatie uitgevoerd naar adviesystemen voor N die in het buitenland (vooral in ons omringende landen, zoals België, Duitsland, Frankrijk en Engeland, maar ook in de Verenigde Staten) worden gebruikt en welke elementen daaruit bruikbaar zijn voor ons.

#### 3.2.1 De N-index-methode

De N-indexmethode is gebaseerd op een indeling van gewas/perceels-combinaties in een aantal klassen op basis van N-levering. Deze methode wordt o.a. in Engeland gebruikt door ADAS, die het N-advies baseert op de indeling in een klasse met een bepaalde N-levering, een Nmin-analyse en een specifieke N-behoefte van het gewas (McKenzie & Taureau, 1997). In België en Noord Frankrijk wordt een aangepaste N-index methode gebruikt (Geypens et al., 1994; Geypens & Vandendriessche, 1996). De N-index methode is eigenlijk een aangepaste Nmin-methode, waarbij tevens rekening wordt gehouden met andere factoren die naast de Nmin-voorraad van invloed zijn op de optimale N-gift en die mede verantwoordelijk zijn voor de spreiding rond de regressielijn. De N-indexmethode zou daardoor tot een verbeterd advies moeten leiden. Het N-advies komt overeen met  $A - b * N\text{-index}$ , waarbij de N-index is gebaseerd op 8 (bodem)factoren, die ingedeeld kunnen worden in

- i) een groep factoren die wordt bepaald door de hoeveelheid beschikbare Nmin en de Nmin die is opgenomen door het gewas,
- ii) factoren die de N-levering door de grond bepalen en
- iii) factoren die N-verliezen bepalen.

Aangezien ook voor dit systeem, evenals voor de Nmin-methode, dure en bewerkelijke veldproeven nodig zijn, wordt deze methode hier niet verder behandeld.

#### 3.2.2 De N-balans-methode

De N-balans-methode: deze wordt o.a. toegepast in Frankrijk, Duitsland en België (Vlaanderen) (Van Dijk & Ten Berge, 2009), maar ook in Nederland (N-bijmeststelsysteem). De N-balans kan betrekking hebben op de gehele groeiperiode of op gedeelten van de groeiperiode. In het laatste geval kan rekening gehouden worden met de dynamiek van de omzettingsprocessen, wat ook wordt toegepast in modelbenaderingen. Ook N-bijmeststelsystemen op basis van Nmin-meting tijdens de groeiperiode (in Nederland o.a. beschikbaar voor aardappelen en groentegewassen) maken gebruik van een N-balans. In een overzicht geven Van Dijk en Ten Berge (2009) aan dat de N-balansmethode verschillende vormen aan kan nemen. De vorm die in Frankrijk (o.a. onder de naam Azobil®; Machet et al., 1990) wordt gehanteerd (zie ook Parnaudau et al., 2009) is als volgt:

$$Nwz\text{-gift} = N\text{-opname} - (\Delta N_{min} + N_{MINbod} + N_{MINmest} + N_{MINvv} + N_{irr})$$

Met:

- Nwz-gift = gift aan werkzame N met minerale en organische meststoffen;
- N-opname = N-opname door het gewas;
- $\Delta N_{\text{min}}$  = verschil in  $N_{\text{min}}$ -voorraad in voor- en najaar;
- $N_{\text{MINbod}}$  = N-mineralisatie uit bodem organische stof;
- $N_{\text{MINmest}}$  = N-mineralisatie uit organische mest (nawerking);
- $N_{\text{MINvv}}$  = N-mineralisatie uit voorvrucht (nalevering);
- $N_{\text{irr}}$  = N-aanvoer met beregeningswater.

Hier is de adviesgift dus opgebouwd uit een groot aantal posten die allemaal afzonderlijk moeten worden ingeschat. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van vuistgetallen en indicatoren (bijvoorbeeld voor N-mineralisatie), mits die voldoende nauwkeurig zijn. De nauwkeurigheid waarmee die posten kunnen worden ingeschat, bepaalt ook de nauwkeurigheid van het advies (waarbij rekening moet worden gehouden met het cumulatieve effect van de onnauwkeurigheden). Op deze balans ontbreken nog een aantal posten, zoals de aanvoer met depositie en afvoer in de vorm van gasvormige verliezen. De N-aanvoer met beregening is voor de Nederlandse situatie in veel gevallen verwaarloosbaar. Gasvormige verliezen treden op door ammoniakvervluchtiging uit meststoffen en door denitrificatie van stikstof onder natte omstandigheden. De ammoniakvervluchtigingsverliezen uit organische mest zijn reeds verdisconteerd in de berekende, werkzame N-gift. Bij minerale meststoffen is dat meestal niet het geval, terwijl ook hierbij ammoniakvervluchtigingsverliezen optreden bij ammoniumhoudende meststoffen en ureum. De N-werking van kalkammonsalpeter wordt op 100% gesteld, terwijl daarbij ook sprake kan zijn van (geringe) verliezen door ammoniakvervluchtiging. Het optreden en de omvang van denitrificatie hangt af van de grondsoort en de weersomstandigheden. Deze post is daarmee lastig te voorspellen.

In Vlaanderen wordt ook gebruik gemaakt van de N-balansmethode, zoals hiervoor beschreven (Van Dijk & Ten Berge, 2009). In Vlaanderen wordt evenals in het Franse systeem een correctie toegepast voor de residuaire  $N_{\text{min}}$ -voorraad in de bodem die gewasafhankelijk is. Die voorraad is relatief laag voor suikerbieten (20-30 kg  $N_{\text{min}}$ /ha in 0-60 cm) en relatief hoog voor consumptieaardappelen (50-75 kg  $N_{\text{min}}$ /ha in 0-60 cm). Dit is dus een manier om rekening te houden met verschillen in opname-efficiëntie tussen gewassen, ofwel de (schijnbare) benutting van de beschikbare N in de bodem.

Van Dijk en Ten Berge (2009) en Parnaudau et al. (2009) geven ook aan dat voor situaties waarvoor het moeilijk is om de uiteenlopende N-bronnen te schatten gebruik kan worden gemaakt van een andere vorm van de N-balans:

$$Nwz\text{-gift} = (N\text{-opname bemest gewas} - N\text{-opname onbemest gewas}) / ANR$$

Waarbij:

- Nwz-gift = gift aan werkzame N met minerale en organische meststoffen;
- N-opname bemest = N-opname door een bemest gewas;
- N-opname onbemest = N-opname door een onbemest gewas;
- ANR = schijnbare N-benutting.

De waarden voor N-opname door een onbemest gewas en de ANR dienen afgeleid te worden uit lokale (eenvoudige) veldproeven. Deze waarden worden vervolgens toegepast voor de praktijksituaties

waarvoor een advies wordt gevraagd. De waarden van de N-opname door een onbemest gewas en de ANR zijn enerzijds afhankelijk van het gewas, maar ook van de omstandigheden, zoals de N-mineralisatie en bodemstructuur (zie ook volgende hoofdstuk). Voor de bemesting van grasland wordt de methode veel toegepast. De ANR is daar in het algemeen ca. 0,70.

Door Van Dijk et al. (2011) wordt deze formule ook gebruikt voor de N-balans van snijmaïs, waarbij de N-opname in het bemeste gewas wordt berekend uit de opbrengst en het N-gehalte in het geoogste product:

$$\text{N-gift} = (Y * A - U_0) / R,$$

waarbij

- N-gift = werkzame N-gift;
- Y = opbrengst;
- A = N-gehalte in geoogst product;
- U<sub>0</sub> = N-opname in onbemest gewas / product;
- R = schijnbare N-benutting in geoogst product.

### 3.2.3 Adviessystemen op basis van een dynamische N-balans

Adviessystemen op basis van een dynamische N-balans zijn eigenlijk uitwerkingen van de balansmethode, waarbij de balans over gedeeltes van de groeiperiode wordt opgesteld. Het voordeel van deze adviesystemen is dat rekening kan worden gehouden met de dynamiek van omzettingsprocessen en dat gedurende het seizoen kan worden geanticipeerd op de actuele omstandigheden, zoals het weer, de gewasontwikkeling en/of de N-mineralisatie. Deze systemen hebben vooral meerwaarde voor gewassen waarbij de N-gift over meerdere giften wordt of kan worden verdeeld (bijbemesting dus), zoals bij granen en aardappelen. Enkele voorbeelden van die systemen zijn:

- Kulturbegleitende Nmin-Sollwerte-System (KNS; Duitsland; Lorenz et al., 1985) en het N-bijmeststelsel (NBS; Nederland (Breimer, 1989) en België (Demyttenare, 1991)): eenvoudige systemen bedoeld voor de N-bijbemesting van aardappelen en een aantal groenten, waarbij gebruik wordt gemaakt van opnamecurves en waarbij de Nmin-voorraad in de bodem tijdens het groeiseizoen wordt gemeten.
- Azofert® (Machet et al., 2007; Frankrijk): is een geautomatiseerde adviesmodule, waarbij een aantal relevante omzettingsprocessen wordt gesimuleerd (o.a. N-mineralisatie) op basis van gemiddelde weersomstandigheden.
- N-able en Well-N (Rahn et al., 1996; Verenigd Koninkrijk): is ontwikkeld voor N-advisering van groentegewassen in de vollegrond;
- Adapt N (Melkonian et al, 2008; Cornell, VS): is een geautomatiseerde adviesmodule die rekening houdt met het actuele weer, die beschikbaar is als webapplicatie en die is ontwikkeld voor maïsteelt in de VS.

De adviesystemen op basis van een dynamische N-balans hebben snel de neiging om complex te worden. Ten opzichte van de systemen die hiervoor zijn beschreven is relatief veel invoer nodig, wat ten koste gaat van de gebruiksvriendelijkheid.

### 3.2.4 Adviessystemen op basis van een tussentijdse meting aan het gewas

De perspectieven van deze methoden in vergelijking met andere adviessystemen zijn o.a. beschreven door Olfs et al. (2005; 2009). Evenals de adviessystemen op basis van de dynamische N-balans is dit systeem alleen interessant voor gewassen waarbij sprake is van deling van de N-gift, zoals granen en aardappelen, of bij gewassen waarbij deling mogelijk zou zijn. Sommige gewassen reageren ongunstig op deling.

Er zijn meerdere systemen beschikbaar (o.a. bladsteeltjes en monitoring bij aardappelen), waarbij recent systemen beschikbaar zijn gekomen die gebruik maken van sensing-methoden. Vooral in het kader van precisielandbouw is er de laatste jaren uitgebreid naar gekeken (o.a. Van Evert et al., 2011; Van de Schans et al., 2012; Van Geel et al., 2014). Daarbij is de bruikbaarheid van uiteenlopende gewassensing-technieken (o.a. Cropscan, Yara N-sensor, Greenseeker) voor beslissingen over N-bijbemesting in aardappelen onderzocht. Uitgangspunt bij deze methoden is dat er rond sluiting van het gewas (ca. 90% bodembedekking; meestal half-eind juni) een bepaalde minimum hoeveelheid N in het gewas (die kan worden gemeten met een sensor) aanwezig dient te zijn om een goede opbrengst te halen. In de genoemde projecten is o.a. onderzocht in hoeverre de optimale N-gift met deze adviessystemen beter kon worden gerealiseerd dan met het huidige N-bemestingsadvies. Dit was nauwelijks het geval (Van Evert et al., 2011; Van Geel et al., 2014). Niettemin lijken er goede perspectieven te zijn om een bijmestingsysteem voor aardappel op basis van gewassensing verder te verbeteren (zie verder). Verder kan hiermee ook gemakkelijk variatie binnen een perceel inzichtelijk worden gemaakt.

Aanbevelingen die in het kader van de betreffende onderzoeksprojecten werden gedaan waren:

- Een goede inschatting van de opbrengstverwachting in een bepaalde situatie is van cruciaal belang en vergroot de kans dat de optimale N-gift wordt benaderd (Van Evert et al., 2011; Van Geel et al., 2014);
- In aanvulling op gewassensing heeft een tussentijdse meting van de Nmin-voorraad in de bodem en een betere inschatting van de N-mineralisatie meerwaarde voor het bepalen van de aanvullend benodigde N-gift (Van Geel et al., 2014).

### **3.3 Evaluatie uiteenlopende adviessystemen**

#### 3.3.1 Criteria en evaluatie

Criteria die zijn gebruikt voor de evaluatie van de adviessystemen zijn

- De nauwkeurigheid waarmee de optimale N-gift kan worden bepaald;
- Benodigde inspanning (en dus kosten) om tot een aanpassing van adviezen te kunnen komen;
- Mogelijkheden voor aanpassingen voor afwijkende omstandigheden (zie ook 3.3.2);
- Mate waarin milieu-effecten in het adviessysteem inzichtelijk zijn (zie ook 3.3.3).

Een kwalitatieve evaluatie is weergegeven in Tabel 3.2, waarbij als eerste is weergegeven welke informatie nodig is voor het afleiden van een (aangepast) advies volgens de betreffende methode en waarbij vervolgens per methode een overzicht is gegeven van sterke en zwakke punten van de betreffende methode, waarbij gebruik is gemaakt van de hiervoor genoemde criteria. De 3 typen adviessystemen die in de voorgaande paragraaf zijn beschreven en die zijn onderscheiden ten behoeve van de evaluatie zijn:

- De Nmin-methode op basis van responsproeven
- De balansmethode voor het hele groeiseizoen (statisch)
- De balansmethode voor delen van het groeiseizoen (dynamisch).

Tabel 3.2. Evaluatie van drie typen adviessystemen: overzicht van benodigde informatie voor een afleiding van een (aangepast) advies en sterke en zwakke punten van het betreffende adviessysteem. .

eigenschap	adviesmethode		
	Nmin-methode op basis van respons	balansmethode hele groeiseizoen	balansmethode voor delen van groeiseizoen
benodigde informatie voor afleiding advies	gewasrespons in N-trappenproeven bij uiteenlopende Nmin-voorraden in het voorjaar	omvang van aan- en afvoerposten op N-balans voor seizoen (of N-opname onbemest gewas en ANR)	omvang van én dynamiek aan- en afvoerposten op N-balans voor seizoen
sterke punten	nauwkeurige afleiding optimale N-gift voor omstandigheden waarbij veldproeven zijn uitgevoerd	goede mogelijkheden voor vertaling naar afwijkende omstandigheden → flexibel	zie balansmethode groeiseizoen + mogelijkheid om rekening te houden met actuele omstandigheden (weer, etc.)
	er wordt impliciet rekening gehouden met alle aspecten die van invloed zijn op de optimale N-gift	gebruik vuistgetallen mogelijk – relatief eenvoudig af te leiden → goedkoop (behalve als opname door onbemest gewas en ANR nodig zijn)	combinatie mogelijk met tussentijds grond- en/of gewasonderzoek
	verschafft inzicht in gevoeligheid voor hogere en/of lagere giften (door respons)	verschafft inzicht in milieu-aspecten	
zwakke punten	benodigde veldproeven zijn relatief duur	lastig om rekening te houden met kwaliteits-aspecten gewas	zie balansmethode groeiseizoen + alleen toepasbaar voor gewassen waarbij N-gift wordt gedeeld
	verschafft beperkt inzicht in milieu-effecten	nauwkeurigheid afzonderlijke posten (inclusief cumulatief effect) bepaalt nauwkeurigheid advies	benodigde informatie (input) voor verkrijgen voldoende nauwkeurigheid kan oplopen
	vertaalbaarheid naar afwijkende omstandigheden beperkt	geen inzicht in effect hogere of lagere giften op opbrengst en kwaliteit gewas	

### 3.3.2 Mogelijkheden om rekening te houden met afwijkende omstandigheden

Voordat we op zoek gaan naar adviessystemen die beter rekening houden met verschillen in omstandigheden, is het van belang om na te gaan welke aspecten (o.a. bodemfactoren) van belang zijn voor de opbrengstreactie van gewassen op een N-gift en op de hoogte van de optimale N-gift en hoe groot de effecten zijn van verschillen in omstandigheden op de optimale N-gift.

