



# Differentiatie stikstofbemestingsadviezen

## Verkenning bij het gewas consumptieaardappel

Wim van Dijk

Jan Rinze van der Schoot

Hein ten Berge (Plant Research International)



# Differentiatie stikstofbemestingsadviezen

Verkenning bij het gewas consumptieaardappel

Wim van Dijk  
Jan Rinze van der Schoot  
Hein ten Berge (Plant Research International)

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, AGV

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

Dit onderzoek is gefinancierd door:



Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie

Projectnummer: 32 501728 11

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

Address : Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
: Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad  
Tel. : +31 320 291111  
Fax : +31 320 230479  
E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

## Inhoud

## pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING .....	7
1.1 Aanleiding .....	7
1.2 Doel.....	7
1.3 Leeswijzer.....	7
2 AANPAK.....	9
2.1 Beschrijving datasets .....	9
2.2 Bepaling optimale N-gift.....	9
2.3 Bepaling N-bodemlevering .....	10
2.4 Bepaling haalbare opbrengst .....	11
2.5 Analyse effect van opbrengst en bodemlevering op Nopt .....	11
3 RESULTATEN ANALYSE.....	13
3.1 Gemiddelde en spreiding parameters .....	13
3.1.1 Nopt.....	13
3.1.2 Yopt/Ymax .....	14
3.1.3 N-bodemlevering.....	14
3.2 Uitkomsten regressieanalyse .....	17
3.2.1 Methode 1 .....	17
3.2.2 Methode 2 .....	17
3.2.3 Berekende Nopt-waarden bij methode 1 en 2.....	18
3.3 Onderlinge correlatie Yopt en U0 .....	19
4 MOGELIJKHEDEN INPASSING IN HUIDIG ADVIES.....	21
5 CONCLUSIES .....	23
6 REFERENTIES.....	25



# Samenvatting

In het Vierde Actieprogramma van de Nitraatrichtlijn wordt o.a. ingezet op innovaties om op melkveehouderij- en akker- en tuinbouwbedrijven de stikstofverliezen verder te verminderen. Eén van de opties is om stikstofbestedingsadviezen, daar waar mogelijk, te differentiëren naar groei- en bodemomstandigheden.

In 2010 is een project gestart met als doel een verkenning van de mogelijkheden voor differentiatie van het stikstofbestedingsadvies op basis van opbrengstniveau en N-leverend vermogen van de bodem bij het gewas maïs. In 2011 is gekeken naar de mogelijkheden bij het gewas consumptieaardappel. Dit rapport doet hiervan verslag van de analyse bij consumptieaardappelen.

In de studie is gebruik gemaakt van een dataset van 32 N-trappenproeven met consumptieaardappelen die in het verleden zijn uitgevoerd. Het betrof 18 en 14 proeven op respectievelijk zand- en lössgrond.

De onderzochte factoren voor differentiatie van het bemestingsadvies waren opbrengstniveau ( $Y_{max}$ ) en N-leverend vermogen van de bodem. Als schatters voor het N-leverend vermogen van de bodem zijn gebruikt de nulopname ( $U_0$ , N-opname van een onbemest veld) en de N-bodemlevering (NB) berekend als het snijpunt van de regressiecurve van de relatie tussen N-gift en N-opname met de x-as of berekend als het quotiënt van  $U_0$  en de N-recovery bij een N-gift van 0 kg per ha.

Anders dan  $U_0$  geeft de NB een directe schatting voor de hoeveelheid N die door de bodem wordt geleverd en sluit daarbij beter aan bij potentiële schatters voor de N-bodemlevering die mogelijk op termijn beschikbaar komen.

De relatie tussen opbrengstniveau en  $U_0$ /NB enerzijds en optimale N-gift ( $N_{opt}$ ) anderzijds is op een tweetal manieren onderzocht (hierna aangeduid als methode 1 en 2). Bij methode 1 is eerst per proef de  $N_{opt}$  bepaald en vervolgens is een regressie uitgevoerd van opbrengstniveau en  $U_0$ /NB op  $N_{opt}$ . De  $N_{opt}$  per proef is in deze studie bepaald door het datapunt met de hoogste financiële saldo (financiële opbrengst minus kosten meststof) en via regressieanalyse. In laatstgenoemde situatie is de  $N_{opt}$  gelijk aan de N-gift waarbij de afgeleide van de regressielijn gelijk is aan de prijsverhouding tussen meststof en product. Er is gebruikt gemaakt van kromlijnige modellen (tweedegraads polynoom en exponentieel model). Bij de prijzen is uitgegaan van €0.83 per kg N en €0.08 per kg verse knolopbrengst. Dit resulteert in een prijsverhouding tussen meststof en product van 10.4.

Uit de analyse kwam naar voren dat de optimale N-gift significant werd beïnvloed door het opbrengstniveau en  $U_0$ . Afhankelijk van de gebruikte methode voor bepaling van de  $N_{opt}$  per proef (datapunt met hoogste financiële opbrengst, regressie met tweedegraads polynoom en exponentieel model) liep het opbrengsteffect uiteen van 1.7-4.6 kg N per ton knolopbrengst ('hogere  $N_{opt}$  bij hogere opbrengst'). Het  $U_0$ -effect varieerde van 0.8 tot 2.0 kg N per kg  $U_0$  ('lagere  $N_{opt}$  bij hogere bodemlevering').

Bij de bepaling van de  $N_{opt}$  is hierboven steeds voor alle proeven hetzelfde model gebruikt. Er kan ook voor worden gekozen om per proef het best passende model te kiezen. Ook wanneer deze werkwijze wordt gehanteerd was er sprake van een significant effect van opbrengstniveau en  $U_0$  op  $N_{opt}$ .

Indien niet  $U_0$  maar NB werd meegenomen als schatter van het N-leverend vermogen, daalde het percentage verklaarde variantie van de relatie tussen opbrengst/N-leverende vermogen en  $N_{opt}$ . Het effect van zowel opbrengst als N-leverende vermogen was echter nog wel steeds significant.

Bij methode 2 is een regressieanalyse uitgevoerd waarbij voor alle datapunten van alle proeven tezamen het effect van N-gift,  $Y_{max}$  en  $U_0$  op de opbrengst is bepaald. Het effect van zowel N-gift (zowel eerste als tweedegraadsterm),  $Y_{max}$  en  $U_0$  als van de eerstegraads interactietermen van N-gift met  $Y_{max}$  en  $U_0$  waren significant. De uit de regressievergelijking berekende  $N_{opt}$ -waarden verschilden met name bij lagere opbrengstniveaus met die van afgeleid met methode 1.

