

Differentiatie stikstofbemestingsadviezen

Eerste verkenning bij het gewas maïs

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

© 2011 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
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel.....	7
1.3 Globale aanpak.....	7
1.4 Leeswijzer.....	8
2 AANPAK	9
2.1 Factoren voor differentiatie.....	9
2.2 Analyse datasets	10
2.2.1 Beschrijving datasets	10
2.2.2 Bepaling optimale N-gift.....	11
2.2.3 Bepaling N-bodemlevering	12
2.2.4 Analyse effect van opbrengst en bodemlevering op Nopt	12
3 RESULTATEN ANALYSE.....	15
3.1 Gemiddelde en spreiding parameters	15
3.1.1 Optimale N-gift (Nopt).....	15
3.1.2 Opbrengstniveau (Yopt/Ymax).....	17
3.1.3 N-Bodemlevering	17
3.2 Uitkomsten regressieanalyse	21
3.2.1 Methode 1	21
3.2.2 Methode 2	25
3.3 Milieukundig effect differentiatie N-bemestingsadvies.....	26
4 DISCUSSIE	27
4.1 Vergelijking met andere datasets	27
4.2 U0 versus NB	29
4.3 Omvang van effect van opbrengst en U0 op Nopt.....	29
4.4 Prijsverhouding product en meststof	29
4.5 Regressiemodellen en berekende optima.....	30
4.6 Lange termijn effecten	31
5 MOGELIJKHEDEN INPASSING IN HUIDIG ADVIES.....	33
6 CONCLUSIES	35
7 REFERENTIES.....	37

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 bij het gewas maïs. Hierbij is gekeken naar zowel de landbouwkundige als milieukundige aspecten van differentiatie van het N-bestedingsadvies.

Er is nagegaan op basis van welke factoren differentiatie zinvol is en in welke mate de optimale N-besteding daarvan afhangt. Gekozen is voor het gewas maïs omdat dit een groot uitspoelingsgevoelig gewas is op zandgrond waar de uitspoelingsproblematiek het grootst is.

In de studie is gebruik gemaakt van een dataset van 80 proeven. Het betrof 59, 7 en 11 proeven op respectievelijk zand-, klei- en lössgrond. In de geselecteerde proeven waren minimaal 4 N-niveaus aanwezig waaronder een nultrap.

De onderzochte factoren voor differentiatie van het bestedingsadvies 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 €0.11 per kg drogestof. Dit resulteert in een prijsverhouding tussen meststof en product van 7.5.

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 7-15 kg N per ton drogestof ('hogere N_{opt} bij hogere opbrengst'). Het U_0 -effect varieerde van 0.55 tot 1 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 nog steeds 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} . In tegenstelling tot U_0 had NB geen significant effect op N_{opt} .

Bij methode 2 is een analyse uitgevoerd met de N-balans van het gewas-bodemsysteem als uitgangspunt. Centraal in de balansmethode staan het N-gehalte in het geoogste product (A) en de N-recovery van de toegediende N-besteding (R). Voor zowel A als R is via regressieanalyse nagegaan hoe deze afhangen van de N-gift, Y_{max} en U_0 . Deze analyse is uitgevoerd bij alle datapunten van alle 80 proeven tezamen.

Vervolgens is vanuit de gevonden regressievergelijkingen de Nopt berekend bij verschillende waarden voor Y_{max} en U_0 .

Alle drie genoemde verklarende variabelen hadden een significant effect op zowel het N-gehalte als de N-recovery. De hieruit berekende Nopt-waarden verschilden van die van de responsmethode. Met name het effect van U_0 op Nopt was circa 2 keer zo groot als bij de responsmethode. Daarnaast waren de berekende Nopt-waarden minder plausibel dan bij methode 1.

Uit de correlatieanalyse bleek dat de parameters op basis waarvan het bemestingsadvies zou kunnen worden gedifferentieerd, Y_{max} en U_0 , in de hier gebruikte dataset niet waren gecorreleerd. Dit betekent dat percelen met een hoog opbrengstniveau niet systematisch worden gekenmerkt door een hoog N-leverend vermogen en vice versa.

Op dit moment is nog geen betrouwbare indicator voor het N-leverend vermogen van de bodem beschikbaar. 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 het opbrengstniveau. Laatstgenoemde factor is voor de meeste maïstelers op bedrijfsniveau wel op een redelijke manier vast te stellen. Voor afzonderlijke percelen is dat lastiger.

De in deze studie gevonden relaties geven een basis voor het opstellen van een opbrengstgerelateerd N-bemestingsadvies voor maïs. 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 begin jaren negentig.

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.

Er is ook nagegaan welke effect differentiatie van het N-bemestingsadvies heeft op het N-overschot. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde verdeling van de opbrengst over het maïsareaal. In geval van differentiatie van het bemestingsadvies kan bij elke opbrengst een Nopt en N-overschot worden uitgerekend. In een situatie zonder differentiatie is uitgegaan van één gemiddelde Nopt ongeacht het opbrengstniveau. Uit deze analyse bleek dat differentiatie leidde tot een daling van het N-overschot van 4 kg N per ha. Dit betekent voor een natte en droge zandgrond een verlaging van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater met respectievelijk 2 en 4 mg per liter.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

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 stikstofbemestingsadvies, daar waar mogelijk, te differentiëren naar groei- en bodemomstandigheden. Een besparing op een perceel met een lagere behoefte kan worden gebruikt op percelen met een hogere behoefte waar deze stikstof beter kan worden benut. Dit leidt tot een hogere efficiëntie en lagere verliezen.

In dit rapport wordt een eerste verkenning uitgevoerd voor het gewas maïs. Voor dat gewas is gekozen omdat dit een groot uitspoelingsgevoelig bouwlandgewas is in het zuidoostelijk zandgebied, een regio waar de uitspoelingsproblematiek het grootst is.

Het huidige N-bemestingsadvies voor maïs houdt wel enigszins rekening met verschillen in groei- en bodemomstandigheden (Tabel 1). Zo wordt er onderscheid gemaakt naar de omvang van het organische mestgebruik. Wanneer regelmatig dierlijke mest wordt gebruikt is de adviesgift lager. Omdat dit op de meeste maïspcelen het geval is, is er vrijwel geen variatie op basis van dit criterium terwijl er waarschijnlijk sprake is van aanzienlijke verschillen in N-leverend vermogen tussen percelen. Het advies houdt ook rekening met de hoeveelheid minerale bodem-N in het voorjaar. Op zandgrond, waar de meeste maïs wordt geteeld, wordt echter een vaste gift (160 respectievelijk 185 kg N per ha) geadviseerd omdat de Nmin op zandgrond doorgaans laag is (circa 20 kg N per ha). Geconcludeerd kan worden dat er op dit moment weinig tot niet wordt gedifferentieerd in het huidige bemestingsadvies.

Tabel 1. Volvelds landbouwkundig N-bemestingsadvies voor maïs (Anonymus, 2010a).

Mestgebruik in verleden ¹	Advies bij zaai	Advies voor evt. 2 ^e gift bij lage Nmin
Veel mest	180 – Nmin (0-30)	210 – Nmin (0-60)
Weinig mest	205 – Nmin (0-30)	210 – Nmin (0-60)

¹ Veel mest: minimaal 50 m³ drijfmest/ha/jaar in voorgaande jaren
Weinig mest: maximaal 10 m³ drijfmest/ha/jaar in voorgaande jaren

1.2 Doel

Doel van het project is het verkennen van de mogelijkheden voor differentiatie van het stikstofbemestingsadvies bij het gewas maïs. Hierbij zijn de volgende vragen van belang:

- Op basis van welke factoren is differentiatie zinvol?
- In welke mate hangt de optimale N-gift af van deze factoren?
- In welke mate zijn deze factoren onderling gecorreleerd?
- In welke mate leidt differentiatie, indien daarvoor voldoende basis is, tot verlaging van het N-overschot?

Het onderzoek beperkt zich in 2010 tot het gewas maïs. Maïs is een groot gewas op zandgrond. De resultaten zijn, wat betreft de systematiek, ook bruikbaar voor andere gewassen. In het verdere vervolg van het project is ook een verkenning bij aardappelen voorzien.

1.3 Globale aanpak

In 2010 is een deskstudie uitgevoerd waarin de mogelijkheden van differentiatie van het N-bemestingsadvies bij maïs worden geschetst. Het gaat daarbij om de factoren op basis waarvan differentiatie zinvol is en hun onderlinge correlatie. De resultaten zullen in 2011 worden besproken in de

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. In 2011 zal tevens worden nagegaan wat de perspectieven zijn voor verdere differentiatie van het N-bemestingsadvies voor consumptieaardappelen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de aanpak beschreven. Hierbij wordt ingegaan op de factoren op basis waarvan verdere differentiatie van het bemestingsadvies zinvol wordt geacht en de gehanteerde aanpak van de analyse van de beschikbare datasets. In hoofdstuk 3 worden vervolgens de resultaten van de analyse weergegeven. Daarna worden de resultaten bediscussieerd (hoofdstuk 4) en wordt een voorstel voor een aangepast bemestingsadvies gedaan (hoofdstuk 5). Het rapport wordt afgesloten met de meest relevante conclusies (hoofdstuk 6).

2 Aanpak

2.1 Factoren voor differentiatie

De benodigde N-bemesting voor een optimale opbrengst hangt af van de vraag naar N door het gewas, de opname-efficiëntie van de beschikbare N (N-recovery) en het N-aanbod via andere bronnen dan bemesting:

$$N_{\text{bem,opt}} = \alpha_{\text{opt}} * Y_{\text{opt}} / \rho_{\text{opt}} - (N_{\text{bodem}} + N_{\text{dep}})$$

Waarbij:

$N_{\text{bem,opt}}$ = optimale N-gift (werkzame N)

α_{opt} = N-gehalte geoogst product bij optimale N-gift

Y_{opt} = opbrengst geoogst product bij optimale N-gift

ρ_{opt} = N-recovery beschikbare N in geoogst product bij optimale N-gift

N_{bodem} = N-leverend vermogen bodem

N_{dep} = hoeveelheid N via depositie

De vraag naar N is gelijk aan de hoeveelheid N die het gewas in het oogstbaar product wordt opgenomen bij een optimale N-voorziening. Deze wordt bepaald door het opbrengstniveau (Y_{opt}) en het N-gehalte (α_{opt}). Voor het N-aanbod via andere bronnen dan bemesting is vooral de bodemlevering (N_{bodem}) van belang. Daarnaast komt ook via depositie N beschikbaar voor het gewas (N_{dep}).

Bij de keuze voor factoren op basis waarvan differentiatie plaats kan vinden zijn de volgende aspecten van belang:

- Differentiatie is zinvol wanneer de optimale N-gift afhangt van de factoren op basis waarvan wordt gedifferentieerd en wanneer ze niet onderling zijn gecorreleerd. Wanneer bijvoorbeeld een hoog N-leverend vermogen (lagere N-bemestingsbehoefte) samengaat met een hoge maximale N-opname (hogere N-bemestingsbehoefte) is er minder grond voor verfijning van het huidige advies.
- Er moeten goede schatters beschikbaar zijn voor factoren op basis waarvan wordt gedifferentieerd.