Er is relatief weinig onderzoek gedaan naar deze vragen. We halen hier een aantal relevante studies aan die in meer of mindere mate hiernaar hebben gekeken:

- Tremblay et al. (2012) hebben in een meta-analyse van 51 studies die zijn uitgevoerd op diverse locaties in de VS onderzocht hoe groot het effect van bodemeigenschappen en weersomstandigheden was op de opbrengstreactie van maïs op N-gift. Ze stelden vast dat de N-respons op kleigronden (variërend van lichte tot zware klei) groter was dan op zavelgronden (variërend van lichte tot zware zavel). De N-respons op de kleigronden nam toe naarmate de

- neerslag hoger was. Er werden geen uitspraken gedaan over de ligging van de optimale N-gift.
- Scharf et al. (2005) toonden in een 3-jarig project met 8 veldproeven met maïs in de VS aan dat de economisch optimale N-gift sterk uiteen liep tussen en binnen percelen. Ze gaven niet aan welke factoren verantwoordelijk waren voor de verschillen, maar adviseerden wel om bij het opstellen van adviezen rekening te houden met de lokale omstandigheden.
  - Shillito et al (2009) hebben de opbrengstreactie van aardappelen bij 4 N-giften onder uiteenlopende omstandigheden (ten aanzien van topografie, textuur, Nmin-voorjaar en bodemvochtgehalte) bestudeerd en stelden vast dat de opbrengstreactie sterk varieerde met de omstandigheden. Van de co-variabelen, was alleen het effect van kleigehalte (en dus niet de Nmin-voorraad in het voorjaar!) op de N-respons significant.
  - Van Evert et al. (2011) gaven aan dat opbrengstreactie van zetmeelaardappelen bij oplopende N-giften kan variëren binnen percelen en dat het organische stofgehalte daarbij een belangrijke rol speelt. Dat is vastgesteld door in 4 percelen te Valthermond steeds de opbrengstrespons te bepalen op een perceelsgedeelte met een laag en een hoog organische stofgehalte.
  - Pronk & Schröder (2006) hebben nagegaan of het mogelijk is de adviezen in Nederland te verfijnen met bodemparameters, maar ze concludeerden dat daarvoor onvoldoende aanknopingspunten waren.

Op basis van het voorgaande lijken de textuur (bijvoorbeeld lutumgehalte) en het organische stofgehalte (vaak gekoppeld aan N-mineralisatie) de belangrijkste bodemfactoren te zijn die van invloed zijn op de respons van gewassen op een N-gift en daarmee op de optimale N-gift. Het Nmin-gehalte kan eveneens een rol spelen, maar het effect daarvan lijkt beperkt te zijn. Om deze factoren op te nemen in een adviessysteem voor het afleiden van de optimale N-gift, is kwantitatieve informatie nodig over de invloed van die factoren op de optimale N-gift.

Daarnaast is hiervoor ook al aangegeven dat het opbrengstniveau van een aantal gewassen ook van invloed is op de hoogte van de optimale N-gift. Van Dijk et al. (2012) hebben o.a. gekeken naar het effect van opbrengstniveau en het N-leverend vermogen in de bodem op de optimale N-gift voor consumptieaardappelen. In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op de invloed van deze aspecten en de mogelijkheid om daar in de adviezen rekening mee te houden.

### 3.3.3 Milieukundige effecten van bemestingsadviezen

Het belangrijkste doel van een bemestingsadvies is dat het voor een specifiek praktijkperceel een advies over de N-gift geeft dat de economisch optimale gift zo goed mogelijk benadert (ongeacht de specifieke omstandigheden van grondsoort, bodemvruchtbaarheid, vochtuishouding, klimaat, gewas / ras).

Aanvullende eisen kunnen zijn gelegen in het beperken van negatieve milieu-effecten, zoals nitraatuitspoeling, ammoniakemissie en/of broeikasgasemissie. Tot nu toe was de afleiding van bemestingsadviezen puur gericht op landbouwkundige doelen en werd eigenlijk nooit rekening gehouden met milieukundige aspecten. Dit gebeurt wel bij het vaststellen van gebruiksnormen voor werkzame N door de overheid (o.a. Schröder et al., 2004), die bepalend zijn voor de ruimte die er op het niveau van het landbouwbedrijf is voor de toepassing van meststoffen. Het lijkt echter zinvol bij het vaststellen van de landbouwkundige adviezen in de toekomst wél rekening te houden met de milieukundige aspecten, omdat een meststofgift die tot hoge uitspoelingsverliezen leidt vanuit maatschappelijk belang niet acceptabel is en omdat dit door wetgeving ook vrijwel onmogelijk wordt gemaakt. Het belang hiervan neemt naar de toekomst alleen maar toe. Een balansmethode is hiervoor beter geschikt dan de Nmin-methode (o.a. Neeteson, 1990).

## 4 Opbrengstniveau en N-levering

Bij een aantal gewassen zijn de opbrengsten de afgelopen decennia, o.a. door het beschikbaar komen van nieuwe rassen, sterk gestegen. Vaak wordt aangenomen dat hiermee ook de bemestingsbehoefte is toegenomen, en dat bemestingsadviezen daarop zouden moeten worden aangepast. In dit hoofdstuk gaan we in op de wenselijkheid om in de N-bemestingsadviezen beter rekening te houden met het opbrengstniveau. Een ander aspect waarmee in de N-bemestingsadviezen wellicht beter rekening kan worden gehouden is de N-mineralisatie en/of het N-leverend vermogen van de bodem. Ook dat aspect wordt in dit hoofdstuk beschreven.

### 4.1 Effecten van opbrengstniveau en N-levering op de N-behoefte

Van Dijk et al. (2011) zijn in een studie naar flexibilisering van gebruiksnormen o.a. ingegaan op het effect van gewasopbrengst op de hoogte van de optimale N-gift (ofwel de bemestingsbehoefte). Ze geven aan dat een hogere opbrengst bij de meeste gewassen betekent dat de N-opname ook hoger is, maar dat dit niet altijd betekent dat de benodigde N-gift hoger is. Het volgende speelt daarbij een rol:

- Als de N-levering vanuit de bodem hoger is, zal eenzelfde N-gift bij een gelijk blijvende opname-efficiëntie leiden tot een hogere N-opname dan bij een lagere N-levering. Dit komt overeen met scenario 1 uit Figuur 2.1;
- Als de efficiëntie van de toegediende N (ofwel de opname-efficiëntie) hoger is, kan dezelfde N-gift leiden tot een hogere N-opname. Dit komt overeen met scenario 2 uit Figuur 2.1.

In deze gevallen leidt een hogere N-opname dus niet tot een hogere N-bemestingsbehoefte. Dit is wel het geval als sprake is van een hogere N-opname bij een zelfde N-levering en opname-efficiëntie (scenario 3 uit Figuur 2.1).

Verder geven ze aan dat er verschillen zijn tussen gewassen, waarbij

- een hogere opbrengst en N-opname bij consumptieaardappelen, wintertarwe en snijmaïs wel leiden tot een hogere optimale N-gift (de effecten zijn gekwantificeerd en weergegeven in Tabel 4.1), terwijl een hogere nulopname bij consumptieaardappelen leidt tot een lagere optimale N-gift;
- een hogere opbrengst en N-opname bij zetmeelaardappelen, suikerbieten en zaaiuien niet leiden tot een hogere optimale N-gift, omdat bij deze gewassen geen significant verband werd gevonden tussen opbrengst en optimale N-gift.

Tabel 4.1. Effect van opbrengstniveau en nulopname (N-opname door een onbemest gewas) op de optimale N-gift bij consumptieaardappel, wintertarwe en snijmaïs (Bron: Van Dijk et al., 2011).

Gewas	Effect van opbrengstniveau <sup>1</sup> (kg N/ton product <sup>3</sup> )	Effect van nulopname <sup>2</sup> (kg N/kg N)
Consumptieaardappel	4.4	-1.5
Wintertarwe	16.1	ns
Snijmaïs	11.3	-0.9

<sup>1</sup> voor elke ton meerproductie stijft de N-bemestingsbehoefte met 4.4, 16.1 en 11.3 kg N per ha

<sup>2</sup> voor elke kg N nulopname daalt de N-bemestingsbehoefte met 1.5 en 0.9 kg N per ha

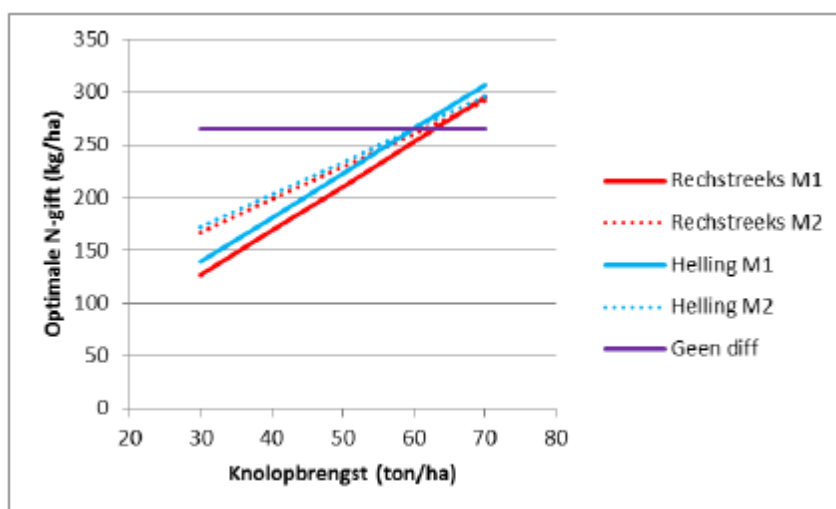
<sup>3</sup> verse knolopbrengst bij aardappel, korrelopbrengst (16% vocht) bij wintertarwe en drogestofopbrengst bij snijmaïs

Door Van Dijk et al (2012) is tevens gekeken naar de mogelijkheid van differentiatie van het N-advies van consumptieaardappelen afhankelijk van het opbrengstniveau en de N-mineralisatie. Meer specifiek betekent dit dat op basis van een analyse van 32 veldproeven met consumptieaardappelen op zand- en lössgrond is gekeken naar de vraag in welke mate de optimale N-gift afhangt van het opbrengstniveau en het N-leverend vermogen van de bodem. Ook is gekeken in hoeverre die factoren onderling zijn gecorreleerd en in hoeverre inpassing in bestaande bemestingsadviezen mogelijk is.



Belangrijkste conclusies uit de studie waren:

- De optimale N-gift hangt zowel af van de knolopbrengst als van het N-leverend vermogen van de bodem, en de effecten zijn tegengesteld: een hogere opbrengst leidt tot een hogere optimale N-gift, terwijl een hogere N-levering uit de bodem leidt tot een lagere optimale N-gift (zie ook Figuur 2.1).
  - De laagste optimale N-gift (90 kg N per ha) werd gerealiseerd bij een lage knolopbrengst (30 ton/ha) en een hoge N-levering (110 kg N/ha), terwijl
  - de hoogste optimale N-gift (330 kg N per ha) werd gerealiseerd bij een hoge knolopbrengst (70 ton/ha) en een lage N-levering (65 kg N/ha).
- De knolopbrengst bij de optimale N-gift en de N-levering uit de bodem zijn positief (significant) gecorreleerd: naarmate de N-levering uit de bodem hoger is, is de knolopbrengst hoger.
- Inpassing van de effecten van opbrengst en N-levering in het advies is alleen mogelijk als die op een betrouwbare manier kunnen worden geschat. In de studie wordt gesteld dat er geen goede indicator is voor de N-levering en dat daarom in het advies alleen rekening kan worden gehouden met het effect van opbrengst (Figuur 4.1). Voor een perceel kan de verwachte opbrengst worden ingeschat door het meerjarige gemiddelde, waarbij dus voorbij wordt gegaan aan jaar-effecten.



Figuur 4.1. Verband tussen knolopbrengst van consumptieaardappelen en optimale N-gift dat kan worden gebruikt als basis voor een gedifferentieerd N-bemestingsadvies. Het verband is op een aantal uiteenlopende manieren (M1 en M2) bepaald (Voor meer informatie, zie Van Dijk et al., 2012).

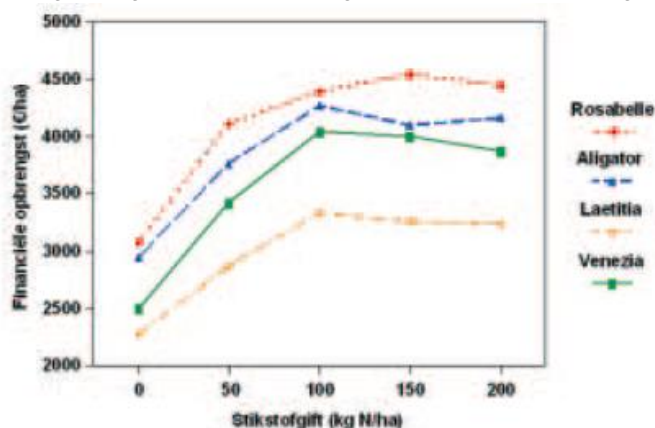
Op basis van het voorgaande concluderen wij het volgende:

- Voor de gewassen consumptieaardappelen en wintertarwe is er sprake van een significant effect van opbrengstniveau en N-levering op de optimale N-gift. Voor deze gewassen is het in principe zinvol om daar in het N-advies rekening mee te houden, mits de opbrengst en de N-levering betrouwbaar geschat kunnen worden (zie verder). Voor suikerbieten, zetmeelaardappelen en zaaiuien is er geen significant effect van het opbrengstniveau op de optimale N-gift en is het dus ook niet nodig om daar in het N-advies rekening mee te houden.
- Bij consumptieaardappelen is aangetoond dat de knolopbrengst en de N-levering uit de bodem positief zijn gecorreleerd: een hoge N-levering leidt vaak tot een hoge knolopbrengst. Omdat een hoge knolopbrengst vaak samengaat met een hoge N-levering, is de N-behoefte bij een hoge knolopbrengst dus niet altijd hoger (de hoge N-levering uit de bodem maakt een hoge N-gift niet altijd nodig). Dit maakt de behoefte aan differentiatie minder groot.

#### 4.2 Opbrengstniveau en optimale N-gift bij suikerbieten

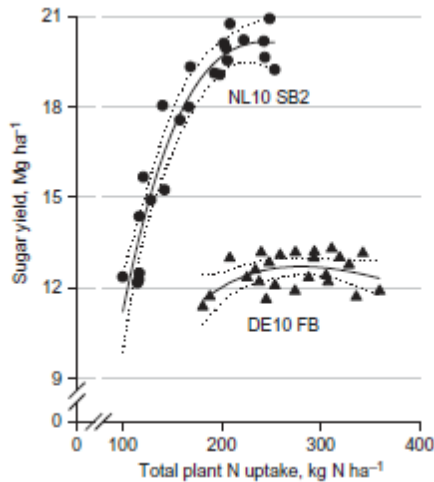
In de vorige paragraaf is aangegeven dat het opbrengstniveau bij suikerbieten niet van invloed is op de optimale N-gift en dat er in het N-advies dus geen rekening gehouden hoeft te worden met de hoogte van de wortel-/suikeropbrengst. Dit kan vragen oproepen, aangezien er in de afgelopen decennia juist bij suikerbieten sprake is geweest van een sterke opbrengststijging. Zo is de gemiddelde suikeropbrengst die op praktijkpercelen in Nederland werd gerealiseerd lineair gestegen van ca. 6 ton per ha in 1950 tot 10-11 ton per ha in 2006 (Hanse et al., 2011) en 13-15 ton per ha in 2014-2015 (IRS, 2017). Dit is het gecombineerde effect van veredeling, een verbeterd gewasmanagement en positieve effecten van klimaatverandering (Laufer et al., 2016). De veredeling heeft geleid tot hogere wortelopbrengsten, een betere winbaarheid van suiker en lagere aminostikstofgehalten (Laufer et al., 2016).

Uit N-trappenproeven in suikerbieten die in 2003 en 2004 zijn uitgevoerd op een zandgrond te Rolde is gebleken dat de optimale N-gift nauwelijks verschilde tussen rassen en steeds lag op een niveau tussen 100 en 150 kg N per ha (Wilting, 2005). Dit is opmerkelijk, aangezien de financiële opbrengst (die rechtstreeks wordt berekend uit de suikeropbrengst) sterk verschilde tussen de rassen (Figuur 4.2). Blijkbaar zijn er grote verschillen tussen rassen in de N-efficiëntie (opname-efficiëntie (kg opgenomen N per kg N toegediend) of benuttingsefficiëntie (suikeropbrengst per kg opgenomen N)).



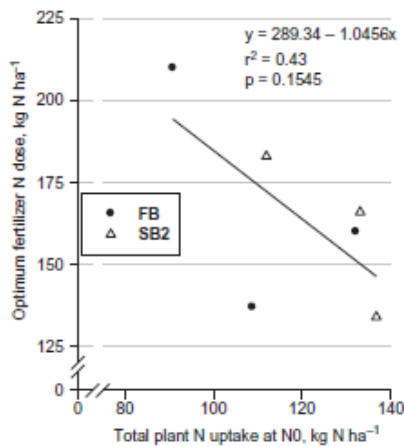
Figuur 4.2. Relatie tussen de N-gift en financiële opbrengst van 4 suikerbietenrassen. Resultaten van een veldproef op zandgrond te Rolde in 2004 (Wilting, 2005).