Uit de correlatieanalyse bleek dat de parameters op basis waarvan het bemestingsadvies zou kunnen worden gedifferentieerd, Yopt en UO, in de hier gebruikte dataset positief waren gecorreleerd, hoewel het percentage verklaarde variantie laag was (31%). Dit betekent dat hogere opbrengsten samengaan met een hoger N-leverend vermogen. Het positieve effect van opbrengstniveau op de optimale N-gift wordt in dat geval weer teniet gedaan door het negatieve effect van het N-leverend vermogen op de N-behoefte. Indien de dataset representatief is voor de praktijk, zal differentiatie op basis van alleen opbrengstniveau soms leiden tot onnodige verhoging van de N-bemesting.

Op dit moment is nog geen betrouwbare indicator voor het N-leverend vermogen van de bodem beschikbaar voor de praktijk. Hierdoor is het nog niet mogelijk het N-bemestingsadvies op basis hiervan te differentiëren. Differentiatie van het N-bemestingsadvies zal zich hierdoor vooralsnog moeten beperken tot opbrengstniveau. Laatstgenoemde factor is voor de meeste telers wel op een redelijke manier vast te stellen.

De in deze studie gevonden relaties geven een basis voor het opstellen van een opbrengstgerelateerd N-bemestingsadvies voor consumptieaardappel. Hierbij kan er voor worden gekozen de afgeleide regressievergelijkingen rechtstreeks te gebruiken. Dit betekent dat het advies volledig wordt gebaseerd op de in deze studie gebruikte dataset en dus niet meer op die gebruikt bij de vaststelling van het huidige advies. Een andere optie is de opbrengstafhankelijkheid in te bouwen in het huidige advies door een positieve of negatieve correctie toe te passen bij een opbrengst hoger respectievelijk lager dan het gemiddelde opbrengstniveau van het huidige advies. Een eerste uitwerking laat zien dat de uitkomsten van beide opties redelijk vergelijkbaar zijn.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Om op zandgrond aan de nitraatnorm te voldoen worden beperkingen opgelegd aan het gebruik van stikstof (N). Het is daarom van belang om deze zo efficiënt mogelijk in te zetten en rekening te houden met factoren die de bemestingsbehoefte beïnvloeden. In het kader van het BO-onderzoeks-programma is nagegaan hoe deze afhangt het N-leverend vermogen van de bodem en het opbrengstniveau en hoe dit zou kunnen worden ingepast in bestaande bemestingsadviezen.

In 2010 is nagegaan in hoeverre het N-bemestingsadvies voor maïs kan worden gedifferentieerd naar opbrengstniveau en N-leverend vermogen van de bodem (Van Dijk et al., 2011). Beide factoren hadden een significant effect op de optimale N-gift. Omdat er nog geen goede schatter beschikbaar is van het N-leverend vermogen van de bodem, beperkt eventuele implementatie in het bemestingsadvies zich op dit moment tot de factor opbrengstniveau.

Naast maïs is consumptieaardappel een ander belangrijk bouwlandgewas op zandgrond. Daarom zijn in 2011 ook voor dit gewas de mogelijkheden van differentiatie van het bemestingsadvies nagegaan. In het huidige N-bemestingsadvies voor consumptieaardappelen wordt onderscheid gemaakt naar grondsoort (Tabel 1). Tevens wordt rekening gehouden met de hoeveelheid minerale bodem-N in het voorjaar. Dit betreft, vooral op zandgrond, doorgaans slechts een fractie van de hoeveelheid stikstof die gedurende het groeiseizoen beschikbaar komt via mineralisatie. Het advies houdt geen rekening met het opbrengstniveau.

**Tabel 1. N-bemestingsadvies consumptieaardappelen (Anonymus, 2011).**

Grondsoort	Richtlijn (kg N per ha)
Zand	$300 - 1.8 * N_{min} (0-60)$
Klei/löss	$285 - 1.1 * N_{min} (0-30)$

## 1.2 Doel

Doel van onderhavige studie is het verkennen van de mogelijkheden voor differentiatie van het N-bemestingsadvies op basis van opbrengstniveau en N-leverend vermogen van de bodem bij het gewas consumptieaardappel. Hierbij zijn de volgende vragen van belang:

- In welke mate hangt de optimale N-gift af van het opbrengstniveau en het N-leverend vermogen van de bodem?
- In welke mate zijn deze factoren onderling gecorreleerd?
- Hoe zou inpassing in de bestaande bemestingsadviezen kunnen worden vormgegeven?

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de aanpak beschreven. In hoofdstuk 3 worden vervolgens de resultaten van de analyse weergegeven en bediscussieerd. Daarna wordt een voorstel voor een aangepast bemestingsadvies gedaan (hoofdstuk 4). Het rapport wordt afgesloten met de meest relevante conclusies (hoofdstuk 5).





## 2 Aanpak

### 2.1 Beschrijving datasets

Bij de analyse is gebruik gemaakt van N-trappenproeven die in het verleden zijn uitgevoerd. Het betrof een dataset van 32 in Nederland uitgevoerde veldproeven op zand- en lössgrond. In Tabel 2 is een karakterisering gegeven van de dataset:

- 18 proeven lagen op zandgrond, 14 op lössgrond.
- Van de 18 proeven op zandgrond is in 14 proeven het ras Bintje geteeld, bij de ander 4 proeven is het ras niet bekend, maar waarschijnlijk is dit ook Bintje geweest. Alle 14 lössproeven zijn uitgevoerd met het ras Maritiema.
- In geen van de proeven is dierlijke mest gebruikt.

**Tabel 2. Karakterisering dataset consumptieaardappel.**

	Zand	Löss	Totaal
Aantal veldproeven met N-trappen	18	14	32
Aantal proeven met .. N-trappen			
- 3	2	0	2
- 4	11	14	25
- 5	5	0	5
Aantal proeven met eerstvolgende N-trap na nultrap:			
- < 50	0	0	0
- 50 – 100	18	0	18
- > 100	0	14	14
Aantal proeven met hoogste N-trap:			
< 200	0	0	0
- 200 – 250	2	3	5
- 251 – 300	11	11	22
> 300	5	0	5

### 2.2 Bepaling optimale N-gift

De N-bemestingsbehoefte wordt gegeven door de economisch optimale N-gift ( $N_{opt}$ ), waarbij rekening wordt gehouden met de prijzen van geoogst product en meststof-N (kunstmest). Deze is op een aantal manieren bepaald:

1. Datapunt met het hoogste financiële saldo (opbrengst \* productprijs minus kosten meststof):  $N_{opt,punt}$
2. Via regressieanalyse is het verband tussen N-bemesting en verse knolopbrengst vastgesteld en vervolgens is met behulp van de regressielijn de N-gift bepaald waarboven extra kosten voor N-bemesting niet meer opwegen tegen de meeropbrengst. Het verband is bepaald met de volgende kromlijnige modellen:
  - Tweedegraads polynoom model ( $N_{opt,pol}$ )
  - Exponentieel model ( $N_{opt,exp}$ )

Bij de regressiemethoden zijn proeven met geëxtrapoleerde waarden (berekende  $N_{opt} >$  hoogste N-trap) en proeven waarbij de curve is 'omgeklapt' uitgesloten. In het laatste geval neemt de opbrengst steeds sterker toe bij stijgende N-giften en kunnen geen realistische optima worden berekend.

