

Ontwikkeling van een indicator om te Sturen op Nitraat

Ontwikkeling van een indicator om te Sturen op Nitraat

Toetsing van de regressiemodellen voor nitraat

**A. Smit
S.L.G.E. Burgers
H.F.M. ten Berge
J.J. de Gruijter
M. J. D. Hack –ten Broeke
I.E. Hoving
M. Knotters
S. Radersma
G.L. Velthof**

**Alterra-rapport 1058
Reeks Sturen Op Nitraat 13**

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

A. Smit, S.L.G.E. Burgers, H.F.M. ten Berge, J.J. de Gruijter, M. J. D. Hack –ten Broeke, I.E. Hoving, M. Knotters, S. Radersma, G.L. Velthof, 2004. *Ontwikkeling van een indicator om te Sturen op Nitraat; Toetsing van de regressiemodellen voor nitraat*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1058. 56 blz. 6 fig.; 18 tab.; 6 ref.

Binnen het project “Sturen op Nitraat” zijn regressiemodellen ontwikkeld. In dit rapport wordt op verschillende manieren getoetst hoe nauwkeurig de nitraatconcentratie uit waarnemingen aan de indicatoren kan worden voorspeld met behulp van de regressiemodellen. Dit wordt gedaan op basis van de metingen van het vierde meetseizoen. Het blijkt dat nieuwe meetpunten veelal binnen de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de voorspelling vallen, wanneer deze is gebaseerd op de meest eenvoudige modellen en de gemeten Nminnitraat. Dit eenvoudige model, met bodem-Gt-gewas-combinatie (cluster) en Nminnitraat is bovendien het meest stabiele en praktisch toepasbare model

Trefwoorden: Nitraat, Regressiemodel, toetsing, Nmineraal, nitraatconcentratie, N-overschot, Minas, grondwatertrap, Gt

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €15,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1058. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Gebruikte gegevens	17
2.1 Gegevensverzameling	17
2.1.1 Indeling naar grondsoort, grondwatertrap en gewas	17
2.1.2 Bemonstering en gegevensverzameling op proefplekken	18
2.1.3 Overzicht van de gegevens van het vierde meetjaar op proefplekken	19
2.1.4 Bemonstering op bedrijfsniveau	23
3 Statistische methodes	25
3.1 De te toetsen regressiemodellen	25
3.2 Toetsen op proefplekniveau	26
3.3 Toetsen op bedrijfsniveau	27
3.4 Toets per bedrijf op basis van model zonder dat bedrijf	27
4 Resultaten van de toetsing	29
4.1 Resultaat op proefplekniveau	29
4.1.1 Akkerbouw	29
4.1.2 Veehouderij	30
4.2 Resultaat op bedrijfsniveau	33
4.3 Resultaat van <i>cross-validatie</i> met <i>leave-one-out</i> op bedrijfsniveau	35
4.4 Vergelijking van toetsresultaten en eerdere conclusies	36
5 Modellen gefit op basis van 4 meetseizoenen	39
5.1 Inleiding	39
5.2 Akkerbouw, de beste regressiemodellen	39
5.3 Veehouderij	41
5.3.1 Gras, de beste regressiemodellen	42
5.3.2 Maïs, de beste regressiemodellen	44
6 Conclusies	47
Literatuur	49
Bijlage 1 Overzicht aantallen proefplekken per cluster	51
Bijlage 2 Aanvullende gegevens proefplekken op akkerbouw	53
Bijlage 3 C_i voor de analyse op basis van vier seizoenen	55

Woord vooraf

De serie 'Sturen op Nitraat' bundelt de onderzoeksresultaten die zijn behaald in het kader van het gelijknamige project. Het project wordt uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Doel is een handzame indicator voor de nitraatbelasting van grondwater te ontwikkelen, voor zowel monitoringdoeleinden als sturing in de landbouwpraktijk.

Het project wordt uitgevoerd door een aantal onderzoekspartners binnen Wageningen UR: Alterra, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO) en Plant Research International B.V. (beide onderdeel van de Plant Sciences Group); Praktijkonderzoek Veehouderij (PV; onderdeel van Animal Sciences Group) en buiten Wageningen UR: Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM).

Het project Sturen Op Nitraat bestaat uit deelprojecten. De projectleider van het totale project is Dethmer Boels (Alterra). Dit rapport is een produkt van het deelproject 'integrale analyse van de bedrijfsgegevens' (Noij *et al.*, 2001). Aan dit deelproject werkten de volgende personen (tevens auteurs van dit rapport) mee:

Saskia Burgers (Biometris, statistiek)
Hein ten Berge (PRI, agrosysteemkunde)
Jaap de Gruijter (Alterra, ruimtelijke statistiek)
Mirjam Hack-ten Broeke (Alterra, agrohydrologie)
Idse Hoving (PV, melkveehouderij)
Martin Knotters (Alterra, eindredactie)
Simone Radersma (PPO, akkerbouw)
Annemieke Smit (Alterra, deelprojectleider, organische stof en nutriënten)
Gerard Velthof (Alterra, N-processen)

Naast de bovengenoemde auteurs is er nog een grote groep mensen die, achter de schermen, een bijdrage hebben geleverd aan dit rapport. Bij deze willen wij Anna Zwijnenburg en Jouke Oenema bedanken voor het aanleveren van de data en Willy de Groot voor zijn bijdrage aan het databeheer.

Samenvatting

Inleiding

Volgens de Europese Nitraatrichtlijn mag grondwater niet meer dan 50 mg/l nitraat bevatten. Om de agrarische bedrijfsvoering af te stemmen op deze norm ('sturen op nitraat') is het van belang om te beschikken over indicatoren waarmee de nitraatconcentratie van het grondwater kan worden voorspeld. Deze indicatoren moeten praktisch hanteerbaar, controleerbaar en handhaafbaar zijn. In een eerder rapport werden regressiemodellen gepresenteerd waarmee de nitraatconcentratie uit waarnemingen aan de indicatoren kan worden voorspeld. Deze modellen zijn gebaseerd op onderzoek dat is verricht in drie meetseizoenen: 2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003. Doel van het huidige onderzoek is om te toetsen hoe nauwkeurig de nitraatconcentratie uit waarnemingen aan de indicatoren kan worden voorspeld met behulp van de regressiemodellen. Dit wordt gedaan op basis van de metingen van het vierde meetseizoen. Het toetsen gebeurt op verschillende manieren:

- a) toetsing op proefplekniveau;
- b) toetsing op bedrijfsniveau (nieuwe metingen);
- c) toetsing op bedrijfsniveau (*leave-one-out*);
- d) opnieuw fitten van de regressiemodellen op basis van alle gegevens, waarbij wordt gekeken of deze gelijk blijven aan de eerder ontwikkelde modellen.

Gebruikte gegevens

De toetsing van de modellen is gebaseerd op gegevens van 14 bedrijven: vijf akkerbouw- en vollegrondsgroentebedrijven, en negen veehouderijbedrijven. Deze bedrijven liggen verspreid over de zand- en lössgronden van Nederland. Deze bedrijven maakten in eerdere jaren al deel uit van de groep ontwikkelbedrijven. Op deze 14 bedrijven waren 202 proefplekken aanwezig.

De toetsing op proefplekniveau is uitgevoerd op basis van nieuwe metingen, die uitgevoerd zijn in het najaar van 2003 (N_{min}eraal in de bodem, N_{min}) en voorjaar van 2004 (nitraat in het grondwater). Deze gegevens zijn aangevuld met perceeloverschot en bedrijfsoverschot van het teeltseizoen 2003.

Naast de metingen, die zijn uitgevoerd op de proefplekken, is op de 14 bedrijven ook bemonsterd op bedrijfsniveau. Hiervoor is bemonsterd per cluster (bodem-Gt-gewascombinatie). Uit ieder cluster zijn twee mengmonsters samengesteld. De gemeten nitraatconcentratie per bedrijf is berekend als het gemiddelde van de nitraatconcentratie per cluster, gewogen naar het oppervlak.

Voor de toetsing op bedrijfsniveau door middel van de *leave-one-out*-methode en voor het opnieuw fitten van de regressiemodellen ook gebruik gemaakt van gegevens van de eerdere drie meetseizoenen.

De nitraatconcentraties in het vierde jaar zijn hoog ten opzichte van eerdere jaren. Ook N_{min} voor gewasgroep a is in het vierde jaar relatief hoog. In mindere mate

geldt dit voor gewasgroep g, terwijl voor de overige gewasgroepen N_{min} in het vierde jaar niet hoger was dan in de eerdere jaren. Bovendien was de zomer van 2003 bijzonder warm en droog.

Statistische methoden

De toetsing is voor akkerbouw, gras en maïs beperkt tot 'Model 1', met Gt-groep, Bodemgroep, Gewasgroep en N_{min}_{nitraat} als verklarende variabelen. De modellen verschillen alleen wat betreft parameterwaarden.

De *toets op proefplekniveau* is als volgt uitgevoerd. Voor iedere proefplek waar in het vierde seizoen is gemeten, is op basis van Model 1 de nitraatconcentratie voorspeld. Deze voorspelde nitraatconcentratie is op twee manieren vergeleken met de gemeten nitraatconcentratie. Eerst is per bodem-Gt-gewas-combinatie bekeken of de meting binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling ligt. Daarnaast is voor alle proefplekken gezamenlijk het verband tussen voorspellingen en metingen geanalyseerd middels lineaire regressie.

Bij de *toets op bedrijfsniveau* zijn de berekende bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties op twee manieren vergeleken met de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties. Eerst werd gekeken hoeveel metingen binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspellingen liggen. Vervolgens werd het verband tussen metingen en voorspellingen onderzocht middels lineaire regressie.

Bij een onafhankelijke toetsing van modellen (validatie) dienen de data waarop getoetst wordt op geen enkele manier gebruikt te zijn bij het opstellen van de modellen. Daarom is de toets op bedrijfsniveau ook uitgevoerd volgens het principe van *cross*-validatie met *leave-one-out*. Voor alle vier de meetseizoenen zijn de gegevens van één bedrijf uitgesloten waarna het model werd gefit op basis van de proefplekgegevens van alle overige bedrijven. Met dit model werd de nitraatconcentratie voorspeld voor dat ene bedrijf dat niet mee heeft gedaan. Deze procedure werd herhaald totdat alle bedrijven deel hadden uitgemaakt van de validatieset.

Resultaten van de toetsing

De toetsing van Model 1 op *proefplekniveau* werd voor de drie gewasgroepen (akkerbouw, gras en maïs) afzonderlijk uitgevoerd.

Voor proefplekken met *akkerbouw* gewasgroepen ('a+b+r' en 't') vallen de metingen in het vierde meetseizoen vallen grotendeels binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspellingen. De betrouwbaarheidsintervallen van de voorspellingen op proefplekniveau zijn groot. De voorspelfout van het model ligt rond de 60 mg/l. Op proefplekniveau is er een goed en significant verband tussen metingen en voorspellingen. Het verband heeft een helling van 1.05 (*se*=0.14) en het intercept is -7.8 mg/l (*se*=18.4 mg/l). De variatie van de afwijkingen tussen gemeten en voorspelde concentratie is groot.

De metingen in het vierde meetseizoen op proefplekken met *gras* of *maïs* vallen grotendeels binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval. De 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de voorspellingen op proefplekniveau zijn groot. Bij gras liggen de metingen bij een paar proefplekken boven het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Voor *gras* is er een significant verband tussen voorspellingen en metingen op proefplekniveau. Het verband heeft een helling van 1.15 ($se=0.30$) en het intercept is 12.6. De variatie tussen de gemeten en voorspelde waarde op proefplekniveau is net als bij akkerbouw groot: de standaardafwijking van de voorspelfouten bedraagt 95.3 mg/l. Ook voor *maïs* is het verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie op proefplekniveau significant met een helling van 0.98 ($se=0.27$). Met een intercept van 20.0 ($se=27.9$) is er sprake van een systematische onderschatting van de nitraatconcentratie. De variatie tussen gemeten en voorspelde waarde is groot.

Deze 95%-betrouwbaarheidsintervallen van voorspellingen op *bedrijfsniveau* zijn aanzienlijk smaller dan van voorspellingen op proefplekniveau. Van de zes melkveehouderijbedrijven ligt de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie voor vijf bedrijven in het betrouwbaarheidsinterval rond de voorspelde nitraatconcentratie. Bij één bedrijf ligt de meting boven het interval. Hieruit blijkt dat voorspellingen op basis van Model 1 bij de melkveehouderijbedrijven de werkelijke nitraatconcentratie onderschatten. Van de vier akkerbouwbedrijven ligt de meting twee keer boven en twee keer onder het betrouwbaarheidsinterval; akkerbouwbedrijven met een hele hoge gemeten nitraatconcentratie worden onderschat, bedrijven met zeer lage nitraatconcentraties worden overschat. Dit zou te maken kunnen hebben met het voorkomen van veenlaagjes.

De resultaten van de *leave-one-out-methode* komen in grote lijnen overeen met de voorgaande toets. Voor de zes melkveehouderijbedrijven liggen de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties bij drie bedrijven binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval, terwijl bij de overige drie bedrijven de meting boven het interval ligt. Voorspellingen op basis van Model 1 zullen bij de melkveehouderijbedrijven de werkelijke nitraatconcentratie dus onderschatten. Voor de akkerbouwbedrijven leidt de *leave-one-out-methode* niet tot andere resultaten dan de voorgaande toets op bedrijfsniveau. Ook nu liggen de metingen tweemaal boven en tweemaal onder het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Naast de toets van de regressiemodellen is voor de modellen ook nog *een nieuwe fit, op basis van gegevens van vier meetseizoenen* gemaakt. Voor zowel *akkerbouw, gras* als *maïs* blijkt dat het weinig uitmaakt of Model 1 wordt gefit op basis van de data van drie of vier seizoenen. Model 1 blijkt dus stabiel te zijn. Modellen met meerdere verklarende variabelen zijn minder stabiel en bovendien moeilijker bruikbaar in de praktijk.

