

Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat

Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat

Gegevens en regressieanalyse op basis van drie meetseizoenen (2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003)

M.J.D. Hack-ten Broeke

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

**Alterra-rapport 1053
Reeks Sturen Op Nitraat 12**

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

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 en 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, Alterra-rapport 1053. Sturen op Nitraat 12. 117 blz. 14 fig.; 49 tab.; 26 ref.

In het project 'Sturen op Nitraat' wordt gezocht naar indicatoren waarmee de nitraatconcentratie in het grondwater kan worden voorspeld. Uit een analyse van de meetresultaten van drie meetseizoenen (2000/2001, 2001/2002 en 2002/2003) blijkt dat de nitraatconcentratie het best kan worden voorspeld uit het nitraatgedeelte van de hoeveelheid Nmineraal die zich in het najaar in de bovenste 90 cm van de bodem bevindt, en een clusterindeling die is gebaseerd op een combinatie van bodemsoort, grondwatertrap en gewas. Het verdient aanbeveling te onderzoeken of het nitraatdeel van Nmineraal bruikbaar is voor sturing op bedrijfsniveau (beïnvloedbaarheid), of voor monitoring van effecten van maatregelen (doelgerichtheid en meetbaarheid).

Trefwoorden: Nmineraal, nitraatconcentratie, N-overschot, Minas, grondwatertrap, Gt

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €22,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1053. 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	15
1.1 Achtergrond	15
1.2 Projectdoelstelling	16
1.3 Werkwijze en verantwoording	16
1.4 Indeling van het rapport	18
2 Gebruikte gegevens	21
2.1 Gegevensverzameling	21
2.1.1 Indeling naar grondsoort, grondwatertrap en gewas	21
2.1.2 Ontwikkelbedrijven 2000-2003	22
2.1.3 Nmin-metingen in de tijd (2000 en 2001)	25
2.1.4 Extra bemonstering perceels- en bedrijfsniveau seizoen 2002/2003	25
2.1.5 Regionale monitoring 2001-2003	26
2.1.6 Toetsbedrijven seizoen 2002/2003	29
2.2 Beschikbare gegevens	30
2.2.1 Gegevens voor de ontwikkeling van de indicator op plekniveau	30
2.2.2 Beschikbare gegevens op perceel- en bedrijfsniveau	38
2.2.3 Gegevens voor de toetsing op plekniveau (regionale monitoring)	40
2.2.4 Beschikbare gegevens van de toetsbedrijven	41
3 Statistische methoden en technieken	45
3.1 Aspecten met betrekking tot de data	45
3.2 Regressie: aannames en gebruikte technieken	46
3.2.1 Modelgebaseerde of ontwerpgebaseerde regressieanalyse	46
3.2.2 Onderscheid naar de verschillende bronnen van variatie	47
3.2.3 Gebruikte selectiemethoden	48
3.2.4 Variatie en/of meetfouten in de meting van Nmin	49
3.2.5 Transformatie van de nitraatconcentratie	49
3.3 Procesmodel	50
4 Resultaten van de statistische analyse op basis van drie meetseizoenen	53
4.1 Inleiding	53
4.2 Akkerbouw	53
4.2.1 De beste regressiemodellen	53
4.2.2 Effect van andere variabelen	59
4.3 Veehouderij	63
4.3.1 Gras, de beste regressiemodellen	63
4.3.2 Effect van andere variabelen	67
4.3.3 Maïs, de beste regressiemodellen	70
4.3.4 Effect van andere variabelen	74