Bij de prijzen is uitgegaan van €0.83 per kg N en €0.08 per kg verse knolopbrengst. Dit resulteert in een prijsverhouding tussen meststof en product van 10.4.

Hierboven wordt de  $N_{opt}$  bij alle proeven met de dezelfde methode/model bepaald. Een andere optie is om per proef de  $N_{opt}$  van het best passende model te kiezen ( $N_{opt, bp}$ ). Bij de bepaling van  $N_{opt, bp}$  is de volgende werkwijze gehanteerd. Het regressiemodel (polynoom of exponentieel) met het hoogste percentage verklaarde variantie is gekozen. Wanneer bleek dat de hierbij behorende  $N_{opt}$  buiten het bereik van de N-trappenreeks viel of de curve was omgeklapt, is gekozen voor het andere model. Wanneer de bijbehorende  $N_{opt}$  ook hier buiten het bereik van de N-trappenreeks viel of de curve is omgeklapt, is gekozen voor het datapunt met de hoogste financiële opbrengst ( $N_{opt, punt}$ ).

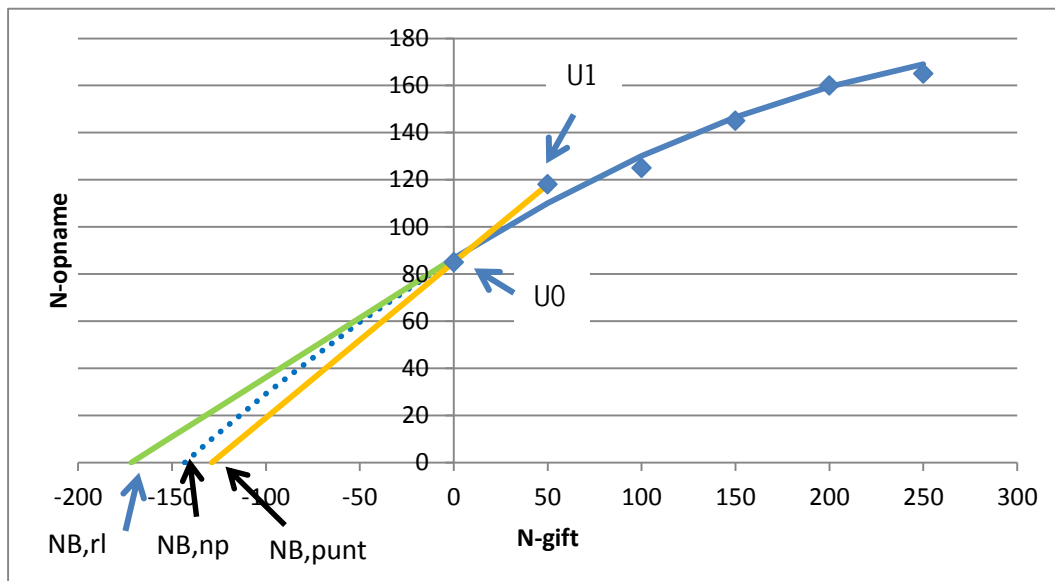
## 2.3 Bepaling N-bodemlevering

De N-bodemlevering is in de proeven niet bepaald, maar is indirect geschat door de volgende twee parameters:

- $U_0$  = N-opname bij nulbemesting (datapunt)
- $NB$  = N-bodemlevering bepaald via (zie ook Figuur 1):
  - $NB_{punt} = U_0/\rho_1$ .  $\rho_1$  is de N-recovery van de eerstvolgende N-gift na de nultrap ( $N_{gift1}$ ) en wordt berekend via de waarden van de meetpunten:  $(U_1 - U_0)/N_{gift1}$  ( $U_1$  is de N-opname bij de  $N_{gift1}$ ).
  - snijpunt van de regressiecurve (van relatie tussen N-gift en N-opname, zowel polynoom als exponentieel verband) met de x-as ( $NB_{poly\_np}$  respectievelijk  $NB_{exp\_np}$ ).
  - $NB_{poly\_rl}$  resp.  $NB_{exp\_rl} = U_0/\rho_0$ .  $\rho_0$  is de N-recovery bij een N-bemesting van 0 kg per ha (feitelijk de recovery van de door de bodem geleverde N). Deze is berekend als de afgeleide van het verband tussen N-gift en N-opname bij een N-gift van 0 kg per ha. Dit is gedaan voor zowel de polynoom als het exponentieel verband.

Een nadeel van  $U_0$  als schatter voor de bodemlevering is dat deze in werkelijkheid mede wordt bepaald door de N-recovery. Bij  $NB$  is dat niet het geval, maar het betreft (per definitie) wel een geëxtrapoleerde waarde. Voordeel van  $NB$  is wel dat deze beter aansluit bij potentiële schatters voor de N-bodemlevering (indien deze op termijn beschikbaar komen). Wanneer bij de bepaling van de  $NB_{np}$  de regressiecurve was omgeklapt is uitgegaan van een lineaire verband.

Bij zowel  $U_0$  als  $NB$ , zoals hierboven vastgesteld, is de bodemlevering een optelsom van werkelijk door de bodem geleverde N (minerale bodem-N in het voorjaar en de N die daarna door mineralisatie vrijkomt) en depositie.



**Figuur 1. Schematische weergave van bepaling NB uit relatie tussen N-gift en N-opname (voor toelichting zie tekst).**

## 2.4 Bepaling haalbare opbrengst

Voor de haalbare opbrengst is uitgegaan van het opbrengstniveau bij de optimale N-gift ( $Y_{opt}$ ) of het object met de hoogste opbrengst ( $Y_{max}$ ).

## 2.5 Analyse effect van opbrengst en bodemlevering op $Nopt$

De effecten van opbrengstniveau ( $Y_{opt}$ ) en bodemlevering ( $U0$  en  $NB$ ) op  $Nopt$  zijn op een tweetal manieren vastgesteld.

### Methode 1

Per afzonderlijke proef is eerst de  $Nopt$  bepaald zoals hierboven aangegeven. Vervolgens is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd met  $Nopt$  als responsvariabele en  $Y_{opt}$  en  $U0/NB$  als verklarende variabelen. Hierbij zijn de volgende modellen gebruikt:

$$Nopt = a + b \cdot Y_{opt} + c \cdot U0$$

$$Nopt = a + b \cdot Y_{opt} + c \cdot NB$$

Bij het opbrengstniveau is uitgegaan van de waarde bij de optimale N-bemesting ( $Nopt$ ). Bij de  $U0$  is altijd uitgegaan van de gemeten waarde bij nulbemesting.