De meest voor de hand liggende factoren om na te gaan of differentiatie perspectieven biedt, zijn het opbrengstniveau en het N-leverend vermogen van de bodem. Het opbrengstniveau is te schatten door bijvoorbeeld uit te gaan van het meerjarige gemiddelde opbrengstniveau op een perceel (bijvoorbeeld van de laatste vijf jaar). Voor het N-leverend vermogen van de bodem zijn op dit moment nog geen goede schatters voorhanden. Mogelijk dat het lopende LNV-BO-project naar voorspelling van het N-leverend vermogen op bouwland geschikte indicatoren oplevert.

De regionale verschillen in N-depositie zijn relatief gering (25-40 kg N per ha; Anonymus, 2010b).

Differentiatie op basis van dit kengetal lijkt daarom minder zinvol.

2.2 Analyse datasets

De afhankelijkheid van de optimale N-gift van het opbrengstniveau en N-leverend vermogen en de onderlinge afhankelijkheid van diverse parameters zijn geanalyseerd met behulp van beschikbare datasets van N-bemestingsproeven. Hierbij is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van de resultaten van studies die recentelijk zijn uitgevoerd (Ten Berge e.a. 2008/2009).

2.2.1 Beschrijving datasets

Er is gebruik gemaakt van een dataset van 48 in Nederland uitgevoerde veldproeven waarin N-trappen waren opgenomen. In Tabel 2 is een karakterisering gegeven van de dataset:

- De meeste proeven (30) zijn op zandgrond uitgevoerd, 7 en 11 proeven lagen op respectievelijk klei- en lössgrond.
- In een deel van de proeven was de N-bemesting 'gekruid' met andere teeltfactoren zoals ras, rijenafstand, zaaitijdstip en fosfaatbemesting. In dat geval was per niveau van een teeltfactor een reeks van N-trappen aanwezig. In deze studie zijn deze N-reeksen meegenomen als een afzonderlijke proef. Dit gaf in totaal 80 jaar-locatie-teeltfactor-combinaties (59 op zand, 10 op klei en 11 op löss). Hierna worden deze jaar-locatie-teeltfactor-combinatie aangeduid als proef.
- De zandproeven lagen meestal op continu maispercelen, de klei- en lössproeven op percelen waar een gangbare akkerbouwrotatie werd toegepast.
- Bij 41 zandproeven en 11 lössproeven lagen de objecten, en dus ook de N-trappen, meerdere jaren (2-3 jaren voor de zandproeven en 7 jaar voor de lössproeven) op dezelfde plaats.
- In 7 van de 80 proeven (alle op zandgrond) is dierlijke mest gebruikt. De N-werkingscoëfficiënt van de mest is geschat op basis van samenstelling en toedieningstijdstip en toedieningsmethode.
- In ruim 70% van de proeven waren meer dan 5 N-trappen aanwezig (inclusief nultrap).
- Met betrekking tot het bereik van de N-trappen kan het volgende worden opgemerkt:
 - Bij alle proeven was een nultrap aanwezig.
 - In 75% van de proeven (61) was de hoogste N-trap 200 kg N per ha of hoger. Hierbij moet worden benadrukt dat in een groot deel van de proeven (58 van de 61 proeven) 200 kg N per ha steeds de hoogste trap is geweest.
 - In 60% van de proeven was de eerstvolgende N-trap na de nultrap lager dan 50 kg N per ha, in ruim 35% lag deze tussen 50 en 100 kg N per ha.
- Proeven waarbij in de voorgaande herfst dierlijke mest was toegediend zijn buiten beschouwing gelaten.

Zoals hierboven aangegeven hebben in een deel van de proeven de N-trappen een aantal jaren achtereenvolgend op dezelfde plaats op het proefveld gelegen. Dat betekent dat de respons kan zijn beïnvloed door meerjarige effecten. De veldjes met lagere N-niveaus zullen door de lagere productieniveaus mogelijk wat meer verschrompelen dan de veldjes met hogere N-niveaus. In de discussie wordt hier nader op ingegaan.

Tabel 2. Karakterisering dataset snijmaïs.

	Zand	Klei	Löss	Totaal
Aantal veldproeven met N-trappen	30	7	11	48
Aantal jaar-locatie-teeltfactor-combinaties ¹ (hierna aangeduid als proef)	59	10	11	80
Aantal proeven met dierlijke mest	7	0	0	7
Aantal proeven met > .. N-trappen				
- 4	11	0	11	22
- 5	43	6	0	49
- > 6	5	4	0	9
Aantal proeven met eerstvolgende N-trap na nultrap:				
- < 50 kg/ha	37	10	0	47
- 50 – 100 kg/ha	19	0	11 ²	30
- > 100 kg/ha	3	0	0	3
Aantal proeven met hoogste N-trap:				
< 200 kg/ha	8	0	11	19
- 200 – 250 kg/ha ³	48	10	0	58
- 251 – 300 kg/ha	3	0	0	3
> 300 kg/ha	0	0	0	0

1 In veldproeven waarin naast de N-bemesting ook andere teeltfactoren (zoals rijenafstand, zaaitijd, e.d.) waren opgenomen, is de N-trappenreeks binnen een teeltfactor aangemerkt als aparte proef

2 In alle proeven was eerstvolgende N-trap na nultrap 50 kg N per ha

3 Hoogste N-trap was bij alle 58 proeven 200 kg N per ha

2.2.2 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 drogestofopbrengst 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 kromlijngige 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.

Andere kromlijngige modellen zoals exponentieel+lineair model en quadratisch+plateau model zijn buiten beschouwing gelaten omdat bij veel proeven het aantal N-trappen te gering was om de modelparameters goed te kunnen schatten.

Bij de prijzen is uitgegaan van €0.83 per kg N en €0.11 per kg drogestof. Dit resulteert in een prijsverhouding tussen product en meststof van 7.5.

Hierboven wordt de N_{opt} bij alle proeven met de dezelfde methode/model bepaald. Een andere optie is om 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

Nopt ook hier buiten het bereik van de N-trappenreeks viel of is omgeklapt, is gekozen voor het datapunt met de hoogste financiële opbrengst (*Nopt,punt*).

2.2.3 Bepaling N-bodemlevering

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

- $U0$ = N-opname bij nulbemesting (datapunt)
- NB = N-bodemlevering bepaald via:
 - $NB_{punt} = U0/\rho_1$. ρ_1 is de N-recovery van de eerstvolgende N-gift na de nultrap (Ngift1) en wordt berekend via de waarden van de meetpunten: $(U1-U0)/Ngift1$ ($U1$ is de N-opname bij de Ngift1).
 - 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. $NB_{exp_rl} = U0/\rho_0$. ρ_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 $U0$ 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). Evenals bij de bepaling van de optimale N-gift zijn proeven waarbij de regressiecurve was omgeklapt niet meegenomen in de analyse (alleen van toepassing bij NB_{poly_np} en NB_{exp_np}).

Bij zowel $U0$ 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.

2.2.4 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:

1. $Nopt = a + b \cdot Y_{opt}$
2. $Nopt = a + b \cdot Y_{opt} + c \cdot U0$
3. $Nopt = a + b \cdot Y_{opt} + c \cdot NB$

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 de N-balans van het gewas-bodemsysteem als uitgangspunt genomen. Deze wordt beschreven via:

$$Y \cdot A = (U_0 + R \cdot N_{\text{gift}})$$

Waarbij:

Y = opbrengst

U₀ = N-opname zonder N-bemesting

N_{gift} = werkzame N-gift

A = N-gehalte in geoogst product

R = N-recovery toegediende N-bemesting in geoogst product

Centraal in de balansmethode staan het N-gehalte in het geoogste product (A) en de N-recovery van de toegediende N-bemesting (R). Voor zowel A als R is via regressieanalyse nagegaan hoe deze afhangen van de N_{gift}, Y_{max} en U₀. Hierbij zijn de volgende modellen gebruikt:

1. $A = a + b \cdot N_{\text{gift}} + d \cdot Y_{\text{max}} + e \cdot U_0$
2. $A = a + b \cdot N_{\text{gift}} + c \cdot N_{\text{gift}}^2 + d \cdot Y_{\text{max}} + e \cdot U_0$
3. $R = a + b \cdot N_{\text{gift}} + d \cdot Y_{\text{max}} + e \cdot U_0$
4. $R = a + b \cdot N_{\text{gift}} + c \cdot N_{\text{gift}}^2 + d \cdot Y_{\text{max}} + e \cdot U_0$

Bij de analyse zijn alle datapunten van de 80 proeven gebruikt. Omdat nu per proef niet eerst een N_{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_{gift} (Y_{opt}).

In geval van significante relaties kan vanuit de regressievergelijkingen bij een gegeven Y_{max} en U₀ de N-respons worden berekend (Y bij oplopende N_{gift}). De N_{opt} (bij een gegeven Y_{max} en U₀) wordt vervolgens gegeven door de N-gift waarbij de financiële opbrengst maximaal is.

3 Resultaten analyse

3.1 Gemiddelde en spreiding parameters

3.1.1 Optimale N-gift (Nopt)

Nopt via datapuntmethode

In Tabel 3 zijn de gemiddelde waarden en de spreiding weergegeven van Nopt, U0, Yopt en Ymax bij de datapuntmethode. Doordat Nopt bij deze methode bij alle proeven kan worden vastgesteld hebben de uitkomsten betrekking op de volledige dataset van 80 proeven (hierna aangeduid als subset 1). Er is onderscheid gemaakt naar grondsoort.

Gemiddeld over de gehele dataset bedroeg de Nopt 140 kg N per ha. Bij de kleiproeven was de Nopt gemiddeld circa 45-50 kg N per ha hoger dan bij de zand- en lössproeven. Bij de zandproeven was de spreiding in Nopt in zowel absolute (standaarddeviatie) als relatieve zin (variatiecoëfficiënt) het grootst.

Nopt via regressieanalyse

Van de totale dataset van 80 proeven was er bij zeven (polynoom) en acht proeven (exponentieel model) sprake van een 'omgeklapte' curve (Tabel 4). Bij de resterende proeven was bij de polynoom in 15 proeven de Nopt hoger dan de hoogste N-trap. Bij het exponentiële model was dit bij 27 proeven het geval.

Na het uitsluiten van de proeven met een omgeklapte curve en geëxtrapoleerde Nopt-waarden resteerden 58 (polynoom, subset 2) en 45 proeven (exponentieel model, subset 3). Het aantal proeven in deze subsets waarbij de regressiemodellen meer dan 75% van de opbrengstvariatie verklaarden bedroeg bij de polynoom 46 (van de 58 proeven) en bij het exponentiële model 31 (van de 45 proeven). Bij beide modellen werd in circa 2/3 van de proeven meer dan 90% van de opbrengstvariatie verklaard.