1 Inleiding

De Nederlandse mestwetgeving is erop gericht te voldoen aan de Europese Nitraatrichtlijn, met als doelstelling dat het grondwater niet meer dan 50 mg/l nitraat bevat. Dit heeft grote gevolgen voor de Nederlandse landbouw. De gemeten concentraties binnen het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid van het RIVM zijn voor zandgronden beduidend hoger dan deze norm; om de concentraties te verlagen zijn dus maatregelen nodig. De investeringen in MINAS als instrument binnen de Nederlandse mestwetgeving hebben bijvoorbeeld tot lagere stikstofoverschotten geleid (zie o.a. Ten Berge en Hack-ten Broeke, 2004; Milieu- en Natuurplanbureau en Alterra, 2004). Tegelijkertijd bleek dat er geen eenduidige relatie is tussen MINAS-overschot en nitraatconcentraties in het grondwater. Bovendien werden op veel plaatsen nitraatconcentraties boven de 50 mg/l gemeten, terwijl daar wel aan MINAS-normen werd voldaan. In plaats van MINAS-normen zal in de toekomst gewerkt moeten worden met gebruiksnormen, conform de uitspraak van het Europese Hof over de Nederlandse mestwetgeving. Ook de relatie tussen N-gebruik (via kunstmest en dierlijke mest) en nitraatconcentraties is niet zonder meer duidelijk. Juist om relaties tussen overschotten en andere indicatoren met nitraatconcentraties in het grondwater in kaart te brengen, is in 2000 gestart met het project Sturen Op Nitraat.

De interesse voor indicatoren voor (het voorspellen van) nitraatconcentraties is dus ingegeven door het mestbeleid. Met name bij bedrijven met uitspoelingsgevoelige (droge) zand- en lössgronden is er behoefte aan een mogelijkheid om gericht te 'sturen op nitraat', teneinde het milieurendement van maatregelen te verhogen. Tegelijkertijd moet een indicator voor de nitraatconcentratie in het grondwater praktisch hanteerbaar zijn, goed controleerbaar en handhaafbaar en daarmee geschikt als grondslag voor aanvullend N-beleid. Boeren willen gericht kunnen sturen op verlaging van de nitraatconcentratie in het grondwater. Dit geldt in het bijzonder voor voorlopers op en deelnemers aan experimenten in waterintrekgebieden. Hiervoor is een geschikte indicator nodig voor nitraatconcentraties op regionaal niveau. Een indicator die geschikt is voor het bedrijfsniveau legt vooraf het verband tussen (gewenste) milieukwaliteit en (gewenste) bedrijfsvoering.

Het onderzoeksdoel van het project 'Sturen Op Nitraat' is in 2000 (Noij *et al.*, 2001) geformuleerd als een meervoudig doel:

1. De ontwikkeling van een indicator of indicatoren voor nitraatuitspoeling die geschikt is:
 - als grondslag voor aanvullend stikstofbeleid;
 - voor management op bedrijfsniveau;
 - als instrument voor gebiedsgericht beheer en
 - voor de monitoring van gebiedsgericht beleid;

2. De toetsing van de indicator op onafhankelijke praktijkbedrijven en in een regionaal nitraatexperiment aan de criteria doelgerichtheid, meetbaarheid en beïnvloedbaarheid.

De ontwikkeling van de indicator(en) heeft plaatsgevonden op basis van meetgegevens van de jaren 2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003. De modellen die als resultaat uit die studie zijn gekomen worden beschreven in het rapport “Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen” door Hack-ten Broeke *et al.* (2004). In dit rapport is ook verslag gedaan van alle extra bemonsteringen en zijwegen die werden ingeslagen om de zoektocht naar een indicator tot een goed einde te brengen.

Voor de indicatorontwikkeling is op 34 bedrijven, verspreid over zand- en lössgronden van Nederland, op in totaal 478 proefplekken informatie verzameld. De locaties zijn zo goed mogelijk verdeeld over de verschillende grondsoorten, Gt's en gewasgroepen. De verzamelde informatie omvat verder de kandidaat-indicatoren, nitraatconcentraties, weersgegevens, bodemparameters met betrekking tot organische stof en mestgiften. De gegevensverzameling is beschreven door Smit *et al.* (2003).

In alle regressiemodellen wordt de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater voorspeld op basis van N-mineraalgehalten in de bodem en locatiespecifieke factoren zoals grondsoort, bodemkenmerken en grondwatertrap (Gt). Het N-mineraalgehalte heeft betrekking op zowel NH_4 als NO_3 , en wordt in het vervolg Nmin genoemd. In enkele modellen wordt ook gebruik gemaakt van neerslag- en verdampingsgegevens.

Na drie meetseizoenen is, naast het vaststellen van de definitieve regressiemodellen, een toetsing van die modellen uitgevoerd op onafhankelijke bedrijven (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004; hoofdstuk 6). In het vierde meetseizoen (2003-2004) is ten behoeve van de verdere toetsing op 14 bedrijven opnieuw bemonsterd (zowel Nmin in het najaar als nitraat in het voorjaar). Dit zijn bedrijven die deel uit maken van de oorspronkelijke 34 bedrijven die waren bemonsterd voor de indicatorontwikkeling. Er is bemonsterd op de proefplekken en op bedrijfsniveau. Hoewel gegevens als N-bedrijfsoverschot, N-perceeloverschot en MINAS-overschot als kandidaatindicator waren afgevallen, zijn deze gegevens in het vierde meetseizoen wel verzameld.

Dit rapport richt zich op het toetsen van voorspellingen van nitraatconcentraties met regressiemodellen waarin indicatoren zijn opgenomen. Dit wordt gedaan op basis van de metingen van het vierde meetseizoen. Het toetsen gebeurt op verschillende manieren:

- a) toetsing op proefplekniveau;
- b) toetsing op bedrijfsniveau (nieuwe metingen);
- c) toetsing op bedrijfsniveau (*cross-validatie met leave-one-out*);
- d) opnieuw fitten van de regressiemodellen op basis van alle gegevens, waarbij wordt gekeken of deze veel verschillen van de eerder ontwikkelde modellen.

In dit rapport worden in hoofdstuk 2 de gegevens beschreven die aan het onderzoek ten grondslag liggen. Niet alleen de gegevensverzameling op proefplekken op 14 bedrijven wordt beschreven, maar ook de extra verzamelde informatie voor een toets

op bedrijfsniveau. Zowel de werkwijze van de gegevensverzameling als de uiteindelijk beschikbare gegevens voor toetsing komen aan bod. Hoofdstuk 3 gaat in op de toegepaste statistische methoden voor de toetsing op proefplekniveau. Daarnaast worden de twee manieren van toetsing op bedrijfsniveau uitgebreid beschreven. Het vierde hoofdstuk beschrijft de resultaten van de verschillende toetsen. In hoofdstuk 5 wordt gekeken in hoeverre de modellen zouden veranderen als ze zouden worden gefit op gegevens van 4 meetseizoenen. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies.

2 Gebruikte gegevens

2.1 Gegevensverzameling

De indicatorontwikkeling was gebaseerd op gegevens van 34 ‘ontwikkelbedrijven’, die verspreid liggen over de zand- en lössgronden van Nederland. De toetsing van de modellen is gebaseerd op gegevens van 14 bedrijven: vijf akkerbouw- en vollegrondsgroentebedrijven en negen veehouderijbedrijven. Deze bedrijven maakten in eerdere jaren al deel uit van de groep ontwikkelbedrijven. De selectie vond plaats op basis van beschikbaarheid van bedrijfsgegevens. Binnen de projecten ‘Telen met Toekomst’ en ‘Koeien en Kansen’ werden ook in het jaar 2003 nog bedrijfsgegevens verzameld, waarvan binnen ‘Sturen op Nitraat’ gebruik werd gemaakt. Voor de toetsing zijn daarom de bedrijven geselecteerd die binnen deze projecten vielen. Deze paragraaf beschrijft de gegevensverzameling globaal. Meer achtergronden zijn te vinden in Smit *et al.* (2003).

2.1.1 Indeling naar grondsoort, grondwatertrap en gewas

Er is gekozen voor een gestratificeerde aselechte steekproef, met een verdeling van steekproefplekken over bedrijven, grondsoorten, grondwatertrappen (Gt’s) en gewassen. De strata zijn gedefinieerd als combinaties van deze vier factoren, die belangrijk kunnen zijn voor nitraatuitspoeling. De strata zijn gebaseerd op de volgende indelingen:

Indeling in vier grondsoorten:

- L: Lössgronden;
- Z1: Zandgronden met veel organische stof of een dikke bovengrond (zoals enkeerdgronden, moerige gronden);
- Z2: Zandgronden met relatief veel organische stof en een hoog leemgehalte (zoals de meeste beekerdgronden, sommige gooreerdgronden, zandgronden met een kleidek, keileemgronden);
- Z3: Overige zandgronden (sommige beekerdgronden, meeste gooreerdgronden, podzolgronden).

Indeling in drie Gt-groepen:

- 1: GHG (Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand) ondieper dan 40 cm (Gt I, II, II*, IIb, III, III*, V, V*);
- 2: GHG tussen 40 en 80 cm (Gt IIc, IV, VI);
- 3: GHG dieper dan 80 cm (Gt IVc, VII, VII* en VIII).

De indeling in zes gewasgroepen:

- g: grasland;
- m: snijmaïs op melkveehouderijbedrijven;
- t: andijvie, boerenkool, bloemkool, Chinese kool, knolselderij, korrelmaïs, spitskool, ijsbergsla, CCM en MKS;

- a : aardappel, koolraap, koolrabi, kropsla, prei, radijs, snijmaïs op akkerbouw-bedrijven, spinazie en ui;
- b : broccoli, knolvenkel, luzerne, peulvruchten, rode kool, spruitkool, suikerbiet, voederbiet en witte kool;
- r : aardbei, asperge, bospeen, gerst, haver, rode biet, rogge, schorseneer, tarwe, witlof en wortel.

Omdat er binnen de bodemgroep löss geen onderscheid wordt gemaakt in Gt-groepen, leiden deze indelingen tot maximaal 60 combinaties van bodem-Gt-gewas. Niet alle combinaties komen ook werkelijk voor. In totaal waren er voor de ontwikkeling van de modellen 478 proefplekken geloot, verspreid over 47 bodem-Gt-gewascombinaties.

2.1.2 Bemonstering en gegevensverzameling op proefplekken

Van het totaal van 478 jaarlijks bemeten proefplekken lagen er 202 op de 14 bedrijven die in 2003/2004 ten behoeve van de toetsing bemeten werden. Van deze verzameling waren vijf proefplekken in 2003/2004 niet bruikbaar, omdat de percelen waarop zij lagen niet meer tot de betrokken bedrijven behoorden. Daardoor was van deze proefplekken niet bekend tot welke gewasgroep ze behoorden en ontbraken de gegevens, die leiden tot het perceels- en bedrijfsoverschot. Er bleven daardoor 197 proefplekken over. Er is verondersteld dat de gegevens over de bodemprofiel-opbouw, bodemgroep, Gt-groep, GHG en GLG constant zijn, evenals het totaal C-gehalte, het totaal N-gehalte en potentiële mineralisatie en denitrificatie. De bemonstering hiervoor vond plaats in het najaar van 2000.

In het najaar van 2003 zijn op alle proefplekken bodemmonsters genomen, waarin het Nmin-gehalte is bepaald. In het voorjaar van 2004 zijn op dezelfde proefplekken grondwatermonsters of bodemvochtmonsters genomen waarin de nitraat-concentraties zijn bepaald. Als de grondwaterstand ondieper was dan 150 cm, dan werd de bovenste 80 cm van het grondwater bemonsterd. Bevond de grondwaterstand zich dieper dan 150 cm, dan werd de bodemlaag tussen 120 en 180 cm diepte bemonsterd. In 2004 zijn op 87 proefplekken bodemvochtmonsters genomen en op 110 proefplekken is het grondwater bemonsterd.

Hieronder volgt een overzicht van de gebruikte begrippen met een omschrijving van beschikbare gegevens en wat ermee bedoeld wordt. Een uitgebreide beschrijving van deze begrippen en de wijze waarop ze bepaald zijn is te vinden in het rapport over de gegevensverzameling op de proefplekken (Smit *et al.*, 2003). In eerdere rapporten (o.a. Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) zijn alle gemeten variabelen beschreven. In dit rapport beperken we ons tot de gegevens die in de modellen zijn opgenomen en/of gemeten zijn :

- Grondsoort (bodemgroep), Gt-groep en gewasgroep:
De gebruikte indeling (met code) staat gegeven in paragraaf 2.1.1. De indeling in gewasgroepen die bij de bemonsteringscampagnes is gebruikt (stratificatie ten behoeve van loting) werd bij de uiteindelijke analyse herzien en voor

enkele gewassen aangepast. Alle typen snijmaïs (GPS, MKS, CCM) zijn in de gewasgroep 'm' terecht gekomen en triticale, graszaad en cichorei aan gewasgroep 'r' toegevoegd;

- **Nitraat:**
De nitraatconcentraties zijn gemeten in grondwater of bodemvocht in het voorjaar van 2004 (10 maart -8 april);
- **Nmin:**
Dit betreft Nmineraal-waarnemingen (nitraat en ammonium) gesommeerd over de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm – mv. De bemonstering vond plaats tussen 10 oktober en 8 november 2003
 $N_{min_{nitraat}}$: nitraatdeel van Nmin;
 $N_{min_{ammonium}}$: ammoniumdeel van Nmin;
- **Perceeloverschot:**
Het perceeloverschot is opgebouwd uit kunstmestgift en dierlijke mestgift (zowel als werkzame N en als de totale N), atmosferische depositie en afvoer. De berekening is conform de berekeningswijze van 'Telen met Toekomst' en 'Koeien en Kansen' (Smit *et al.*, 2003); alle plekken op één perceel hebben dezelfde gift en overschot;
- **Bedrijfsoverschot (berekend m.b.v. perceeloverschotten en arealen) en MINAS-overschot (forfaitaire afvoer i.p.v. gemeten afvoer, zonder depositie):**
Alle proefplekken van één bedrijf hebben hetzelfde overschot;
- **Weersgegevens :**
Neerslagsom1 is de neerslagsom voor het groeiseizoen (1 april -1 oktober) en Neerslagoverschot1 is het overschot voor dezelfde periode.
Neerslagsom2 is de neerslagsom voor het uitspoelingsseizoen (1 oktober -1 april) en Neerslagoverschot2 is het overschot voor dezelfde periode.
Neerslag2precies is de neerslagsom (in de winterperiode) over de periode tussen de meetdata van Nmin en de nitraatmeting.
Bovenstaande neerslagsommen en -overschotten zijn berekend op basis van data van KNMI-stations. De referentie-gewasverdamping zijn gecorrigeerd per gewasgroep;
- **Profielbeschrijvingen:**
Op alle proefplekken is een profielbeschrijving gemaakt, waarin gegevens over organische-stofgehalte, de aanwezigheid van veenlaagjes en de GHG en GLG (de gemiddeld hoogste respectievelijk laagste grondwaterstand) zijn opgenomen.