In geval van significante relaties, kan vanuit de regressievergelijkingen vervolgens voor een gegeven  $Y_{opt}$  en  $U0/NB$  de  $Nopt$  worden berekend.

## Methode 2

Bij deze methode is een regressieanalyse uitgevoerd op de totale dataset (alle datapunten van de 32 proeven). Hierbij is het volgende model gebruikt:

$$\text{Opbrengst} = a + b \cdot \text{Ngift} + c \cdot (\text{Ngift})^2 + d \cdot Y_{\max} + e \cdot U_0 + f \cdot \text{Ngift} \cdot Y_{\max} + g \cdot \text{Ngift} \cdot U_0 + h \cdot (\text{Ngift})^2 \cdot Y_{\max} + i \cdot (\text{Ngift})^2 \cdot U_0$$

Omdat nu per proef niet eerst een  $N_{\text{opt}}$  wordt berekend, is bij het haalbare opbrengstniveau uitgegaan van de maximaal behaalde opbrengst ( $Y_{\max}$ ) in plaats van de opbrengst bij de optimale  $N_{\text{gift}}$  ( $Y_{\text{opt}}$ ).

Uit de regressievergelijking kan bij een gegeven  $Y_{\max}$  en  $U_0$  de  $N_{\text{opt}}$  worden berekend.

## 3 Resultaten analyse

### 3.1 Gemiddelde en spreiding parameters

#### 3.1.1 Nopt

In Tabel 3 zijn de gemiddelde waarden en de spreiding weergegeven van de Nopt bepaald met de datapuntmethode (Nopt,punt). Gemiddeld over de gehele dataset bedroeg de Nopt 242 kg N per ha. Bij de zandproeven was de Nopt gemiddeld circa 25 kg N per ha hoger dan bij de lössproeven.

Bij 21 (subset 2) en 14 proeven (subset 3) was het mogelijk (geen omgeklapte curves, berekende Nopt < hoogste N-gift) de Nopt te bepalen met respectievelijk een polynoom en exponentieel model. De gemiddelde waarden voor Nopt waren 228 (polynoom) en 207 kg N per ha (exponentieel model).

Bij subset 3 konden bij alle proeven zowel met de polynoom als het exponentiële model Nopt-waarden worden afgeleid waardoor een vergelijking mogelijk is tussen de drie methoden (punt, polynoom, exponentieel). De resultaten staan in Tabel 4. De gemiddelde Nopt bedroeg 199, 210 en 207 kg N per ha voor respectievelijk de puntmethode, polynoom en exponentieel model. De verschillen tussen de methoden waren relatief gering.

**Tabel 3. Gemiddelde, standaarddeviatie, variatiecoëfficiënt, minimum en maximum van Nopt,punt, U0,punt, Yopt,punt en Ymax,punt (volledige dataset van 32 proeven, subset 1).**

	Zand	Löss	Totaal
Nopt,punt <sup>1</sup>			
- Gemiddeld (kg/ha)	253	227	242
- Standaarddeviatie (kg/ha)	64	56	61
- Min (kg/ha)	100	125	100
- Max (kg/ha)	360	280	360
U0,punt <sup>2</sup>			
- Gemiddeld (kg/ha)	96	72	85
- Variatiecoëfficiënt (%)	35	26	35
- Min (kg/ha)	51	53	51
- Max (kg/ha)	196	109	196
Yopt,punt <sup>3</sup>			
- Gemiddeld (kg/ha)	63945	49214	57500
- Variatiecoëfficiënt (%)	13	25	22
- Min (kg/ha)	47281	20712	20712
- Max (kg/ha)	79081	62718	79081
Ymax,punt <sup>4</sup>			
- Gemiddeld (kg/ha)	64205	49348	57604
- Variatiecoëfficiënt (%)	13	25	21
- Min (kg/ha)	47281	21639	21639
- Max (kg/ha)	79081	62718	79081

1 Nopt,punt = datapunt met hoogste financiële saldo (opbrengst\*productprijs minus kosten N-kunstmest)

2 U0,punt = N-opname bij nulbemesting (datapunt)

3 Yopt,punt = opbrengst bij Nopt,punt

4 Ymax,punt = maximale opbrengst in proef

**Tabel 4. Gemiddelde, standaarddeviatie, minimum en maximum van Nopt, U0, Yopt en Ymax bij drie methoden (punt, polynoom en exponentieel). De waarden zijn gebaseerd op een subset (14 proeven, subset 3) waarbij bij alle proeven de Nopt kon worden bepaald bij alle drie methodes zonder dat er sprake was van extrapolatie en 'omgeklapte' curves.**

	Punt	Polynoom	Exponentieel
<b>Nopt</b>			
- Gemiddeld	199	210	207
- Standaarddeviatie	59	34	83
- Min	100	124	21
- Max	270	264	356
<b>U0</b>			
- Gemiddeld	92	92	92
- Standaarddeviatie	37	37	37
- Min	53	53	53
- Max	196	196	196
<b>Yopt</b>			
- Gemiddeld	54173	53996	52888
- Standaarddeviatie	15206	14795	14562
- Min	20712	21576	21019
- Max	68125	68823	67004
<b>Ymax</b>			
- Gemiddeld	54411	54056	53597
- Standaarddeviatie	15036	14778	14653
- Min	21639	21734	21661
- Max	68125	68857	67632