De gemiddelde Nopt was bij de polynoom ruim 25 kg N per ha hoger dan bij het exponentiële model. Hierbij moet wel worden benadrukt dat de gemiddelde waarden niet op dezelfde subsets waren gebaseerd. De standaarddeviatie was zowel in absolute als relatieve zin bij het exponentieel model hoger dan bij de polynoom.

Door het geringere aantal proeven bij subset 2 en 3 is geen onderscheid meer gemaakt naar grondsoort.

Tabel 3. Gemiddelde, standaarddeviatie, variatiecoëfficiënt, minimum en maximum van Nopt,punt, U0,punt, Yopt,punt en Ymax,punt (volledige dataset van 80 proeven, subset 1).

	Zand	Klei	Löss	Totaal
Nopt,punt				
- Gemiddeld (kg/ha)	133	184	138	140
- Standaarddeviatie (kg/ha)	69	18	38	64
- Variatiecoëfficiënt (%)	52	10	28	46
- Min (kg/ha)	0	120	78	0
- Max (kg/ha)	200	200	193	200
U0,punt				
- Gemiddeld (kg/ha)	100	91	62	94
- Standaarddeviatie (kg/ha)	33	16	20	33
- Variatiecoëfficiënt (%)	33	18	32	35
- Min (kg/ha)	42	70	39	39
- Max (kg/ha)	196	108	102	196
Yopt,punt				
- Gemiddeld (kg/ha)	14266	18163	14966	14849
- Standaarddeviatie (kg/ha)	2761	1352	2770	2902
- Variatiecoëfficiënt (%)	19	7	19	20
- Min (kg/ha)	7038	15926	12230	7038
- Max (kg/ha)	19414	19986	20200	20200
Ymax,punt				
- Gemiddeld (kg/ha)	14431	18202	15013	14982
- Standaarddeviatie (kg/ha)	2700	1296	2767	2837
- Variatiecoëfficiënt (%)	19	7	18	19
- Min (kg/ha)	7038	15926	12230	7038
- Max (kg/ha)	19414	19986	20200	20200

Tabel 4. Aantal proeven waarbij Nopt niet kon worden bepaald via regressieanalyse met polynoom of exponentieel model.

	Polynoom	Exponentieel
Aantal proeven met 'omgeklapte' curve	7	8
Aantal proeven met berekende geëxtrapolerde Nopt ¹	15	27

¹ betreft alle proeven met 'niet-omgeklapte' curve

Tabel 5. Aantal proeven waarbij het regressiemodel meer dan 75, 90 en 95% van de opbrengstvariatie binnen een proef verklaarde, en gemiddelde waarden voor Nopt, standaarddeviatie (SD) en min/max-waarden. De waarden zijn gebaseerd op een subset waarbij de Nopt kon worden bepaald zonder dat er sprake was van 'omgeklapte' curves en extrapolatie.

Model	n = ..	Percentage verklaarde variatie (%)			Nopt (kg/ha)			
		>75%	>90%	>95%	Gem	SD	Min	Max
Polynoom	58 (subset 2)	46	39	33	128	43	19	199
Exponentieel	45 (subset 3)	31	29	19	101	63	9	197

Een zuivere vergelijking tussen de drie methodes voor bepaling van de Nopt is alleen mogelijk bij een gelijke dataset. Bij 44 proeven (subset 4) kon bij beide regressiemodellen een Nopt worden berekend zonder dat er sprake was van omgeklapte curves of geëxtrapolerde Nopt-waarden. In Tabel 6 zijn de gemiddelde waarden en de spreiding weergegeven van Nopt bij de drie methoden (punt, polynoom en exponentieel) van deze subset van 44 proeven.

Bij de puntmethode en de polynoom bedroeg de gemiddelde Nopt circa 115 kg N per ha, bij het

exponentiële model was deze circa 100 N per ha. Door het uitsluiten van de proeven met een geëxtrapolerde Nopt-waarde of met een omgeklapte curve daalde de gemiddelde Nopt van de dataset (Nopt,punt bij subset 1: 140 kg N per ha versus Nopt,punt bij subset 4: 114 kg N per ha; Nopt,pol bij subset 2: 128 kg N/ha versus Nopt,pol bij subset 4: 116 kg N per ha).

Tabel 6. 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 (44 proeven, subset 4) 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
Nopt			
- Gemiddeld	114	116	98
- Standaarddeviatie	61	36	62
- Min	0	19	9
- Max	200	159	191
U0			
- Gemiddeld	101	101	101
- Standaarddeviatie	27	27	27
- Min	40	40	40
- Max	196	196	196
Yopt			
- Gemiddeld	14040	14210	13851
- Standaarddeviatie	2825	3037	2972
- Min	7038	6302	6239
- Max	19414	19930	19388
Ymax			
- Gemiddeld	14249	14352	14241
- Standaarddeviatie	2769	2970	3026
- Min	7038	6733	7557
- Max	19414	19975	19853

3.1.2 Opbrengstniveau (Yopt/Ymax)

Het opbrengstniveau (Yopt,punt en Ymax,punt) bedroeg gemiddeld over de gehele dataset bijna 15 ton drogestof per ha (Tabel 3, subset 1) en liep uiteen van 7 tot bijna 20 ton drogestof per ha. Bij de kleiproeven waren de opbrengsten 3-4 ton per ha hoger dan bij de zand- en lössproeven. Evenals bij Nopt was de spreiding bij de kleiproeven lager dan bij de zand- en lössproeven.

Bij subset 4 (Tabel 6) was het opbrengstniveau gemiddeld circa 1 ton per ha lager vergeleken met subset 1. De waarden voor Yopt en Ymax bij de verschillende methoden van bepaling van Nopt verschilden weinig van elkaar.

3.1.3 N-Bodemlevering

Als schatters voor de N-bodemlevering zijn in deze studie U0 en NB beschouwd.

De U0 bedroeg voor de gehele dataset (subset 1, Tabel 3) gemiddeld circa 95 kg N per ha en was bij de lössproeven gemiddeld 30-40 kg N per ha lager dan bij de zand- en kleiproeven. De spreiding was bij de kleiproeven het laagst. Bezien over de gehele dataset varieerde de U0 van 40-195 kg N per ha. De gemiddelde U0 van subset 4 (Tabel 6) bedroeg circa 100 kg N per ha en liep uiteen van 40 tot 195 kg N per ha.

In Tabel 7 zijn de gemiddelde waarden voor de verschillende NB-parameters weergegeven. Dit is gedaan voor een subset van 64 proeven waarin de NB bij alle vijf methoden kon worden bepaald (NBpunt, NBpoly_np, NBpoly_rl, NBexp_np en NBexp_rl). Bij de overige proeven was er sprake van omgeklapte

regressiecurves (NBpoly en NBexp) of de N-opname bij de eerstvolgende N-trap na de nultrap was lager dan U0 (NBpunt).

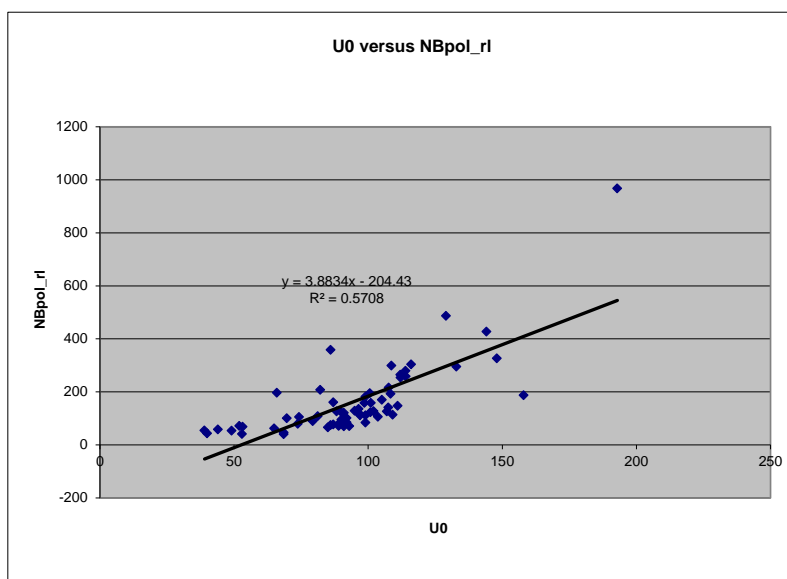
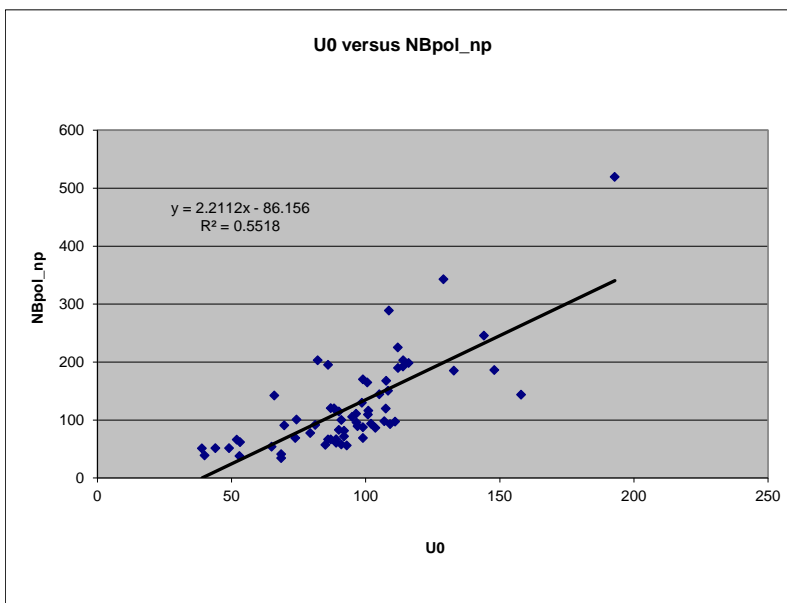
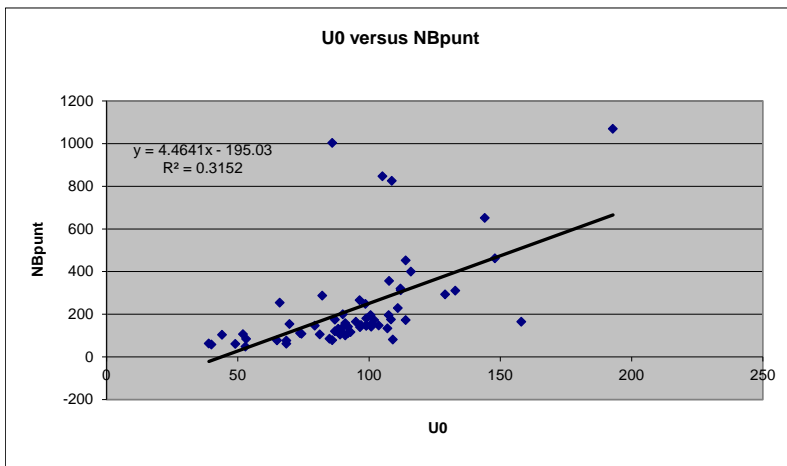
De spreiding in berekende NB-waarden was aanzienlijk groter dan die bij U0, vooral bij NBpunt. Dat laatste komt mogelijk omdat bij deze methode afwijkende waarden voor de N-opname bij nulbemesting en de eerstvolgende trap sterk doorwerken in het resultaat. Bij NBpoly en NBexp worden deze gedempt doordat de regressiecurve mede is gebaseerd op de N-opname bij de andere N-trappen.