In veldproeven die in 2010 en 2011 met 3 suikerbietenrassen en 1 voederbietenras zijn uitgevoerd in Nederland (zavelgrond Lelystad), Duitsland en Denemarken werd een vergelijkbaar effect gevonden en bleek dat de hoogste suikeropbrengst (tot 20 ton suiker per ha) steeds werd gerealiseerd bij N-giften van 115-210 kg N per ha en een N-opname van 200-270 kg N per ha, maar dat er over alle locaties samen geen relatie was tussen de maximale suikeropbrengst en de totale N-opname bij die maximale opbrengst (Koch et al., 2016). Interacties met locatie en ras speelden hierbij een rol: er werden grote verschillen vastgesteld in de benuttingsefficiëntie (suikeropbrengst per kg N-opname) in afhankelijkheid van ras en locatie. Dit is geïllustreerd door de resultaten voor een suikerbietenras in de veldproef in 2010 in Nederland te vergelijken met de resultaten van de voederbieten in de veldproef die in 2010 in Duitsland is uitgevoerd (Figuur 4.3).



Figuur 4.3. Relatie tussen totale N-opname door het gewas en suikeropbrengst voor een suikerbietenras (veldproef 2010, Nederland) en een voederbietenras (veldproef 2010, Duitsland) (Koch et al., 2016).

De auteurs gaven aan dat 50-80 kg N minder nodig is voor het realiseren van 95% van de maximale suikeropbrengst. Verder gaven ze aan dat de optimale N-gift afnam van 210 tot 135 kg N per ha met een toename van de N-opname in het onbemeste object van 90 tot 140 kg N per ha (Figuur 4.4). Hieruit kan worden afgeleid dat het wellicht zinvol is in het N-advies voor suikerbieten rekening te houden met de N-levering uit de bodem. Het aantal punten waarop de relatie was gebaseerd was echter beperkt, en het effect was niet significant.



Figuur 4.4. Verband tussen de N-opname in onbemest object (N0) en de optimale N-gift bij bieten voor 2 rassen op 3 locaties. De relatie is niet significant (bron: Koch et al., 2016).

Een van de verklaringen waarom de optimale N-gift bij suikerbieten ondanks de toegenomen opbrengsten in de afgelopen decennia niet of nauwelijks is toegenomen, is de toename van de benuttingsefficiëntie van nieuwe rassen (Laufer et al., 2016). Doordat het N-gehalte in de wortel is gedaald, is de totale N-opname in de wortel ondanks de sterke opbrengststijging nauwelijks toegenomen. Dit betekent dat de N-benuttingsefficiëntie (de suikeropbrengst per eenheid N in het gewas) is toegenomen. De afname van het N-gehalte in de wortel wordt bevestigd door data van het gemiddelde aminostikstofgehalte, dat een lineaire daling heeft laten zien van ca. 25 mmol per kg biet in 1983 tot circa 10 mmol per kg biet in 2016 (IRS, 2017). Aangezien het aminostikstofgehalte een goede

relatie vertoont met het totale N-gehalte (Hanse et al., 2011), betekent dit dat ook het N-totaalgehalte in de afgelopen decennia sterk is gedaald.

#### 4.3 *Mogelijkheden om opbrengst en N-levering te schatten*

In paragraaf 4.1 is aangegeven dat er voor consumptieaardappelen en wintertarwe wel en voor suikerbieten, zetmeelaardappelen en zaaiuien geen relatie is tussen de opbrengst en N-levering enerzijds en de N-bemestingsbehoefte anderzijds. Ondanks dat er aanwijzingen zijn dat het voor suikerbieten wel zinvol is om rekening te houden met de N-levering (paragraaf 4.2), lijkt een differentiatie van het N-advies op basis van deze factoren vooralsnog vooral zinvol voor consumptieaardappelen en wintertarwe. Zoals Van Dijk et al. (2012) hebben aangegeven, is een betrouwbare schatting van de verwachte opbrengst en N-levering in dat geval van belang.

##### 4.3.1 Schatting van de opbrengst

Er kan sprake zijn van opbrengstverschillen tussen en binnen percelen, maar ook tussen jaren op een bepaald perceel(sgedeelte). Oorzaken van opbrengstverschillen tussen percelen of perceelsgedeelten kunnen zijn gelegen in verschillen in chemische, fysische en/of biologische bodemkwaliteit en/of verschillen in het management.

Het is de vraag of voor een opbrengstschatting uitgegaan moet worden van een gemiddelde opbrengst of van een maximaal haalbare opbrengst. De opbrengsten van een perceel kunnen nogal fluctueren tussen jaren en de jaarsinvloed is van te voren niet bekend. In de regel zal een teler geneigd zijn om uit te gaan van de potentieel haalbare ofwel de maximale opbrengst, maar een schatting op basis van de gemiddeld gerealiseerde opbrengst op een perceel in de voorafgaande jaren lijkt betrouwbaarder te zijn.

De belangrijkste oorzaken van verschillen in opbrengst op een bepaald perceel of perceelsgedeelte tussen jaren zijn waarschijnlijk het weer, het optreden van ziekten en plagen en/of verschillen in het gewasmanagement. Deze kunnen leiden tot verschillen in de ontwikkeling en groei van het gewas en de resulterende opbrengst. Het lijkt niet / nauwelijks mogelijk om vóór het begin van het groeiseizoen rekening te houden met verschillen in de gewasopbrengst tussen jaren. De beste mogelijkheid hiervoor is aanwezig voor gewassen waarbij de N-gift wordt verdeeld over meerdere giften (bijbemesting) en waarbij het mogelijk is om op basis van de stand van het gewas halverwege het seizoen een verwachting voor de eindopbrengst te geven (zie verder).

##### 4.3.2 Schatting van de N-levering

De N-levering of N-mineralisatie kan, evenals de opbrengst, verschillen tussen percelen en perceelsgedeelten, maar ook tussen jaren binnen een perceel of perceelsgedeelte. Hierbij spelen verschillen in de ontstaansgeschiedenis van de bodem op het betreffende perceel (opbouw van het bodemprofiel, minerale samenstelling, gehalte en samenstelling organische stof, etc.) en verschillen in de historie van het perceelsgebruik in de voorafgaande jaren (gewassen in de rotatie, behandeling van gewasresten, gebruik van organische meststoffen, zowel qua hoeveelheid als qua type, etc.). Er is de afgelopen decennia veel onderzoek gedaan naar de (voorspelbaarheid van) N-levering op percelen en/of perceelsgedeelten (o.a. Ros, 2011; Velthof, 2003, 2008; Velthof et al., 2002; Zwart, 2003), maar de nauwkeurigheid hiervan laat ondanks alle inspanningen nog te wensen over.

Een manier om de N-levering (achteraf) te kwantificeren is door de N-opname door een onbemest

gewas (via directe meting van de opbrengst en het N-gehalte) en/of door de N-levering in een N-trappenproef af te leiden uit extrapolatie van de relatie tussen de N-gift en N-opname (Van Dijk et al., 2012). De laatstgenoemde optie is echter zeer bewerkelijk en vergt de aanleg van N-trappenproeven, wat niet werkbaar is voor praktijktoepassingen. Het meten van de N-opname in een onbemest gewas is relatief eenvoudig uit te voeren, maar hierin zijn een aantal zaken geïntegreerd (naast N-mineralisatie tevens N-depositie, N-uitspoeling en de efficiëntie waarmee het gewas beschikbare N uit de bodem op kan nemen; o.a. Van Dijk et al. (2012)). Verder is het voorspellende karakter van deze bepaling beperkt, omdat hij alleen achteraf kan worden bepaald. Wel zouden op deze manier gemiddelde verschillen in N-levering tussen percelen en/of perceelsgedeelten vastgesteld kunnen worden, door dit bijvoorbeeld te onderzoeken op referentiepercelen die representatief zijn voor voorkomende praktijksituaties.

De volgende mogelijkheden kunnen worden onderscheiden om de N-levering te schatten:

1. Schatting op basis van een gemeten indicator voor N-levering, waarbij kan worden gedacht aan het organische stofgehalte, het N-totaalgehalte en/of het opgelost organisch N-gehalte in 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-extract.
  - Zo heeft Velthof (2003) op basis van 476 grondmonsters afkomstig van zand- en lössgrond van bouwland (220 monsters), grasland (182 monsters) en maïsland (82 monsters,) de relatie tussen een aantal bodemparameters en de hoogte van de potentiële N-mineralisatie vastgesteld. De relatie tussen Norg in 0,01 M CaCl<sub>2</sub> en de N-mineralisatie leverde het hoogste percentage verklaarde variantie op in een enkelvoudige regressie ( $R^2=61$ ). Bij een meervoudige regressie, waarbij tevens rekening werd gehouden met de bodemgroep, de gewasgroep en de grondwatertrap werd de  $R^2$  verhoogd tot 72%. Op basis daarvan werd aangegeven dat het Norg-gehalte in 0,01 M CaCl<sub>2</sub> goede perspectieven biedt voor het voorspellen van de N-mineralisatie.
  - Velthof et al. (2008) gaven aan dat het N-totaalgehalte van een aantal onderzochte indicatoren de beste correlatie gaf met de N-mineralisatie uit gescheurd grasland, maar dat de onzekerheid van de voorspelde N-mineralisatie groot is. Ondanks dat werd voorgesteld deze indicator te gebruiken als basis voor adviezen om de N-gift aan te passen, omdat het meerwaarde heeft ten opzichte van een standaardgift.
  - Ros et al. (2011) gaven op basis van een meta-analyse aan dat de voorspellende waarde van indicatoren, zoals Norg in 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, voor de N-mineralisatie beperkt is en niet/nauwelijks beter dan een N-totaalbepaling. Om die reden oordeelden ze dat de testen niet bruikbaar zijn voor opname in bemestingsadviezen, maar gaven ze aan dat de prestaties mogelijk kunnen worden verbeterd als tevens rekening wordt gehouden met andere bodemeigenschappen en omgevingsfactoren.
2. Schatting van de N-mineralisatie op basis van het opvragen en doorrekenen van gegevens over de perceelshistorie, zoals voorvrucht en de bemestingsgeschiedenis in de voorafgaande jaren. Deze werkwijze is beschreven in het Handboekbodembemesting.nl en wordt ook gehanteerd bij veel adviesmodellen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de onnauwkeurigheid van deze werkwijze ook aanzienlijk is.
3. Schatting van de N-levering op basis van N-opname in onbemeste objecten. Zoals hiervoor reeds is aangegeven zijn dergelijke cijfers (nog) niet beschikbaar, maar zouden ze wellicht beschikbaar kunnen komen door het doen van metingen op referentiepercelen.

#### 4.4 Mogelijkheden om opbrengst en N-levering in te passen in het advies

##### 4.4.1 Balansmethode

Zoals in het voorgaande hoofdstuk is aangegeven biedt de balansmethode goede mogelijkheden om rekening te houden met verschillen in opbrengstniveaus en N-levering op de benodigde N-gift. Het lijkt dan ook een interessante optie om de huidige Nmin-methode te vervangen door de balansmethode. Er is ook aangegeven dat er verschillende vormen van de balansmethode in omloop zijn, waarbij de balans kan worden opgesteld over de gehele groeiperiode of delen van de groeiperiode.

Bij de balans over de hele groeiperiode kan er onderscheid worden gemaakt naar de volgende vormen:

$$\text{Nwz-gift} = \text{N-opname} - (\Delta\text{Nmin} + \text{MINbod} + \text{MINmest} + \text{MINvv}) \quad (1)$$

Met:

- Nwz-gift = gift aan werkzame N met minerale en organische meststoffen;
- N-opname = N-opname door het gewas;
- $\Delta\text{Nmin}$  = verschil in Nmin-voorraad in voor- en najaar;
- MINbod = N-mineralisatie uit bodem organische stof;
- MINmest = N-mineralisatie uit organische mest (nawerking);
- MINvv = N-mineralisatie uit voorvrucht en/of groenbemester (nalevering);

Deze vorm is beschreven door Van Dijk & Ten Berge (2009) en Parnaudau et al. (2009), maar is door Geypens & Vandendriessche (1996) iets anders geformuleerd door het vervangen van de Nmin-voorraad in het najaar door een factor voor de benutting van de minerale N die gedurende het groeiseizoen in de bodem beschikbaar komt:

$$\text{Nwz-gift} = \text{N-opname} / R - (\text{Nmin voorjaar} + \text{MINbod} + \text{MINmest} + \text{MINvv}) \quad (2)$$

Met:

R = de efficiëntie of recovery waarmee beschikbare N uit de bodem opgenomen kan worden.

Met de R wordt hier dus bedoeld op de recovery van het totale N-aanbod, dat afkomstig is uit de verschillende bronnen. Door Smit (1994) is dit de N-benuttingsindex genoemd.

Als de afzonderlijke aanvoerposten (vooral mineralisatie) niet voldoende nauwkeurig geschat kunnen worden, kan ook de volgende formule worden gebruikt (Van Dijk & Ten Berge, 2009):

$$\text{Nwz-gift} = (\text{N-opname bemest gewas} - \text{N-opname onbemest gewas}) / \text{ANR} \quad (3)$$

Met:

ANR = schijnbare N-benutting, berekend als:  $(\text{N-opname bemest} - \text{N-opname onbemest})/\text{N-gift}$ .

De ANR heeft betrekking op de recovery van de met meststoffen toegediende N, en die wordt berekend door de N-opname door het gewas te delen door de N-gift en daarbij te corrigeren voor de N-opname in een onbemest gewas.

In principe kunnen deze drie vormen van de balansmethode allemaal worden gebruikt, maar ze zijn ook

allemaal omgeven met de nodige onzekerheden. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de wijze waarop de balansposten voor de drie formules kunnen worden afgeleid.

#### 4.4.2 Bepalen van posten op de balans

##### *N-opname bij verwachte opbrengst*

In alle drie de genoemde vormen van het advies (formules 1, 2 en 3 die in de voorgaande paragraaf zijn genoemd), wordt de N-opname door een gewas berekend uit

- de verwachte opbrengst (op basis van het product of het hele gewas) en
- een (minimaal benodigd) N-gehalte (eveneens op basis van het product of het hele gewas) om die opbrengst te realiseren.

Zoals in paragraaf 4.3.1 reeds is aangegeven kan de opbrengstverwachting het best worden gebaseerd op historische gegevens van de gerealiseerde opbrengst van het betreffende gewas op het beschouwde perceel. Bij het berekenen van de N-opname moet rekening worden gehouden met het product (dat wordt geoogst en afgevoerd van het perceel) en overige gewasdelen die al dan niet op het perceel achterblijven (bijproduct).

Voor het (minimaal benodigde) N-gehalte in het product en de gewasrest voor het realiseren van de gewenste opbrengst wordt vaak gewerkt met gemiddelde gehalten. Er kan echter een aanzienlijke spreiding voorkomen in de gehalten. Van der Schoot & Van Dijk (2001) hebben dit voor de N- en P-afvoer met het hoofdproduct van een groot aantal akkerbouwgewassen in beeld gebracht.

##### *N-opname door onbemest gewas*

Bij de derde vorm van de balansmethode (formule 3) vormt de N-opname door een onbemest gewas een belangrijke component. Het is een maat voor de N-levering uit de bodem, gewasresten en organische meststoffen, maar de recovery van het gewas is ook mede bepalend. Deze post kan in proeven met een onbemest object worden berekend uit de opbrengst en het gemeten N-gehalte, maar dat kan alleen achteraf en wordt in het algemeen op een andere locatie bepaald dan de praktijksituaties waarvoor het advies beschikbaar moet komen.

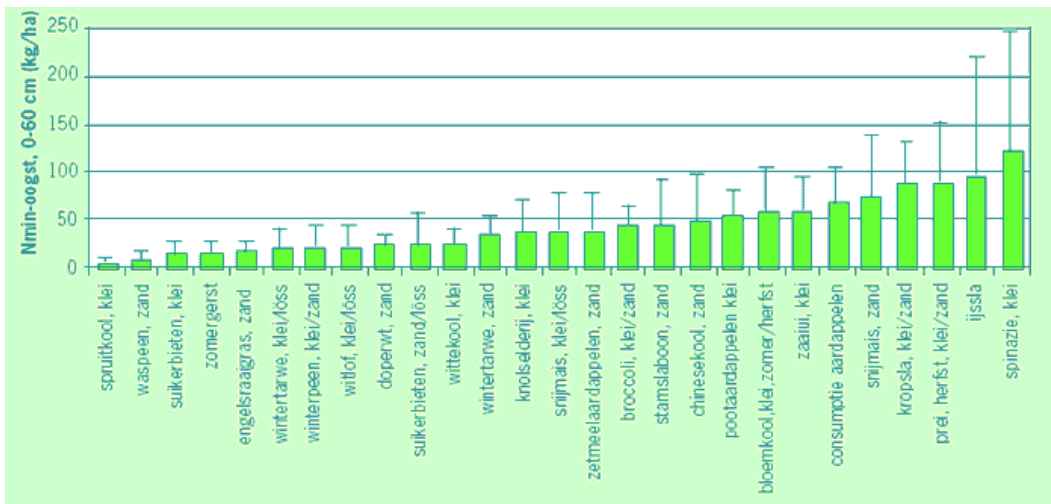
De N-opname in een onbemest gewas kan sterk variëren in afhankelijkheid van de omstandigheden. Uit een studie van Van Dijk et al. (2012) blijkt op basis van een analyse van 32 veldproeven met consumptieaardappelen op zand- en lössgrond (waarbij in geen van de proeven dierlijke mest is gebruikt) dat de N-opname in het onbemest gewas gemiddeld 85 kg N per ha bedroeg, maar varieerde tussen 51 en 196 kg N per ha. In praktijksituaties waar vaak wel gebruik wordt gemaakt van dierlijke mest, zal het gemiddelde waarschijnlijk op een hoger niveau liggen en zal de spreiding rond het gemiddeld eerder groter dan kleiner zijn. Het is dus lastig om hier vooraf een goede schatting van te maken. Zoals in de voorgaande paragraaf is aangegeven lijkt het zinvol te zijn om gegevens hierover in referentiepercelen te verzamelen

##### *N-mineraalvoorraad in voor- en najaar*

In formule 1 en 2 wordt gebruik gemaakt van de N-mineraalvoorraad in het voorjaar en in formule 1 tevens van die in het najaar. De N-mineraalvoorraad in het voorjaar kan worden gemeten voor het berekenen van de adviesgift.