4.4	Toepassing van het procesmodel	77
4.5	Perceels- en bedrijfsinformatie	78
4.5.1	Analysegegevens van intensief bemonsterde percelen	78
4.5.2	Analyse bedrijfsgegevens	80
4.6	Nmin-verloop in de tijd en met de diepte	82
4.7	Gemiddelde per proefplek over de drie meetseizoenen	87
4.8	Proefplekken met veenlaagjes en lössgronden	88
5	Opschaling van proefplek naar bedrijf	91
5.1	Inleiding	91
5.2	Voorspelling van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie	91
5.3	De nauwkeurigheid van voorspellingen van bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties	94
5.4	Berekening van de voorspelling en de nauwkeurigheid van een cluster- en een bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie	95
5.4.1	Akkerbouw	96
5.4.2	Veehouderij	98
6	Resultaten toetsing	103
6.1	Proefplekniveau	103
6.1.1	Akkerbouw	103
6.1.2	Veehouderij	104
6.2	Bedrijfsniveau	106
7	Conclusies en aanbevelingen	111
	Literatuur	113
	Bijlage 1	117

Woord vooraf

De serie 'Sturen op Nitraat' bundelt de onderzoeksresultaten die zijn behaald in het kader van het gelijknamig 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, ten behoeve van zowel monitoring doeleinden als voor 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 is opgedeeld in 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, deelprojectleider)
Idse Hoving (PV, melkveehouderij)
Martin Knotters (Alterra, redactie)
Simone Radersma (PPO, akkerbouw)
Annemieke Smit (Alterra, 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, Ivonne Kok 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. Het onderzoek is verricht in drie meetseizoenen: 2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003. Dit eindrapport doet verslag van de zoektocht naar geschikte indicatoren. Het rapport richt zich op

- a) ontwikkeling van een of meerdere indicatoren die geschikt zijn voor aanvullend stikstofbeleid, management op bedrijfsniveau, gebiedsgericht beheer en monitoring van gebiedsgericht beleid;
- b) toetsing van de indicatoren op onafhankelijke praktijkbedrijven en in een regionaal nitraatexperiment aan de criteria doelgerichtheid, meetbaarheid en beïnvloedbaarheid.

Gebruikte gegevens

Indicatoren zijn geselecteerd met behulp van regressieanalyse, op basis van de gegevens van 34 ontwikkelbedrijven, verspreid over de Nederlandse zand- en lössgronden. Op deze bedrijven zijn in het eerste meetseizoen in totaal 478 proefplekken geloot volgens een gestratificeerde aselecte steekproef. De stratificatie is gebaseerd op een indeling in grondsoorten, grondwatertrappen en gewassen. Op de proefplekken zijn in het najaar van 2000, 2001 en 2002 bodemmonsters genomen, waarin gehalte minerale stikstof (N_{min}) is bepaald, dat zowel op NO₃ als NH₄ betrekking heeft. Om de nitraatconcentratie van het grondwater te bepalen werden grondwater- of bodemvochtmonsters genomen in het voorjaar van 2001, 2002 en 2003. Grondwatermonsters van de bovenste 80 cm grondwater werden genomen als de grondwaterstand ondieper dan 150 cm-maaiveld was; bevond het grondwater zich dieper, dan werd het bodemvocht tussen 120 en 180 cm bemonsterd.

Naast N_{min} in de bodem en nitraatconcentraties in grondwater of bodemvocht werden de kandidaat-indicatoren perceeloverschot, MINAS-overschot en bedrijfsoverschot geïnventariseerd. Verder werden diverse andere mogelijke verklarende variabelen geïnventariseerd, die betrekking hebben op bodem, weer en bemesting.

Aanvullend op de bovenstaande inventarisatie werden op de proefplekken de volgende gegevens verzameld:

- N_{min}-metingen in de tijd: oktober/november, december/januari en februari 2000 en 2001, op 50 % van de proefplekken, met als doel het effect van tijdstip van N_{min}-bemonstering te toetsen;
- Extra bemonstering op perceelsniveau in 2002/2003, met als doel de bruikbaarheid van indicatoren op perceelsniveau te evalueren. Op 23 van de 24 ontwikkelbedrijven werden in het totaal 37 percelen geloot, die intensief bemonsterd werden;

- Extra bemonstering op bedrijfsniveau in 2002/2003, met als doel de indicatoren op bedrijfsniveau, met name bedrijfs- en MINAS-overschot, en de bedrijfsgemiddelde concentratie te toetsen;
- Bemonstering op 18 onafhankelijke toetsbedrijven, met als doel te toetsen hoe goed de nitraatconcentraties met de ontwikkelde indicator zijn voorspeld.