2.1.3 Overzicht van de gegevens van het vierde meetjaar op proefplekken

In deze paragraaf worden de meetresultaten van het vierde meetseizoen (2003-2004) gepresenteerd. Het zijn de gegevens van alle 197 bemonsterde proefplekken.

Nitraatconcentratie

In de volgende tabel wordt het gemiddelde van de gemeten nitraatconcentratie gegeven evenals de minimum, maximum en mediaan waarde per waargenomen bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep.

Tabel 2.1 Overzicht van de nitraatconcentraties (mg/l) per bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep in 2004

	Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
bodemgroep	L	23	29.1	0.0	153.2	13.9
	Z1	39	97.7	0.1	270.5	93.4
	Z2	69	108.6	0.0	418.9	85.1
	Z3	66	94.9	0.2	609.0	66.3
Gt-groep	1	19	60.6	0.1	314.4	15.8
	2	68	94.1	0.0	609.0	57.5
	3	110	97.1	1.3	369.5	79.6
gewasgroep	a	18	152.5	0.1	369.5	164.2
	b	12	89.4	28.0	198.3	83.4
	g	96	76.7	0.0	609.0	44.3
	m	36	99.2	0.0	314.4	86.4
	r	26	60.8	0.2	188.9	56.0
	t	9	210.3	145.9	304.3	205.0

De nitraatconcentratie is in 2004 voor de bodemgroepen Z1, Z2 en Z3 en alle Gt-groepen hoger dan in voorgaande jaren. Voor de gewasgroepen geldt dan vanzelfsprekend ook dat de concentraties in 2004 hoger zijn dan in voorgaande jaren, maar dit verschil is het grootst voor de gewasgroepen a en m.

N-mineraal

In de volgende tabel wordt voor de kandidaat-indicator N-mineraal een overzicht gegeven volgens de gewasgroep-indeling. Deze metingen zijn gedaan in het najaar, in de periode 10 oktober tot 8 november 2003. Nmin kan worden opgesplitst in een nitraat- en een ammoniumdeel.

Tabel 2.2 Overzicht van de Nmin-voorraad (kg/ha), gesommeerd over 0-90 cm per gewasgroep, 2003

	Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
gewasgroep	a	18	136.9	26.0	282.4	152.9
	b	12	64.7	17.6	129.4	64.6
	g	96	74.8	12.3	278.7	51.8
	m	36	85.8	23.1	253.6	79.5
	r	26	80.8	19.8	321.7	57.4
	t	9	155.1	29.6	266.3	167.7

Tabel 2.3 Overzicht van $N_{min_{nitraat}}$ (kg/ha), gesommeerd over 0-90 cm per gewasgroep, 2003

	Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
gewasgroep	a	18	115.6	20.0	233.6	118.4
	b	12	37.9	16.8	93.2	31.6
	g	96	54.3	4.4	250.7	33.4
	m	36	71.7	13.4	234.0	73.5
	r	26	73.2	18.7	309.1	56.7
	t	9	144.5	23.5	255.5	145.9

Tabel 2.4 Overzicht van $N_{min_{ammonium}}$ (kg/ha), gesommeerd over 0-90 cm per gewasgroep, 2003

	Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
gewasgroep	a	18	21.4	1.8	53.3	15.8
	b	12	26.8	0.1	69.3	10.4
	g	96	20.5	0.6	237.4	15.7
	m	36	14.1	0.0	45.7	12.2
	r	26	8.0	0.0	33.9	4.4
	t	9	10.8	0.5	26.5	7.8

De hoeveelheden N_{min} in 2003 zijn zeer vergelijkbaar met die van de drie voorgaande jaren voor gewasgroep b, m en r. De variatie tussen de jaren is voor gewasgroep t erg groot wat mede veroorzaakt wordt door het kleine aantal proefplekken. In gewasgroep a is de hoeveelheid N_{min} in 2003 veel hoger dan in de voorgaande jaren (34 tot 75 kg/ha hoger). Voor gras zijn de verschillen niet heel groot maar lijkt er sprake van een stijgende lijn: 50, 53, 64 en nu 74 kg/ha. In tabel 2.4 valt op dat er in gewasgroep g een zeer hoge waarde voor $N_{min_{ammonium}}$ staat. Deze hoge waarde is gemeten op een proefplek met een veenlaagje in de ondergrond, wat zeer waarschijnlijk deze hoge waarde verklaart (Zwart, 2003).

Overschotten en aanvoer van teeltseizoen 2003

In de volgende tabellen volgt een overzicht van de perceeloverschotten, het bedrijfsoverschot en het MINAS-overschot. De gemiddelden zijn wat artificieel in die zin dat er gemiddeld is over de proefplekken van bedrijven die tot een bepaalde gewasgroep behoren. Alle proefplekken op één bedrijf hebben uiteraard hetzelfde bedrijfsgemiddelde, wat duidelijk naar voren komt bij de minimum en maximum waarden in de tabellen.

Het bedrijfsoverschot van het bedrijf in gewasgroep t is negatief en dat is verrassend, gezien de hoge waarden voor N_{min} in de bodem. Het MINAS overschot is wel positief, maar ook erg laag voor een bedrijf met voornamelijk andijvie.

Tabel 2.5 Overzicht van werkelijke bedrijfsoverschotten (kg/ha) per gewasgroep

	Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
gewasgroep	a	18	4.3	-10.0	102.0	-3.0
	b	12	5.7	-10.0	165.0	-10.0
	g	96	198.0	102.0	295.0	187.0
	m	36	151.8	-65.0	256.0	162.0
	r	26	16.7	-10.0	161.0	-10.0
	t	9	-65.0	-65.0	-65.0	-65.0

Tabel 2.6 Overzicht van MINAS-bedrijfsoverschotten (kg/ha) per gewasgroep

Gewasgr.	Aantal	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan	
Gewasgroep	a	18	80.7	66.0	162.0	66.0
	b	12	81.9	66.0	104.0	83.0
	g	96	129.6	61.0	165.0	142.0
	m	36	127.4	61.0	165.0	142.0
	r	26	97.7	83.0	162.0	83.0
	t	9	64.0	64.0	64.0	64.0

Tabel 2.7 Overzicht van perceeloverschotten (kg/ha) per gewasgroep

Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan	
Gewasgroep	a	18	111.3	30.0	198.0	103.0
	b	12	76.8	-50.0	177.0	101.0
	g	96	237.7	53.8	419.1	234.3
	m	36	33.8	-111.7	161.4	36.4
	r	26	37.7	-82.0	172.0	14.5
	t	9	41.8	-24.0	85.0	85.0

De N-aanvoer wordt op twee manieren weergegeven in de volgende tabel. De gegevens van werkzame N (=Nkunstmest + Nwerkzaam in dierlijke mest) en van de totale aanvoer (Nkunstmest + N totaal in dierlijke mest + weidemest) worden gegeven. De totale N-gift op gras is op enkele percelen behoorlijk hoog geweest, wat tot uiting komt in een redelijk hoog gemiddelde en een erg hoog maximum. Dit komt voor op percelen die naast een normale tot hoge bemesting ook nog veelvuldig zijn beweid.

Tabel 2.8 Overzicht aanvoer van werkzame N (kg/ha) per gewasgroep

Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan	
Gewasgroep	a	18	170.3	87.0	260.0	151.5
	b	12	163.8	99.0	197.0	173.0
	g	96	292.7	0.0	446.9	300.6
	m	36	162.5	54.0	405.0	157.5
	r	26	79.7	0.0	171.0	82.0
	t	9	86.2	27.0	115.0	115.0

Tabel 2.9 Overzicht van totale N-aanvoer (kg/ha) per gewasgroep

Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan	
Gewasgroep	a	18	203.6	137.0	275.0	196.0
	b	12	201.3	129.0	235.0	211.0
	g	96	401.4	0.0	736.4	381.7
	m	36	221.1	86.0	514.8	223.8
	r	26	108.2	0.0	234.0	95.0
	t	9	86.2	27.0	115.0	115.0

Enkele proefplekken waren niet geschikt voor de toetsing. Dat had te maken met het feit dat er veenlaagjes in het profiel zaten of dat de proefplek op lössgrond lag. In de definitieve regressiemodellen voor gras en maïs hebben de proefplekken op löss niet meegedaan omdat hun aantal te beperkt was om er nauwkeurige effecten mee te schatten. Uiteindelijk waren er voor de toetsing van het akkerbouwmodel 59

proefplekken geschikt, voor het model op grasland 75 proefplekken en voor het maïs-model 30 proefplekken.

De zomer van 2003 was duidelijk droger dan voorgaande meetseizoenen. Het gemiddelde Neerslagoverschot¹ (zomer) van de dataset op basis van drie meetseizoenen is 77 mm met een minimum -67 mm en een maximum van 151 mm. Het neerslagoverschot in het vierde meetseizoen loopt van -178 mm tot -29 mm en voegt daarmee vooral datapunten toe aan het lage traject van de overschotten.

2.1.4 Bemonstering op bedrijfsniveau

Naast de bemonstering op de proefplekken is een bemonstering uitgevoerd waarmee een zo nauwkeurig mogelijke schatting van de bedrijfsgemiddelde N_{min}-voorraad en nitraatconcentratie kan worden gemaakt. De bemonstering voor zowel N_{min} in de bodem (najaar 2003) als nitraat in het grondwater (voorjaar 2004) is per cluster (bodem-Gt-gewascombinatie) uitgevoerd. Voor ieder bedrijf is bepaald welke clusters er voorkomen en voor ieder bedrijf zijn 32 monsterpunten geloot, evenredig verdeeld naar het oppervlak van de clusters binnen zo'n bedrijf. In ieder cluster zijn twee mengmonsters samengesteld, minimaal bestaand uit één monster per mengmonster. Clusters die zo klein waren dat er slechts één monster zou kunnen worden genomen, zijn niet bemonsterd. Op basis van de oppervlakte per cluster is voor N_{min} een gewogen gemiddelde N_{min}-voorraad per bedrijf geschat. In het voorjaar van 2004 zijn op de zelfde 32 monsterpunten grondwatermonsters genomen voor de bepaling van nitraatconcentraties, waarna deze op dezelfde manier als bij N_{min} zijn omgerekend tot bedrijfsgemiddelde. De resultaten van deze metingen worden gegeven in §4.2 (tabel 4.1).

Bij deze bedrijfsbemonstering bleek de aanwezigheid van veenlaagjes (op 1 bedrijf) of löss (op 2 bedrijven) te weinig ruimte over te laten voor het bepalen van een goed bedrijfsgemiddelde. Daarnaast bleek bij de uitwerking van de gegevens dat op 1 bedrijf er fouten waren opgetreden in de samenstelling van de mengmonsters. De toetsing kan dus worden uitgevoerd met 10 bedrijven (3 akkerbouw/vollegroentes- en 7 veehouderij).

Doordat per bedrijf per cluster twee mengmonsters zijn samengesteld (uit één of meerdere monsters), levert de bemonstering op bedrijfsniveau ook informatie op over de variatie tussen mengmonsters. Dit geeft een beeld van de variatie binnen een cluster op een bedrijf maar hangt wel af van de manier waarop de mengmonsters tot stand komen. Gemiddeld zijn er per bedrijf zo'n vijf tot zes clusters. Aangezien er 32 monsterpunten zijn verloot, komt dit neer op ongeveer zes monsterpunten per cluster en dus bestaat een mengmonster uit gemiddeld drie onafhankelijk genomen monsters. Zowel voor N_{min} als de nitraatconcentratie is de variatie tussen de twee mengmonsters van één cluster berekend en weergegeven in tabel 2.10. Tevens wordt het minimale en maximale verschil tussen twee mengmonster gegeven.

Tabel 2.10 Variatie tussen de mengmonsters van een cluster voor de nitraatconcentratie, N_{min} en $N_{min_{nitraat}}$, het aantal clusters waar de sd gebaseerd is en het minimale en maximale verschil tussen twee mengmonsters

	Eenheid	Standaard afwijking (sd)	Aantal clusters	Minimale verschil	Maximale verschil
Nitraat	mg/l	51.3	59	0.04	190
N_{min}	kg/ha	44.9	59	0.37	222
$N_{min_{nitraat}}$	kg/ha	40.0	59	0.37	217

Hoewel de verschillen tussen de mengmonsters ook heel klein kunnen zijn, is de variatie over het algemeen groot. Dit komt overeen met de grote variatie die ook steeds is geconstateerd tussen de proefplekken binnen een cluster. Door het nemen van meer monsters per mengmonsters zal de variatie verder dalen.

3 Statistische methodes

3.1 De te toetsen regressiemodellen

In deze paragraaf worden de regressiemodellen beschreven die in dit rapport worden getoetst. Dit zijn Model 1 voor akkerbouw, gras en maïs uit het rapport van drie meetseizoenen (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004). Deze modellen zien er allen hetzelfde uit maar hebben verschillende parameterwaarden.

Alle modellen bevatten als verklarende variabelen:

- Gt-groep;
- Bodemgroep;
- Gewasgroep;
- $Nmin_{\text{nitraat}}$.

De indeling van de bodem-, Gt- en gewasgroepen is besproken in hoofdstuk 2. Bij de gewasgroepindeling is er een duidelijk verschil tussen gewasgroep 't' en de andere drie gewasgroepen ('a', 'b' en 'r'), maar er is geen verschil tussen die drie groepen onderling. Deze drie gewasgroepen zijn samen gevoegd zodat twee parameters worden bespaard zonder dat het regressiemodel inboet aan voorspellingskracht.