Voor de N-mineraalvoorraad in het najaar kan gebruik worden gemaakt van gemiddelde hoeveelheden die van uiteenlopende gewassen na de oogst in de bodem achterblijven (ook wel residuaire

stikstofhoeveelheden genoemd). In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat die voorraad relatief laag is voor suikerbieten (20-30 kg Nmin/ha) en relatief hoog voor consumptieaardappelen (50-75 kg Nmin/ha). Uitgebreidere informatie hierover is verzameld in diverse projecten in Nederland (o.a. 'Sturen op nitraat') en Vlaanderen, waar het een beleidsinstrument is om de nitraatuitspoeling naar grondwater te beperken. Zo heeft Corré (1994) een verkenning uitgevoerd om de Nmin-voorraad in het najaar te gebruiken als basis voor beleid en hebben Van Enkevort et al. (2001) een uitgebreid overzicht gemaakt van de geschatte Nmin-voorraden na de oogst per gewas bij N-giften overeenkomend met het advies (Figuur 4.5).



Figuur 4.5. De geschatte Nmin-voorraad na de oogst in de 0-60 cm bodemlaag voor veel voorkomende akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen bij bemesting volgens advies onder gemiddelde omstandigheden (Van Enkevort et al., 2001).

#### *N-mineralisatie uit bodem, organische mest en voorvrucht*

Zoals in het voorgaande hoofdstuk is beschreven zijn er een aantal opties om een schatting te maken van de verwachte N-mineralisatie. Naast de bepaling van de N-opname door een onbemest gewas (zie hiervoor), zijn dat:

- Het gebruik van indicatoren, zoals N-totaal of Norg in 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, als voorspeller van de N-mineralisatie;
- het berekenen van de N-nalevering uit de verschillende organische stofbronnen die in het verleden op het betreffende perceel zijn toegediend op basis van een goede perceelsregistratie (liefst gecombineerd met meetgegevens van de organische stofbronnen). Voor een belangrijk deel kan hierbij gebruik worden gemaakt van de kengetallen die zijn vermeld op de website [handboekbodembemesting.nl](http://handboekbodembemesting.nl) en worden gebruikt om correcties toe te passen op de Nmin-richtlijnen.

#### *Recovery / benutting en schijnbare benutting*

Gewassen verschillen in de efficiëntie waarmee ze N uit de bodem op kunnen nemen. In dit kader wordt vaak het begrip benutting / recovery gebruikt, maar ten behoeve van de karakterisering van de benutting van de met meststoffen toegediende N wordt meestal het begrip schijnbare benutting / apparent recovery gebruikt. In het laatste geval wordt een correctie toegepast voor de N-opname door een onbemest gewas, die voor een belangrijk deel afhangt van de N-levering uit de bodem. Er zijn gemiddelde waarden bekend van R en/of ANR per gewas, waarbij moet worden opgemerkt dat zowel R als ANR afhankelijk zijn van de N-beschikbaarheid (combinatie van N-levering en N-gift):



normaalgesproken geldt dat de efficiëntie / benutting / recovery afneemt bij een toename van de N-beschikbaarheid. Verder hebben bodemeigenschappen als structuur en bewortelbaarheid invloed op R en ANR.

Door Smit (1994) zijn indicatieve waarden voor de N-benuttingsindex (NBI, hiervoor R genoemd) van een aantal akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen afgeleid. De NBI is berekend op basis van de gangbare N-adviezen, een gemiddelde N-mineraalvoorraad in het voorjaar, een gemiddelde N-mineralisatie en een N-opname bij gemiddelde opbrengstniveaus (en gemiddelde N-gehalten). De resulterende NBI varieerde tussen 0,44 (bijvoorbeeld voor sla, spinazie en uien) tot >1 (bijvoorbeeld voor doperwt) (Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Overzicht van de N-opname, N-aanvoer van N-mineraal (via Nmin-voorjaar, de N-gift volgens het bemestingsadvies en de N-mineralisatie) en de berekende N-benuttingsindex (NBI) bij de adviesgift van de belangrijkste akkerbouwgewassen (Bron: Smit, 1994).

gewas	N-opname			Nmin vj	N-advies	N-mineralisatie	N-tot	NBI
	product	rest	totaal					
aardappel	180	20	200	50	230	84	364	0,55
suikerbiet	90	120	210	50	125	109	284	0,74
uien	120	5	125	50	130	102	282	0,44
w.tarwe	200	45	245	50	150	84	284	0,86

Evenals de N-benuttingsindex is de ANR ook afhankelijk van het gewas:

- Voor consumptieaardappelen heeft Neeteson et al. (1987) laten zien dat de ANR bij een hoge N-dosering (rond advies) in een drietal proeven 0,47 bedroeg, terwijl die bij lagere doseringen gelijk was aan 0,59; Postma et al. (2009) stelden vast dat de ANR bij adviesgiften voor consumptieaardappelen op zandgrond te Vredepeel varieerden tussen 0,4 en 0,6 en bij zetmeelaardappelen te Valthermond tussen 0,5 en 0,7. In de meeste gevallen nam de ANR af met een toenemende N-gift, maar er was ook in het traject rond de adviesgift sprake van een aanzienlijke spreiding in ANR.
- In proeven die in Nederland, Duitsland en Denemarken zijn uitgevoerd met suikerbieten, werd een ANR gemeten van rond de 0,60, met een spreiding tussen 0,50 en 0,70 (Koch et al., 2016). Het was opvallend dat de ANR niet afnam met een toename van de N-gift. Er moet wel worden opgemerkt dat de ANR is gebaseerd op de N-opname in het hele gewas, dus zowel in de wortel als in het blad, waarbij ongeveer de helft van de stikstof in het blad aanwezig was.
- In 17 veldproeven met wintertarwe (Dekker & Postma, 2006) bedroeg de ANR op basis van de N-opname in de korrel 0,53 voor voertarwe (met een spreiding van 0,36 tot 0,72) en 0,51 voor baktarwe (met een spreiding van 0,31 tot 0,65).

#### 4.4.3 N-adviezen consumptieaardappelen volgens balansmethode

De formules die zijn gegeven in paragraaf 4.4.1 kunnen worden gebruikt om adviezen volgens de balansmethode af te leiden. Daarbij moeten dan wel waarden voor de balansposten worden afgeleid, waar in paragraaf 4.4.2 op ingegaan is.

Getallenvoorbeelden voor het berekende N-advies voor consumptieaardappelen in afhankelijkheid van opbrengstniveau en N-levering / N-mineralisatie, berekend met de formules 1, 2 en 3 uit paragraaf 4.4.1 zijn respectievelijk weergegeven in Tabel 4.7 t/m 4.9.

Tabel 4.7. N-advies berekend volgens de balansmethode (formule 1 uit paragraaf 4.4.1) voor een aantal varianten die verschillen in opbrengst, N-mineralisatie en Nmin-najaar (schatting; N-hoeveelheden in kg N/ha).

<b>Opbrengst, t/ha</b>	<b>N- opname</b>	<b>N- mineralisatie</b>	<b>Nmin voorjaar</b>	<b>Nmin najaar</b>	<b>N-advies volgens N-balans</b>	<b>N-verlies</b>
40	132	50	20	30	92	30
50	165	50	20	50	145	50
60	198	50	20	70	198	70
40	132	100	20	40	52	40
50	165	100	20	60	105	60
60	198	100	20	80	158	80
40	132	150	20	60	22	60
50	165	150	20	80	75	80
60	198	150	20	100	128	100

Tabel 4.8. N-advies berekend volgens de balansmethode (formule 2 uit paragraaf 4.4.1) voor een aantal varianten die verschillen in opbrengst en N-mineralisatie. N-hoeveelheden in kg N/ha.

<b>Opbrengst, t/ha</b>	<b>N-op- name</b>	<b>N-mine- ralisatie</b>	<b>Nmin vj</b>	<b>R</b>	<b>N-advies volgens N-balans</b>	<b>N-verlies</b>
40	132	50	20	0,55	170	108
50	165	50	20	0,55	230	135
60	198	50	20	0,55	290	162
40	132	100	20	0,55	120	108
50	165	100	20	0,55	180	135
60	198	100	20	0,55	240	162
40	132	150	20	0,55	70	108
50	165	150	20	0,55	130	135
60	198	150	20	0,55	190	162

Tabel 4.9. N-advies berekend volgens de balansmethode (formule 3 uit paragraaf 4.4.1) voor een aantal varianten die verschillen in opbrengst en de N-opname in een onbemest object. N-hoeveelheden in kg N/ha.

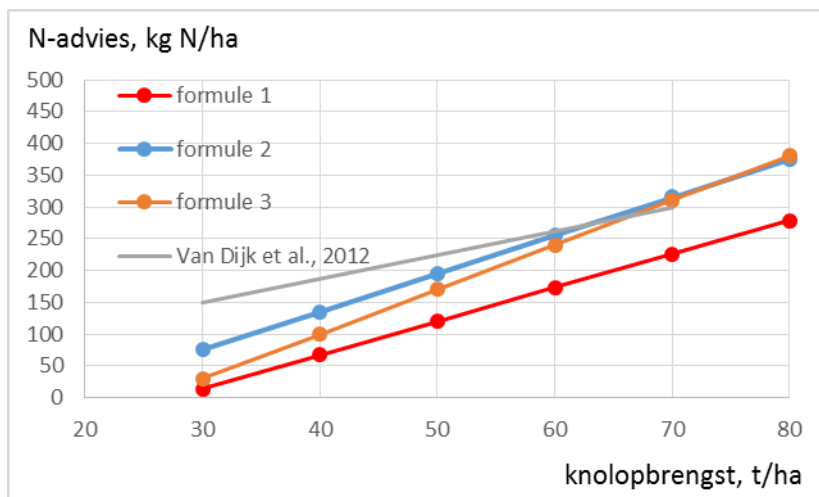
<b>Opbrengst, t/ha</b>	<b>N-opname</b>	<b>N-opname onbemest</b>	<b>ANR</b>	<b>N-advies</b>	<b>N-verlies</b>
40	132	50	0,47	174	92
50	165	50	0,47	245	130
60	198	50	0,47	315	167
40	132	100	0,47	68	36
50	165	100	0,47	138	73
60	198	100	0,47	209	111
40	132	150	0,47	0	18
50	165	150	0,47	32	17
60	198	150	0,47	102	54

## Opmerkingen:

- Voor het berekenen van de N-opname is steeds uitgegaan van een vast N-gehalte van 3,3 kg N/ton (versgewicht) aardappelen. Deze kan eventueel op basis van gegevens van Van der Schoot en Van Dijk (2001) afhankelijk worden gemaakt van de opbrengst (hogere opbrengsten leiden tot een iets lager N-gehalte), maar dit effect is niet groot.  
Daarnaast zijn er verschillen tussen aardappelrassen in droge-stofproductie per kg opgenomen stikstof in de knol (Tiemens-Hulscher et al., 2012). Dit impliceert dat het N-gehalte in de droge stof verschilt tussen rassen. Het zal dan ook verschillen in de verse massa.  
Van het aardappelgewas weten we dat er grote verschillen zijn tussen rassen in N-behoefte, die vooral samenhangen met de vroegrijpheid en niet met het niveau van de N-opname. Bij het opstellen van een N-balans zal dit terug moeten komen.
- Voor de N<sub>min</sub>-voorraad in het voorjaar is steeds uitgegaan van een lage voorraad van 20 kg N per ha, wat een aanname is. Voor de N<sub>min</sub>-voorraad in het najaar (Tabel 4.7) is een inschatting gemaakt, waarbij is aangenomen dat een hogere N-mineralisatie en een hogere (opbrengstafhankelijke) N-gift leidt tot een hogere voorraad.
- De R in Tabel 4.8 is gelijk aan de waarde van de NBI die door Smit (1994) is afgeleid (Tabel 4.5).
- De ANR in Tabel 4.9 is gelijk aan de waarde die van 0,47 door Neeteson et al. (1987) is afgeleid.

Uit de resultaten in bovenstaande tabellen blijkt dat er aanzienlijke verschillen zijn in de N-adviezen, afhankelijk van de gehanteerde formule.

Een directe vergelijking van de afhankelijkheid van het N-advies voor de knolopbrengst is gemaakt in Figuur 4.6, waar de relatie op basis van de 3 formules is weergegeven voor een situatie met een N-levering van 85 kg N / ha (in formule 3 komt dit tot uiting in een N-opname van 85 kg N/ha in het niet-bemeste object), wat overeen komt met de gemiddelde N-mineralisatie in de 32 veldproeven met consumptieaardappelen die zijn beschreven door Van Dijk et al. (2012).



Figuur 4.6. Relatie tussen knolopbrengst en het berekende N-advies voor consumptieaardappelen. Het N-advies is berekend met 3 varianten van de balansmethode (zie paragraaf 4.4.1 en Tabel 4.7 t/m 4.9) en vergeleken met het opbrengstafhankelijke N-advies dat is afgeleid door Van Dijk et al., 2012.

Uit Figuur 4.6 blijkt dat het N-advies dat is berekend met formule 2 uit paragraaf 4.4.1 het best overeenkomt met het opbrengstafhankelijke N-advies dat door Van Dijk et al. is afgeleid uit een serie veldproeven met consumptieaardappelen, waarbij met de responsmethode is gewerkt. Bij opbrengsten

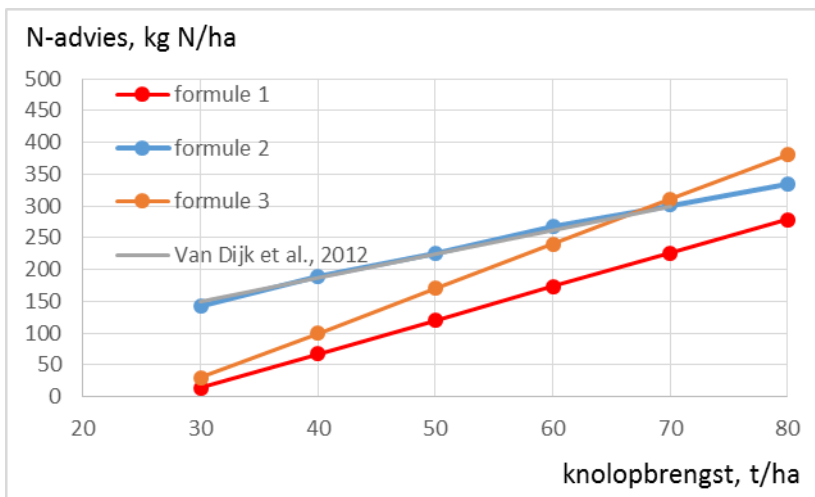
lager dan 65 ton/ha is het N-advies volgens formule 2 lager en bij opbrengsten hoger dan 65 ton/ha is het N-advies volgens formule 2 hoger dan volgens Van Dijk et al. (2012).

Mogelijke oorzaken van de verschillen tussen het opbrengstafhankelijke N-advies dat is afgeleid met de balansmethode en het advies dat is afgeleid door Van Dijk et al. (2012) zijn dat bij de balansmethode onvoldoende rekening is gehouden met de opbrengstafhankelijkheid van

- het N-gehalte (die is in het algemeen lager bij hoge opbrengsten; Van der Schoot & Van Dijk, 2001),
- de N-benutting (die neemt in het algemeen toe met de opbrengst; Ten Berge et al., 2012) en/of
- de N-levering (volgens Van Dijk et al. (2012) was er sprake van een interactie tussen NLV en de opbrengst).