De gemiddelde NB-waarden liepen, afhankelijk van de gebruikte methode, uiteen van ruim 90 tot 225 kg N per ha. Met uitzondering van NBexp_np waren de gevonden waarden hoger dan de waarde voor U0. Dat NB-waarden hoger zijn dan die voor U0 is logisch omdat laatstgenoemde een N-opname betreft. Deze zou dan moeten worden gecorrigeerd voor de incomplete N-recovery om de waarden te kunnen vergelijken.

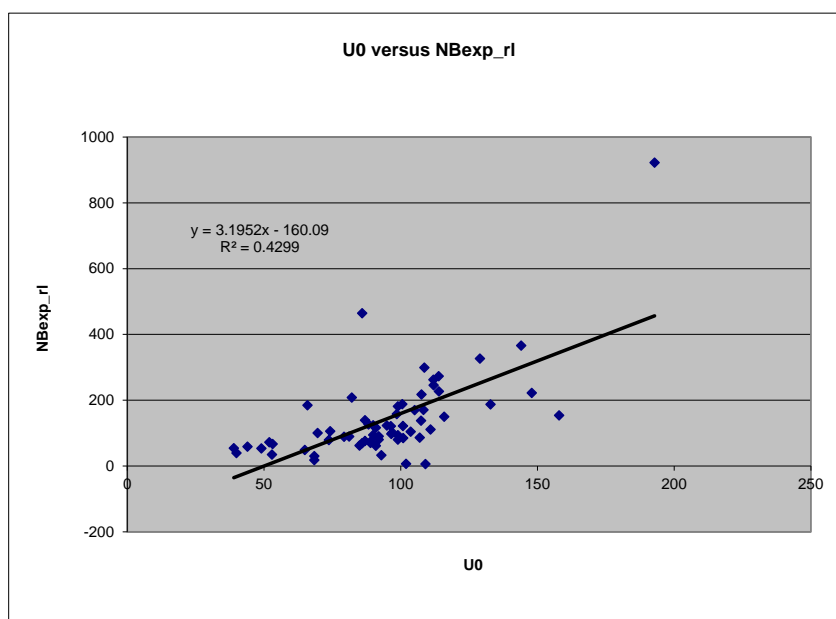
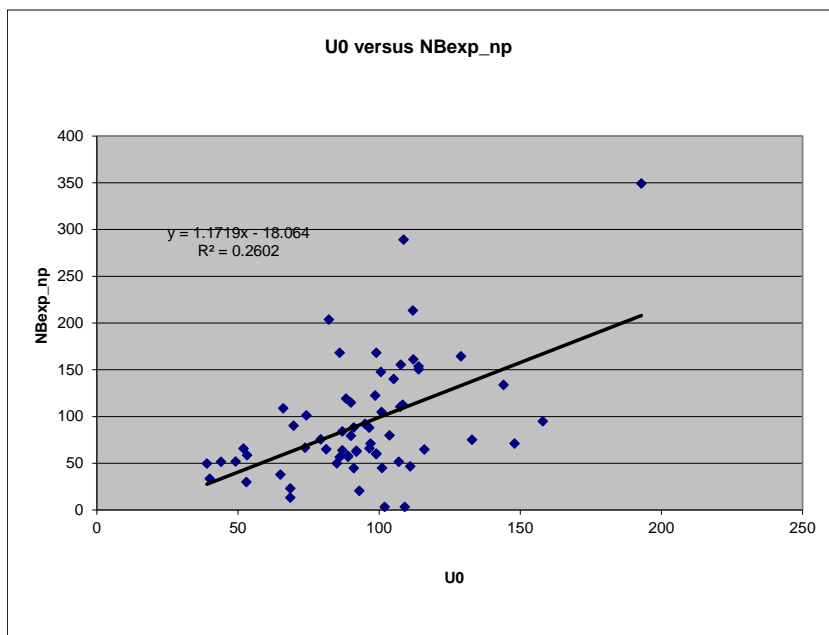
Tabel 7. Gemiddelde, standaarddeviatie, minimum en maximum van U0, Nbpunt, NBpoly_np, NBexp_np, NBpoly_rl en NBexp_rl. De waarden zijn gebaseerd op een subset (64 proeven) waarbij bij alle proeven de diverse NB-waarden kon worden bepaald zonder dat er sprake was van 'omgeklapte' curves.

	Gemiddelde (kg N/ha)	Standaarddeviatie (kg N/ha)	Min (kg N/ha)	Max (kg N/ha)
U0	94	27	39	193
NBpunt	225	217	48	1069
NBpoly_np	122	81	34	520
NBpoly_rl	161	140	40	968
NBexp_np	92	63	3	349
NBexp_rl	141	133	5	922

In Figuur 1 is de relatie weergegeven tussen de berekende NB en de gemeten U0 (U0_punt). Voor NBpoly_np en NBpol_rl was het verband met U0 het best, hoewel ook hier het percentage verklaarde variantie niet hoger was dan circa 55%. Voor de andere NB-waarden bedroeg het percentage verklaarde variantie 25-45%.



Figuur 1. 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 1. 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

In Tabel 8 zijn de resultaten van de regressieanalyse weergegeven voor het effect van Yopt en U0 op Nopt. Omdat de responsvariabelen Nopt,pol en Nopt,exp niet voor alle proeven konden worden bepaald, zijn de uitkomsten weergegeven voor verschillende subsets (voor beschrijving subsets zie paragraaf 3.1.1). Directe vergelijking van regressie-uitkomsten voor verschillende responsvariabelen is mogelijk binnen eenzelfde subset.

Bij de responsvariabelen Nopt,punt, Nopt,pol en Nopt,exp was er sprake van een significant positief effect van opbrengstniveau op de optimale N-gift. Wanneer ook de bodemlevering (U0) aan het model werd toegevoegd steeg het percentage verklaarde variantie. Bij alle responsvariabelen was het negatieve effect van de bodemlevering op de optimale N-gift significant.

Bij subset 4 kunnen alle drie responsvariabelen (Nopt,punt, Nopt,pol, Nopt,exp) rechtstreeks worden vergeleken. Het percentage verklaard variantie liep uiteen van 43% voor Nopt,punt tot 57% voor Nopt,exp.

De waarden van de regressiecoëfficiënten verschilden bij de responsvariabelen Nopt,punt, Nopt,pol en Nopt,exp. Het opbrengsteffect bedroeg 11.5, 7.3 en 14.8 kg N per ton drogestof voor respectievelijk Nopt,punt, Nopt,pol en Nopt,exp (subset 4) (alle positieve waarden). Het effect van verandering van Nnul bedroeg respectievelijk 0.99, 0.53 en 0.77 kg N per kg (alle negatieve waarden).

In het voorgaande werd de Nopt bij alle proeven met de dezelfde methode/model bepaald. Een andere optie is om de Nopt van het best passende model (Nopt,bp) te kiezen. De effecten daarvan zijn ook weergegeven in Tabel 8.

Ook wanneer bij de bepaling van de Nopt per proef niet hetzelfde model maar het best passende model werd gekozen (Nopt,bp) was er sprake van een significant verband tussen Yopt en U0 enerzijds en Nopt anderzijds.

Tabel 8. Effect van Yopt, UO en NB op Nopt bij verschillende methoden van bepaling Nopt en bij verschillende subsets.

Respons variabele	Verklarende variabelen	Subset	R ²	SE	Regressiecoëfficiënten ¹		
					a	B (Yopt)	c (UO)
Nopt,punt	Y,opt,punt	1	27.9	54.4	-35.9	11.9***	
	Y,opt,punt, UO	1	48.9	45.8	57.9	11.3***	-0.91***
	Y,opt,punt	2	29.6	52.8	-41.7	12.0***	
	Y,opt,punt, UO	2	50.8	44.2	59.0	11.6***	-1.01***
	Y,opt,punt	3	23.5	54.0	-39.9	11.1***	
	Y,opt,punt, UO	3	41.3	47.3	55.1	11.5***	-0.99***
	Y,opt,punt	4	24.7	53.0	-42.1	11.1***	
	Y,opt,punt, UO	4	43.4	46.0	52.7	11.5***	-0.99***
Nopt,pol	Y,opt,pol	2	44.0	32.3	-7.4	9.3***	
	Y,opt,pol, UO	2	63.2	26.1	56.5**	9.2***	-0.66***
	Y,opt,pol	4	34.7	28.8	15.3	7.1***	
	Y,opt,pol, UO	4	50.3	25.1	66.0**	7.3***	-0.53***
Nopt,exp	Y,opt,exp	3	43.5	47.2	-97.4**	14.3***	
	Y,opt,exp, UO	3	53.6	42.8	-26.0	14.8***	-0.77**
	Y,opt,exp	4	46.3	45.3	-100.0**	14.3***	
	Y,opt,exp, UO	4	57.1	40.4	-28.7	14.8***	-0.77**
Nopt,bp	Y,opt,punt	1	28.7	47.1	-18.8	10.4***	
	Y,opt,punt, UO	1	45.9	42.5	45.9	10.0***	-0.64***
Nopt,punt	Y,opt,punt, UO	5	49.0	46.0	54.6	11.7***	-0.97***
	Yopt,punt, NBpunt	5	35.4	51.8	-17.2	11.2***	-0.06
	Yopt,punt, NBpol_np	5	37.3	51.0	-6.2	11.2***	-0.19*
	Yopt,punt, NBexp_np	5	33.1	52.7	-32.5	12.2***	-0.13