### 3.1.2 Yopt/Ymax

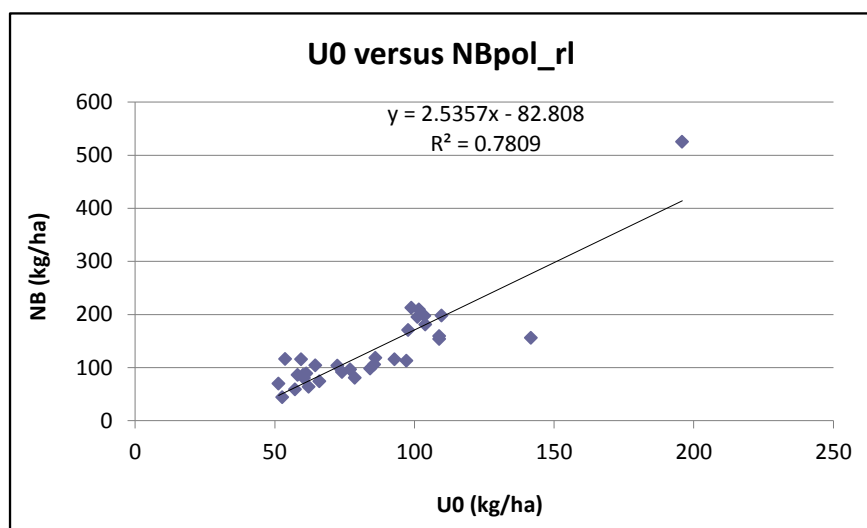
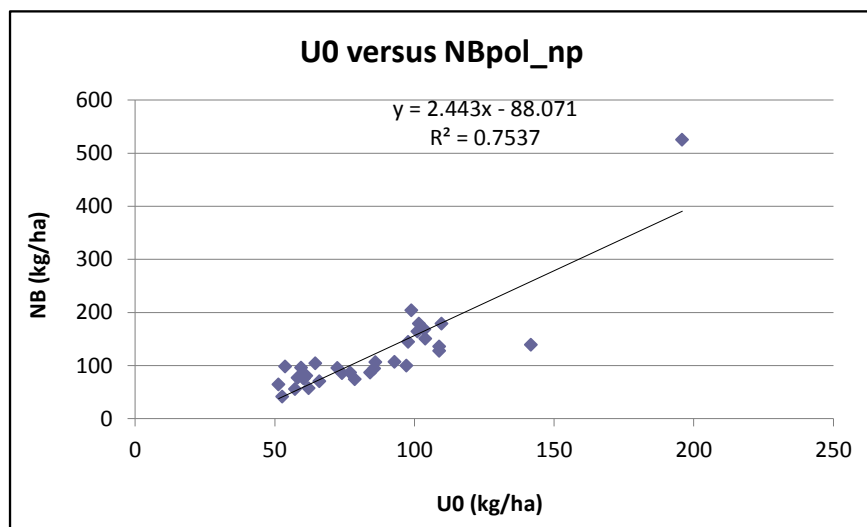
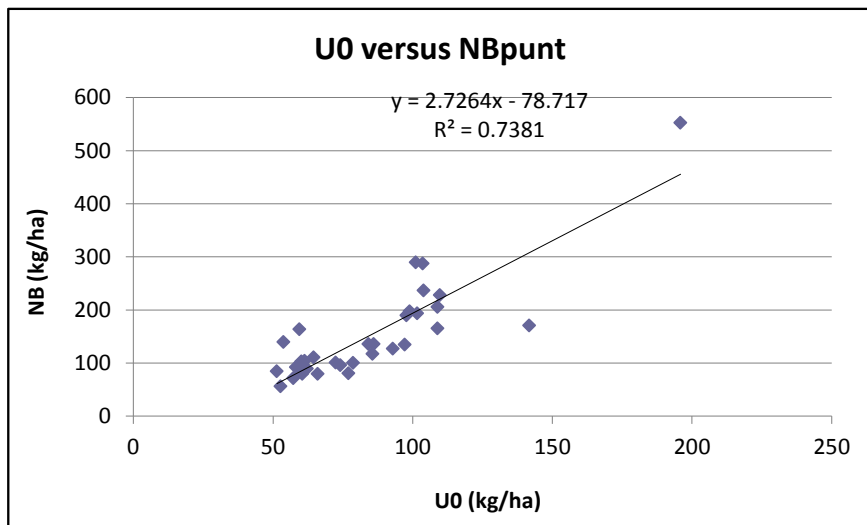
Gemiddeld voor de gehele dataset bedroeg de Yopt 58 ton per ha (puntmethode) en varieerde van 21 tot 79 ton per ha (Tabel 3). De variatie was het grootst bij de lössproeven. De gemiddelde Ymax verschilde niet veel van Yopt.

### 3.1.3 N-bodemlevering

De N-bodemlevering is geschat via de Unul (nulopname) en via diverse NB-parameters.

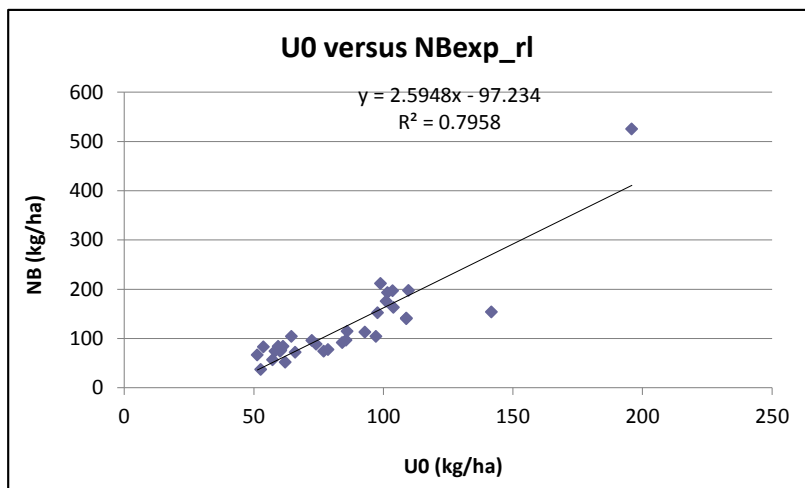
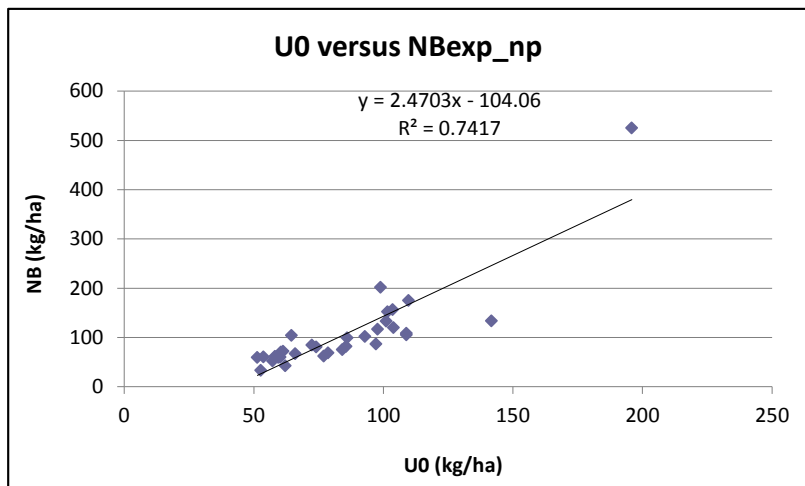
De gemiddelde U0 voor de gehele dataset bedroeg 85 kg N per ha en liep uiteen van ruim 50 kg N per ha tot bijna 200 kg N per ha (Tabel 3). De variatie was het grootst bij de zandproeven.

In Figuur 2 is de relatie tussen de gemeten Unul en de berekende NB-parameters weergegeven. Er was sprake van een goede relatie met een percentage verklaarde variantie variërend van 75-80%. De relatie was beter dan bij de dataset voor snijmaïs. Daar bedroeg het percentage verklaarde variantie afhankelijk van de methode waarmee NB werd bepaald 26-57% (Van Dijk et al., 2011).



Figuur 2. Relatie tussen U0 en NB (NB bepaald via puntmethode (NBpunt), polynoom (NBpol\_np en NBpol\_rl) en exponentieel verband (NBexp\_np en NBexp\_rl)).