Als bij het afleiden van het opbrengstafhankelijke N-advies beter rekening wordt gehouden met deze effecten, vlak de helling van de relaties in Figuur 4.6 af.

In Figuur 4.7 is dit geïllustreerd door aanpassing van de R (N-benuttingsindex) in formule 2. Deze is afhankelijk gemaakt van de opbrengst. Als bij de opbrengst van 30 ton per ha een R van 0,40 en bij een opbrengst van 70 ton per ha van 0,57 wordt gehanteerd, valt het advies volgens de balansmethode samen met het advies dat door Van Dijk et al. (2012) is afgeleid.



Figuur 4.7. Relatie tussen knolopbrengst en het berekende N-advies voor consumptieaardappelen. Het advies dat is beschreven met formule 2 is aangepast door de R afhankelijk te maken van de opbrengst. Zie tekst voor een toelichting.

#### 4.4.4 Vergelijking afleiding N-adviezen wintertarwe

Voor de vergelijking van op verschillende wijzen afgeleide N-adviezen bij wintertarwe is uitgegaan van de dataset van de 17 kleiproeven die is gebruikt voor de laatste actualisering van de N-richtlijn wintertarwe (Dekker & Postma, 2006). In Tabel 4.10 is een overzicht gegeven van deze proeven met de afgeleide optimale N-giften per proef voor de teelt als voertarwe en voor de teelt als baktarwe. In de proeven 16 en 17 was de geschatte optimale N-gift hoger dan de hoogste gift in de proef. Voor deze proeven is de hoogste N-gift als optimale gift in de analyse meegenomen. Bij de proeven 3 en 7 trad al vroeg in het groeiseizoen (half juni) ernstige legering op door zware regen en stormachtige wind. De opbrengst was daardoor vrij laag en de hoogste opbrengst werd al bereikt bij een relatief lage N-gift.

Tabel 4.10. Gegevens van 17 N-trappenproeven met wintertarwe op klei

Proefnr.	Jaar	Regio	Ras	Voor- vrucht <sup>1</sup>	Nmin(0-100) (kg/ha)	Optimale N-gift (kg/ha)	Opbrengst (ton/ha)	Opt. N-gift baktarwe
1	1996	Oldambt	Ritmo	WT	50	190	10,0	210
2	1997	Oldambt	Ritmo	WT	70	214	11,4	250
3	1998	Oldambt	Ritmo	SB	34	137	7,6	186
4	2000	Flevopolder	Ritmo	SB	41	211	12,0	239
5	1996	Flevopolder	Vivant	SB	45	239	12,6	275
6	1997	Flevopolder	Vivant	SB	52	177	12,1	208
7	1998	Flevopolder	Vivant	SB	56	131	9,1	164
8	1999	Flevopolder	Ritmo	CA	30	253	12,0	270
9	1999	Flevopolder	Ritmo	SB	12	216	14,0	248
10	1999	Flevopolder	Ritmo	SB	12	231	10,6	288
11	2000	Zuidwesten	Ritmo	CA	38	191	11,0	202
12	1996	Zuidwesten	Vivant	SB	90	196	12,6	230
13	1997	Zuidwesten	Ritmo	CA	95	161	10,6	165
14	1998	Zuidwesten	Vivant	CA	71	172	11,0	169
15	1998	Zuidwesten	Ritmo	SB	89	150	9,0	211
16	1999	Zuidwesten	Vivant	SB	10	320	13,4	350
17	1999	Zuidwesten	Ritmo	SB	9	250	12,4	291

<sup>1</sup> CA = consumptieaardappel; SB = suikerbiet; WT = wintertarwe

In Tabel 4.11 is per proef de berekende N-gift volgens de huidige Nmin-richtlijnen weergegeven, zoals die in het Handboek bodem en bemesting staan, incl. de correctie voor nawerking uit bietenblad. Er is hierbij vanuit gegaan dat op alle percelen tenminste 11 ton per ha potentieel haalbaar was. Verder is per proef de afwijking weergegeven van de berekende ten opzichte van de afgeleide optimale N-gift.

Tabel 4.11. N-gift richtlijn en verschil met de afgeleide optimale N-gift bij 17 wintertarweproeven

Proefnr.	N-richtlijn (kg N/ha)		Afwijking richtlijn t.o.v. optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	220	250	30	40
2	200	230	-14	-20
3	216	246	79	60
4	209	239	-2	0
5	205	235	-34	-40
6	198	228	21	20
7	194	224	63	60
8	230	260	-23	-10
9	230	260	14	12
10	230	260	-1	-28
11	230	260	39	58
12	160	190	-36	-40
13	175	205	14	40
14	199	229	27	60
15	161	191	11	-20
16	230	260	-90	-90
17	230	260	-20	-31
Gemiddelde afwijking			5	4
Standaardafwijking			40	44

In de Tabellen 4.12 t/m 4.14 is per proef de berekende N-gift volgens de balansformules 1, 2 en 3 uit paragraaf 4.4.1 weergegeven. Eveneens is per proef de afwijking weergegeven van de berekende N-gift ten opzichte van de afgeleide optimale N-gift.

Balans 1 is opgesteld voor de periode tussen Nmin-voorjaar (uitgegaan van 1 maart) en Nmin na oogst (uitgegaan van 1 augustus). Ook balans 2 is opgesteld voor de periode vanaf Nmin-voorjaar.

Voor de berekening van de N-opname is uitgegaan van een streefopbrengst van 11 ton per ha en een N-gehalte in de korrel van 20 kg/ton (Handboek bodem en bemesting) = 220 kg N per ha in de korrel. Verder is uitgegaan van 4 ton stro per ha met een N-gehalte van 5,8 kg per ton ((Handboek bodem en bemesting) = 23 kg N per ha in het stro. De hoeveelheid stikstof in stoppelresten, kaf en wortelmasa is geschat op 39 kg N per ha. De totale N-opname is dan 282 kg N per ha. Voor baktarwe geldt een streefwaarde van 13% eiwit of hoger (en een minimumnorm van 11,5%). Uitgaande van 16% N in eiwit, zou het N-gehalte in de korrel dan 21 kg/ton moeten bedragen en komt de totale gewasopname uit op 293 kg N/ha. Verder is ervan uitgegaan dat de N-inhoud van het gewas na de winter (als de hergroei begint) 20 kg N/ha bedraagt (Darwinkel, 1997). De Nmin-najaar (0-100 cm) is niet bekend. Daarom is hiervoor voor alle proeven een forfaitaire waarde ingevuld van 31 kg N/ha (Van Enckevort et al., 2002). Van de proefpercelen zijn geen gegevens bekend van het NLV. Derhalve is voor de N-mineralisatie uit de bodem-OS uitgegaan van een gemiddelde jaarmineralisatie van 120 kg N per ha, waarvan 50% mineraliseert in de periode 1 maart – 1 augustus. De N-mineralisatie uit bietenloof is geschat met het mineralisatiemodel Minip, uitgaande van 120 kg N/ha in de gewasresten en inwerken op 1 oktober. De hoeveelheid die na 1 maart mineraliseert is hiermee geschat op 39 kg N per ha.

Voor de berekening met formule 2 is een waarde voor R (de N-benuttingsindex) gehanteerd van 0,86 (Smit, 1994).

De berekening met formule 3 is gebaseerd op alleen de N-inhoud van het geoogste product. Voor de berekening is uitgegaan van een gemiddelde N-opname in de korrel zonder N-bemesting van 71 kg N per ha en een ANR bij optimale N-gift van 0,64. Beide kengetallen zijn gebaseerd op een serie van 27 N-bemestingsproeven met wintertarwe. Dit betreft de 17 proeven die zijn genoemd in Tabel 4.10 en nog 10 proeven die zijn uitgevoerd in de periode 1995 t/m 2011 op lössgrond.

Tabel 4.12. N-gift volgens N-balans (formule 1) en verschil met optimale N-gift bij 17 wintertarweproeven

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	183	194	-7	-16
2	163	194	-51	-56
3	160	191	23	5
4	153	184	-58	-55
5	149	180	-90	-95
6	142	173	-35	-35
7	138	169	7	5
8	203	234	-50	-36
9	182	213	-34	-35
10	182	213	-49	-75
11	195	226	4	24
12	104	135	-92	-95
13	138	169	-23	4
14	162	193	-10	24
15	105	136	-45	-75
16	184	215	-136	-135
17	185	216	-65	-75
Gemiddelde afwijking			-42	-42
Standaardafwijking			40	46

Tabel 4.13. N-gift volgens N-balans (formule 2) en verschil met optimale N-gift bij 17 wintertarweproeven

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	195	208	5	-16
2	175	211	-39	-56
3	172	208	35	5
4	165	201	-46	-55
5	161	197	-78	-95
6	154	190	-23	-35
7	150	186	19	5
8	215	251	-38	-36
9	194	230	-22	-35
10	194	230	-37	-75
11	207	243	16	24
12	116	152	-80	-95
13	150	186	-11	4
14	174	210	2	24
15	117	153	-33	-75
16	196	232	-124	-135
17	197	233	-53	-75
Gemiddelde afwijking			-30	-42
Standaardafwijking			40	46

Tabel 4.14. N-gift volgens N-balans (formule 3) en verschil met optimale N-gift bij 17 wintertarweproeven

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	233	250	43	40
2	233	250	19	0
3	233	250	96	64
4	233	250	22	11
5	233	250	-6	-25
6	233	250	56	42
7	233	250	102	86
8	233	250	-20	-20
9	233	250	17	2
10	233	250	2	-38
11	233	250	42	48
12	233	250	37	20
13	233	250	72	85
14	233	250	61	81
15	233	250	83	39
16	233	250	-87	-100
17	233	250	-17	-41
Gemiddelde afwijking			31	17
Standaardafwijking			48	51

De rekenmethode volgens de formules 1 en 2 en de gemaakte aannames leiden tot een gemiddeld te laag N-advies, terwijl formule 3 tot een te hoog advies leidde. De gemiddelde afwijking ten opzichte van de optimale N-gift is groter dan en de standaardafwijking is vergelijkbaar met de N-richtlijn (Tabel 4.11). Het advies op basis van de N-balans is in deze vorm dus geen verbetering van het bestaande advies. In een nadere analyse kan de vraag worden gesteld welke posten op de N-balans te hoog of te laag zijn ingeschat. Als eerste is daartoe de hoogte van de N-opname beschouwd. Van der Schoot & Van Dijk (2001) vonden op basis van 681 waarnemingen een gemiddeld N-gehalte in de korrel van 17,6 kg/ton. Ook toonden ze een relatie aan tussen opbrengstniveau en N-gehalte. Op basis van deze relatie zou het N-gehalte in de korrel bij 11 ton per ha op 16,7 kg/ton uitkomen. Dat is dus lager dan de 20 kg N/ton waarmee in de balans is gerekend. Derhalve zou de berekende N-opname en N-gift ook lager uitkomen (voor voertarwe). Het kan ook zijn dat de mineralisatie te hoog is ingeschat.

Formule 3 houdt geen rekening met de Nmin-voorraad in de bodem na de winter. Voor alle proeven is met dezelfde forfaitaire getallen voor opbrengst (N-opname) en N-mineralisatie / NLV gerekend, waardoor het berekende advies voor alle proeven hetzelfde is: 233 kg N per ha voor voertarwe en 250 kg N per ha voor baktarwe. Deze rekenmethode en de gemaakte aannames leiden tot een gemiddeld te hoog advies en ook heeft de afwijking ten opzichte van de berekende optimale N-gift een grotere spreiding dan bij de andere methoden.

Wanneer voor voertarwe het voornoemde N-gehalte in de korrel van 16,7 kg/ton wordt gehanteerd in plaats van 20 kg/ton, bedraagt de berekende adviesgift 176 kg N per ha bij hantering van formule 3. Dan leidt de rekenmethode tot een gemiddeld te laag advies van -26 kg N per ha ten opzichte van de afgeleide optimale N-giften.

Het beeld kan worden verfijnd door de actuele N-opname per proef in beeld te brengen. Dit kan alleen achteraf worden gedaan en heeft dus geen voorspellende waarde. In de 17 tarweproeven is de N-opname in korrel en stro bepaald bij alle objecten. De N-opname in de korrel bij optimale N-gift bedroeg gemiddeld:

- 190 kg N per ha voor voertarwe (met een spreiding van 140 tot 247 kg N per ha);
- 201 kg N per ha voor baktarwe (met een spreiding van 147 tot 265 kg N per ha).

Voor het stro bedroegen die waarden gemiddeld:

- 57 kg N per ha voor voertarwe (met een spreiding van 39 tot 92 kg N per ha);
- 67 kg N per ha voor baktarwe (met een spreiding van 47 tot 94 kg N per ha).

De N-opname in de korrel was dus gemiddeld lager dan de waarde waarmee is gerekend in de N-balans en de N-opname in het stro hoger. Wanneer wederom wordt aangenomen dat er in de stoppelresten, kaf en wortelmasse 39 kg N per ha zit, bedraagt de totale N-inhoud van het gewas bij optimale N-gift gemiddeld:

- 286 kg N per ha voor voertarwe (met een spreiding van 228 tot 350 kg N per ha);
- 307 kg N per ha voor baktarwe (met een spreiding van 254 tot 378 kg N per ha).

Gemiddeld over de proeven week de totale N-opname niet sterk af van de waarde waarmee is gerekend in de N-balans, maar de totale N-opname per proef verschilde nogal (standaardafwijking in de 17 proeven = 32 kg N per ha).

In de Tabellen 4.15 en 4.16 is per proef de N-adviesgift opnieuw berekend volgens de balansformules 1 en 2 uit paragraaf 4.4.1, maar nu op basis van de N-inhoud bij optimale N-gift per proef (onder aftrek van 20 kg N/ha die reeds in het gewas zit aan het eind van de winter. Dit leidt nog steeds tot een gemiddeld te laag N-advies, maar de spreiding van de verschillen ten opzichte van de berekende optimale N-gift is wel wat kleiner geworden ten opzichte van die bij de Tabellen 4.12 en 4.13. Een nauwkeurigere schatting van de N-opname leidt tot enige verbetering van de N-balansmethode, maar



zolang de andere posten op de balans niet nauwkeurig kunnen worden geschat (met name mineralisatie) en/of N-benuttingsindex, is de methode onvoldoende betrouwbaar.

Tabel 4.15. Herberekende N-gift volgens N-balans (formule 1) en verschil met optimale N-gift.

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	178	184	-12	-26
2	190	212	-24	-38
3	104	130	-33	-56
4	157	179	-54	-60
5	165	186	-74	-89
6	133	154	-44	-54
7	95	121	-36	-43
8	200	210	-53	-60
9	232	249	16	1
10	178	231	-53	-57
11	176	183	-15	-19
12	113	126	-83	-104
13	163	166	2	1
14	181	179	9	10
15	73	109	-77	-102
16	250	278	-70	-72
17	194	234	-56	-57
Gemiddelde afwijking			-39	-48
Standaardafwijking			31	34

Tabel 4.16. Herberekende N-gift volgens N-balans (formule 2) en verschil met optimale N-gift.

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	189	196	-1	-26
2	206	232	-8	-38
3	107	136	-30	-56
4	169	195	-42	-60
5	179	204	-60	-89
6	143	168	-34	-54
7	100	130	-31	-43
8	211	222	-42	-60
9	252	271	36	1
10	189	251	-42	-57
11	184	193	-7	-19
12	126	142	-70	-104
13	179	182	18	1
14	196	193	24	10
15	79	121	-71	-102
16	273	304	-47	-72
17	208	254	-42	-57
Gemiddelde afwijking			-26	-48
Standaardafwijking			32	34

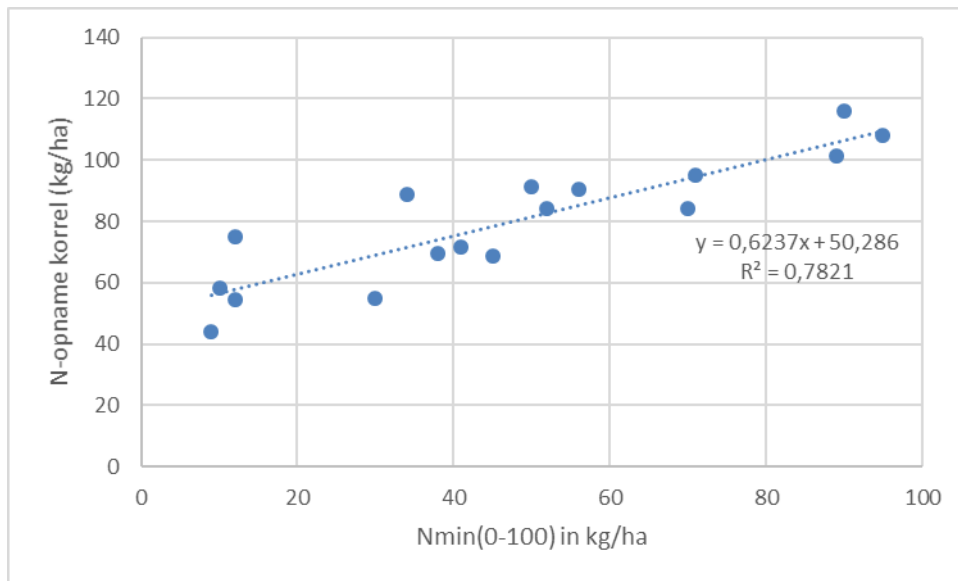
Uit de 17 tarweproeven is een ANR per proef afgeleid bij optimale N-gift op basis van N-opname in de korrel van gemiddeld:

- 0,53 voor voertarwe (met een spreiding van 0,36 tot 0,72);
- 0,51 voor baktarwe (met een spreiding van 0,31 tot 0,65).