De drie variabelen Gt-, bodem- en gewasgroep resulteren in een verschillende constante C_i per bodem-Gt-gewasgroep-combinatie. Deze constanten zijn berekend op basis van zeven regressiecoëfficiënten voor akkerbouw (te weten een constante, twee voor Gt-groep, drie voor bodemgroep en één voor gewasgroep) en op basis van vijf regressiecoëfficiënten voor gras en maïs (te weten een constante, twee voor Gt-groep en twee voor bodemgroep). Het regressiemodel ziet er als volgt uit:

$$\text{Model 1 : Nitraat} = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}}$$

waarbij :

C_i = de constante per bodem-Gt-gewascombinatie (zie tabel 4.2);

a = te schatten regressiecoëfficiënt;

$Nitraat$ = nitraatconcentratie van het grondwater in het voorjaar (mg/l);

$Nmin_{\text{nitraat}}$ = nitraatdeel van Nmin gemeten in de bodem in het najaar (oktober-december) voor de laag 0-90 cm (kg N/ha);

In tabel 3.1 wordt de parameterschatting met standaardfout (se) gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (sd) voor Model 1 van akkerbouw, gras en maïs. In tabel 3.2 worden de constanten C_i is gegeven voor iedere bodem-Gt-gewasgroepcombinatie die voorkomt in de dataset. De constante is de schatting voor de nitraatconcentratie gegeven dat alle andere verklarende variabelen in het model nul zijn. Bij Model 1 komt dit overeen met de voorspelde nitraatconcentratie bij $Nmin_{\text{nitraat}} = 0$. De gegevens uit tabel 3.1 en 3.2 komen uit Hack-ten Broeke *et al* (2004).

Tabel 3.1 Schatting van de regressiecoëfficiënten met standaardfout (se), het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout (Sd, mg/l) van Model 1 voor akkerbouw, gras en maïs, en het aantal data waarop de modellen zijn gebaseerd (gebaseerd op de gegevens van drie meetseizoenen)

Model	akkerbouw		Gras		maïs	
	Schatting	se	schatting	Se	schatting	Se
<i>a</i>	0.69	0.06	0.65	0.06	0.76	0.13
R^2_{adj}	36 %		21 %		22 %	
<i>Sd</i>	59.6		49.8		65.6	
<i>Aantal data</i>	474		446		174	

Tabel 3.2 Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-gewasgroep combinatie van Model 1 op basis van gegevens van drie meetseizoenen

Model	Gewas Gt-groep Bodem	<i>a+b+r</i>			<i>t</i>		
		1	2	3	1	2	3
Akkerbouw	Löss	-	-	28.5	-	-	-
	Z1	-	27.4	42.5	-	94.1	109.2
	Z2	0.0	47.8	62.9	66.7	114.5	-
	Z3	-4.3	43.5	58.6	62.4	110.2	125.3
Veehouderij		<i>gras</i>			<i>maïs</i>		
	Z1	-	32.3	37.9	24.1	21.8	66.3
	Z2	11.0	22.9	28.4	22.9	20.6	65.1
	Z3	19.0	30.9	36.4	17.4	15.1	59.6

3.2 Toetsen op proefplekniveau

In het algemeen moet men bij het toetsen van regressiemodellen ervoor zorgen dat de dataset waarop getoetst wordt, op geen enkele manier gebruikt is bij het opstellen van de modellen. Dit doen we bij de toets op bedrijfsniveau zoals die beschreven is in par. 3.4.

In meetseizoen 2003-2004 is een deel van de proefplekken op de ontwikkelbedrijven bemonsterd op dezelfde manier als in de voorgaande jaren. De informatie van het vierde meetseizoen van deze proefplekken is niet gebruikt bij het opstellen van Model 1. Toch is er wel sprake van enige afhankelijkheid, omdat de gegevens van dezelfde proefplekken in die eerste drie meetjaren wel zijn gebruikt voor het opstellen van Model 1. Een nieuw jaar betekent echter een ander weerjaar, een andere bemesting en bewerking en soms een ander gewas. Daarom is het wel zinvol deze proefplekken te gebruiken om Model 1 te toetsen op plekniveau.

Voor iedere proefplek die in het vierde seizoen is gemeten, is op basis van Model 1 de nitraatconcentratie voorspeld. Deze voorspelling kan worden vergeleken met de gemeten nitraatconcentratie. Het vergelijken van voorspellingen en metingen is op twee manieren gedaan. Als eerste is per bodem-Gt-gewas-combinatie bekeken of de meting binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling ligt.

Ten tweede is voor alle proefplekken gezamenlijk het verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie geanalyseerd middels lineaire regressie. De resultaten van de toets op proefplekniveau worden besproken in par. 4.1.

3.3 Toetsen op bedrijfsniveau

Om te kunnen toetsen hoe goed de ontwikkelde indicator de nitraatconcentratie in het grondwater voorspelt op bedrijfsniveau zijn gegevens verzameld op bedrijven die deel uitmaken van de zogenoemde ontwikkelbedrijven.

In het najaar van 2003 is per cluster (bodem-Gt-gewascombinatie per bedrijf) een mengmonster voor N_{min} genomen. Voor ieder cluster is de $N_{min, nitraat}$ gesommeerd over lagen (0-90cm) berekend. Op basis van deze gegevens is per cluster de voorspelde nitraatconcentratie uitgerekend met behulp van Model 1 voor akkerbouw, gras en maïs. Van ieder cluster is ook het clusteroppervlak bekend. De voorspelde nitraatconcentratie per bedrijf is berekend als het gemiddelde van de voorspellingen op clusterniveau, gewogen naar het oppervlak van elk cluster.

In het voorjaar van 2004 is per cluster (bodem-Gt-gewascombinatie) de bemonstering van het grondwater en de bodemvochtbemonstering voor de bepaling van de nitraatconcentratie uitgevoerd. In ieder cluster zijn twee mengmonsters samengesteld. Het gemiddelde van de twee mengmonsters is de beste schatting van de nitraatconcentratie van een cluster. De gemeten nitraatconcentratie per bedrijf is berekend als het gemiddelde van de nitraatconcentratie per cluster, gewogen naar het clusteroppervlak.

De berekende bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie wordt vergeleken met de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie. Eerst wordt gekeken hoeveel metingen binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspellingen liggen. Daarnaast wordt het verband tussen metingen en voorspellingen onderzocht middels lineaire regressie. De resultaten van deze toetsing staan in paragraaf 4.2.

De verzamelde gegevens op clusterniveau hebben niet meegedaan bij het opstellen van de modellen, evenmin als de proefplekgegevens van het vierde meetseizoen. De toetsing nu vindt nu echter wel plaats op basis van bedrijven waarvan de gegevens van de voorgaande drie seizoenen zijn gebruikt om de modellen op te stellen. In de volgende paragraaf wordt de toetsing op bedrijfsniveau beschreven waarbij dat niet meer het geval is.

3.4 Toets per bedrijf op basis van model zonder dat bedrijf

Zoals gezegd moet men bij het toetsen van regressiemodellen ervoor zorgen dat de dataset waarop getoetst wordt, op geen enkele manier gebruikt is bij het opstellen van de modellen. Daarom wordt de toets op bedrijfsniveau ook uitgevoerd door middel van *cross-validatie* met het *leave-one-out*-principe. Voor alle vier de

meetseizoenen worden de gegevens van één bedrijf uitgesloten waarna het model wordt gefit op basis van de proefplekgegevens van alle overige bedrijven. Vervolgens wordt met dit model een nitraatconcentratie voorspeld voor dat ene bedrijf dat niet mee heeft gedaan. Beurtelings wordt zo steeds één bedrijf uitgesloten en dit resulteert, als er n bedrijven zijn, in n regressiemodellen (voor akkerbouw, gras en maïs) en n voorspellingen die dus steeds op een licht gewijzigde dataset gebaseerd zijn.

De nitraatconcentratie wordt voorspeld op basis van de mengmonsters $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ per cluster die in vierde meetseizoen zijn genomen. De oppervlakte van de clusters is bekend. De nitraatconcentratie is per bedrijf is voorspeld als het gemiddelde van de voorspellingen op clusterniveau, gewogen naar het oppervlak van elk cluster. Zodoende wordt een voorspelling van de nitraatconcentratie per bedrijf verkregen die vergeleken kan worden met de gemeten nitraatconcentratie. De gemeten nitraatconcentratie is op dezelfde wijze berekend als in paragraaf 3.3.

Ook nu wordt eerst geteld hoeveel metingen binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspellingen ligt. Vervolgens wordt het verband tussen de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie onderzocht middels lineaire regressie. De resultaten van deze toetsing staan in paragraaf 4.3.

In feite wordt in deze *leave-one-out*-methode voor elk te toetsen bedrijf een nieuw model gefit op basis van de gegevens van alle overige bedrijven. Deze modellen zullen sterk op elkaar en op het *over-all*-model lijken. De toets is nu echter niet meer gebaseerd op bedrijven die zowel in de modelontwikkeling als in de toets een rol spelen.

4 Resultaten van de toetsing

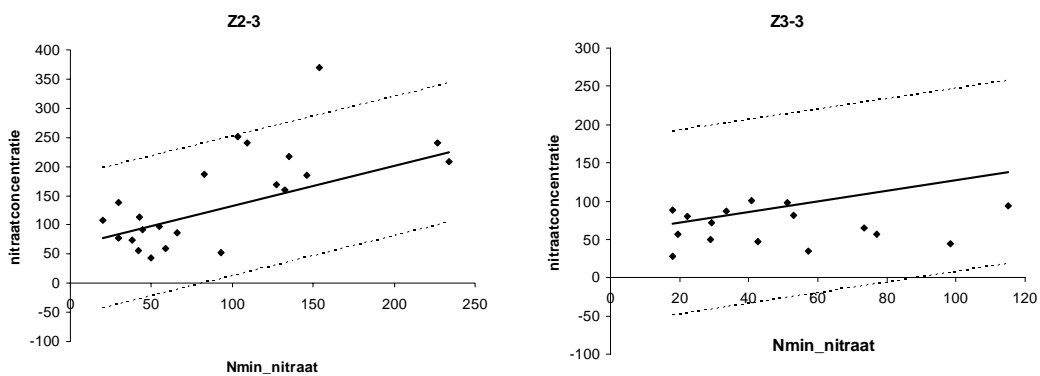
4.1 Resultaat op proefplekniveau

4.1.1 Akkerbouw

In het vierde meetseizoen zijn er 59 proefplekken bemeten op locaties waar een akkerbouwgewas werd geteeld. Er zijn twee bodem-Gt-combinaties met tenminste 10 proefplekken, te weten Z2 en Z3 bij Gtgroep 3. Figuur 4.1 geeft voor deze twee combinaties de voorspelde nitraatconcentratie op basis van Model 1 die afhangt van de gemeten $N_{min_nitraat}$ -waarde in het najaar. Verder zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen rond de voorspelling gegeven die horen bij nieuwe proefplekken. Tenslotte staan ook de gemeten waarden ($N_{min_nitraat}$ versus nitraatconcentratie) van de proefplekken in de figuren. De betrouwbaarheidsintervallen rond voorspellingen op proefplekniveau zijn breed. De voorspelfout ligt rond de 60 mg/l (de exacte waarde hangt af van de bodem-Gt-gewascombinatie en $N_{min_nitraat}$). Dit betekent dat bij een gemeten $N_{min_nitraat}$ waarde de gemeten nitraatconcentratie met 95% zekerheid zal liggen tussen de voorspelde nitraatconcentratie ± 120 mg/l. In de toets wordt gecontroleerd of dat inderdaad zo is.

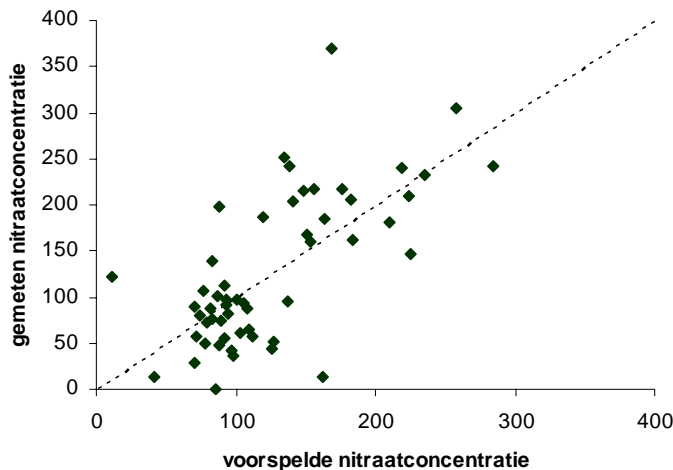
De proefplekken gemeten in het vierde meetseizoen vallen grotendeels binnen de betrouwbaarheidsgrenzen. Dit betekent dat op proefplekniveau de gemeten nitraatconcentratie binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval valt van de voorspelde nitraatconcentratie (wanneer die voorspelling gebaseerd is op Model 1 en de gemeten $N_{min_nitraat}$).

De clustergegevens, gemeten $N_{min_nitraat}$, gemeten nitraatconcentratie en voorspelde nitraatconcentratie van de proefplekken die niet in figuur 4.1 staan, staan in bijlage 2.



Figuur 4.1 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l, lijn) als functie van $N_{min_nitraat}$ (kg/ha) met 95%-betrouwbaarheidsinterval (stippellijnen) op basis van Model 1 (akkerbouw) en de waarnemingen van de proefplekken gemeten in het vierde meetseizoen (stippen) voor de bodem-Gt-groepcombinaties Z2-Gt3, Z3-Gt3

Een andere manier om de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie te vergelijken is door de gemeten en voorspelde waarde tegen elkaar uit te zetten (niet te verwarren met figuur 4.1). Door middel van eenvoudige lineaire regressie kan het verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie worden onderzocht. Voor de akkerbouw is dit gedaan voor de voorspellingen op basis van Model 1. In figuur 4.2 zijn voor alle proefplekken de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie tegen elkaar uitgezet.