**Figuur 2.** Relatie tussen U0 en NB (NB bepaald via puntmethode (NBpunt), polynoom (NBpol\_np en NBpol\_rl) en exponentieel verband (NBexp\_np en NBexp\_rl)) (vervolg).

## 3.2 Uitkomsten regressieanalyse

### 3.2.1 Methode 1

De resultaten van de regressieanalyse voor het effect van Yopt en U0/NB op Nopt staan weergegeven in Tabel 5. Hieruit komt het volgende naar voren:

- Bij alle Nopt-responsvariabelen was er sprake van een significant effect van zowel Yopt als U0.
- Afhankelijk van het gekozen model en subset liep het effect van Yopt uiteen van 1.7 naar 4.6 kg N per ton knolopbrengst (positief effect) en het effect van U0 van 0.82 tot 2.03 kg N per kg U0 (negatief effect).
- Wanneer niet U0, maar NB als verklarende variabele wordt meegenomen, daalt het percentage verklaarde variantie. Het effect van Yopt en NB op de Nopt zijn echter nog wel steeds beide significant. Het effect van Yopt bedraagt 2.9-3.3 kg N per ton en is lager wanneer U0 als verklarende variabele wordt gebruikt. Het NB-effect bedraagt 0.3-0.4 kg N per kg en is aanzienlijk lager dan het effect van U0 (1.5 kg N per kg N).

**Tabel 5. Effect van Yopt, U0 en NB op Nopt bij verschillende methoden van bepaling Nopt en bij verschillende subsets bij methode 1.**

Respons variabele	Verklarende variabelen	Subset	R <sup>2</sup>	SE	Regressiecoëfficiënten <sup>1</sup>		
					a	B (Yopt)	c (U0)
Nopt,punt	Y,opt,punt, U0	1	54	41	128***	4.19***	-1.49***
	Y,opt,punt, U0	2	50	51	113*	4.60***	-1.58**
	Y,opt,punt, U0	3	52	41	131*	3.45**	-1.30**
Nopt,pol	Y,opt,pol, U0	2	29	39	166***	2.45**	-0.86*
	Y,opt,pol, U0	3	47	25	194***	1.67*	-0.82**
Nopt,exp	Y,opt,exp, U0	3	54	56	149*	4.61**	-2.03**
Nopt,bp	Y,opt,punt, U0	1	61	34	129***	3.90***	-1.38***
Nopt,punt	Y,opt,punt, U0	1	54	41	128***	4.19***	-1.49***
	Yopt,punt, NBpunt	1	36	49	120**	2.94***	-0.31**
	Yopt,punt, NBpol_np	1	39	48	108*	3.11***	-0.37**
	Yopt,punt, NBpol_rl	1	38	48	112*	3.10***	-0.36**
	Yopt,punt, NBexp_np	1	37	47	95*	3.25***	-0.38**
	Yopt,punt, NBexp_rl	1	39	48	100*	3.26***	-0.37**

1 Significantie regressiecoëfficiënten: \* P < 0.05, \*\* P < 0.01, \*\*\* P < 0.005

### 3.2.2 Methode 2

In Tabel 6 zijn de uitkomsten weergegeven van het bij deze methode gebruikte regressiemodel (voor beschrijving model zie paragraaf 2.5). De kwadratische interactietermen waren niet significant en zijn daarom buiten het model gelaten. Ymax en U0 en ook de lineaire interactietermen met de Ngift hadden een significant effect op de opbrengst.

**Tabel 6. Resultaten regressieanalyse volgens methode 2.**

Regressieterm	Regressiecoëfficiënt	Significantie
Constante	-12667	P<0.001
Ngift	128.3	P<0.001
Ngift2	-0.2846	P<0.001
Ymax	0.5376	P<0.001
U0	205.4	P<0.001
Ngift.Ymax	0.001766	P<0.001
Ngift.U0	-0.89	P<0.001

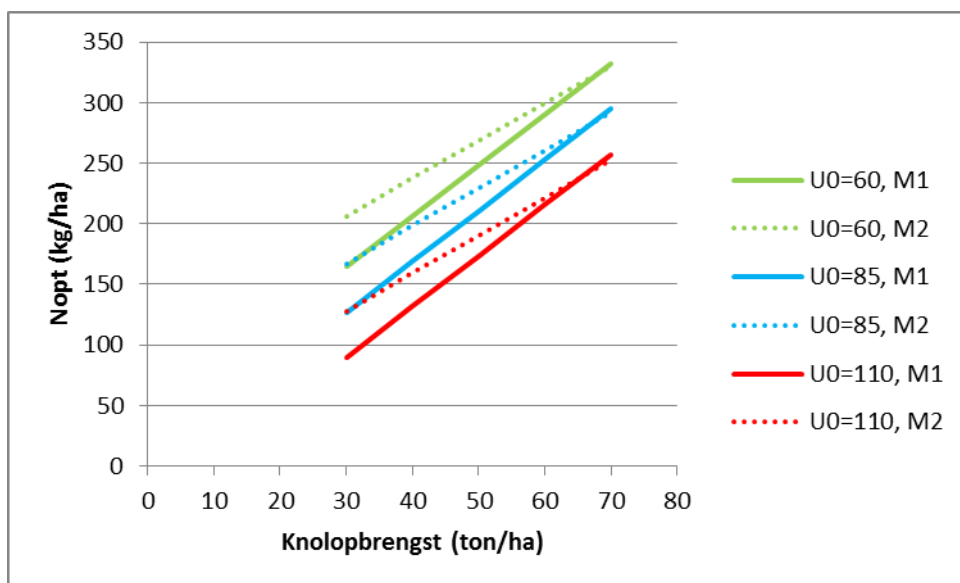
### 3.2.3 Berekende Nopt-waarden bij methode 1 en 2

Uit de regressievergelijkingen kan bij een gegeven Ymax en U0 voor beide methodes de Nopt worden berekend (Tabel 7). In Figuur 3 zijn de berekende Nopt-waarden weergegeven voor beide methoden bij aantal combinaties van Ymax en U0. Hierbij is voor methode 1 uitgegaan van bepaling Nopt via de puntmethode.

Uit de figuur blijkt dat het effect van verandering van U0 op Nopt bij beide methoden vergelijkbaar is. Het effect van verandering van opbrengst op Nopt is bij methode 1 sterker (4.2 kg N per ton) dan bij methode 2 (3.1 kg N per ton). In absolute zin zijn de verschillen in berekende Nopt-waarden het grootst bij lagere opbrengsten.