Statistische methoden en technieken

Met behulp van regressieanalyse is de relatie onderzocht tussen kandidaat-indicatoren (predictorvariabelen) en de nitraatconcentratie in grondwater of bodemvocht (responsvariabele). Hiervoor werden de gegevens van de drie meetseizoenen gebruikt, waarbij werd verondersteld dat er tussen de drie seizoenen geen afhankelijkheid in de metingen bestaat.

Bij de modelselectie wordt de *goodness of fit* afgewogen tegen de complexiteit (aantal verklarende termen). In dit onderzoek vindt selectie plaats op basis van het percentage verklaarde variantie, *Mallows' Cp*-criterium, significantie van parameters en het voldoende ongecorrleerd zijn van verklarende variabelen.

Er is gecontroleerd op hefboomwerking of *high leverage* van waarnemingen (onevenredig grote invloed op het regressiemodel). Verder is gecontroleerd of er mogelijk een niet-lineair verband is tussen nitraatconcentratie en neerslagsom of neerslagoverschot. Ten slotte is gecontroleerd of interacties met de bodem- en/of de Gt-groep significant zijn. Uitsluitend significante interactietermen zijn in het model opgenomen. Met meetfouten in N_{min} is bij de regressieanalyse geen rekening gehouden, omdat bleek dat deze geen invloed van betekenis hebben op het model. Omdat log- of worteltransformatie van de nitraatconcentratie (responsvariabele) niet tot betere modellen bleek te leiden, zijn de analyses uitgevoerd met ongeïntegreerde nitraatconcentraties.

Onderzocht is of de regressiemodellen konden worden verbeterd door gebruik te maken van deterministisch-fysische proceskennis. Hierbij is het proces van nitraatuitspoeling geschematiseerd tot een niet-lineair regressiemodel met een additieve restterm.

Resultaten van de statistische analyse op basis van drie meetseizoenen

De analyses werden voor akkerbouw en veehouderij afzonderlijk uitgevoerd. Bij veehouderij is bovendien onderscheid gemaakt tussen gras en maïs. De analyses werden uitgevoerd voor de zandgronden; gronden met veenlaagjes en grasland of maïs op lössgronden werden afzonderlijk geanalyseerd.

Voor ***akkerbouw*** werden drie lineaire modellen voor de voorspelling van de nitraatconcentratie in het grondwater geselecteerd. Model 1 bevat bodemgroep, Gt-groep, gewasgroep en het nitraatdeel van N_{min} , $N_{min, nitraat}$ als verklarende variabelen. Model 2 bevat bovendien het neerslagoverschot in de zomerperiode (1 april - 1 oktober) en de winterperiode (1 oktober - 1 april) als verklarende variabelen en model 3 bevat daarnaast ook de C/N-verhouding voor de bouwvoor en de som van kunstmest en totale dierlijke mestgift als verklarende variabelen. De percentages

verklaarde variantie zijn voor model 1, 2 en 3 resp. 36 %, 43 % en 47 %, terwijl de standaardfout van de modellen resp. 59.6 mg/l, 56.5 mg/l en 54.4 mg/l bedraagt. De modellen konden niet worden verbeterd door interactietermen op te nemen. Het toevoegen van andere variabelen leverde ook geen modellen op die nauwkeuriger zijn of beter voldoen aan de projectdoelstellingen.