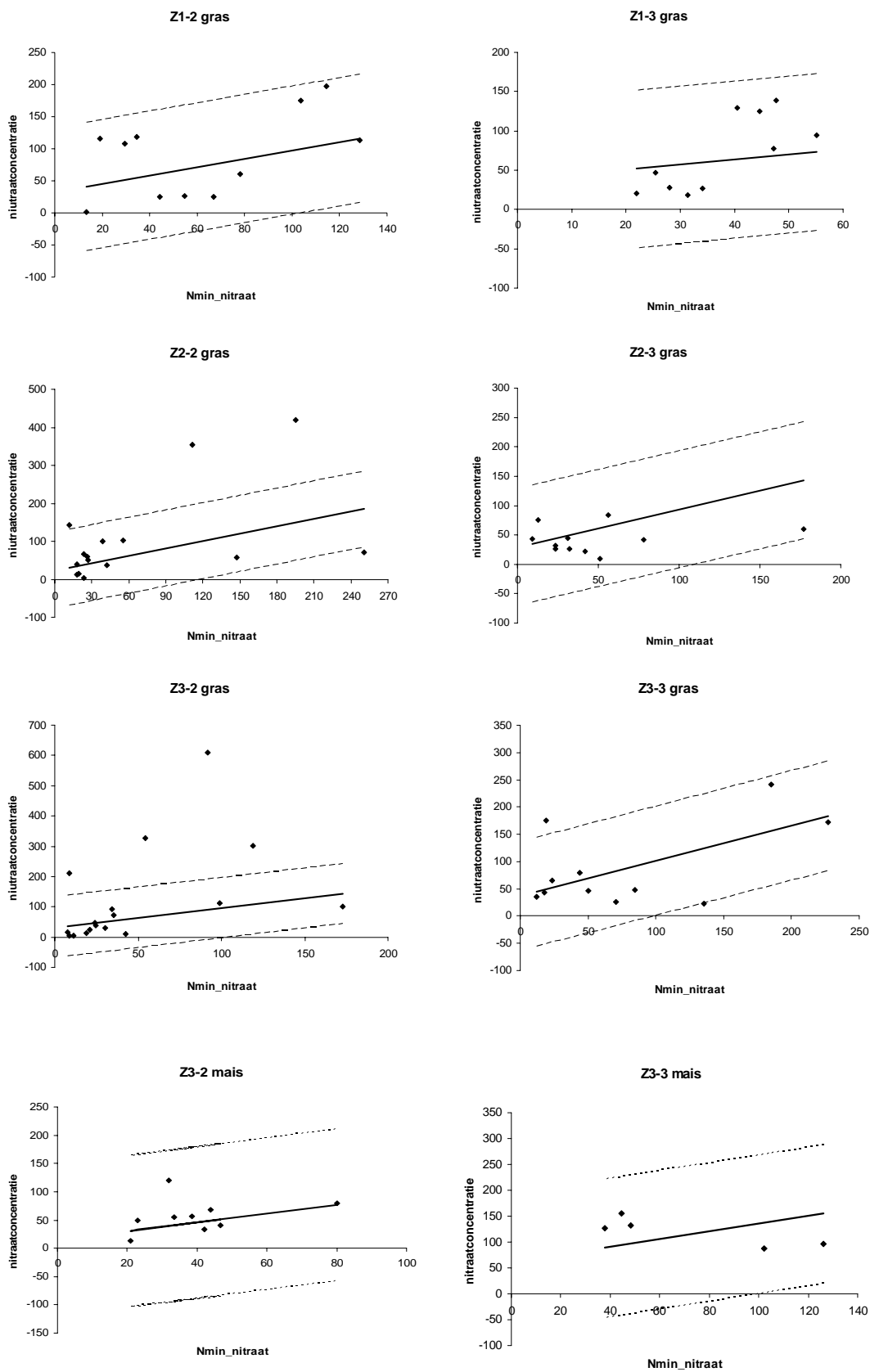


Figuur 4.2 Voorspelde nitraatconcentratie ($\text{mg NO}_3/\text{l}$) uitgezet tegen de gemeten nitraatconcentratie ($\text{mg NO}_3/\text{l}$) voor alle proefplekken gemeten in het vierde meetseizoen met een akkerbouwgewas en de 1:1 lijn.

Op het niveau van de proefplekken is er een goed en significant verband tussen de voorspelde en de gemeten nitraatconcentratie. Het verband heeft een helling van 1.05 ($se=0.14$) en het intercept is -7.8 mg/l ($se=18.4 \text{ mg/l}$). Zonder de vijf proefplekken met lössgrond is dit verband nog wat beter met een helling van 1.00 ($se=0.15$) en een intercept van 2.0 mg/l ($se=20.4 \text{ mg/l}$). Dit betekent dat er geen sprake is van een systematische onder- of overschatting. De variatie van de afwijkingen tussen gemeten en voorspelde concentratie blijft groot: de voorspelfouten hebben een standaardafwijking van 60.7 mg/l . Dit komt goed overeen met de voorspelfout van de voorspelling op basis van Model 1 voor akkerbouw.

4.1.2 Veehouderij

In het vierde meetjaar zijn er 75 proefplekken gemeten waarop gras is geteeld en 30 proefplekken waarop maïs is geteeld. Voor gras zijn er zes bodem-Gt-combinaties met tenminste 10 proefplekken. In figuur 4.3 is voor deze zes combinaties de voorspelde nitraatconcentratie gegeven die afhangt van de gemeten $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -waarde in het najaar. Verder zijn de 95%- betrouwbaarheidsintervallen rond de voorspelling gegeven die horen bij nieuwe proefplekken breed. Tenslotte staan ook de gemeten waarden ($N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ versus nitraatconcentratie) van de proefplekken in de figuren. Voor maïs is er geen bodem-Gt-combinatie met tenminste 10 proefplekken en worden in figuur 4.3 de twee bodem-Gt-combinaties gegeven met de meeste proefplekken.



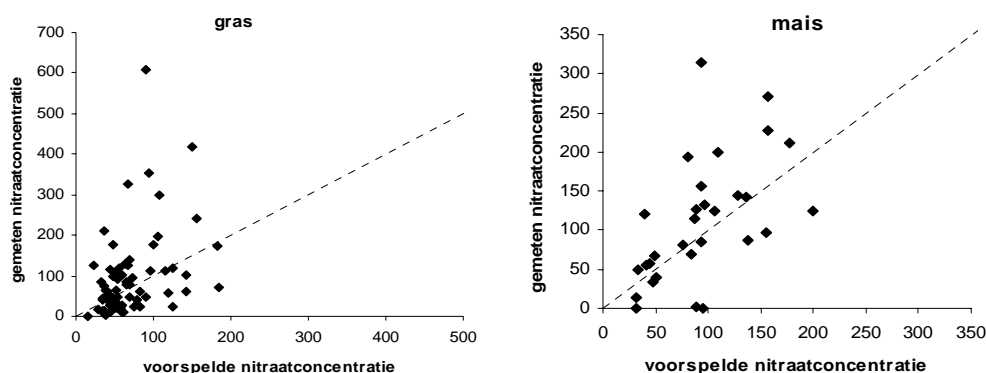
Figuur 4.3 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l, lijn) als functie van $N_{min_nitraat}$ (kg/ha) met 95%-betrouwbaarheidsinterval (stippellijnen) op basis van Model 1 (gras resp. mais) en de waarnemingen van de proefplekken gemeten in bet vierde meetseizoen (stippen) voor de bodem-Gt-groepcombinaties van gras : Gt2 met Z1, Z2 en Z3 en Gt3 met Z1, Z2 en Z3; en mais : Gt2-Z3, Gt3-Z3

De betrouwbaarheidsintervallen rond voorspellingen op proefplekniveau zijn breed. De voorspelfout ligt bij gras rond de 50 mg/l en bij maïs rond de 67 mg/l (de exacte waarde hangt af van de bodem-Gt-combinatie en $N_{\min_{\text{nitraat}}}$). Dit betekent dat bij een gemeten $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ waarde de gemeten nitraatconcentratie met 95% zekerheid zal liggen tussen de voorspelde nitraatconcentratie ± 100 mg/l voor gras en tussen de voorspelde nitraatconcentratie ± 134 mg/l voor maïs.

De clustergegevens, gemeten $N_{\min_{\text{nitraat}}}$, gemeten nitraatconcentratie en voorspelde nitraatconcentratie van de proefplekken die niet in figuur 4.3 staan, staan in bijlage 2.

De metingen op proefplekken in het vierde meetseizoen met gras of maïs vallen grotendeels binnen de betrouwbaarheidsgrenzen wanneer die voorspelling gebaseerd is op Model 1 en de gemeten $N_{\min_{\text{nitraat}}}$. Zoals in de figuren te zien is, zijn de betrouwbaarheidsintervallen heel breed. Bij gras vallen bij Gtgroep 2 in combinatie met Z2 of Z3 een paar proefplekken buiten de betrouwbaarheidsgrenzen met name aan de bovenkant. Dit betekent dat bij deze punten een veel hogere nitraatconcentratie wordt gemeten dan op basis van de $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ -waarde en Model 1 wordt verwacht.

Een andere manier om de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie te vergelijken is door de metingen en voorspellingen tegen elkaar uit te zetten (niet te verwarren met figuur 4.3) en het verband met eenvoudige lineaire regressie te beschrijven. Voor zowel gras als maïs is dit gedaan voor de voorspellingen op basis van Model 1. In figuur 4.4 zijn voor alle proefplekken de metingen en voorspellingen tegen elkaar uitgezet.



Figuur 4.4 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) uitgezet tegen de gemeten nitraatconcentratie (mg/l) voor alle proefplekken gemeten in het vierde meetseizoen met links gras en recht maïs en de 1:1 lijn..

Voor gras is er een significant verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie op proefplekniveau. Het verband heeft een helling van 1.15 ($se=0.30$) en het intercept is 12.6. De voorspelling ligt dus gemiddeld 12.6 mg/l lager dan de meting. De variatie tussen de gemeten en voorspelde waarde op proefplekniveau is net als bij akkerbouw groot: de standaardafwijking van de voorspelfouten bedraagt 95.3 m/l. Dit is veel groter dan de voorspelfout op basis

van Model 1 voor gras en wordt veroorzaakt door een paar hele hoge gemeten nitraatconcentraties.

Ook voor maïs is het verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie op proefplekniveau significant met een helling van 0.98 ($se=0.27$). Het intercept is 20.0 ($se=27.9$). Dit betekent dat de voorspelde nitraatconcentratie gemiddelde 20.0 mg/l lager geschat dan gemeten wordt. Er is dus sprake van een systematische onderschatting van de nitraatconcentratie bij maïs. De variatie tussen gemeten en voorspelde waarde is groot: de standaardafwijking van de voorspelfout bedraagt 66.7 mg/l. Dit komt goed overeen met de voorspelfout van Model 1 voor maïs.

4.2 Resultaat op bedrijfsniveau

Bij iedere voorspelde nitraatconcentratie op bedrijfsniveau kan een standaardfout en daarmee een betrouwbaarheidsinterval worden berekend zoals in de rekenvoorbeelden van hoofdstuk 5 van het rapport over drie meetjaren (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004). Hierbij wordt per cluster rekening gehouden met de nauwkeurigheid van de voorspelling van dat cluster en wordt voor de nauwkeurigheid op bedrijfsniveau gewogen met de clusteroppervlakten. De nauwkeurigheid van de voorspelling van het clustergemiddelde hangt af van drie componenten (par. 5.4, Hack-ten Broeke *et al.*, 2004). De eerste component is de bijdrage van de onnauwkeurigheid van de regressielijn. Die varieert voor akkerbouw tussen 25 en 310 mg^2/l^2 afhankelijk van het cluster en $N_{min_{nitraat}}$. Dit is maar een klein deel van de totale variantie zodat deze bijdrage constant is genomen op 116 mg^2/l^2 voor gewasgroep 'a+b+r' en 229 mg^2/l^2 voor gewasgroep 't'. Hetzelfde is gedaan voor gras en maïs (54.4 mg^2/l^2 voor gras en 251.5 mg^2/l^2 voor maïs). De tweede component heeft te maken met de onnauwkeurigheid van de $N_{min_{nitraat}}$ -meting. Deze meting is gebaseerd op 32 steken per bedrijf en geen 40 per cluster zoals het uitgangspunt is in de tabellen van hoofdstuk 5. Uitgaande van gemiddeld 4 clusters per bedrijf (en dus 8 steken per cluster) is de bijdrage van deze term aan de totale variatie van een clustergemiddelde nu respectievelijk 61.5, 54.2 en 74.5 mg^2/l^2 voor akkerbouw, gras en maïs. De bijdrage van de restterm blijft 300 mg^2/l^2 .

In Tabel 4.1 wordt per bedrijf het resultaat van de voorspelling, op basis van de gemeten $N_{min_{nitraat}}$ per cluster en Model 1, met het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval gegeven. Deze betrouwbaarheidsintervallen zijn aanzienlijk smaller dan die voor voorspellingen op proefplekniveau. Daarnaast wordt het bedrijfsgemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties per bedrijf gegeven.

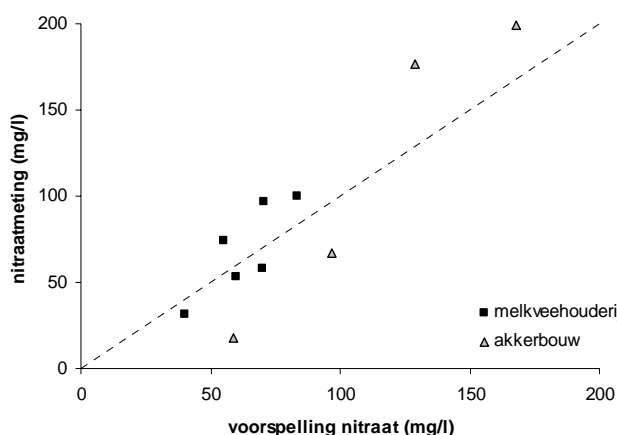
Tabel 4.1 Per bedrijf: voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) op basis van Model 1 en de gemeten $N_{min_{nitraat}}$ per cluster, met de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval en de gemeten gemiddelde nitraatconcentratie.

Bedrijf	Voorspelling	ondergrens	bovengrens	metingen
0A melkveehouderij	83.4	62.5	104.3	99.7
0D	40.1	16.0	64.2	31.3
0E	59.9	32.3	87.5	53.5
0H	70.0	48.6	91.5	58.0
0I	55.0	35.8	74.3	74.1
0J	70.7	51.7	89.8	96.6
0O akkerbouw	96.9	81.5	112.2	66.9
0T	167.7	138.8	196.5	199.5
0Y	58.8	34.8	82.8	26.5
0Z	128.9	111.7	146.1	176.6

Van de zes melkveehouderijbedrijven ligt de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie voor vijf bedrijven in het betrouwbaarheidsinterval rond de voorspelde nitraatconcentratie. Voor één bedrijf ligt de meting boven het interval. Dit stemt overeen met de conclusie in het rapport over drie meetjaren (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) dat een voorspelling op basis van Model 1 bij de melkveehouderijbedrijven niet tot een overschatting maar eerder tot een onderschatting van de nitraatconcentratie leidt.