**Tabel 7. Gefitte Nopt-waarden in relatie tot Ymax en U0 bij de verschillende regressiemethoden, de uitkomsten zijn weergegeven voor de verschillende submethoden voor afleiding Nopt per proef en subsets (ss).**

Ymax	U0	Methode 1						Methode 2
		Punt			Polynoom		Exponentieel	ss1
		ss1	ss2	ss3	ss2	ss3	ss3	
30	65	<b>164</b>	156	157	188	195	166	<b>206</b>
	85	<b>127</b>	117	124	166	174	115	<b>167</b>
	110	<b>90</b>	77	92	145	154	64	<b>128</b>
50	65	<b>248</b>	248	226	237	228	258	<b>268</b>
	85	<b>211</b>	209	193	215	208	207	<b>229</b>
	110	<b>174</b>	169	161	194	187	156	<b>190</b>
70	65	<b>332</b>	340	295	286	262	350	<b>330</b>
	85	<b>295</b>	301	262	264	241	299	<b>291</b>
	110	<b>257</b>	261	230	243	221	248	<b>252</b>

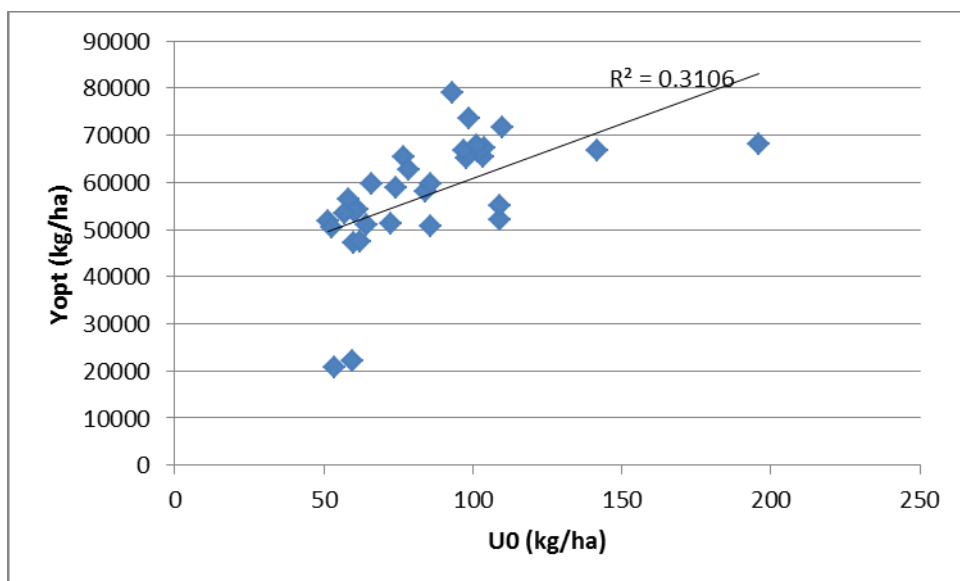


Figuur 3. **Berekende Nopt-waarden in relatie tot Ymax en U0 bij methode 1 en 2 (M1 en M2, voor beschrijving methoden zie tekst).**

### 3.3 Onderlinge correlatie Yopt en U0

In Figuur 4 is de relatie weergegeven tussen U0 en Yopt. Hieruit blijkt dat deze zijn gecorreleerd. Het percentage verklaarde variantie is weliswaar niet hoog, maar de relatie is wel significant. De correlatiecoëfficiënt bedroeg 0.56.

De waargenomen positieve correlatie tussen Ymax (hogere behoefte) en U0 (lagere behoefte) zou betekenen dat er in praktische zin minder noodzaak zou zijn voor differentiatie mits de dataset representatief is voor de praktijk.



Figuur 4. **Relatie tussen U0 en Yopt (bepaald met puntmethode) bij subset 1 consumptieaardappelen.**



## 4 Mogelijkheden inpassing in huidig advies

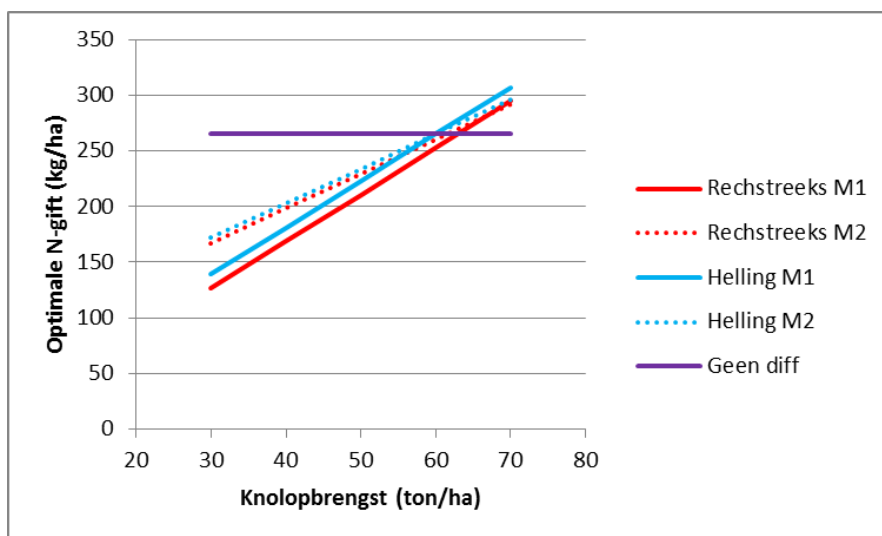
Differentiatie van het N-bemestingsadvies op basis van opbrengst en N-leverend vermogen is alleen zinvol wanneer deze kengetallen ook op een betrouwbare manier kunnen worden geschat. Voor het opbrengstniveau is dat op een redelijke manier mogelijk door uit te gaan van het meerjarig gemiddelde opbrengstniveau over een recente periode (bijvoorbeeld de laatste vijf jaar). Voor het N-leverend vermogen is op dit moment nog geen goede indicator beschikbaar waardoor vooralsnog alleen differentiatie op basis van opbrengst aangrijpingspunten biedt.

Bij de uitwerking van een opbrengstgerelateerd N-advies zijn een aantal opties mogelijk:

1. Het rechtstreeks gebruiken van de afgeleide regressievergelijkingen. Dit betekent dat het advies volledig wordt gebaseerd op de in deze studie gebruikte dataset en dus niet meer op die gebruikt bij de vaststelling van het huidige advies.
2. De opbrengstafhankelijkheid inbouwen in het huidige advies. Dit komt neer op alleen de helling van de regressielijn te gebruiken.