Met name in de proeven 3 en 15 was de ANR laag.

Verder lijkt uit de proeven te kunnen worden opgemaakt dat de ANR bij de proeven in Flevoland hoger was dan in het Oldambt en dat de ANR van de proeven in het Zuidwesten hier tussenin zat.

De N-opname in de korrel bij het nulobject bedroeg gemiddeld 80 kg N per ha in de proeven met een spreiding van 44 tot 116 kg N/ha. Dit verschil blijkt deels samen te hangen met verschil in Nmin na de winter (Figuur 4.8).



Figuur 4.8. N-opname in de korrel bij het nulobject uitgezet tegen de Nmin(0-100) na de winter

In Tabel 4.17 is de N-adviesgift opnieuw berekend met de N-balans volgens formule 3 uit paragraaf 4.4.1 waarbij de N-opname van het nulobject is geschat met de relatie die in Figuur 4.8 is weergegeven. Verder is de ANR gedifferentieerd naar regio: 0,60 voor de Flevopolder, 0,50 voor het Oldambt en 0,55 voor het Zuidwesten. Voor het N-gehalte in de korrel is 16,7 kg/ton ingevuld voor voertarwe en 21 kg/ton voor baktarwe.

De berekende adviesgiften zijn gemiddeld wat te laag voor voertarwe en te hoog voor baktarwe. De spreiding van de verschillen ten opzichte van de berekende optimale N-giften is wat kleiner ten opzichte van die bij de Tabellen 4.14.

In Tabel 4.18 is N-adviesgift nogmaals herberekend met balansformule 3, maar nu met de N-opname in de korrel die per proef is vastgesteld bij de optimale N-gift. De berekende adviesgiften zijn gemiddeld wat te laag voor voertarwe en ook te laag voor baktarwe. De spreiding van de verschillen ten opzichte van de berekende optimale N-giften is wat kleiner ten opzichte van die bij de Tabellen 4.17 en van dezelfde orde van grootte als die bij de Figuren 4.15 en 4.16.

Tabel 4.17. Herberekende N-gift volgens N-balans (formule 3) en verschil met optimale N-gift bij 17 wintertarweproeven

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	204	299	14	89
2	179	274	-35	24
3	224	319	87	133
4	208	259	-3	20
5	176	254	-63	-21
6	168	247	-9	39
7	164	243	33	79
8	191	270	-62	0
9	210	289	-6	41
10	210	289	-21	1
11	199	285	8	83
12	140	226	-56	-4
13	135	221	-26	56
14	162	248	-10	79
15	142	228	-8	17
16	231	317	-89	-33
17	232	318	-18	27
Gemiddelde afwijking			-15	37
Standaardafwijking			41	44

Tabel 4.18. Herberekende N-gift (2<sup>e</sup> keer) volgens N-balans (formule 3) en verschil met optimale N-gift bij 17 wintertarweproeven

Proefnr.	N-gift balansmethode (kg N/ha)		Afwijking richtlijn – optimale N-gift	
	voertarwe	baktarwe	voertarwe	baktarwe
1	203	210	13	0
2	200	219	-14	-31
3	137	150	0	-36
4	195	215	-16	-24
5	226	244	-13	-31
6	184	199	7	-9
7	116	129	-15	-35
8	203	211	-50	-59
9	282	294	66	46
10	212	275	-19	-13
11	184	192	-7	-10
12	198	209	2	-21
13	127	128	-34	-37
14	182	181	10	12
15	94	123	-56	-88
16	348	380	28	30
17	261	315	11	24
Gemiddelde afwijking			-5	-17
Standaardafwijking			29	33

Samenvattend, kan worden gesteld dat berekening van het N-advies met de balansmethode voor 17 proeven met wintertarwe niet tot een betere benadering van de optimale N-gift leidde dan het bestaande N-advies (de N-richtlijn). Het belangrijkste aandachtspunt hierbij is de schatting van de parameters die de hoogte van de adviesgift bepalen, zoals de opbrengst (N-opname), de N-mineralisatie en de N-benutting. Onnauwkeurige schattingen van die posten, leidt tot een onnauwkeurig advies. Zelfs als gebruik wordt gemaakt van informatie over deze posten uit de individuele proeven, die alleen achteraf kan worden bepaald, is er nog steeds sprake van een afwijking van de adviesgift ten opzichte van de optimale N-gift.

## 5 Stikstofbijmestsystemen

### 5.1 Bestaande en nieuwe N-bijmestsystemen voor aardappelen

#### 5.1.1 Voordelen N-bijmestsystemen

In het voorgaande hoofdstuk is de balansmethode beschreven, waarbij is aangegeven dat deze methode geschikt is om rekening te houden met verschillen in groeiomstandigheden waarbij de N-levering verschilt of die leiden tot opbrengstverschillen. Het resulterende effect op de N-bemestingsbehoefte kan relatief eenvoudig in beeld worden gebracht met de balansmethode. Dit is vooral relevant voor de gewassen consumptieaardappelen en wintertarwe, aangezien de bemestingsbehoefte van suikerbieten, zetmeelaardappelen en zaaiuien niet wordt beïnvloed door het opbrengstniveau en de N-levering.

De N-bemestingsbehoefte is o.a. afhankelijk van de perceelsomstandigheden (deze kunnen leiden tot verschillen in vochtlevering, N-mineralisatie, etc.) en het weer. De invloed van deze factoren kan voorafgaand aan het groeiseizoen niet altijd goed worden ingeschat en omdat het weer ook verschilt van jaar tot jaar kunnen de verschillen tussen jaren aanzienlijk zijn. Daarom wordt zowel bij consumptieaardappelen als wintertarwe gewerkt met bijmestsystemen, waarbij de N-gift wordt gedeeld en de bijmestgiften zo goed mogelijk worden afgestemd op de actuele behoefte. Het voordeel is dat de beslissing over de N-toediening niet volledig vóór het seizoen genomen hoeft te worden. Doordat de tweede gift halverwege het seizoen wordt gegeven, kan rekening worden gehouden met de weersomstandigheden tot dan toe en de resulterende N-status van bodem en/of gewas op dat moment. Ten behoeve van de beslissing over de tweede N-gift die halverwege het seizoen wordt uitgevoerd, wordt vaak een meting gedaan van de N-status van bodem en/of gewas. Een ander voordeel van het delen van de gift is dat minder N verloren gaat als vlak na zaaien of poten sprake is van een periode met veel neerslag. Samengevat zijn de belangrijkste voordelen van een deling van de gift dus als volgt:

- Grotere kans op het realiseren van de optimale N-gift doordat bij beslissingen over de N-gift beter rekening kan worden gehouden met de actuele gewasontwikkeling en groeiomstandigheden;
- Minder risico van tussentijdse N-verliezen bij natte (weers)omstandigheden, doordat niet alle N ineens wordt toegediend.

Dit zal naar verwachting kunnen leiden tot een hogere N-benutting van met meststoffen toegediende N. Bij droge omstandigheden kan een bijmeststelsel tot een lagere N-benutting leiden, omdat de droogte er toe kan leiden dat de N die via bijbemesting gegeven wordt, slecht wordt opgenomen.

In dit hoofdstuk gaan we nader in op N-bijmestsystemen voor aardappelen als methode om beter rekening te kunnen houden met lokale omstandigheden en verbeterde mogelijkheden om de optimale N-gift te kunnen bepalen.

#### 5.1.2 Bestaande N-bijmestsystemen consumptieaardappelen

Bestaande N-bijmestsystemen die zijn opgenomen in het handboekbodembemesting.nl zijn NBS-bodem en de bladsteeltjesmethode (een bijmeststelsel dat is gebaseerd op nitraatgehalten in bladstelen). Deze systemen worden hierna kort toegelicht. Bij N-bijmestsystemen in aardappel wordt ca. 2/3 van de voorziene N-gift vóór het poten aan de aardappelen gegeven en wordt het resterende deel achter gehouden.

In het NBS-bodem wordt de adviesgift voor N gebaseerd op een N-balans die wordt opgesteld voor gedeelten van de groeiperiode. Daarbij wordt de N-behoefte van het gewas gekarakteriseerd door een opnamecurve die afhankelijk kan worden gemaakt van de verwachte opbrengst. De totale N-behoefte

wordt berekend op basis van een N-gehalte in de knol van 3,3 kg N per ton aardappelen. Het verloop van de opnamecurve is enige jaren geleden geactualiseerd op basis van een studie van Steltenpool en Van Erp (1995). Aanvoerposten op de N-balans zijn de Nmin-voorraad in de bodem en de (verwachte) N-mineralisatie uit bodem, gewasresten en mest. De Nmin-voorraad in de bodem wordt gemeten en de N-mineralisatie wordt ingeschat, waarbij een richtlijn van 1 (+/- 0,2) kg N per ha per dag wordt gegeven. Daarnaast is een buffer opgenomen op de balans, die compenseert voor onnauwkeurigheden bij het opstellen van de balans en voor het deel van de Nmin in de bodem dat niet door het gewas kan worden opgenomen. De buffer bedraagt 80 kg N per ha voor kleigrond en 60 kg N per ha voor zandgrond. Wanneer meerdere keren wordt gemeten, wordt de buffer na de eerste meting verlaagd met 5 kg N/ha per week. Tenslotte wordt een correctie toegepast voor het ras op basis van vroegrijpheid: vroege rassen hebben een hogere N-behoefte dan late rassen. De N-gift op een bepaald moment wordt als volgt berekend:

$$\text{N-gift-t1} = (\text{NOG-t2} - \text{NOG-t1}) - \text{Nmin-t1} + \text{BUF} - \text{MIN}$$

waarbij:

- t1 = moment van meting
- t2 = geplande moment van de volgende meting
- N-gift-t1 = N-gift op tijdstip t1
- NOG-t1/t2 = opgenomen hoeveelheid N door het gewas op tijdstip t1 en t2
- (NOG-t2 - NOG-t1) is de N-opname tussen t1 en t2
- Nmin-t1 = hoeveelheid minerale bodem-N op tijdstip t1
- BUF = buffer
- MIN = verwachte mineralisatie tussen tijdstip t1 en t2

Bij de N-bijmeststelsysteem op basis van bladsteeltjes-onderzoek worden vanaf 4-5 weken na opkomst regelmatig bladstelen verzameld en wordt het nitraatgehalte daarin gemeten. Het nitraatgehalte kan worden gemeten in perssap en/of in de droge stof en de actuele gehalten worden vergeleken met een normtraject. Als de gemeten gehalten aan de onderkant van of lager dan het normtraject zijn, wordt een bijmestgift geadviseerd. De hoogte van de geadviseerde bijmestgift bedraagt 40-50 kg N per ha bij gebruik van vaste meststoffen en/of 10-20 kg N per ha bij gebruik van vloeibare meststoffen (over het blad toegediend; zie handboekbodemenbemesting.nl).

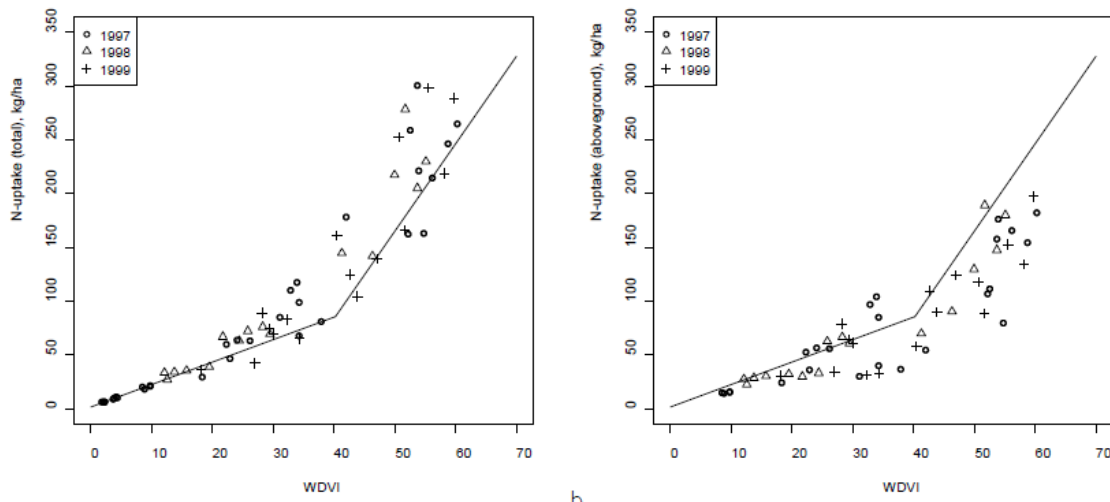
De hoogte van de het normtraject verschilt per ras. In het Handboek bodem en bemesting zijn normtrajecten opgenomen voor consumptieteelt van de rassen Bintje en Agria en voor zetmeelaardappel (zonder rasonderscheid). Voor andere consumptierassen zijn geen openbare nitraatnormtrajecten beschikbaar.

### 5.1.3 Nieuwe N-bijmestsystemen consumptieaardappelen

Vooraf bij precisiebemesting worden in toenemende mate N-bijmestsystemen toegepast die zijn gebaseerd op sensormetingen (o.a. Ros et al., 2013; Van Evert et al., 2011; Van der Schans et al., 2012; Van Geel et al., 2011, 2012 en 2014). Door Van Evert et al. (2011) is een uitgebreide beschrijving gegeven van de achtergronden van deze meetmethode, die gebaseerd is op het meten van de gewasreflectie bij verschillende golf lengtes. Vastgesteld werd dat een vegetatie-index die is gebaseerd op de reflectiemetingen, de zogenaamde WDVI (Weighted Difference Vegetation Index; Clevers, 1989) bruikbaar is voor het inschatten van de bodembedekking en Leaf Area Index (LAI) van aardappelen, suikerbieten en granen (Uenk et al., 1992). Van Evert et al. (2011) hebben aangegeven dat de WDVI

tevens een goede correlatie vertoont met de N-inhoud van het (bovengrondse) gewas (Figuur 5.1). Een eerste N-bijmestingsysteem voor aardappelen dat is gebaseerd op metingen met de Cropsan-sensor is ontwikkeld door Booij et al. (2000; 2001). Zo'n advies kan worden gegeven vanaf het moment dat er sprake is van 90% bodembedekking.

Booij leidde streefwaarden af voor de N-opname door het gewas vanaf het moment dat de bodem 90% bodembedekking heeft. De gewenste N-inhoud voor consumptieaardappelen is 200 kg N per ha en die voor zetmeelaardappelen 175 kg N per ha. Als de gemeten waarde onder de norm ligt, wordt geadviseerd het verschil tussen de streefwaarde en de actuele waarde toe te dienen via een bijmestgift. In formule:  $N\text{-bijmestgift} = \text{streefwaarde N-inhoud gewas} - \text{meetresultaat N-inhoud gewas}$ .



Figuur 5.1. Relatie tussen de gemeten WDWI enerzijds en de N-opname in het hele aardappelgewas (links) en in de bovengrondse gewasdelen (rechts) anderzijds (bron: Van Evert et al., 2011).

De Cropsan-sensor is veel gebruikt in onderzoeksprojecten, maar is niet geschikt voor toepassingen op praktijkschaal. Daarvoor zijn andere sensoren beschikbaar, zoals de Yara-N-sensor, de Cropcircle en de Greenseeker. Deze hebben een vergelijkbare werking als de Cropsan en de achtergronden en verschillen zijn uitgebreid toegelicht door Van Evert et al. (2011).