Bij de vier akkerbouwbedrijven ligt de meting twee keer boven en twee keer onder het betrouwbaarheidsinterval. De gemiddelde nitraatconcentratie wordt bij twee akkerbouwbedrijven met een hele hoge gemeten nitraatconcentratie onderschat. De overschatting van bedrijf 0Y (tabel 4.1) komt door hoge $N_{min_{nitraat}}$ -gehalten in de twee grootste clusters voor allebei de mengmonsters. Dit resulteert in een hoge schatting van de nitraatconcentratie. De nitraatmetingen van alle mengmonsters zijn echter laag. Het verschil tussen voorspelling en meting wordt dus niet veroorzaakt door enkele uitschieterende waarnemingen. Op zowel bedrijf 0Y als 0O komen proefplekken met een veenlaagje voor. Voor de clusters die deel uitmaken van de gemiddelde bedrijfsconcentratie zijn die veenlaagjes niet geconstateerd. Toch lijkt het wel heel toevallig dat dit juist de bedrijven zijn die op basis van $N_{min_{nitraat}}$ de nitraatconcentratie te hoog voorspellen.

Een andere manier om de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie te vergelijken is door de voorspelde en berekende bedrijfsgemiddelden tegen elkaar uit te zetten. Dit is gedaan in figuur 4.5. Het verband lijkt heel redelijk en is nader onderzocht met eenvoudige lineaire regressieanalyse. Het verband is significant met een helling van 1.38 ($se=0.21$) en een intercept van -26.1 mg/l ($se=18.8$). Dit betekent dat de voorspelde nitraatconcentratie bij lage waarden gemiddeld 26.1 mg/l hoger geschat dan gemeten wordt. De helling is echter groter dan één, zodat vanaf een concentratie van 68.7 mg/l de voorspelling juist lager uitkomt dan de meting. Het negatieve intercept wordt met name veroorzaakt door hele hoge nitraatconcentraties die bij twee akkerbouwbedrijven wordt onderschat.



Figuur 4.5 Voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie uitgezet tegen het bedrijfsgemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties op de toetsbedrijven 2003-2004 en de 1:1 lijn.

4.3 Resultaat van *cross-validatie* met *leave-one-out* op bedrijfsniveau

Naast het voorspellen van de nitraatconcentratie per bedrijf op basis van Model 1 (voor akkerbouw, gras en maïs) en de $N_{min_{nitraat}}$, is de nitraatconcentratie ook voorspeld op basis van een aangepast Model 1. In dit aangepaste model zijn de parameterwaarden van het model gebaseerd op alle data behalve die van het bedrijf waarvoor je wilt voorspellen (*leave-one-out*-principe). In Tabel 4.2 wordt per bedrijf het resultaat van die voorspelling met het 95%-betrouwbaarheidsinterval gegeven. Het berekenen van de betrouwbaarheidsintervallen is op dezelfde wijze gebeurd als in paragraaf 4.2. Daarnaast wordt het bedrijfsgemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties per bedrijf gegeven.

Tabel 4.2. Per bedrijf : voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) op basis van het *leave-one-out* principe en de gemeten $N_{min_{nitraat}}$ per cluster, met de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval en de gemeten gemiddelde nitraatconcentratie.

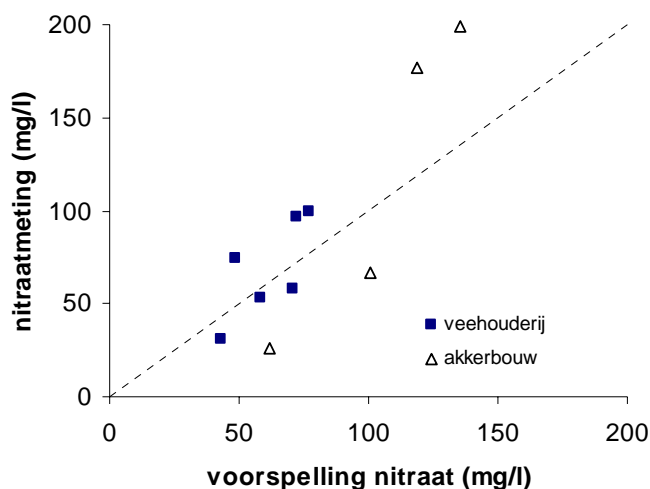
Bedrijf	voorspelling	ondergrens	bovengrens	metingen
0A melkveehouderij	77.0	56.1	97.9	99.7
0D	43.1	19.1	67.1	31.3
0E	58.6	31.0	86.2	53.5
0H	70.6	49.1	92.0	58.0
0I	48.3	29.0	67.5	74.1
0J	72.1	53.0	91.1	96.6
0O akkerbouw	100.9	85.6	116.2	66.9
0T	135.4	106.6	164.3	199.5
0Y	62.0	38.0	86.0	26.5
0Z	118.5	101.3	135.7	176.6

Bij drie van de zes melkveehouderijbedrijven ligt de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in het betrouwbaarheidsinterval rond de voorspelde nitraatconcentratie. Bij de overige drie bedrijven ligt de meting boven het interval. Dit stemt overeen met de conclusie in het rapport over drie meetjaren (Hack-ten Broeke *et al.*,

2004) dat een voorspelling op basis van Model 1 bij de melkveehouderijbedrijven niet tot een overschatting maar eerder tot een onderschatting van de nitraatconcentratie leidt.

Bij de akkerbouwbedrijven is er niets veranderd ten opzichte van de resultaten in paragraaf 4.2. Nog steeds ligt de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie voor twee bedrijven boven en voor twee bedrijven onder het betrouwbaarheidsinterval.

Een andere manier om de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie te vergelijken is door de voorspelde en berekende bedrijfsgemiddelden tegen elkaar uit te zetten. Dit is gedaan in figuur 4.6. Het verband lijkt heel redelijk en is nader onderzocht met eenvoudige lineaire regressieanalyse. Het verband is significant met een helling van 1.66 ($se=0.34$) en een intercept van -41.9 mg/l ($se=28.2$). De regressielijn wijkt dus behoorlijk af van de 1:1-lijn. Dit wordt veroorzaakt door de metingen die veel hoger zijn dan de hoge voorspellingen bij twee akkerbouwbedrijven, waardoor de helling groter wordt dan 1 (en daarmee het intercept negatief). Zonder deze punten is het verband niet meer significant en wordt de helling 0.64 en het intercept 21.0. Met de twee punten erbij lijkt het erop dat de voorspelde nitraatconcentratie bij lage waarden gemiddeld 41.9 mg/l hoger geschat dan gemeten wordt. Zonder die twee punten is er sprake van een onderschatting bij lage nitraatconcentraties, maar dit verband is niet meer duidelijk.



Figuur 4.6 Voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie uitgezet tegen het bedrijfsgemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties op de toetsbedrijven 2003-2004 en de 1:1 lijn.

4.4 Vergelijking van toetsresultaten en eerdere conclusies

Op het niveau van de proefplekken is na drie meetseizoenen getoetst met behulp van de proefplekken die bemonsterd zijn in de regionale studie (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004). In dit rapport is nogmaals op proefplekniveau getoetst met de proefplekken gemeten in het vierde meetseizoen. Voor gras zijn de resultaten zeer vergelijkbaar. In

beide gevallen vallen een aantal punten buiten de betrouwbaarheidsintervallen maar altijd aan de bovenkant zodat de gemeten nitraatconcentratie hoger is dan de voorspelde op basis van Model 1. Ook uit de lineaire regressie van de voorspelde op de gemeten nitraatconcentratie blijkt deze onderschatting. Voor akkerbouw en maïs geldt hetzelfde beeld. Ook hier zijn de resultaten tussen de twee toetsen op proefplekniveau zeer vergelijkbaar. Zowel voor akkerbouw als maïs geldt echter dat de onderschatting van de nitraatconcentratie is in het vierde meetjaar een stuk kleiner is dan bij de toetsing op basis van de regioproefplekken. Dit is een verbetering maar kan ook het gevolg zijn van het feit dat in de regio ander type bedrijven is bemonsterd (gewone bedrijven in plaats van voorlopers/deelnemers aan nitraatprojecten).

In hoofdstuk 2 is vastgesteld dat de nitraatconcentraties in het vierde jaar hoog zijn ten opzichte van eerdere jaren. Voor N_{min} geldt dat ook voor gewasgroep 'a' en in mindere mate voor gewasgroep 'g' maar helemaal niet voor de overige gewasgroepen. Bovendien was de zomer van 2003 bijzonder warm en droog. Ondanks deze andere omstandigheden blijven de verbanden tussen de clusterindeling en N_{min}^{nitraat} enerzijds en de nitraatconcentratie anderzijds echter geldig. Dit betekent dat de voorspellende modellen (Model 1 voor akkerbouw, gras en maïs) robuust zijn gebleken.

Het nadeel van meten, voorspellen en toetsen op het niveau van de proefplekken is de grote variatie en daarmee de grote betrouwbaarheidsintervallen rond de voorspellingen. Steeds zijn we er vanuit gegaan dat de voorspelling op bedrijfsniveau veel nauwkeuriger zou zijn. Het blijkt dat dit inderdaad het geval is als gekeken wordt naar de breedte van de intervallen in tabel 4.3.

De voorspelling van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie is redelijk voor de melkveehouderijbedrijven waar vooral gras en maïs wordt geteeld. In de gevallen waarbij de metingen buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval liggen wordt de nitraatconcentratie te laag voorspeld. Dit stemt overeen met de conclusie in het rapport over drie meetjaren (Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) dat een voorspelling op basis van Model 1 bij de melkveehouderijbedrijven niet tot een overschatting maar eerder tot een onderschatting van de nitraatconcentratie leidt.

De voorspelling van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie voor de vier akkerbouwbedrijven is slecht. Geen van de voorspellingen valt binnen het betrouwbaarheidsinterval. Bedrijven met een groot aandeel van gewasgroep 't' in de teelt en daarmee een hele hoge nitraatconcentratie worden onderschat. Dit resultaat komt overeen met de toetsbedrijven voor akkerbouw in het rapport over drie meetjaren die ook allen werden onderschat. Dit duidt erop dat de omstandigheden tussen kalibratie en validatie van het model gewijzigd zijn.

5 Modellen gefit op basis van 4 meetseizoenen

5.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 van het rapport over drie meetseizoenen worden de resultaten van de regressieanalyses beschreven. Om de stabiliteit van deze modellen te toetsen zijn de modellen die daar beschreven zijn opnieuw gefit op de gegevens van de vier meetseizoenen. De verwachting is dat de geschatte modelparameters niet substantieel zullen veranderen. Paragraaf 5.2 gaat over akkerbouw en paragraaf 5.3 over melkveehouderij, waarbij een indeling is gemaakt in gras en maïs.

5.2 Akkerbouw, de beste regressiemodellen

Data

Voor akkerbouw is uitgegaan van alle proefplekken waarop een gewas staat dat valt in de gewasgroepen 'a', 'b', 'r' of 't' (zie hoofdstuk 2). Conform de procedure bij de analyse na drie meetseizoenen doen proefplekken die uit kleigrond blijken te bestaan niet mee in de analyse. Dit geldt ook voor de proefplekken die een veenlaagje hebben. Er zijn in het vierde meetseizoen geen proefplekken met een extreem hoge nitraatwaarde danwel een extreme $N_{min_{nitraat}}$ -waarde. Er blijven 533 proefplekken over die als volgt zijn verdeeld over de seizoenen: 109, 165, 200, 59 voor respectievelijk meetjaar 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003 en 2003-2004.

Modellen

In de analyse van de gegevens na drie meetseizoenen zijn drie regressiemodellen naar voren gekomen. Alle modellen bevatten als verklarende variabelen: Gt-groep, Bodemgroep, Gewasgroep en $N_{min_{nitraat}}$. De indeling van de bodem-, Gt- en gewasgroepen is besproken in hoofdstuk 2. Bij de gewasgroepindeling is er een duidelijk verschil tussen gewasgroep 't' en de andere drie gewasgroepen ('a', 'b' en 'r'), maar er is geen verschil tussen die drie groepen onderling. Deze drie gewasgroepen zijn samen gevoegd zodat twee parameters worden bespaard zonder dat het regressiemodel inboet aan voorspellingskracht.

De drie variabelen Gt-, bodem- en gewasgroep resulteren in een verschillende constante C_i per bodem-Gt-gewasgroep-combinatie. Deze constanten zijn berekend op basis van zeven regressiecoëfficiënten (te weten een constante, twee voor Gt-groep, drie voor bodemgroep en één voor gewasgroep). De drie regressiemodellen zien er als volgt uit :

$$\text{Model 1 : } N_{nitraat} = C_i + a \times N_{min_{nitraat}}$$

$$\text{Model 2 : } N_{nitraat} = C_i + a \times N_{min_{nitraat}} + b \times \text{Neerslagoverschot1} + d \times \text{Neerslagoverschot2}$$

$$\text{Model 3 : } N_{nitraat} = C_i + a \times N_{min_{nitraat}} + b \times \text{Neerslagoverschot1} + d \times \text{Neerslagoverschot2} + e \times C_N\text{verhouding} + f_j \times N_{gift}$$

waarbij :

C_i = de constante per bodem-Gt-gewascombinatie (zie tabel 4.2);

a, b, d, e = te schatten regressiecoëfficiënten;

f_j = te schatten regressiecoëfficiënt die verschilt voor de twee gewasgroepen ($j=2$);

N_{nitraat} = nitraatconcentratie van het grondwater in het voorjaar (mg/l);

$N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ = nitraatdeel van N_{min} gemeten in de bodem in het najaar (oktober-december) voor de laag 0-90 cm (kg N/ha);

$Neerslagoverschot1$ = Neerslagoverschot in de zomerperiode (mm), 1 april-1 oktober;

$Neerslagoverschot2$ = Neerslagoverschot in de winterperiode (mm), 1 oktober-1 april;

$C_N\text{verb}$ = C/N-verhouding voor de bouwvoor;

N_{gift} = som van kunstmest en totale dierlijke mestgift (kg/ha).

In tabel 5.1 worden per model de parameterschattingen gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (sd) waarbij in het ene geval alleen de gegevens van de eerste drie meetseizoenen zijn gebruikt en in het tweede geval de gegevens van de vier meetseizoenen. De constanten C_i staan in Hack et al (2004) voor de analyse op basis van drie seizoenen en in bijlage 3 voor de fit op basis van vier seizoenen. De constante is de schatting voor de nitraatconcentratie gegeven dat alle andere verklarende variabelen in het model nul zijn. Bij model 1 komt dit overeen met de voorspelde nitraatconcentratie bij $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}=0$.