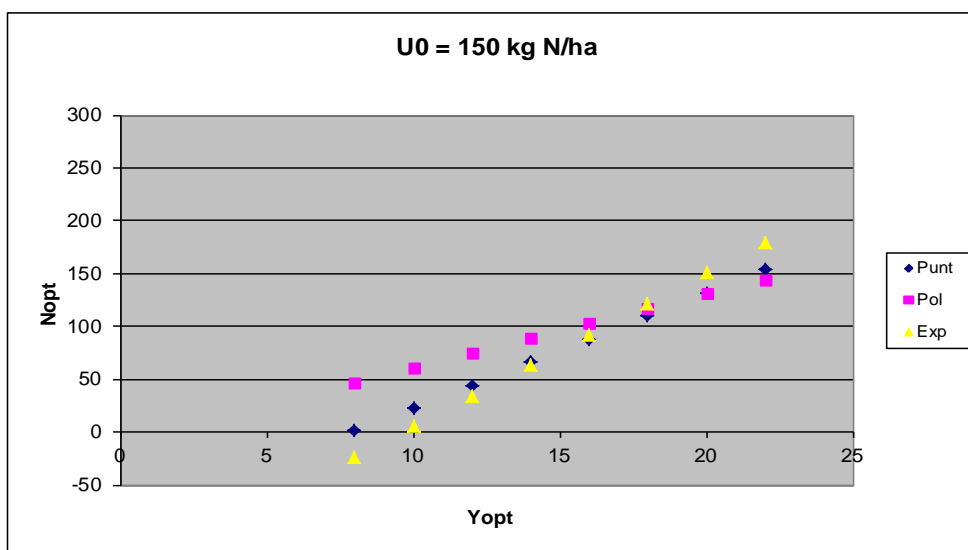
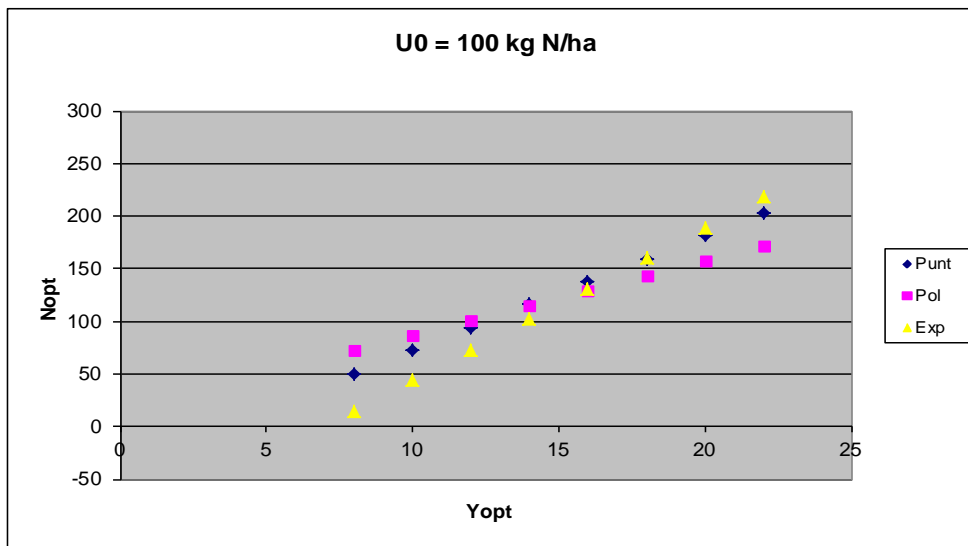
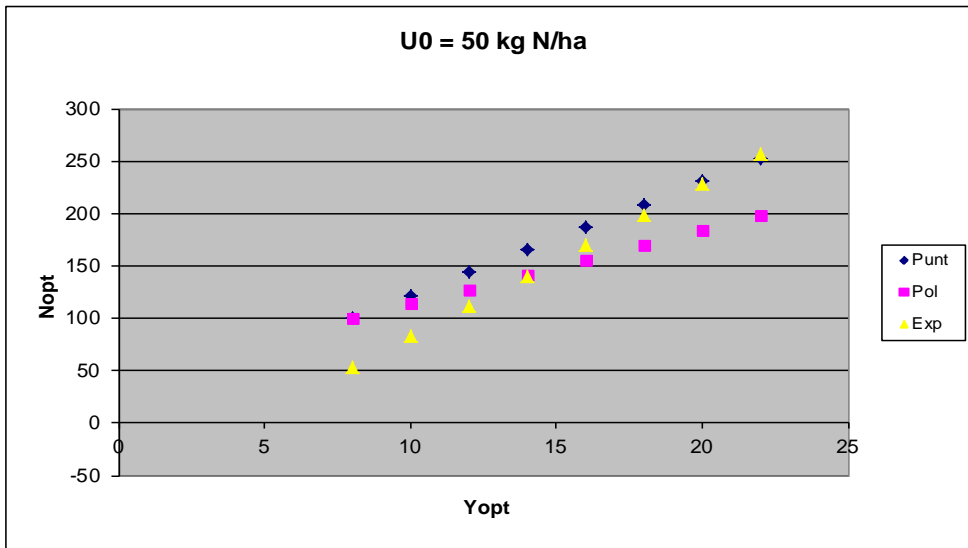
1 Significantie regressiecoëfficiënten: * P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.005

In Figuur 2 is voor de drie responsvariabelen Nopt,punt, Nopt,pol en Nopt,exp het verband met Yopt en UO grafisch weergegeven bij subset 4. De verschillen zijn het grootst bij de lage en hoge opbrengstniveaus.

NB in plaats van UO als schatter voor bodemlevering

De regressieanalyses zoals hierboven beschreven zijn tevens uitgevoerd met NB als verklarende variabele in plaats van UO. Voor de responsvariabele Nopt,punt zijn de resultaten weergegeven in Tabel 8. De analyse is uitgevoerd op een subset waarbij bij alle proeven de verschillende NB-waarden (NBpunt, NBpoly_np en NBexp_np) konden worden bepaald (subset 5, 64 proeven).

Het vervangen van UO door NB gaf een slechter resultaat (lager percentage verklaarde variantie). Het effect van Yopt op Nopt was bij alle drie NB-waarden als verklarende variabele significant. De waarde van de regressiecoëfficiënt liep uiteen van 11.2 tot 12.2 kg N per ton drogestof. Het effect van NB op Nopt was alleen bij NBpoly_np significant (P<0.05). De waarde van de regressiecoëfficiënt was aanzienlijk lager dan bij UO als verklarende variabele (-0.19 ten opzichte van -0.97).



Figuur 2. Effect van Yopt en U0 op Nopt (bepaald bij drie methoden, subset 4).

Minerale bodem-N in voorjaar

Evenals bij andere gewassen houdt het huidige N-advies van maïs rekening met de hoeveelheid minerale bodem-N in het voorjaar (N_{min,voorjaar}). Deze is in de proeven ook bepaald. De som van N-gift en N_{min,voorjaar} wordt hierna aangeduid als N-aanbod.

Gemiddeld bedroeg de N_{min,voorjaar} circa 25 kg N per ha (laag 0-30 cm) voor alle vier subsets (Tabel 9). In alle gevallen was het optimale N-aanbod lager dan het huidige advies (180 en 205 kg N per ha bij respectievelijk een situatie met veel en weinig mest).

Wanneer in de regressieanalyse in plaats van de optimale N-gift (N_{opt}) het optimale N-aanbod (N_{opt}+N_{min,voorjaar}) wordt genomen als responsvariabele, gaf dit een slechter resultaat (lagere percentage verklaard variantie, Tabel 10).

Tabel 9. Optimale N-gift (N_{opt}) en optimaal N-aanbod (N_{opt}+N_{min}) bij de verschillende subsets.

Methode	Subset	N _{opt} (kg/ha)	N _{opt} +N _{min} (kg/ha)
Punt	1	140	164
	2	131	155
	3	116	140
	4	114	139
Polynoom	2	128	152
	4	116	140
Exponentieel	3	101	125
	4	98	123

Tabel 10. Effect van Y_{opt} en U₀ op N_{opt} en Naanbod,opt (N_{opt} + N_{min}), bepaling N_{opt} via puntmethode.

Respons variabele	Verklarende variabelen	Subset	R ²	SE	Regressiecoëfficiënten ¹		
					a	b (Y _{opt})	b (U ₀)
N _{opt,punt}	Y _{opt,punt} , U ₀	1	48.9	45.8	57.9	11.3***	-0.91***
Naanb,opt	Y _{opt,punt} , U ₀	1	41.4	49.0	68.8*	11.2***	-0.76***

Onderlinge correlatie parameters

In Tabel 11 is de onderlinge correlatie weergegeven van de diverse parameters. Hierbij is uitgegaan van de parameters zoals vastgesteld bij de puntmethode. Het volgende komt naar voren:

- De parameters op basis waarvan het bemestingsadvies zou kunnen worden gedifferentieerd, Y_{opt} en U₀, zijn onderling niet gecorreleerd.
- Het N-gehalte bij N_{opt} (A_{opt}) was negatief gecorreleerd met Y_{opt}: bij hogere opbrengstniveaus (Y_{opt}) wordt het gehalte lager.

Tabel 11. Correlatiematrix parameters bij puntmethode.

	N _{opt}	Y _{opt}	Y _{max}	U ₀	R _{opt}	A _{opt}
N _{opt}	-					
Y _{opt}	0.59	-				
Y _{max}	0.56	0.99	-			
U ₀	-0.37	-0.10	-0.08	-		
R _{opt}	-0.22	0.22	0.23	-0.29	-	
A _{opt}	-0.02	-0.40	-0.42	0.31	-0.05	-

3.2.2 Methode 2

In deze paragraaf worden de resultaten van de N-balansmethode besproken. Zoals eerder aangegeven is hierbij eerst een regressie uitgevoerd van Ngift, Ymax en U0 op de responsvariabelen A en R. Zowel voor A als R was er sprake van een significant effect van Ngift, Ymax en U0 (Tabel 12). Voor A was het verband beter dan voor R. Het toevoegen van een kwadratische term voor Ngift aan het model gaf bij beide responsvariabelen geen verbetering.

Tabel 12. Effect van Ngift, Yopt en U0 op A en R, percentage verklaarde variantie en waarde regressiecoëfficiënten. Het betreft resultaten van een overallanalyse van alle datapunten tezamen.

Respons-variabele	Verklarende variabelen	R ²	Regressiecoëfficiënten			
			a constante	b effect van Ngift	d effect van Ymax	e effect van U0
A	Ngift, Ymax, U0	78.5	0.013246***	1.64E-05***	-4.35E-07***	2.88E-05***
R	Ngift, Ymax, U0	36.8	0.4619***	-0.00067***	3.27E-05***	-0.00373***

Vervolgens is op basis van de hierboven gevonden regressievergelijkingen voor een aantal Ymax- en U0-waarden de Nopt berekend (Tabel 13, laatste kolom). In dezelfde tabel zijn tevens de berekende Nopt-waarden voor methode 1 (eerst bepaling Nopt per proef en vervolgens regressie van Yopt en U0 op Nopt) weergegeven.

De verschillen in uitkomst tussen methode 1 en 2 zijn relatief groot. Qua onderliggende dataset kan Methode 2 worden vergeleken met Methode 1/Punt (vetgedrukte kolommen, beide subset 1). De verschillen zijn het grootst bij lage U0.

Uit Tabel 13 blijkt dat bij methode 2 de grootte van het effect van opbrengst op Nopt afneemt bij stijgende opbrengstniveaus. Verder blijkt dat het opbrengsteffect groter is bij een hogere U0. Gemiddeld over de U0-waarden is het opbrengsteffect qua grootte redelijk vergelijkbaar met dat van methode 1. Het effect van U0 op Nopt stijgt bij toenemende U0. Verder is het effect bij hogere opbrengsten kleiner. In vergelijking met methode 1 is het U0-effect circa 2 keer zo groot.

Tabel 13. Gefitte Nopt-waarden in relatie tot Ymax en U0 bij de verschillende regressiemethoden. Bij methode 1 zijn de uitkomsten weergegeven voor de verschillende submethoden voor afleiding Nopt per proef en subsets (ss).