Door Van Geel et al. (2012) zijn een aantal nieuwe bijmestingsystemen ontwikkeld en beschreven die ofwel zijn gebaseerd op een systeem van aardappelmonitoring (in verleden ontwikkeld door Altic; daar gaan we hier verder niet op in), ofwel op een gewassensing (gemeten met de Yara N-sensor of de Cropsan). Het toegepaste N-bijmestingsysteem op basis van gewassensing is aangepast ten opzichte van het oorspronkelijke systeem. In een variant wordt gewerkt met opbrengstafhankelijke streefwaarden en in een andere variant zijn de streefwaarden op een bepaald moment vervangen door een na te streven opnamecurve (eveneens opbrengstafhankelijk). Door op meerdere momenten tijdens het seizoen (vanaf 3 weken na opkomst) de gemeten N-opname te vergelijken met de streefwaarde op dat moment, kan de noodzaak van een bijbemesting ook op meerdere momenten worden vastgesteld. Daarbij wordt de hoogte van de benodigde bijmestgift berekend met de balansmethode. De systemen zijn onderzocht in veldproeven die zijn beschreven door Van Geel et al. (2014).

#### 5.1.4 Ervaringen met N-bijmestsystemen: vaststelling optimale N-gift en verhogen N-benutting

Van Geel et al. (2011) gaven een overzicht van veldproeven uit 2002, 2003, 2009 en 2010 waarin het effect van N-bijmestsystemen in aardappelen (zetmeel en consumptie) op klei-, zand- en dalgrond zijn onderzocht. Er is een vergelijking gemaakt tussen de adviesgiften die met de uiteenlopende systemen zijn afgeleid (gangbare N-advies en meerdere bijmestsystemen) en die is vergeleken met de optimale N-gift op basis van N-trappen. Onderzochte bijmestsystemen waren systemen gebaseerd op bladstelen, NBS-bodem, aardappelmonitoring en de Cropscan. De bijmestsystemen benaderden de optimale N-gift niet veel beter dan het gangbare N-advies. In situaties dat minder N nodig was dan volgens het gangbare N-advies werd dat met de bijmestsystemen goed voorzien, maar als meer N nodig was dan het gangbare N-advies werd dat ook door de bijmestsystemen niet gesignaleerd.

Van Geel et al. (2012) geven aan dat door de toepassing van N-bijmestsystemen gemiddeld een besparing van zo'n 30 kg N per ha mogelijk is ten opzichte van de N-bemestingsrichtlijn zonder opbrengstderving. 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.

Een aantal nieuwe N-bijmestsystemen die in de voorgaande paragraaf zijn beschreven, zijn onderzocht in vier veldproeven in 2012 en 2013 op twee proeflocaties op zand- en lössgrond (Vredepeel en Hulsberg) (Van Geel et al., 2014). De geadviseerde N-giften verschilden tussen de systemen. Geen van de systemen was in staat om exact de optimale gift aan te geven, maar in de proeven op zand kwamen enkele systemen, waaronder NBS-gewassensing plus Nmin-meting met N-balans, wel in de buurt van de optimale gift. In één proef was een besparing mogelijk ten opzichte van de gift volgens de richtlijn en dat werd ook aangegeven door de bijmestsystemen. In de proeven op löss was het advies van alle bijmestsystemen in beide jaren (soms aanzienlijk) lager dan de optimale N-gift, die uit aangelegde N-trappen werd afgeleid. De optimale gift was in beide proeven erg hoog: >300 kg N per ha en de ANR was vrij laag. De onderzoekers gaven aan dat in de proeven op lössgrond verschillen in het tijdstip van afsterving van het loof leidden tot de opbrengstverschillen. De hoogste N-giften leidden tot een late afsterving en dus tot de hoogste knolopbrengsten. Op basis van de gewassensing was dit niet voorzien, aangezien de actuele meetwaarden van de N-opname in het begin van het seizoen (juni – begin juli) hoger waren dan de streefwaarden. Wellicht betekent dit dat de streefwaarden moeten worden herzien, bijvoorbeeld door de opbrengstafhankelijkheid verder door te voeren. Een goede inschatting van de opbrengst is daarbij een belangrijk aspect.

Van Evert et al. (2011) hebben de N-bijmestgift binnen een perceel gevarieerd op basis van metingen met de Cropscan. Op verschillende plekken binnen het perceel is ook de opbrengstrespons vastgesteld, waarbij vastgesteld werd dat de respons afhankelijk was van het organische stofgehalte. In principe kan de N-benutting worden verhoogd door de N-gift te variëren in afhankelijkheid van de plek op het perceel. Tevens werd echter vastgesteld dat het variëren van de N-gift binnen een perceel niet / nauwelijks leidde tot een hogere opbrengst, ondanks het feit dat de heterogeniteit binnen het betreffende perceel groot was. Een verklaring hiervoor werd door de onderzoekers niet gegeven, maar moet waarschijnlijk worden gezocht in het vlakke verloop van de opbrengstcurves. Een afwijking van de optimale N-gift heeft dan slechts een beperkt effect op de opbrengst tot gevolg.

#### 5.1.5 Perspectieven N-bijmestsystemen aardappelen voor praktijk

NBS heeft het meeste perspectief op percelen met een hogere N-mineralisatie, bijvoorbeeld na gescheurd grasland of percelen die van nature sterk mineraliserend zijn. Op dergelijke percelen is lastig te voorspellen hoeveel er precies mineraliseert en wanneer.



Verder kan NBS zinvol zijn na een basisbemesting met dierlijke mest in het voorjaar. Het gemeten N-gehalte in de mest kan afwijken van het werkelijk gehalte (door de meetfout) en de N-werking kan fluctueren. De hoeveelheid werkzame stikstof die beschikbaar is voor het gewas, kan daardoor afwijken van de hoeveelheid die men denkt toe te dienen. Dit is te ondervangen door een basisbemesting met dierlijk mest te combineren met een bijbemesting met kunstmest via toepassing van een NBS.

De “klassieke” bijmestsystemen op basis van Nmin-metingen of bepaling van het nitraatgehalte in bladsteeltjes zijn al enkele decennia beschikbaar. Toch wordt er in praktijk niet veel gebruik van gemaakt vanwege de arbeid en kosten voor de bemonsteringen. Bij de bladsteeltjesmethode ontbreekt het bovendien aan openbare normlijnen voor het nitraatgehalte voor de meeste van de huidige, geteelde rassen. Op dit moment lijkt een NBS dat gebruikt maakt van reflectiemeting met een gewassensor het meest acceptabel voor de praktijk.

Van Geel et al. (2011) concludeerden dat de CropScan-methode minstens even goed presteerde als de andere N-bijmestsystemen, terwijl de methode minder arbeid kost, het snelste van alle systemen (direct na meting) een advies kan geven en de mogelijkheid biedt om variabel bij te bemesten binnen een perceel. Een NBS op basis van gewasreflectiemeting is daarom het meest perspectiefvol.

Op dit moment wordt een eerste versie van NBS-gewassensing in praktijk geïmplementeerd. Simultaan wordt in lopend onderzoek gekeken naar mogelijkheden om het NBS-gewassensing verder te verbeteren.

Een kritische succesfactor bij NBS-gewassensing is het goed kunnen schatten van de opbrengst en N-opname door het gewas op basis van de gewasontwikkeling aan het begin van de zomer (juni- begin juli) en het vaststellen van streefwaarde voor de N-opname die aansluit bij de actuele groeiomstandigheden. Mogelijk biedt het gebruik van een groeimodel hierbij uitkomst. Lopende onderzoek bij WUR zal dit moeten uitwijzen.

## 5.2 *N-bijmestsystemen granen*

Voor tarwe is in Duitsland al geruime tijd een N-bijmeststelsel in gebruik waarbij de lichtreflectie door het gewas wordt gemeten met de Yara-N-sensor. In Nederland wordt hier niet of nauwelijks gebruik van gemaakt, omdat het niet rendabel is in tarwe. Daarvoor is de aanschaf van een N-sensor te duur. Dit kan veranderen als de N-sensor in meerdere gewassen zou kunnen worden ingezet, bijvoorbeeld in tarwe en in aardappelen (zie hiervoor).

Timmer (2001a) onderzocht de mogelijkheden van sturing van de opbrengst en de kwaliteit van wintertarwe met behulp van een chlorofylmeter (Hydro N-tester). Uit het onderzoek bleek dat de relatie tussen chlorofylwaarde en optimale N-gift per jaar kan verschillen, maar dat de metingen de bemestingstoestand goed weergeven en een ondersteuning kunnen vormen voor de N-advisering. Er zijn kleurverschillen tussen rassen en derhalve verschillen in chlorofylwaarden. Om een N-bijmestadvies op basis van chlorofylmeting te geven moeten de kleurverschillen tussen de rassen worden vastgesteld, zodat hiervoor kan worden gecorrigeerd.

Timmer (2001b) onderzocht de toepassingsmogelijkheid van de chlorofylmeter (Hydro N-tester) bij de teelt van brouwergerst. Doel van het onderzoek was na te gaan of er een betrouwbaar verband bestaat tussen gewaskleur (mate van groenheid) van het blad in het groeiseizoen en het eiwitgehalte in de korrel bij de oogst. In proeven werd een sterk verband gevonden tussen de chlorofylwaarde en het eiwitgehalte bij de oogst en op basis daarvan werd geconcludeerd dat de kleur van het gewas kan

worden gebruikt om een voorspelling te doen over het eiwitgehalte van de korrel bij de oogst. Op basis hiervan kan een N-bijmestadvies worden opgesteld. Evenals voor tarwe geldt dat er kleurverschillen zijn tussen rassen en dat bij voorspelling van het eiwitgehalte op basis van de gewaskleur, correcties moeten worden toegepast voor het verschillen in groenheid tussen de rassen.

Bij toetsing op praktijkpercelen bleek de relatie tussen kleur en eiwitgehalte veel minder sterk te zijn dan in de proeven (een grotere spreiding rondom de trendlijn die de relatie aangeeft) en het eiwitgehalte bleek systematisch hoger te zijn dan op basis van de chlorofylmetingen werd verwacht. Het leek erop dat o.a. het gebruik van dierlijke mest, aardappelen als voorvrucht en plaatselijk een sterk stikstof naleverende grond verstorend werken op de gevonden relatie en het gebruik van de chlorofylmeter onbetrouwbaar maken. Door de invloed van verschillende verstorende factoren is de methode niet zonder meer op grote schaal te gebruiken. De voorspelling is alleen betrouwbaar wanneer er een ongestoorde groei kan plaatsvinden, er na de uitvoering van de meting geen grote hoeveelheden stikstof uit de grond beschikbaar komen voor het gewas en er niet een erg laag of erg hoog opbrengstniveau wordt gerealiseerd.

## 6 Synthese

### Behoeftte aan meer differentiatie`

Het lijkt gewenst om bij het afleiden van N-adviezen beter rekening te kunnen houden met variaties in omstandigheden, voor zover die van invloed zijn op de optimale N-gift. Meest voor de hand liggend zijn differentiaties van het advies op basis van verschillen in i) N-levering uit de bodem, ii) opbrengstniveau en iii) N-benutting door gewassen en rassen.

Een differentiatie van het N-advies op basis van het opbrengstniveau is vooral zinvol voor consumptieaardappelen en wintertarwe, en minder voor zetmeelaardappelen, suikerbieten en zaaiuien. Bij de eerstgenoemde gewassen is gebleken dat de optimale N-gift afhangt van het opbrengstniveau, terwijl dat bij de laatstgenoemde gewassen niet of minder duidelijk het geval was.

Overigens lieten Van Dijk et al. (2012) zien dat N-levering en de opbrengst bij de optimale N-gift voor consumptieaardappelen in hun dataset voor een belangrijk deel waren gecorreleerd. Met andere woorden: een hogere N-levering (die leidt tot een lagere optimale N-gift) gaat vaak samen met een hogere opbrengst (die leidt tot een hogere optimale N-gift). Deze effecten heffen elkaar deels op. Dit maakt de behoefte aan differentiatie van het N-advies op basis van opbrengst en N-levering minder groot.

### Geschiktheid adviessysteem voor verdergaande differentiatie

De huidige Nmin-methode op basis van responsproeven, is nogal generiek. Gezien de wijze waarop de rekenregels voor dit advies tot stand zijn gekomen (via het afleiden van een lineaire relatie tussen de Nmin-voorraad en de optimale N-gift), is het lastig om meer differentiatie aan te brengen. De balansmethode is daar in theorie beter geschikt voor, maar er zijn een aantal aandachtspunten.

- Er zijn een aantal vormen van de balansmethode. Hieruit moet een keuze worden gemaakt. De vorm waarin de benutting van beschikbare N in de bodem en/of meststof door het gewas expliciet is opgenomen, lijkt het best te voldoen.
- In alle gevallen wordt er gewerkt met kengetallen, die voor een bepaalde situatie (regio, perceel, grondsoort, etc.) zo goed mogelijk moeten worden geschat. De nauwkeurigheid waarmee dit mogelijk is, bepaalt de nauwkeurigheid van het N-advies volgens de balansmethode.

Onnauwkeurige schattingen of aannames leiden gemakkelijk tot een te hoog of te laag advies. Ook als slechts één post niet goed te schatten is, kan dit al tot een onnauwkeurig advies leiden.

Belangrijke posten op de balansmethode die moeten worden geschat zijn:

- opbrengst en N-opname: verschillen op basis van perceelseigenschappen kunnen worden meegenomen (bijvoorbeeld door te werken met gemiddelde opbrengsten die in het verleden op het perceel zijn gerealiseerd). Schatting van opbrengst en N-opname is lastig voorafgaand aan het groeiseizoen omdat weersomstandigheden een grote rol spelen en van jaar tot jaar sterk variëren. N-bijmestsystemen kunnen dit (gedeeltelijk) ondervangen (zie verder).
- N-leverend vermogen, ofwel de N-mineralisatie. Het N-leverend vermogen van een bodem is lastig te schatten. Een mogelijkheid is om dat te doen op basis van indicatoren, zoals Norg in 0,01 M CaCl<sub>2</sub> en/of N-totaal al dan niet in combinatie met C/N-ratio, maar dit is onnauwkeurig. Alternatief is om het proefondervindelijk per perceel vast te stellen door nulveldjes (niet met N-bemeste veldjes) aan te leggen en daarmee de N-opname te bepalen (bijvoorbeeld met sensoren). Hiermee wordt informatie verkregen over het resultaat van N-mineralisatie, N-depositie en N-verliezen door uitspoeling, denitrificatie en

ammoniak-vervluchtiging, maar de mate waarin het gewas in staat is de beschikbare stikstof op te nemen speelt daarbij ook een rol.

- N-benutting, ofwel de mate waarin het gewas beschikbare N uit de bodem op kan nemen. Door een vergelijking te maken van de N-opname door het gewas in bemeste en onbemeste veldjes wordt tevens de (schijnbare) N-benutting van de met meststoffen toegediende N bepaald. Deze zogenaamde ANR hangt af van gewas en ras, maar wordt ook beïnvloed door de hoogte van de N-levering, de N-gift en de opbrengst.

### **Voorbeelden consumptieaardappelen en wintertarwe**

Voor consumptieaardappelen is uitgewerkt hoe een N-advies op basis van de balansmethode en in afhankelijkheid van opbrengst en N-levering er uit kan zien. Dit is vergeleken met een eerder uitgevoerde studie die gericht was op een verkenning van de differentiatie van het N-advies op basis van opbrengst en N-levering (Van Dijk et al., 2012). Hieruit bleek het volgende:

- Er is sprake van een sterke afhankelijkheid van de hoogte van het op deze wijze afgeleide N-advies van het opbrengstniveau, terwijl die afhankelijkheid in het huidige advies volledig ontbreekt;
- De mate waarin het N-advies volgens de balansmethode werd gecorrigeerd voor het opbrengstniveau was, vooral bij lagere opbrengstniveaus, sterker dan gebeurt volgens het N-advies dat door Van Dijk et al. (2012) is afgeleid;
- Er was sprake van vrij grote verschillen tussen de N-adviezen die zijn afgeleid met de verschillende vormen van de balansmethode, waarbij onnauwkeurigheden bij het inschatten van de balansposten waarschijnlijk een rol hebben gespeeld;

Uit het voorgaande blijkt o.a. dat de nauwkeurigheid waarmee het verwachte opbrengstniveau en de N-levering vooraf kan worden ingeschat, bepalend is voor de mate waarin de optimale N-gift volgens deze methode wordt benaderd.

De rekenvoorbeelden met wintertarwe laten zien dat een N-balans geen meerwaarde heeft ten opzichte van de N<sub>min</sub>-richtlijn als voor de posten op de balans forfaitaire waarden worden ingevuld, die niet gedifferentieerd zijn naar groeiomstandigheden. Wanneer wel meer wordt gedifferentieerd, verhoogt dat de nauwkeurigheid, maar blijft het risico bestaan dat de N-balans structureel te hoge of te lage adviezen geeft als de parameters niet goed geschat kunnen worden. Cruciale vraag is of we voor alle posten op de balans over de juiste kengetallen kunnen beschikken.