Het rechtstreeks gebruiken van de regressievergelijkingen leidt tot optimale N-giften zoals weergegeven in Figuur 5. Een vergelijking met het huidige niet gedifferentieerde advies is alleen goed mogelijk als van de dataset die daaraan ten grondslag ligt, bekend is wat het gemiddelde opbrengstniveau en  $U_0$  was en welke prijsverhouding tussen meststof en product is gehanteerd voor afleiding van het advies. De gehanteerde prijsverhouding was 10 en ligt dus redelijk dicht bij de waarde van 10.4 zoals gebruikt in deze studie. Afgaande op publicaties van onderzoek dat ten grondslag heeft gelegen aan het huidige advies bleek het gemiddelde maximale opbrengstniveau van de zandproeven op circa 60 ton per ha te liggen (Neeteson & Zwetsloot, 1989). Dat ligt dichtbij het gemiddelde maximale opbrengstniveau van de huidige dataset. De gemiddelde  $U_0$  kon niet worden achterhaald. Uitgaande van een opbrengstniveau van 60 ton per ha (gemiddeld niveau van proeven waarop huidig advies is gebaseerd), een  $U_0$  van 85 kg N per ha (gemiddelde van gebruikte dataset in deze studie) en een prijsverhouding van 10.4 (zoals gehanteerd in deze studie) bedraagt de  $N_{opt}$  255-260 kg N per ha. Dit komt redelijk overeen met het huidige advies van circa 265 kg N per ha.

Een andere insteek zou kunnen zijn door bij het gemiddelde opbrengstniveau waarop het huidige advies is gebaseerd (60 ton knolopbrengst per ha) uit te gaan van het huidige advies (N-bemesting van 265 kg N per ha) en deze te verhogen of te verlagen met behulp van de helling van de regressielijn (regressiecoëfficiënt van  $Y_{opt}$ ). Dit is tevens in Figuur 4 weergegeven. De verschillen met het rechtstreeks gebruiken van de regressievergelijkingen zijn gering.



**Figuur 5.** Berekende optimale N-gift in afhankelijkheid van opbrengstniveau door de regressievergelijkingen (methode 1 en 2) rechtsreeks te gebruiken of door alleen de helling van de regressielijn (methode 1 en 2) te gebruiken. In het laatste geval is het huidige advies (265 kg N per ha) als basis genomen bij een opbrengst van 50 ton/ha.

#### *Aardappelras*

Het stikstofbemestingsadvies van consumptieaardappelen wordt rekening gehouden met de vroegrijpheid van het geteelde ras. Bij een vroegrijpheidscijfer lager dan 6.5 wordt per half punt een 20 kg N per ha lagere gift geadviseerd. In de veldproeven gebruikt voor onderhavige analyse is in 28 van de 32 proeven een ras gebruikt met een vroegrijpheidscijfer van 6.5 (Bintje en Maritiema). In de andere 7 proeven was het ras niet bekend, maar is het waarschijnlijk ook Bintje geweest.

De vraag is of de gevonden relaties (hoofzakelijk afgeleid van proeven met vroege rassen) ook gelden voor latere rassen. Omdat proeven met dergelijke rassen niet in de dataset waren opgenomen, kan hierover geen uitspraak worden gedaan.

## 5 Conclusies

- Met behulp van een dataset van 32 veldproeven is voor het gewas consumptieaardappel op een tweetal manieren het verband tussen opbrengstniveau en N-bodemlevering (o.a. geschat via de N opname van onbemeste maïs, U0) enerzijds en de optimale N-gift (Nopt) anderzijds bepaald. Bij de eerste methode is eerst per proef de Nopt bepaald en vervolgens is een regressie uitgevoerd van opbrengstniveau en U0 op Nopt.
- Hieruit kwam naar voren dat de optimale N-gift significant werd beïnvloed door het opbrengstniveau en U0. Afhankelijk van de gebruikte methode voor bepaling van de Nopt per proef (datapunt met hoogste financiële opbrengst, regressie met tweedegraads polynoom en exponentieel model) liep het opbrengsteffect uiteen van 1.7-4.6 kg N per ton drogestof ('hogere Nopt bij hogere opbrengst'). Het U0-effect varieerde van 0.8 tot 2.0 kg N per kg U0 ('lagere Nopt bij hogere bodemlevering').
- Indien niet U0 maar NB (=U0 gecorrigeerd voor incomplete recovery van bodem-N door gewas) werd meegenomen als schatter van het N-leverend vermogen, daalde het percentage verklaarde variantie. Het effect van Yopt en U0 op de Nopt was echter nog steeds significant.
- Er is ook een regressieanalyse uitgevoerd waarbij voor alle datapunten van alle proeven tezamen het effect van N-gift, Ymax en U0 op de opbrengst is bepaald. Het effect van zowel Ngift (zowel eerste als tweedegraadsterm), Ymax en U0 als van de eerstegraads interactietermen van Ngift met Ymax en U0 waren significant. De uit de regressievergelijking berekende Nopt-waarden verschilden met name bij lagere opbrengstniveaus met die van afgeleid met de hierboven genoemde methode.
- Uit de correlatieanalyse bleek dat de parameters op basis waarvan het bemestingsadvies zou kunnen worden gedifferentieerd, Yopt en U0, in de hier gebruikte dataset positief waren gecorreleerd, hoewel het percentage verklaarde variantie laag was (31%). Dit betekent dat hogere opbrengsten samengaan met een hoger N-leverend vermogen. Het positieve effect van opbrengstniveau op de optimale N-gift wordt in dat geval weer teniet gedaan door het negatieve effect van het N-leverend vermogen op de N-behoefte. Indien de dataset representatief is voor de praktijk, zal differentiatie op basis van alleen opbrengstniveau soms leiden tot onnodige verhoging van de N-bemesting.
- Op dit moment is nog geen betrouwbare indicator voor het N-leverend vermogen van de bodem beschikbaar voor de praktijk. Hierdoor is het nog niet mogelijk het N-bemestingsadvies op basis hiervan te differentiëren. Differentiatie van het N-bemestingsadvies zal zich hierdoor vooralsnog moeten beperken tot opbrengstniveau. Laatstgenoemde factor is voor de meeste telers wel op een redelijke manier vast te stellen.
- De in deze studie gevonden relaties geven een basis voor het opstellen van een opbrengstgerelateerd N-bemestingsadvies voor consumptieaardappel. Hierbij kan er voor worden gekozen de afgeleide regressievergelijkingen rechtstreeks te gebruiken. Dit betekent dat het advies volledig wordt gebaseerd op de in deze studie gebruikte dataset en dus niet meer op die gebruikt bij de vaststelling van het huidige advies. Een andere optie is de opbrengstafhankelijkheid in te bouwen in het huidige advies door een positieve of negatieve correctie toe te passen bij een opbrengst hoger respectievelijk lager dan het gemiddelde opbrengstniveau van het huidige advies. Een eerste uitwerking laat zien dat de uitkomsten van beide opties redelijk vergelijkbaar zijn.





## 6 Referenties

Anonymus, 2011. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl).

Neeteson, J.J. & H.J.C. Zwetsloot, 1989. An analysis of the response of sugar beet and potatoes to fertiliser nitrogen and soil mineral nitrogen. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37, p. 129-141.

Van Dijk, W., J.R. van der Schoot & H.F.M. ten Berge, 2011. Differentiatie stikstofbemestingsadviezen. Eerste verkenning bij het gewas maïs. *Praktijkonderzoek Plant en Omgeving*, publicatie nr. 426, 37 pp.