Ymax	U0	Methode 1								Methode 2 ss1
		Punt				Polynoom		Exponentieel		
		ss1	ss2	ss3	ss4	ss2	ss3	ss3	ss4	
12	50	148	147	143	141	134	127	113	110	264
	100	102	97	94	92	101	100	74	72	143
	150	57	46	44	42	68	74	36	33	2
16	50	193	194	189	187	170	156	172	170	304
	100	147	143	140	138	137	129	133	131	197
	150	102	92	90	88	104	103	95	93	69
20	50	238	240	235	233	207	185	231	229	327
	100	192	189	186	184	174	158	192	190	235
	150	147	139	136	134	141	132	154	152	122

3.3 Milieukundig effect differentiatie N-bemestingsadvies

In deze paragraaf wordt geprobeerd het milieukundig effect van differentiatie van het N-bemestingsadvies van maïs te kwantificeren. Dit is gedaan voor een situatie waarin het bemestingsadvies wordt gedifferentieerd naar opbrengstniveau. Als indicator voor het milieukundig effect is het N-overschot genomen. Deze is hier gedefinieerd als de Nopt minus de N-afvoer in geoogst product.

Voor de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Om het milieukundig effect te kwantificeren moet een aanname worden gedaan over de opbrengstverdeling van snijmaïs. In 2008 zijn deze voor een aantal grote akkerbouwgewassen vastgesteld (Van Dijk et al., 2008). Snijmaïs was daarin echter niet meegenomen. Daarom is gebruik gemaakt van een gemiddelde verdeling zoals die is gevonden bij de beschouwde akkerbouwgewassen.
- In geval van een gedifferentieerd advies is de opbrengstverdeling omgezet in een verdeling voor Nopt en N-overschot. Voor bepaling van de Nopt zijn de regressierelaties gebruikt zoals gevonden in onderhavige studie (Tabel 8). Hierbij is Nopt,punt gebruikt bij subset 1. Voor U0 is het gemiddelde van de dataset gebruikt (95 kg N per ha). Voor de berekening van het N-overschot is uitgegaan van de relatie zoals afgeleid door Ten Berge et al. (2011).
- Voor een niet gedifferentieerd advies is hetzelfde gedaan maar nu is voor alle opbrengstniveaus eenzelfde Nopt gehanteerd. Hiervoor is de gemiddelde waarde genomen van alle Nopt-waarden zoals afgeleid bij een gedifferentieerde situatie.

In Tabel 14 is het resultaat van de berekening weergegeven. Het effect van differentiatie op het N-overschot is relatief gering (een daling van het N-overschot van 4 kg N per ha). Dit betekent voor een natte en droge zandgrond een verlaging van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater met respectievelijk 2 en 4 mg per liter.

Benadrukt moet worden dat in deze berekening nog geen rekening is gehouden met een lagere N-opname in een niet-gedifferentieerde situatie als gevolg van een suboptimale N-bemesting bij hoge opbrengstniveaus. In dat geval wordt er immers minder bemest dan nodig is om deze hoge opbrengsten te behalen.

Tabel 14. Effect van het wel of niet differentiëren van N-bemestingsadvies voor maïs naar opbrengst op de gemiddelde N-bemestingsbehoefte (Nopt) en het N-overschot¹ (alle in kg per ha).

	Wel differentiëren naar opbrengst	Niet differentiëren naar opbrengst
N-bemestingsbehoefte ²	139	139
N-overschot	-27	-23

¹ N-overschot berekend als Nopt minus N-afvoer in geoogst product

² Nopt bepaald via regressievergelijking van de relatie tussen Yopt,punt/U0 en Nopt,punt bij subset 1 (zie Tabel 8)

4 Discussie

4.1 Vergelijking met andere datasets

Nevens & Reheul (2005) vonden geen relatie tussen opbrengstniveau en Nopt (Nopt bepaald via tweedegraads polynoom). Ook het toevoegen van U0 aan het regressiemodel gaf bij deze dataset geen verbetering (deze bewerking is uitgevoerd in onderhavig project). Benadrukt moet worden dat het aantal proeven (13) relatief gering was en dat het bereik in opbrengstniveau (15-21 ton drogestof per ha) minder groot was dan die van in onderhavige studie gebruikte dataset (7-20 ton drogestof per ha). Hierdoor is het lastiger verbanden betrouwbaar vast te stellen.

Schröder et al. (1998) analyseerden een dataset van 25 proeven uitgevoerd tussen 1982 en 1994. Per proef is met verschillende regressiemodellen eerst per model de optimale N-gift berekend en vervolgens is de Nopt genomen van het best passende model. Er werd geen verband gevonden tussen opbrengstniveau en optimale N-gift.

Op dezelfde dataset is tevens de systematiek toegepast van onderhavig project. Bij een deel van de proeven waren objecten aanwezig waar in de herfst dierlijke mest was toegediend. Binnen deze herfstobjecten is vervolgens in het daaropvolgende jaar een N-trappenreeks aangelegd. Bij deze proeven is het optimum zowel berekend per proef als per proeffactor (herfstbehandelingen elk met hun eigen U0). In het eerste geval werden 25 waarden verkregen voor Nopt en in het tweede geval 51.

In Tabel 15 zijn de resultaten weergegeven. Het bovenste deel van de tabel betreft de analyse waarbij binnen een proef geen onderscheid is gemaakt tussen herfstbehandelingsobjecten (hier aangeduid als niveau proef). Wanneer alleen Yopt als verklarende variabele werd meegenomen, was er geen significant effect van opbrengst op de Nopt (zowel N-gift als N-aanbod, niet weergegeven in de tabel). Door U0 toe te voegen aan het regressiemodel was er wel sprake van een significant effect van zowel Yopt als U0 op de berekende optimale N-gift (Nopt,gift). Dit was alleen het geval wanneer Nopt werd bepaald via polynoom en exponentieel model, niet bij kwadratisch+plateau model. Indien per proef het best passende model werd gekozen was er geen sprake meer van een significant verband ook niet als U0 werd toegevoegd aan het model.

Bij het N-aanbod (N-gift + Nmin,voorjaar) als responsvariabele (in plaats van N-gift) waren de gebruikte modellen niet meer significant.

De regressiecoëfficiënten voor het opbrengst- en U0-effect (20-30 kg N per ton ds respectievelijk 1.5-3 kg N per kg N) zijn aanzienlijk hoger dan gevonden in onderhavige studie (7-15 kg N per ton ds resp. 0.55-1 kg N per kg N, zie Tabel 8).

In het onderste deel van Tabel 15 zijn de uitkomsten van de analyse weergegeven waarbij de herfstbehandelingen als aparte 'proeven' zijn meegenomen (hier aangeduid als 'proeffactor').

Wanneer alleen Yopt als verklarende variabele werd meegenomen, was er alleen sprake van een significant effect van opbrengst op het optimale N-aanbod (Naanb,opt) indien deze was afgeleid via polynoom. Bij optimale N-gift (Ngift,opt) als responsvariabele was er geen significant verband (niet weergegeven in de tabel).

Door U0 toe te voegen aan het regressiemodel was er wel sprake van een significant effect van zowel Yopt als U0 op de optimale N-bemesting (zowel N-gift als N-aanbod). Bij het optimale N-aanbod als responsvariabele was het percentage verklaarde variantie lager dan bij optimale N-gift als responsvariabele. De regressiecoëfficiënten voor het opbrengsteffect waren ook hier hoger (18-22 kg N per ton ds) dan in onderhavige studie.

Als de Nopt wordt bepaald via kwadratisch+plateau model of via keuze van best passende model per proef is het verband tussen Yopt/U0 en Nopt niet meer significant.

Het meenemen van U0 in het model heeft een sterk effect op de uitkomsten. Dit hangt mogelijk samen met

het feit dat in de dataset herfstobjecten (in de herfst toegediende dierlijke mest) zitten die de Nmin voorjaar sterk beïnvloeden en daarmee de U0. Bij de optimale N-gift als responsvariabele is het verband beter dan met N-aanbod (waarin de Nmin zit verdisconteerd) als responsvariabele. Dit komt waarschijnlijk omdat de Nmin,voorjaar mede de U0 beïnvloedt. Hoewel de spreiding in Nmin,voorjaar in de dataset van onderhavig project kleiner is dan die van Schröder et al. (1998) daalt ook hier het percentage verklaarde variantie wanneer het optimale N-aanbod in plaats van optimale N-gift als responsvariabele genomen.

Uit de analyse van de dataset van Schröder et al. (1998) blijkt dat het verband tussen Yopt en U0 enerzijds en Nopt anderzijds afhangt van de methode van bepaling van Nopt. Indien per proef het best passende model wordt gekozen werden geen significante verbanden meer gevonden, terwijl dat wel het geval was indien eenzelfde model werd gekozen voor alle proeven. Bij de onderhavige dataset bleek dat niet het geval te zijn (zie Tabel 8). Ook bij de keuze voor het best passende model was er sprake een significante relatie tussen Yopt/U0 en Nopt.

Tabel 15. Effect van Yopt en U0 op Nopt (Ngift,opt en Naanb,opt) bij verschillende methoden van bepaling Nopt bij dataset van Schröder et al.(1998).

Niveau	Respons-variabele	Model bij bepaling Nopt	Verklarende variabelen	n=...	R ²	Fprob	Regressiecoëfficiënten ¹			
							a	b	c	
Proef	Ngift,opt	Pol	Yopt + U0	11	65	0.006	107	27.9**	-2.6**	
		Exp	Yopt + U0	11	49	0.027	51	31.6*	-2.8*	
		Kw+plateau	Yopt + U0	12	9	0.272	-	-	-	
	Naanb,opt	Pol	Yopt + U0	13	32	0.057	80	19.9*	-1.4	
		Exp	Yopt + U0	13	40	0.068	21	26.7*	-2.0	
		Kw+plateau	Yopt + U0	13	30	0.068	31	27.2*	-2.1*	
		Bp model ²	Yopt + U0	12	0	0.680	-	-	-	
	Proeffact ³	Ngift,opt	Pol	Yopt + U0	29	60	<0.001	96	17.5***	-1.7***
			Exp	Yopt + U0	26	50	<0.001	31	21.5***	-1.9***
Naanb,opt		Pol	Yopt	45	16	0.004	17	9.3**	-	
			Yopt	29	25	0.003	-27	11.9**	-	
			Yopt + U0	29	37	<0.001	-9	20.5***	-1.0*	
		Exp	Yopt	40	4	0.108	-	-	-	
			Yopt	25	21	0.011	-54	11.4*	-	
			Yopt + U0	25	42	0.001	-24	21.5***	-1.2**	

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

2 Best passende model

3 Kwadratisch+plateau model niet meegenomen vanwege te weinig N-niveaus per proeffactor in een deel van de proeven (hierdoor zijn regressiecoëfficiënten moeilijk tot niet te schatten)

4.2 U0 versus NB

Uit de analyses kwam naar voren dat de Nopt significant werd beïnvloed door U0. Wanneer in plaats van U0 NB wordt genomen als schatter voor het N-leverend vermogen van de bodem daalde het percentage verklaarde variantie van de regressiemodellen (zowel bij methode 1 als 2) en was er ook geen sprake meer van een significant effect van NB op Nopt. Dit hangt waarschijnlijk samen met het feit dat U0 nauwkeuriger te bepalen is dan de NB. Laatstgenoemde betreft een berekende geëxtrapoleerde waarde terwijl het bij U0 om een meetwaarde gaat. Ter illustratie het volgende. Zoals reeds eerder aangegeven was in een deel van de proeven de N-bemesting 'gekruist' met andere teelfactoren zoals ras, rijenafstand, zaaitijdstip en fosfaatbemesting en was er per niveau van een teelfactor een reeks van N-trappen aanwezig. Dat betekent dat los van de teelfactor de overige groeiomstandigheden en daarmee ook het N-leverend vermogen van de bodem gelijk was en er in theorie vergelijkbare NB-waarden zouden moeten worden berekend. Uit Tabel 16 blijkt dat dat niet geval was en dat er binnen eenzelfde proef sterk uiteenlopende waarden voor NB werden berekend. Dit geeft aan dat voorzichtigheid geboden is voor het gebruik van deze parameter.