Een mogelijk alternatief is nog om de kengetallen die verschillen tussen situaties aangeven (regio, perceel, grondsoort, etc.) te gebruiken om een correctie toe te passen op de N<sub>min</sub>-richtlijn zoals bij de N-index methode. Ook voor opbrengstniveau kan een correctie op de N<sub>min</sub>-richtlijn worden aangebracht bij die teelten waar dat van invloed is. Bij de huidige N<sub>min</sub>-richtlijn voor wintertarwe bijvoorbeeld is zo'n opbrengstcorrectie al aangebracht (20 kg N per ha per ton korrelopbrengst).

### **Een verdergaande vorm van de balansmethode is een N-bijmeststelsel.**

De meeste N-bijmeststelsels zijn uitwerkingen van de balansmethode, waarbij een balans wordt opgemaakt voor delen van de groeiperiode. De N-adviezen die hiermee worden afgeleid hebben dan ook geen betrekking op de hele groeiperiode, maar op een gedeelte er van. N-bijbemesting kan worden toegepast bij consumptieaardappelen en wintertarwe.

In theorie worden hiermee de mogelijkheden vergroot om de optimale N-gift te realiseren en de N-benutting te verhogen, omdat i) het risico van verliezen wordt beperkt en ii) beter kan worden ingespeeld op actuele weersomstandigheden in het betreffende seizoen. Voor beslissingen over de N-bijmestgift

kan gebruik worden gemaakt van sensing-technieken, zoals Cropscan en Yara N-sensor, maar het is ook mogelijk de hoogte van de bijmestgift te baseren op Nmin-metingen (NBS bodem) of het meten van nitraatgehalten in bladstelen.

In een toetsing van bijmestsystemen op basis van gewassensing bij consumptieaardappelen is echter gebleken dat resultaten (nog) niet heel veel beter zijn dan van het gangbare N-advies. Het blijft moeilijk om de optimale N-gift te benaderen, vooral omdat het ook halverwege het seizoen nog steeds moeilijk is om het opbrengstniveau goed in te schatten. Verbetering van de systemen is wellicht mogelijk door combinatie met een groeimodel.

### **Aanbevelingen**

- Aangezien het zinvol lijkt om N-adviezen vooral bij consumptieaardappelen en wintertarwe meer te differentiëren naar opbrengstniveau, N-levering en N-benutting, wordt voorgesteld hiernaar een nadere verkenning uit te voeren.
- De voorgestelde verkenning dient zich te richten op een goede inschatting van het opbrengstniveau, de N-levering en de N-benutting voor uiteenlopende omstandigheden als basis voor het N-advies dat wordt afgeleid volgens de balansmethode.
- De voorgestelde verkenning bestaat uit de volgende twee elementen:
  - Op een groot aantal praktijkpercelen die sterk verschillen ten aanzien van de omstandigheden, wordt een inschatting gemaakt van de verwachte opbrengst, de N-levering en de N-benutting, op basis waarvan een N-advies wordt afgeleid. Dit vormt de basis voor de N-gift op de percelen. Tevens wordt op alle deelnemende percelen een nulveldje aangelegd, waarin de N-opname door het gewas wordt gemeten. Ook in het bemeste deel van het perceel wordt de N-opname door het gewas gemeten. In beide plots wordt de Nmin-voorraad in voor- en najaar gemeten. Hiermee kan achteraf de N-balans worden opgesteld en worden nagegaan hoe goed de posten vooraf zijn ingeschat.
  - Op een beperkt aantal proefpercelen wordt nagegaan/getoetst of de optimale N-gift goed kon worden benaderd met de balansmethode, door de op deze wijze afgeleide N-gift te vergelijken met de optimale N-gift volgens de responsmethode.
- Aanvullend kan worden nagegaan of de verzamelde kengetallen ook bruikbaar zijn om situatie-specifieke correcties aan te brengen op de Nmin-richtlijn. Dit kan dan vervolgens worden vergeleken met de N-balansmethode.
- Optioneel is een variant waarbij met een N-bijmeststelsel wordt gewerkt, als bijzondere vorm van de balansmethode, waarbij de beoogde jaargift wordt verdeeld over een basisgift en een bijmestgift. De hoogte van de bijmestgift wordt vastgesteld op basis van een tussentijdse meting aan bodem en/of gewas (bijvoorbeeld met gewassensoren) en ondersteuning door gewasgroeimodellen.

## Literatuur

- Bakker Y, L. Withagen & G. Wijnen (1981). De nieuwe richtlijn voor de stikstofbemesting van suikerbieten. *Bedrijfsontwikkeling* 12-4 (april 1981), p. 383-386.
- Booij R., Valenzuela J.L., Aguilera C.A. (2000) Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods, in: A. J. Haverkort and D. K. L. MacKerron (Eds.), *Management of nitrogen and water in potato production.*, Wageningen Pers, Wageningen. pp. 72-82.
- Booij R., Uenk D., Lokhorst C., Sonneveld C. (2001) Monitoring crop nitrogen status in potatoes, using crop light reflection, in: G. Grenier and S. Blackmore (Eds.), *Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, France. pp. 893–899.
- Boon R (1981) Stikstofadvies op basis van profielanalyse voor wintergraan en suikerbieten op diepe leem- en zandleemgronden. *Pedologie* 31, 347-363.
- Breimer T (1989) Stikstofbijstelsysteem (NBS) voor enige vollegrondsgroenten. *Consulentschap voor Bodem- Water-, en Bemestingszaken in de Akkerbouw en Tuinbouw*, Wageningen, the Netherlands. 58 p.
- Clevers J.G.P.W. (1989) The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf-area index by correcting for soil-moisture. *Remote Sensing of Environment* 29:25-37.
- Corré W (1994) Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid. *DLO-instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheids-onderzoek*, Rapport 21, Haren, 39 pp.
- Darwinkel A (1997). *Teelt van wintertarwe. Teelthandleiding nr. 76. PAGV, Lelystad*, 84 pp.
- Dekker P & Postma R (eds.) (2006) *Voorstel tot herziening N-bemestingsadviezen van wintertarwe, zomergerst en zaaiui; PPO-projectnr. 32500195, PPO-AGV, Lelystad*, 76 pp.
- Demyttenaere P (1991) *Stikstofdynamiek in de bodems van de Westvlaamse groentestreek. PhD. Thesis, Universiteit Gent, Belgium. 203 p, bijlage 40 p.*
- D'Haene K, Salomez J, De Neve S, De Waele J & Hofman G (2014) Environmental performance of nitrogen fertilizer limits imposed by the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192, 67-79.
- Geypens M, Vandendriessche H, Bries J & Hendrickx G (1994) Experience with a nitrogen-index export system: A powerful tool in nitrogen recommendation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25 (9&10), 1223-1238.
- Geypens M & Vandendriessche H (1996) Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendations. *Plant and Soil* 181, 31-38.
- Hanse B (2011) *Improvement of the competitiveness of the sugar beet crop in the Netherlands. Dissertation to obtain the PhD degree in the Faculty of Agricultural Sciences, Göttingen, Germany, 144 pp.*
- IRS (2017) *Ongepubliceerde gegevens van IRS.*
- Koch et al (2016) Nitrogen requirement of fodder and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars under high-yielding conditions of northwestern Europe. *Archives of Agronomy and Soil Science*.
- Laufer et al. (2016) Yield and nitrogen use efficiency of fodder and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in contrasting environments of northwestern Europe. *European Journal of Agronomy* 73, 124-132.
- Lorenz H, Schlaghecken J and Engl G 1985 -Gezielte Stickstoffversorgung-das kulturbegleitende Nmin-Sollwerte-System (KNS System). *Deutsche Gartenbau* 13, 6464548.
- Machet JM, Dubrulle P & Louis P (1990) AZOBIL: a computer program for fertilizer N recommendations based on a predictive N balance sheet method. *Proceedings of the Congress of the European Society of Agronomy*, p.21.
- Melkonian, J.J., H.M. van Es, A.T. DeGaetano, and L. Joseph. (2008) ADAPT-N: Adaptive nitrogen management for maize using highresolution climate data and model simulations. In: R. Khosla, editor, *Proceedings of the 9th International Conference on Precision Agriculture*. Denver, CO. 18-21 July 2010. *International Society of Precision Agriculture, Monticello, IL.*

- McKenzie GH & Taureau JC (1997) Recommendation systems for nitrogen – A review. Proceedings of the Fertiliser Society no. 403; Cambridge, 50 pp.
- Neeteson JJ (1986) Het stikstofbestedingsadvies voor aardappelen op klei en löss. *Ad fundum*, nr. 2, p. 27-29
- Neeteson JJ, W Wijnen & PA Zandt (1984). Nieuwe stikstofbestedingsadviezen voor aardappelen. *Bedrijfsontwikkeling* jrg. 15, p. 331-333
- Neeteson JJ (1990) Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer Research* 26, 1-3, 291-298.
- Neeteson JJ & Wadman W (1987) Assessment of economically optimum application rates of fertilizer N on the basis of response curves. *Fertilizer Research* 12, 37-52.
- Olfs HW (2009) Improved precision of arable nitrogen applications: requirements, technologies and implementation. Proceedings of the International Fertiliser Society nr. 662, 35 pp.
- Olfs HW, Blankenau K, Brentrup F, Jasper J, Link A, and Lammel J (2005) Soil- and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 414–431.
- Parnaudau V, Jeuffroy MH, Machet JM, Reau R, Bissuel C & Eveillard P (2009) Methods for determining the nitrogen fertilizer requirement of some major arable crops in France. Proceedings 661 of the International Fertiliser Society, York, 48 pp.
- Pronk AA & Schröder JJ (2006) Kunnen stikstofbestedingsadviezen verder verfijnd worden op basis van bodemeigenschappen? *Plant Research International Nota* 378, Wageningen, 23 pp + bijlagen.
- Rahn C, Greenwood DJ & Draycott A (1996) Prediction of nitrogen fertilizer requirement with the HRI WELL\_N computer model. *Progress in Nitrogen Cycling* (eds. O VanCleemput et.al.). 255-258.
- Ris J, Smilde KW & Wijnen G (1981) Nitrogen fertilizer recommendations for arable crops as based on soil analysis. *Fertilizer Research* 2, 21-32.
- Ros GH, Temminghoff EJM & Hoffland E (2011) Nitrogen mineralization: a review and meta-analysis of the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science* 62, 162-173.
- Ros et al. (2013) Naar de ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijbesteden van gewassen; resultaten veldonderzoek 2012. *NMI-rapport* 1454, Wageningen, 55 pp.
- Ros G en Van Eekeren N (2016) Evaluatie NLV-concept voor CBGV; is een update nodig? 33 p.
- Scharf et al. (2015) Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. *Agronomy Journal* 97:452–461.
- Shilito et al. (2009) Yield response of potato to spatially patterned nitrogen application. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, 107–116.
- Schröder JJ, Aarts HFM, Bode MJC, van Dijk W, van Middelkoop JA, de Haan MHA, Schils RLM, Velthof GL & Willems WJ (2004) Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. *Rapport Plant Research International* 79, 166 p.
- Schröder, JJ, Neeteson JJ, Withagen JCM & Noij IGAM (1998). Effects of N application on agronomic and environmental parameters in silage maize production on sandy soils. *Field Crops Research* 58, p. 55-67.
- Smit AL (1994). Stikstofbenutting. In: Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje nr. 18, p. 9-22. PAGV Lelystad.
- 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). Stikstofbijbesteding op aardappelen op basis van omgekeerde N-vensters in combinatie met CropScan. *Nota* 336. *Plant Research International*, Wageningen, 22 p + bijlagen.
- Ten Berge H, Van der Meer H, Schils R, Van Dam A & Van Dijk T (2004) Protocol voor de actualisatie van bestedingsadviezen voor stikstof. Richtlijnen voor het voorbereiden van verbeteringen ten opzichte van de thans geldende bestedingsadviezen voor stikstof. *PRi nota* 332, *Plant Research International*, Wageningen, 26 pp + bijlagen.

- Tiemens-Hulscher, M., E. Lammerts van Bueren & P. Struik (2012). Selectiestrategie voor de ontwikkeling van stikstofefficiënte biologische aardappelrassen. Rapportnummer 2012-025 LbP, Louis Bolk Instituut, 131 p.
- Timmer, R.D. (2001a). Sturing opbrengst en kwaliteit wintertarwe met behulp van een chlorofylmeter. PPO 1141225c. PPO-AGV, Lelystad, 25 pp. + bijlagen.
- Timmer, R.D. (2001b). Voorspelling en sturing van het eiwitgehalte bij brouwergerst met behulp van een chlorofylmeter. Projectrapport: 1142210a. PPO-AGV, Lelystad, 11 pp. + bijlagen.
- Tremblay et al. (2012) Corn Response to Nitrogen is influenced by Soil Texture and Weather. *Agronomy Journal* 104, 6, 1658-1671.
- Van den Brink L, P.H.M. Dekker & W. van den Berg (2009). Aanpassing N-bemestingsadvies zaaiuien. PPO-projectnr. 3250078408, Lelystad, 15 pp.
- Van der Schans DA, van Evert FK, Malda JT & Dorca-Vona V (2012). Sensorgestuurde advisering van Stikstof bijbemesting in aardappel; Implementatie en integratie. PPO-Publicatienr 520, Lelystad, 80 pp.
- Van der Schoot JR & W. van Dijk (2001). N- en P-afvoer akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO-AGV, Lelystad. Intern document.
- Van Dijk W, Brinks H & Postma R (2011) Flexibilisering gebruiksnormen; verkenning perspectieven voor de akkerbouw. PPO-projectnr. 3250194100, Lelystad, 67 pp.
- Van Dijk W, Burgers S, ten Berge HFM, van Dam AM, van Geel WCA & van der Schoot JR (2007) Effecten van een verlaagde stikstofbemesting op marktbaar opbrengst en stikstofopname van akker\_ en tuinbouwgewassen. PPO Publicatienummer 366, PPO, Lelystad, 183 pp.
- Van Dijk W & Ten Berge H (eds.) (2009) Agricultural nitrogen use in selected EU countries; a comparison of N recommendations, and restrictions in response to the EU nitrates directive. PPO-publicatienr. 382,
- Van Dijk W, Van der Schoot JR & Ten Berge H (2011) Flexibilisering gebruiksnormen; eerste verkenning bij het gewas maïs. PPO-publicatienr. 426, Lelystad, 37 pp.
- Van Dijk W, Van der Schoot JR & Ten Berge H (2012) Flexibilisering gebruiksnormen; verkenning bij het gewas consumptieaardappel. PPO-publicatienr. 458, Lelystad, 25 pp.
- Van Enckevort PLA, JR van der Schoot & Schröder J (2001) Nitraatuitspoeling: geschikte maatstaven en risicovolle gewassen. Artikel op kennisakker.nl.
- Van Enckevort PLA, JR van der Schoot & W. van den Berg (2002). Relatie tussen N-overschot en N-uitspoeling op gewasniveau voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. PPO-projectrapport 1125234.
- Van Evert et al. (2011) Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen; Integratie van sensormetingen in een N-bijmeststelsel. PPO-publicatie nr: 423, PPO, Lelystad, 131 pp.
- Van Geel et al. (2011) Nieuwe bijmeststelsels en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1a: deskstudie. Rapport 439, WUR PPO-AGV, Lelystad, 87 pp.
- Van Geel et al. (2012) Nieuwe bijmeststelsels en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1b: ontwerp van systemen en plan van aanpak veldonderzoek. Rapport PA / MMM, Lelystad, 25 pp.
- Van Geel et al. (2014) Nieuwe bijmeststelsels en strategieën voor aardappelen op zand- en lössgrond. Rapport 615, WUR PPO-AGV, Lelystad, 96 pp.
- Velthof GL (2003) Relaties tussen mineralisatie, denitrificatie en indicatoren voor bodemkwaliteit in landbouwgronden, Alterra-rapport 769, Sturen op Nitraat rapport nr. 6, 38 pp.
- Velthof GL (2008) Indicator voor stikstofmineralisatie in gescheurd grasland. Infoblad mineralen en milieukwaliteit. BO-05-infoblad-21, WUR, Wageningen, 2 pp.
- Velthof GL, Oenema O & Nelemans JA (2002) Vergelijking van indicatoren voor stikstofmineralisatie in bouwland. *Meststoffen* 2000, 45–52.
- Whitmore AP (1999) Evaluating the nitrogen supplying power of soils in field cropping systems.



Research Institute for Agrobiological Sciences, AB-DLO note 186.

Wilting P (2005). Optimale stikstofvoorziening van suikerbieten niet in gevaar. Cosun magazine, februari 2005, nr. 1, p.14-15.

Wilting P (2015). Stikstofbehoefte van bieten neemt niet toe. Cosun magazine, maart 2015, nr. 1, p.12-13.

Zwart KB (2003) Mineralisatie van bodem en mest, een indicator op basis van (bio) chemische parameters, Alterra-rapport 741, 39 pp.



[www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)

nutriënten management  
instituut nmi bv  
nieuwe kanaal 7c  
6709 pa wageningen  
[nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)