Tabel 5.1 Schatting van de regressiecoëfficiënten, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout (Sd , mg/l) van Model 1, 2 en 3 voor akkerbouw, en het aantal data waarop de modellen zijn gebaseerd, gebaseerd op de gegevens van **drie en vier** meetseizoenen

Model	1		2		3	
	drie	vier	drie	vier	drie	vier
a	0.69	0.69	0.67	0.66	0.62	0.61
b			-0.31	-0.14	-0.20	-0.08
d			0.36	0.17	0.28	0.17
e					-2.1	-3.7
f_{abr}					0.04	0.04
f_i					0.47	0.34
R^2_{adj}	36 %	39%	43 %	42%	47 %	47%
Sd	59.6	59.4	56.5	58.3	54.4	55.4
Aantal data	474	533	474	533	464	523

Het meenemen van de data uit het vierde meetseizoen laat voor model 1 weinig verandering zien. De helling van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ gelijk gebleven en ook de constantes C_i zijn vrijwel gelijk gebleven. Hieruit blijkt dat model 1 stabiel is.

Voor model 2 en 3 lijkt het meenemen van de data uit het vierde meetseizoen een veel groter effect te hebben. De helling van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ blijft gelijk maar de regressiecoëfficiënten van de neerslagoverschotten veranderen sterk en daarmee ook het effect van neerslagoverschot. De helling van het neerslagoverschot in de zomer is negatief hetgeen betekent dat een groter neerslagoverschot leidt tot een daling in de nitraatconcentratie. Die helling was -0.31 en is door het meenemen van de data van het vierde meetseizoen gehalveerd naar -0.14. Dit betekent dat een neerslagoverschot in de zomer nog steeds een daling geeft in de nitraatconcentratie maar een veel

minder sterke daling. Dit zou kunnen komen door de extreem droge zomer van 2003. Het gemiddelde Neerslagoverschot1 van de dataset op basis van drie meetseizoenen is 77 mm met een minimum -67 mm en een maximum van 151 mm. Het neerslagoverschot in het vierde meetseizoen loopt van -178 mm tot -29 mm en voegt daarmee vooral datapunten toe aan het lage traject van de overschotten. Deze lage neerslagoverschotten geven echter naar verhouding niet heel veel hogere nitraatconcentraties zodat dat helling van neerslagoverschot in de zomer naar beneden wordt bijgesteld. Dit resulteert vervolgens ook in een aanpassing van de helling van het neerslagoverschot in de winterperiode.

Ook de constanten C_i hebben door het meenemen van de data uit het vierde meetseizoen een heel andere waarde gekregen. Dit kan echter een gevolg zijn van het veranderde effect van de neerslagoverschotten. Om de modellen op basis van drie en vier meetseizoenen onderling goed te kunnen vergelijken moet gekeken worden naar de voorspelde nitraatconcentratie voor verschillende instellingen van de neerslagoverschotten.

Tabel 5.2 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) van model 2, akkerbouw, gewasgroep a+b+r, Gtgroep 3 en Z3 met $N_{min_{nitraat}}=0$ op basis van drie en vier meetseizoenen bij verschillende waarden voor het neerslagoverschot in de winterperiode (2) en zomerperiode (1)

Neerslagoverschot2	Neerslagoverschot1	Model drie seizoenen	Model vier seizoenen
350	-30	79.9	61.8
	50	55.1	50.6
	100	39.6	43.6
450	-30	115.9	78.8
	50	91.1	67.6
	100	75.6	60.6

De voorspellingen op basis van het model na vier meetseizoenen liggen lager maar de verschillen zijn een stuk minder groot dan men op basis van de constanten C_i wellicht verwacht had. De verschillen zijn groter bij extreme combinaties dan rond het gemiddelde. Het gemiddelde neerslagoverschot in de winterperiode is ongeveer 400 mm en in de zomerperiode 60 mm. Het verschil in voorspelde nitraatconcentratie is dan 12 mg/l. Het kan echter ook zijn dat in het traject met de hele lage overschotten (ofwel groot negatieve overschotten) het model niet meer lineair is. Doordat die lage overschotten nu deel uitmaken van de data zou het neerslagoverschot in een andere vorm (kwadratisch of als e-macht) deel uit moeten maken van het model.

Modellen met meerdere verklarende variabelen zijn moeilijker bruikbaar in de praktijk en lijken bovendien minder stabiel.

5.3 Veehouderij

De twee gewassen, gras en snijmaïs, die voorkomen op melkveehouderijbedrijven in de dataset zijn apart geanalyseerd en worden hierna apart besproken.

5.3.1 Gras, de beste regressiemodellen

Data

In het vierde meetseizoen zijn er twee proefplekken met een extreem hoge nitraatconcentratie. Deze punten vallen ver buiten het bereik van de overige waarden en kunnen daardoor van grote invloed zijn op het resultaat. Deze punten doen daarom niet mee in de analyse. Conform de procedure bij de analyse na drie meetseizoenen doen proefplekken die op kleigrond liggen danwel een veenlaagje hebben niet mee in de analyse. Het aantal proefplekken met löss is te beperkt (met een groot effect) om conclusies op te baseren. Daarom doen de proefplekken met löss ook niet mee in de analyse. Er blijven 519 proefplekken over die als volgt zijn verdeeld over de seizoenen: 140 voor meetjaar 2000-2001, 162 voor 2001-2002, 144 voor 2002-2003 en 73 voor 2003-2004.

Modellen

Uit de analyse op basis van drie meetseizoenen zijn vier vergelijkbare regressiemodellen naar voren gekomen. Alle modellen hebben als verklarende variabelen in het model: Gt-groep, Bodemgroep en $Nmin_{\text{nitraat}}$. De modellen hebben een verschillende constante C_i per bodem-Gt-combinatie. Deze constanten zijn berekend op basis van vijf regressiecoëfficiënten (te weten een constante, twee voor Gt-groep en twee voor bodemgroep). De modellen zien er als volgt uit:

$$\text{Model 1 : } Nitraat = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}}$$

$$\text{Model 2 : } Nitraat = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}} + b \times C_Nverb + d \times PotMin$$

$$\text{Model 3 : } Nitraat = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}} + b \times C_Nverb + d \times PotMin + e \times Neerslagsom1 + f \times Neerslagsom2$$

$$\text{Model 4 : } Nitraat = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}} + g \times GHG \times (Gt\text{-groep}=3) + h \times Scheuren$$

waarbij :

C_i = de constante per bodem-Gt-combinatie (zie tabel 4.5);

a, b, d, e, f, g en h = te schatten regressiecoëfficiënten;

$Nitraat$ = nitraatconcentratie in het voorjaar (mg/l);

$Nmin_{\text{nitraat}}$ = nitraatdeel van $Nmin$ gemeten in het najaar (oktober-december) voor de laag 0-90 cm (kg N/ha);

C_Nverb = C/Nverhouding voor de bouwvoor;

$PotMin$ = potentiële mineralisatie die gezien kan worden als een maat voor de afbreekbaarheid van organische stikstof in de bouwvoor;

$Neerslagsom1$ = Neerslagsom in de zomerperiode (mm), 1 april-1 oktober;

$Neerslagsom2$ = Neerslagsom in de winterperiode (mm), 1 oktober-1 april;

GHG = gemiddelde hoogste grondwaterstand; deze speelt alleen een rol bij Gt-groep 3 en valt weg bij Gt-groep 1 en 2;

$Scheuren$ = het al dan niet scheuren van grasland in het najaar (0=niet scheuren, 1=wel scheuren).

Tabel 5.3 Schatting van de regressiecoëfficiënten a t/m f met standaardfout (se), het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout (Sd , mg/l) van model 1 t/m 4 voor grasland, en het aantal data waarop de modellen zijn gebaseerd, gebaseerd op drie meetseizoenen

Model	1		2		3		4	
	drie	vier	drie	vier	drie	vier	drie	vier
a	0.65	0.63	0.61	0.61	0.62	0.59	0.57	0.51
b			-3.34	-3.22	-3.44	-3.21		
d			-9.70	-10.60	-9.79	-10.41		
e					-0.10	-0.13		
f					0.22	0.20		
g							0.31	0.25
h							-55.2	-68.5
R^2_{adj}	21 %	21 %	23 %	23 %	25 %	24 %	26 %	28 %
Sd	49.8	42.9	50.1	53.1	49.5	52.6	48.2	50.5
aantal data	446	519	425	487	425	487	443	515

In tabel 5.3 worden per model de parameterschattingen gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (sd) waarbij in het ene geval alleen de gegevens van de eerste drie meetseizoenen zijn gebruikt en in het andere geval de gegevens van vier meetseizoenen. De constanten C_i staan in Hackten Broeke *et al* (2004) voor de analyse op basis van drie meetseizoenen en in bijlage 3 voor de fit op basis van vier meetseizoenen. De constante is de schatting voor de nitraatconcentratie waarbij alle andere verklarende variabelen in het model nul zijn. In Model 1 hoort de constante bij $Nmin_{nitraat}=0$.

Het meenemen van de data uit het vierde meetseizoen laat voor Model 1 en 2 weinig verandering zien. De helling van $Nmin_{nitraat}$ is vrijwel gelijk gebleven en ook de constantes C_i veranderen niet veel. Hieruit blijkt dat Model 1 en 2 stabiele modellen zijn.

Voor model 3 veranderen de regressiecoëfficiënten weinig maar zijn de constantes wel zo'n 20 mg/l hoger. Model 3 is bij grasland het enige model met neerslagvariabelen erin. De gemiddelde neerslagsom in de zomer is ongeveer 450 mm en in de winter 440 mm. De helling voor de neerslagsom in de zomer wordt groter negatief hetgeen bij een gelijkblijvende neerslagsom een daling van de constante laat zien $((0.13-0.10)*450=13.5$ mg/l). De helling voor de neerslagsom in de winter daalt van 0.22 naar 0.20 wat ook een daling van de constante geeft $(0.02*440=8.8$ mg/l). Het feit dat de constantes van model 3 na vier meetseizoenen 20 mg/l lager liggen blijkt toch het gevolg van veranderingen in de effecten van de neerslagsommen, ook al leken deze effecten in eerste instantie klein. De voorspelling van de nitraatconcentratie verandert uiteindelijk nauwelijks.

In model 4 veranderen de regressiecoëfficiënten en in mindere mate de constantes. De helling van $Nmin_{nitraat}$ daalt van 0.57 naar 0.51 terwijl het effect van scheuren groter wordt. In het vierde meetseizoen blijken 10 van de 73 proefplekken gescheurd te zijn. Dit is een veel groter aandeel dan in de seizoenen daarvoor (met resp. 15, 5 en 0 proefplekken met gescheurd grasland). De nitraatconcentratie van de proefplekken met gescheurd grasland in het vierde meetseizoen is bovendien heel hoog. Dit

verklaart het grotere effect van scheuren in model 4. Door het grotere effect van scheuren neemt het effect van $Nmin_{\text{nitraat}}$ iets af.

In model 4 speelt de GHG geen rol bij Gt-groep 1 en 2. De constante bij Gt-groep 3 is gegeven bij een GHG van 80 cm-maaiveld, de minst diepe GHG binnen deze Gt-groep. De helling voor de GHG van Gt-groep 3 is kleiner geworden bij de fit op basis van vier meetseizoenen. Op het totale bereik (80-180 cm) valt het effect op de voorspelde nitraatconcentratie mee.

Hack-ten Broeke *et al.* (2004) merkten al op dat met Model 3 5% meer van de variatie wordt verklaard dan met Model 1, maar dat de standaardfout van de modellen vrijwel gelijk is. Dit betekent dat een voorspelling op basis van het derde model niet nauwkeuriger is dan een voorspelling op basis van het eerste model, dat minder complex is. Bovendien blijkt nu dat een eenvoudig model het meest stabiel is.

5.3.2 Maïs, de beste regressiemodellen

Data

In het vierde meetseizoen zijn er geen proefplekken met maïs die een extreem hoge nitraatconcentratie en/of $Nmin$ -meting hadden. Conform de procedure bij gras zijn proefplekken op kleigrond of met een veenlaagje uitgesloten van de analyse. Het aantal proefplekken op lössgrond is het te beperkt om er nauwkeurig effecten mee te schatten. Evenals bij grasland doen deze proefplekken niet mee in de analyse. Er blijven 204 proefplekken over die als volgt zijn verdeeld over de seizoenen: 46 voor meetjaar 2000-2001, 68 voor 2001-2002, 60 voor 2002-2003 en 30 voor 2003-2004.

Modellen

Uit de analyse op basis van drie meetseizoenen zijn vier regressiemodellen naar voren gekomen. Alle modellen hebben als verklarende variabelen in het model : Gt-groep, Bodemgroep en $Nmin_{\text{nitraat}}$. De modellen hebben een verschillende constante C_i per bodem-Gt-combinatie.

Deze constanten zijn berekend op basis van vijf regressiecoëfficiënten (te weten een constante, twee voor Gt-groep en twee voor bodemgroep). De modellen zien er als volgt uit :

$$\text{Model 1 : Nitraat} = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}}$$

$$\text{Model 2 : Nitraat} = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}} + b \times \text{Neerslagoverschot2}$$

$$\text{Model 3 : Nitraat} = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}} + b \times \text{Neerslagoverschot2} + d \times \text{GHG} \times (\text{Gt-groep}=3) + e_j \times \text{Voorvrucht}$$

$$\text{Model 4 : Nitraat} = C_i + a \times Nmin_{\text{nitraat}} + b \times \text{Neerslagsom2} + f \times N_NH_4$$

waarbij :

C_i = de constante per bodem-Gt-combinatie (zie tabel 4.8);
 a, b, d en f = te schatten regressiecoëfficiënten;
 e_j = te schatten regressiecoëfficiënt voor de verschillende voorvruchten (e_g =gras, e_b =gewasgroep 'b', e_r =gewasgroep 'r');
Nitraat = nitraatconcentratie van het grondwater in het voorjaar (mg/l);
 $Nmin_{nitraat}$ = nitraatdeel van $Nmin$ gemeten in de bodem in het najaar (oktober-december) voor de laag 0-90 cm (kg N/ha);
Neerslagoverschot2 = Neerslagoverschot in de winterperiode (mm), 1 oktober-1 april;
GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand; speelt alleen een rol bij Gt-groep 3;
Voorvrucht = effect op de nitraatconcentratie door andere voorvrucht dan maïs;
Neerslagsom2 = Neerslagsom in de winterperiode (mm), 1 oktober -1 april;
 N_NH_4 = 'hot KCl' extraheerbaar ammonium (mg N per kg), een indicator voor N-mineralisatie.