Tabel 16. Gemeten U0-waarden en berekende NB-waarden bij een drietal veldproeven (Cranendonck 1990-1992) waarbij binnen een proef bij een rijenafstand van zowel 37.5 als 75 cm een reeks N-trappen was aangelegd.

Jaar	Rijenafstand	U0	NBpunt	NBpoly	NBexpo
1990	37.5 cm	108	176	150	112
	75 cm	112	312	190	161
1991	37.5 cm	109	826	289	289
	75 cm	114	453	192	153
1992	37.5 cm	97	139	96	66
	75 cm	108	356	168	155

Voor zowel U0 als NB geldt dat deze mede wordt bepaald door de aanwezige minerale bodem-N bij aanvang van de teelt en de N die daarna door mineralisatie vrijkomt. Er zijn een aantal redenen te noemen om deze twee parameters van elkaar te scheiden:

- Het huidige N-bemestingsadvies van maïs is gebaseerd op een Nmin-meting in het voorjaar.
- Potentiële schatters voor de bodemlevering zullen zich naar verwachting vooral richten op de hoeveelheid N die vrijkomt gedurende het groeiseizoen van de maïs. De nog aanwezige minerale N in het voorjaar zal dan apart moeten worden gemeten.

4.3 Omvang van effect van opbrengst en U0 op Nopt

Bij methode 1 blijkt dat de omvang van het effect van opbrengst en U0 op de Nopt (de waarde van de regressiecoëfficiënten) afhangt van de methode/model waarmee de Nopt per proef is bepaald (zie Tabel 8). Wanneer dit gedaan werd met het exponentiële model was het effect van zowel opbrengst als U0 groter dan wanneer de Nopt was afgeleid met de polynoom. Mogelijk komt dit doordat bij het exponentiële model de reikwijdte in Nopt groter was dan bij polynoom (respectievelijk 10-190 en 20-160 kg N per ha, zie Tabel 6). Bij een vergelijkbare reikwijdte van de Yopt en U0 neemt hierdoor het effect ervan op verandering van Nopt toe.

4.4 Prijsverhouding product en meststof

Bij methode 1 is eerst per proef de Nopt berekend. Deze hangt mede af van de gehanteerde prijsverhouding tussen product en meststof. In deze studie is gewerkt met een prijsverhouding van 7.5. In

Tabel 17 zijn de resultaten van de regressieanalyse weergegeven indien wordt uitgegaan van een prijsverhouding van 5 en 10. Dit is gedaan voor situaties waarbij de Nopt is afgeleid met de tweedegraads polynoom en het exponentiële model. De analyse is gedaan op een subset (35 proeven) waarbij bij alle drie prijsverhoudingen de berekende Nopt binnen het bereik van de N-trappen lag.

Bij een stijgende prijsverhouding daalt de berekende Nopt. Dit effect lijkt bij het exponentiële model wat sterker te zijn dan bij de polynoom. Dat komt waarschijnlijk omdat bij het exponentiële model de regressielijn in de buurt van het optimum vlakker loopt waardoor het effect van verandering van de prijsverhouding sterker doorwerkt op de Nopt.

Als vervolgens de regressie wordt uitgevoerd van Yopt en U0 op Nopt, blijkt dat bij de polynoom de waarden van de regressiecoëfficiënten afhangen van de gekozen prijsverhouding. Bij een hogere prijsverhouding neemt het effect van Yopt en U0 op de Nopt toe. Bij het exponentiële model was dit effect kleiner en bovendien omgekeerd (bij stijgende prijsverhouding een kleiner effect van Yopt en U0 op Nopt).

Tabel 17. Effect van prijsverhouding tussen meststof en product op de relatie tussen opbrengstniveau en U0 versus Nopt (Nopt = a + b*Yopt + c*U0; Nopt bepaald via regressieanalyse met tweedegraads polynoom en exponentieel model, subset van 35 proeven).

Model: Prijsverhouding:	Tweede polynoom			Exponentieel model		
	5	7.5	10	5	7.5	10
Nopt, gemiddeld	136	124	114	100	81	69
Yopt, gemiddeld	14438	14365	14267	13312	13198	13089
Perc. verkl. var (%)	49	63	70	36	47	54
Regressiecoëfficiënt a ¹	84***	62**	43*	17	0	-14
Regressiecoëfficiënt b ¹	6.9***	8.6***	10.1***	12.6***	12.2***	12.1***
Regressiecoëfficiënt c ¹	-0.51***	-0.65***	-0.78***	-0.85**	-0.78**	-0.74***

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

4.5 Regressiemodellen en berekende optima

Bij een subset van 44 proeven (subset 4) was het mogelijk om bij alle gebruikte regressiemodellen per proef een optimum te berekenen dat binnen de reikwijdte van de N-trappen lag. Gemiddeld over deze proeven bedroeg de Nopt 116 en 98 kg N per ha voor respectievelijk de polynoom en het exponentiële model. Ook in eerdere studies (Schröder et al., 1998; Cerrato & Blackmer, 1990) bleek dat de berekende optima afnemen in de volgorde polynoom > exponentieel. De met de puntmethode bepaalde Nopt bedroeg voor deze subset 114 kg N per ha.

Schröder et al. (1998) vonden voor een serie van 25 maïsproeven op zandgrond een optimaal N-aanbod van 173 kg N per ha bij een prijsverhouding tussen meststof en product van 5 (deze waarde is ook gebruikt in het huidige N-advies voor maïs). Het aanbod betrof de som van de N-gift plus de hoeveelheid minerale bodem-N (0-30 cm) in het voorjaar. Wanneer de N_{min} wordt opgeteld bij de berekende Nopt bedroeg bij subset 4 van onderhavig project het optimale N-aanbod 141 en 123 kg per ha voor respectievelijk de polynoom en het exponentieel model (Tabel 18). Dit is lager dan gevonden door Schröder et al. (1998) en ook lager dan het huidige advies (180 kg N per ha). In de onderhavige studie is echter uitgegaan van een prijsverhouding tussen meststof en product van 7.5. Schröder et al. (1998) vonden bij een prijsverhouding van 10 een optimaal N-aanbod van 134 kg per ha. Wanneer gemakshalve voor een prijsverhouding van 7.5 wordt uitgegaan van het gemiddelde van de uitkomsten bij een verhouding van 5 en 10 dan zou bij Schröder et al. (1998) het optimale N-aanbod 154 kg N per ha bedragen. Als bij de regressievergelijkingen die ten grondslag hebben gelegen aan het huidige advies (Noij & Schröder, 1991) een prijsverhouding van 7.5 wordt gehanteerd zou het optimale N-aanbod 155 kg N per ha bedragen. Dit is, afhankelijk van het model, 15-30 kg N per ha hoger dan het gemiddelde optimale N-aanbod in onderhavige studie. Hierbij moet worden benadrukt dat bij subset 4 proeven met geëxtrapoleerde Nopt-waarden en omgeklapte curves zijn weggelaten. De weggelaten proeven kunnen worden aangemerkt als proeven met een hogere N-behoefte (Nopt viel buiten bereik N-trappen). Dit wordt bevestigd door het feit dat het optimale N-aanbod volgens de

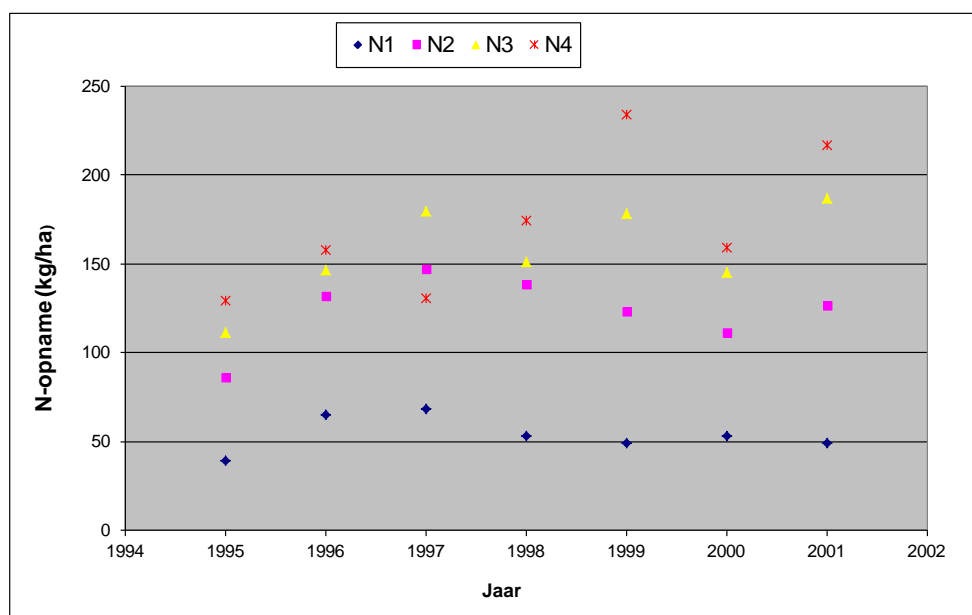
puntmethode bij subset 1 hoger was dan bij subset 4 (164 versus 139 kg N per ha). Het optimale N-aanbod voor subset 1 (165 kg N per ha) en 2 (152-155 kg N per ha) komt daarmee wel redelijk overeen met dat gevonden door Schröder et al. (1998) en Noij & Schröder (1991).

Tabel 18. Gemiddelde optimale N-gift en N-aanbod (N-gift + Nmin 0-30 cm) bij de verschillende subsets en verschillende methoden van bepaling van optimale N-gift en N-aanbod.

Model	Optimum	Subset			
		1 (n=80)	2 (n=58)	3 (n=45)	4 (n=44)
Punt	N-gift	140	131	116	114
	N-aanbod	164	155	141	139
Polynoom	N-gift		128		116
	N-aanbod		152		141
Exponentieel	N-gift			101	98
	N-aanbod			126	123

4.6 Lange termijn effecten

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2.2.1 hebben in een deel van de proeven de N-trappen een aantal jaren achtereen op dezelfde plaats op het proefveld gelegen. Dat betekent dat de respons kan zijn beïnvloed door meerjarige effecten. De veldjes met lagere N-niveaus zullen door de lagere productieniveaus mogelijk wat meer versralen dan de veldjes met hogere N-niveaus. Voor de meerjarige proefserie te Wijnandsrade (onderdeel van de gebruikte dataset) was de periode lang genoeg om na te gaan of er sprake was van meerjarige effecten op de N-opname. In Figuur 3 is de N-opname bij de aangebrachte N-niveaus in de tijd weergegeven. De N-niveaus lagen elk jaar op dezelfde plaats en betroffen alle volledige bemestingen met kunstmest. Uit de figuur blijkt dat het verschil in N-opname tussen het laagste en hoogste N-niveau wel wat lijkt toe te nemen in de tijd.



Figuur 3. Stikstofopname snijmaïs (kg per ha) bij de verschillende N-niveaus gedurende de onderzoeksperiode bij de meerjarige proef op lössgrond te Wijnandsrade.

5 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). De vraag is wel of deze informatie op een bedrijf aanwezig is. Wanneer de maïs op meerdere percelen wordt geteeld, komt het geoogste product doorgaans in één kuil. Op basis van de kuilomvang is dan nog wel de totale maïsoopbrengst van het bedrijf af te leiden, maar opbrengstverschillen tussen percelen kunnen niet meer worden herleid.

Voor het N-leverend vermogen is op dit moment nog geen goede indicator beschikbaar. Mogelijk dat het op dit moment lopende onderzoek naar geschikte indicatoren houvast biedt voor een geschikte indicator. In onderstaand uitwerking is daarom voorlopig uitgegaan van differentiatie op basis van alleen opbrengstniveau.

Bij de uitwerking van een opbrengstgerelateerd N-advies is gekozen voor twee werkwijzen:

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.

Beide werkwijzen worden hieronder uitgewerkt.

Rechtstreeks regressievergelijkingen gebruiken

Bij het kwantificeren van het opbrengsteffect op de Nopt is ervoor gekozen om gebruik te maken van de relaties zoals die volgens methode 1 zijn afgeleid (zie Tabel 8). Hierbij is eerst per proef de Nopt bepaald en is vervolgens het verband met opbrengst en U0 vastgesteld. Bij deze methode werden plausibeler waarden gevonden dan bij methode 2, waarbij de relaties tussen Yopt en U0 en Nopt zijn afgeleid via de N-gehalte en N-recovery (voor vergelijking zie Tabel 13).

In Tabel 19 zijn de berekende waarden voor optimaal N-aanbod (N-gift + N_{min,voorjaar}) weergegeven in afhankelijkheid van het opbrengstniveau. In het bovenste deel van de tabel zijn de resultaten weergegeven wanneer de regressievergelijkingen (zie Tabel 8) rechtstreeks zijn gebruikt. De waarden zijn afgeleid door bij een gegeven het opbrengstniveau de optimale N-gift te berekenen en vervolgens de gemiddelde N_{min,voorjaar} van de betreffende dataset erbij op te tellen. Er is onderscheid gemaakt tussen de methode waarmee de Nopt per proef is bepaald (punt, polynoom of exponentieel model). In het rechter deel van de tabel zijn de waarden voor optimaal N-aanbod weergegeven voor de drie Nopt-bepalingsmethoden bij eenzelfde dataset, in het linker deel voor de maximale dataset per Nopt-bepalingsmethode (niet alle proeven waren geschikt om bij een bepaalde methode een Nopt af te leiden vanwege extrapolatie en omgeklapte curves, zie ook paragraaf 3.1.1). Voor de U0 is de gemiddelde waarde van de dataset ingevuld (95 kg N per ha).

Tabel 19 laat zien dat bij het gemiddelde opbrengstniveau van de dataset waarop het huidige advies is gebaseerd (14 ton drogestof per ha; Noij & Schröder, 1991) een lager advies oplevert op dan het huidige (135-155 ten opzichte van 180 kg N per ha). Echter zoals reeds eerder opgemerkt is in het huidige advies uitgegaan van een prijsverhouding tussen meststof en productprijs van 5 terwijl in deze studie is gewerkt met een verhouding van 7.5. Indien in de regressievergelijkingen die ten grondslag hebben gelegen aan het huidige advies een prijsverhouding van 7.5 wordt gehanteerd dan bedraagt het optimale N-aanbod 155 kg N per ha.

Opbrengstcorrectie inbouwen in huidig advies

Een andere insteek zou kunnen zijn door bij het gemiddelde opbrengstniveau (14 ton drogestof per ha) waarop het huidige advies is gebaseerd uit te gaan van het huidige advies (N-aanbod van 155 kg N per ha

bij een prijsverhouding van 7.5) en deze te verhogen of te verlagen met behulp van de helling van de regressielijn (regressiecoëfficiënt van Yopt). Dit is in het onderste deel van Tabel 19 weergegeven (aangeduid als 'alleen helling gebruiken').

Tabel 19. Berekend optimaal N-aanbod (N-gift + Nmin,voorjaar) in afhankelijkheid van opbrengstniveau door de regressievergelijkingen rechtstreeks te gebruiken of door alleen de helling te gebruiken. In het laatste geval is voor een opbrengstniveau van 14 ton drogestof per ha het huidige advies bij een prijsverhouding van 7.5 (155 kg N per ha) gebruikt als referentie).

	Opbrengst (ton ds per ha)	Dataset per model/methode			Gelijke dataset		
		Punt Ss1	Polynoom Ss2	Exponentieel Ss3	Punt Ss4	Polynoom Ss4	Exponentieel Ss4
Vergelijking rechtstreeks gebruiken	10	109	111	73	99	113	71
	12	132	129	103	122	128	101
	14	154	147	133	145	142	130
	16	177	166	162	168	157	160
	18	199	184	192	191	172	190
	20	222	202	221	214	186	219
Alleen helling gebruiken	10	110	118	96	109	126	96
	12	132	137	125	132	140	125
	14	155	155	155	155	155	155
	16	178	173	185	178	170	185
	18	200	192	214	201	184	214
	20	223	210	244	224	199	244

Kanttekeningen bij opbrengstgerelateerd N-advies

- Het nadeel van differentiatie enkel op basis van opbrengstniveau is dat er op percelen met hoge opbrengstniveaus en een hoge N-levering onnodig hoge giften worden geadviseerd en vice versa. Zoals eerder aangegeven is correctie voor N-leverend vermogen op dit moment nog niet mogelijk.
- Bij hoge opbrengstniveaus is de berekende optimale N-gift aanzienlijk hoger dan de N-gebruiksnorm. Deze bedraagt nu 150 kg N per ha en wordt vanaf 2012 verlaagd naar 140 kg N per ha. Tenzij de gebruiksnorm wordt gedifferentieerd naar opbrengstniveau, is er bij hoge opbrengstniveaus niet de ruimte om de benodigde bemesting ook daadwerkelijk uit te voeren. Wel kan het beschikbare N-quotum economisch optimaler worden verdeeld door rekening te houden met opbrengstverschillen tussen verschillende percelen op een bedrijf.

6 Conclusies

- Met behulp van een dataset van 80 veldproeven is voor het gewas snijmaïs 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 7-15 kg N per ton drogestof ('hogere Nopt bij hogere opbrengst'). Het U0-effect varieerde van 0.55 tot 1 kg N per kg U0 ('lagere Nopt bij hogere bodemlevering').
- Ook wanneer bij de bepaling van de Nopt per proef het best passende model werd gekozen (en niet zoals hierboven hetzelfde model voor alle proeven) was er nog steeds sprake van een significant effect van opbrengstniveau en U0 op Nopt.
- Indien niet U0 maar NB (=U0 gecorrigeerd voor incomplete recovery van bodem-N door gewas) werd meegenomen als schatter van het N-leverend vermogen, werd alleen nog een significant verband tussen opbrengst en Nopt gevonden. NB had geen significant effect op Nopt.
- Er is ook een analyse uitgevoerd waarbij de Nopt is bepaald via regressievergelijkingen voor Ngehalte en Nrecovery. Hierbij is voor alle datapunten tezamen een regressieanalyse uitgevoerd van N-gift, opbrengstniveau en U0 op het N-gehalte en Nrecovery. Alle drie genoemde verklarende variabelen hadden een significant effect op zowel het N-gehalte als de Nrecovery. De hieruit berekende Nopt-waarden verschilden van die van de responsmethode. Met name het effect van U0 op Nopt was circa 2 keer zo groot als bij de responsmethode. Daarnaast waren de berekende Nopt-waarden minder plausibel dan bij methode 1.
- Uit de correlatieanalyse bleek dat de parameters op basis waarvan het bemestingsadvies zou kunnen worden gedifferentieerd, Yopt en U0, in de hier gebruikte dataset niet waren gecorreleerd. Dit betekent dat percelen met een hoog opbrengstniveau niet systematisch worden gekenmerkt door een hoog N-leverend vermogen en vice versa.
- 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 maïstelers 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 maïs. 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.

- Gebaseerd op een gemiddelde verdeling van de opbrengst over het maïsareaal kon worde afgeleid dat differentiatie van het N-bemestingsadvies leidde tot een daling van het N-overschot van circa 4 kg N per ha in vergelijking met een ongedifferentieerd advies. Dit betekent voor een natte en droge zandgrond een verlaging van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater met respectievelijk 2 en 4 mg per liter.

7 Referenties

Anonymus, 2010a. Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen.
www.bemestingsadvies.nl.

Anonymus, 2010b. Milieucompendium, CBS/RIVM, Bilthoven, <http://www.rivm.milieuennatuurcompendium>.

Cerrato, M.E. & A.M. Blackmer, 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82, p. 138-143.

Nevens, F. & D. Reheul, 2005. Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Journal of Agronomy* 22, p. 349-361.

Noij, I.G.A.M. & J.J. Schröder, 1991. Nieuw stikstofbemestingsadvies voor maïs op basis van grondonderzoek. Informatie en kennis Centrum Veehouderij, intern rapport nr. 15, 19 pp.

Schröder, J.J., J.J. Neeteson, J.C.M. Withagen & I.G.A.M. Noij, 1998. Effects of N application on agronomic and environmental parameters in silage maize production on sandy soils. *Field Crops Research* 58, p. 55-67.

Ten Berge, H.F.M., W. van Dijk, S. Burgers & J.R. van der Schoot, 2011. Grondslagen voor differentiatie van de stikstofgebruiksnorm. *Plant Research International*, in voorbereiding.

Van Dijk, W., W. van den Berg & H.F.M. ten Berge, 2008. Regionale variatie in opbrengst van akkerbouwgewassen in Nederland. *Praktijkonderzoek Plant en Omgeving*, publicatie nr. 379, 39 pp.