Tabel 5.4 Schatting van de regressiecoëfficiënten a t/m f met standaardfout (se), het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout (Sd , mg/l) van modellen 1 t/m 4 voor maïs, en het aantal data waarop de modellen zijn gebaseerd, gebaseerd op drie meetseizoenen

Model	1		2		3		4	
	drie	vier	drie	vier	drie	vier	drie	vier
a	0.76	0.75	0.87	0.80	0.70	0.66	0.73	0.80
b			0.25	0.16	0.30	0.21	0.24	0.37
d					0.75	0.68		
e_{gras}					30.8	29.6		
e_b					36.0	36.5		
e_r					-19.5	-20.2		
f							1.16	2.44
R^2_{adj}	22 %	25 %	24 %	26 %	26 %	28 %	22 %	27 %
Sd	65.6	65.7	65.0	65.5	62.4	61.1	63.1	60.9
aantal data	174	204	174	204	157	181	187	160

In tabel 5.4 worden per model de parameterschattingen gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (Sd) waarbij in het ene geval alleen de gegevens van de eerste drie meetseizoenen zijn gebruikt en in het andere geval de gegevens van vier meetseizoenen. De constanten C_i staan in Hackten Broeke *et al.* (2004) voor de analyse op basis van drie meetseizoenen en in bijlage 3 voor de fit op basis van vier meetseizoenen.

Het meenemen van de data uit het vierde meetseizoen laat voor Model 1 weinig verandering zien. De helling van $Nmin_{nitraat}$ is gelijk gebleven en ook de constantes C_i zijn vrijwel gelijk gebleven. Hieruit blijkt dat Model 1 ook voor maïs een stabiel model is.

Bij Model 2 daalt de helling van $Nmin_{nitraat}$ van 0.87 naar 0.80 zodat de helling beter overeenkomt met de helling van Model 1. Ook de helling van het neerslagoverschot in de winterperiode daalt waarmee een groot overschot nog steeds leidt tot een stijging van de nitraatconcentratie maar veel minder sterk. Het effect daarvan is een sterke daling van de constantes zodat de voorspelde nitraatconcentratie bij een gelijk neerslagoverschot uiteindelijk vrijwel gelijk blijft.

Hetzelfde effect speelt bij Model 3. Ook daar liggen de constantes veel lager maar wordt dit effect in de voorspelling teniet gedaan door de lagere helling van het neerslagoverschot in de winter. De overige regressiecoëfficiënten veranderen weinig.

Voor Model 4 heeft het meenemen van het vierde meetseizoen een groot effect. De regressiecoëfficiënten veranderen allemaal en ook een andere kant op dan bij Model 2. De helling van zowel $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ als het neerslagoverschot in de winter stijgt nu. Dit kan alleen maar komen door een verandering van het effect van N_{NH_4} wat zeer onverwacht is. Het gevolg is dat de constantes C_i sterk zijn gedaald zodat het effect op de voorspelling van de nitraatconcentratie uiteindelijk mee valt. Toch is dit model duidelijk niet stabiel en daarmee niet bruikbaar in de praktijk.

6 Conclusies

Op basis van eerdere metingen op proefplekniveau werd verwacht dat de variatie binnen clusters zou afnemen als er meerdere monsters zouden worden gemengd. Uit de bedrijfsbemonstering, waar gemiddeld drie steken per mengmonsters zijn samengevoegd, is gebleken dat de variatie tussen mengmonsters binnen een cluster nog steeds groot is.

De resultaten van de toetsing op proefplekniveau komen grotendeels overeen met de toetsing op basis van drie meetseizoenen.

Voor de akkerbouw vallen de metingen op de proefplekken in het vierde meetseizoen grotendeels binnen de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de voorspelling, wanneer die voorspelling gebaseerd is op Model 1 en de gemeten $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$. Bovendien is er geen sprake van een systematische onder- of overschatting van nitraatconcentraties.

De gemeten nitraatconcentraties in het vierde meetseizoen op proefplekken met gras of maïs vallen grotendeels binnen de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de voorspelling, wanneer die voorspelling is gebaseerd op Model 1 en de gemeten $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$. Voor gras geldt dat de voorspelde nitraatconcentratie gemiddeld 12.6 mg/l te laag wordt voorspeld, voor maïs is de onderschatting 20 mg/l.

Op bedrijfsniveau zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de voorspelling aanzienlijk smaller dan die op proefplekniveau. Van de zes melkveehouderijbedrijven ligt de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie voor vijf bedrijven in het betrouwbaarheidsinterval rond de voorspelde nitraatconcentratie. Voorspellingen op basis van Model 1 leiden niet tot een overschatting van de nitraatconcentraties. Voor de akkerbouwbedrijven geldt dat nitraatconcentraties niet goed worden voorspeld; hoge nitraatconcentraties worden onderschat en zeer lage nitraatconcentraties worden overschat.

Voor akkerbouw, gras en maïs zijn resultaten tussen de toets op regioniveau (zie Hack-ten Broeke *et al.*, 2004) en de toets na vier meetseizoenen op proefplekniveau zeer vergelijkbaar. Echter, zowel voor akkerbouw als maïs geldt dat de onderschatting van de nitraatconcentratie is in het vierde meetjaar een stuk kleiner is dan bij de toetsing op basis van de regioproefplekken.

Voor de fit van Model 1 voor akkerbouw, gras en maïs blijkt dat het meenemen van data uit het vierde meetseizoen weinig verandering laat zien. De helling van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ is gelijk gebleven en ook de constanten zijn nagenoeg onveranderd. Hieruit blijkt dat Model 1 een stabiel model is. Modellen met meerdere verklarende variabelen zijn minder stabiel en bovendien moeilijker bruikbaar in de praktijk. Voor gras is Model 2 ook stabiel.

Literatuur

Berge, H.F.M. ten en M.J.D. Hack-ten Broeke, 2004. *Eindrapportage van de milieuresultaten behaald in de Nitraatprojecten. Deel I Synthese en conclusies*. Wageningen, Plant Research International. Rapport 75A.

Hack-ten Broeke, M.J.D., S.L.G.E. Burgers, A. Smit, H.F.M. ten Berge, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving, M. Knotters, S. Radersma, G.L. Velthof (2004) Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat; Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003). Wageningen, Alterra. Rapport 1053. Reeks Sturen Op Nitraat ??

Milieu- en Natuurplanbureau, Alterra, 2004. *Mineralen beter geregeld: evaluatie van de werking van de Meststoffenwet 1998-2003*. Bilthoven, RIVM, Rapport 500031001.

Noij, Gert-Jan, Eric Hees, Peter Dekker, René Schils, Jaap Schröder en Hein ten Berge, 2001. *Onderzoeksvoorstel*. Wageningen, Reeks Sturen Op Nitraat 1.

Smit, A., M.J.D. Hack-ten Broeke, H.F.M. ten Berge, S.L.G.E. Burgers, W. Chardon, P.L.A. van Enkevort, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving en G.L. Velthof, 2003. *Gegevensverzameling Sturen Op Nitraat; op zoek naar een indicator*. Wageningen, Alterra. Rapport 658. Reeks Sturen Op Nitraat 3.

Zwart, K.B. Denitrificatie in de bouwvoor en de ondergrond. Resultaten van metingen in 13 profielen tot 2 m diep. Alterra-rapport 724.

Bijlage 1 Overzicht aantallen proefplekken per cluster

Overzicht van het aantal proefplekken per bodem-Gt-gewas-combinatie in het vierde meetseizoen.

Bodem	gewasgroep Gt-groep	a	b	g	m	r	t
L	1	0	0	1	0	0	0
	2	0	0	3	0	1	0
	3	1	0	8	5	4	0
Z1	1	1	0	3	1	0	0
	2	0	0	11	0	2	0
	3	1	1	10	5	3	1
Z2	1	0	1	6	2	1	0
	2	0	0	15	5	0	3
	3	13	4	11	3	5	0
Z3	1	0	0	0	1	1	1
	2	1	0	17	9	0	1
	3	1	6	11	5	9	3

Bijlage 2 Aanvullende gegevens proefplekken op akkerbouw

Gegevens vierde meetseizoen van proefplekken met een akkerbouwgewas die niet in de figuur staan.

Gt!	bodem!	gewas!	Gemeten Nitraat	Voorspelde nitraat	Gemeten Nminnitr
1	Z2	b	122.52	11.57	16.84
1	Z2	r	0.23	85.21	123.97
1	Z3	T	204.98	182.23	174.31
2	Z1	R	12.51	41.22	20.09
2	Z2	T	181.21	210.08	139.02
2	Z2	T	231.76	234.70	174.84
2	Z2	T	162	183.20	99.93
2	Z3	A	12.41	161.68	171.95
2	Z3	T	217	175.56	95.08
3	Z1	A	215.67	148.6	154.42
3	Z1	B	198.27	87.89	66.02
3	Z1	R	93.37	106.25	92.72
3	Z1	T	241.59	284.86	255.48
3	Z3	T	304.29	257.60	192.46
3	Z3	T	145.97	225.60	145.91
3	Z3	T	204.19	141.44	23.49
3	L	r	27.32	42.6	20.50
3	L	r	57.05	83.8	80.35
3	L	a	36.28	89.5	88.70
3	L	r	18.13	66.0	54.44
3	L	r	13.92	62.1	48.85

Gegevens vierde meetseizoen van proefplekken met gras die niet in de figuur staan.

vierGt!	vierbodem!	viergewas!	vierNitraat	predgrasm1	vierNminnitr
1	Z2	g	119.26	124.97	180.72
1	Z2	g	1.07	14.81	10.14
1	Z2	g	127.05	23.50	23.60
1	Z2	g	85.1	32.93	38.21
1	Z2	g	15.54	28.93	32.02

Gegevens vierde meetseizoen van proefplekken met mais die niet in de figuur staan.

vierGt!	vierbodem!	viergewas!	vierNitraat	predmaism1	vierNminnitr
1	Z1	m	70.02	84.03	78.47
1	Z2	m	314.42	93.99	93.08
1	Z2	m	0.19	95.60	95.19
2	Z2	m	0.01	31.36	14.09
2	Z2	m	125.29	199.49	234.09
2	Z2	m	2.14	88.29	88.58
2	Z2	m	200.27	109.90	116.86
2	Z2	m	193.06	80.52	78.42
3	Z1	m	125.45	105.68	51.56
3	Z1	m	212.04	176.90	144.74
3	Z1	m	270.52	156.52	118.07
3	Z1	m	141.95	136.61	92.02
3	Z1	m	227.81	156.35	117.85
3	Z2	m	144.45	128.78	83.37
3	Z2	m	85.49	93.93	37.76
3	Z2	m	114.96	87.25	29.02
3	Z3	m	87.3	137.68	102.17
3	Z3	m	126.73	88.46	37.76
3	Z3	m	155.63	93.55	44.42
3	Z3	m	132.23	96.45	48.21
3	Z3	m	97.21	155.94	126.06

Met grijs/geel is aangegeven welke gemeten nitraatconcentratie buiten het betrouwbaarheids-interval van de voorspelling valt.

Bijlage 3 C_i voor de analyse op basis van vier seizoenen

De constanten C_i voor de fit op basis van vier seizoenen staan in onderstaande tabellen, voor de analyse op basis van drie seizoenen verwijzen we naar Hack et al (2004).

Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-gewasgroep combinatie van model 1, 2 en 3 voor akkerbouw, op basis van gegevens van vier meetseizoenen

Model	Gewas Gt-groep Bodem	$a+b+r$			t		
		1	2	3	1	2	3
1	Löss	-	-	24.6	-	-	-
	Z1	-	28.3	45.1	-	95.5	112.4
	Z2	2.0	48.4	65.3	69.2	115.7	-
	Z3	-6.2	40.3	57.1	61.0	107.5	124.4
2	Löss	-	-	-37.7	-	-	-
	Z1	-	-28.2	-13.9	-	38.9	53.3
	Z2	-57.8	-10.1	4.3	9.3	57.1	-
	Z3	-64.0	-16.3	-1.9	3.2	50.9	65.3
3	Löss	-	-	9.4	-	-	-
	Z1	-	38.1	58.6	-	25.8	46.3
	Z2	14.9	60.8	81.2	2.5	48.4	-
	Z3	9.2	55.0	75.5	-3.2	42.7	63.2

Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-combinatie van model 1 t/m 4 voor grasland, gebaseerd op vier meetseizoenen

Gt-groep Bodem	Model 1			Model 2		
	1	2	3	1	2	3
Z1	-	39.9	40.1	-	120.5	120.0
Z2	10.4	25.7	25.9	93.9	110.6	110.1
Z3	20.8	36.1	36.3	101.3	118.1	117.5
	Model 3			Model 4		
Z1	-	89.7	91.4	-	41.6	26.3
Z2	64.8	77.2	79.0	12.2	26.6	11.3
Z3	77.0	89.4	91.2	26.0	40.4	25.1

In het rapport met Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (Hack-ten Broeke et al., 2004) staan voor model 4 per ongeluk de constantes die horen bij proefplekken die wel gescheurd zijn. In onderstaande tabel zijn de juiste (niet gescheurd) constantes gegeven voor model 4 op basis van meetgegevens van drie meetseizoenen.

constantes voor model 4 op basis van meetgegevens van drie meetseizoenen

Model 4	Gt 1	2	3
Z1	-	31.0	20.0
Z2	9.8	23.9	12.8
Z3	20.1	34.2	23.2

Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-combinatie van model 1 t/m 4 voor maïs, gebaseerd op vier meetseizoenen

Model	1			2		
	1	2	3	1	2	3
Bodem						
Z1	32.9	30.8	76.5	-30.2	-32.5	11.1
Z2	26.2	24.1	69.8	-40.4	-42.8	0.9
Z3	18.6	16.5	62.2	-44.6	-47.0	-3.3

Model	3			4		
	Z1	-49.3	-57.7	-44.5	-119.7	-124.1
Z2	-54.2	-62.6	-49.3	-98.2	-102.6	-61.5
Z3	-59.9	-68.3	-55.1	-100.3	-104.7	-63.6