Voor **grasland** werden vier lineaire regressiemodellen geselecteerd. Model 1 bevat bodemgroep, Gt-groep en $N_{min_{nitraat}}$ als verklarende variabelen. Model 2 bevat bovendien de C/N-verhouding voor de bouwvoor en de potentiële mineralisatie als verklarende variabele en model 3 daarnaast ook de neerslagsom in de zomerperiode en in de winterperiode. Model 4 bevat ten opzichte van model 1 de GHG (alleen bij Gt-groep 3) en het effect van het scheuren van grasland als extra verklarende variabelen. De percentages verklaarde variantie voor model 1, 2, 3 en 4 bedragen resp. 21 %, 23 %, 25 % en 26 %, terwijl de standaardfout van de modellen resp. 49.8 mg/l, 50.1 mg/l, 49.5 mg/l en 48.2 mg/l bedraagt. Evenals bij akkerbouw levert het opnemen van interactietermen of alternatieve verklarende variabelen geen betere modellen op.

Voor **maïs** werden vier lineaire modellen geselecteerd. Model 1 bevat bodemgroep, Gt-groep en $N_{min_{nitraat}}$ als verklarende variabelen. Model 2 bevat bovendien het neerslagoverschot in de winterperiode, terwijl model 3 daarnaast ook de GHG (alleen bij Gt-groep 3) en het effect van voorvrucht bevat. Model 4 heeft t.o.v. model 1 als extra verklarende variabelen de neerslagsom in de winterperiode en het 'hot-KCl' extraheerbaar ammonium. De percentages verklaarde variantie bedragen resp. 22 %, 24 %, 26 % en 27 %, terwijl de standaardfout van de modellen resp. 65.6 mg/l, 65.0 mg/l, 62.4 mg/l en 60.9 mg/l is. Evenals bij akkerbouw en grasland levert het opnemen van interactietermen of alternatieve verklarende variabelen geen betere modellen op.

Op basis van **deterministisch-fysische proceskennis** is een niet-lineair regressiemodel met een additieve restterm afgeleid. Het bleek niet goed mogelijk om dit model te kalibreren op de waarnemingen, mogelijk door gebreken in de schematisatie, de modelveronderstellingen en de gebruikte submodellen voor de reductiefactoren voor de potentiële denitrificatie.

In het najaar van 2002 en het voorjaar van 2003 zijn 37 percelen intensief bemonsterd voor resp. N_{min} -meting en de meting van de nitraatconcentratie. De resultaten van de analyses op **perceelsniveau** komen redelijk goed overeen met de resultaten die hierboven zijn gegeven voor proefplekniveau. Op perceelsniveau blijkt er geen duidelijk verband te zijn tussen de nitraatconcentratie en de mestgift of het perceeloverschot.

In het meetseizoen 2002-2003 is een bemonstering op **bedrijfsniveau** uitgevoerd om een betere schatting te krijgen van bedrijfsgemiddelde N_{min} en nitraatconcentraties. Op bedrijfsniveau blijkt er geen goede relatie te zijn tussen de nitraatconcentratie en het MINAS-overschot of het werkelijke bedrijfsoverschot. Ook is er geen duidelijk verband met de neerslagsom. Op bedrijfsniveau wordt een relatie tussen de

nitraatconcentratie en $N_{min_{nitraat}}$ gevonden die overeenstemt met de relatie op proefplekniveau.

N_{min} is gemeten in drie lagen: 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm. Op een deel van de proefplekken is N_{min} bovendien gemeten op drie tijdstippen in de periode oktober-december, december-januari en de periode na 15 januari, in zowel 2000/2001 als 2001/2002. Dit betekent dat voor deze proefplekken per meetseizoen negen N_{min} -metingen beschikbaar zijn, nl. op drie diepten en drie tijdstippen. Per laag is het **verloop van N_{min} in de tijd** beschreven. Het blijkt dat de helling van dit tijdsverloop sterk varieert; naast afname werd ook toename van N_{min} in de winterperiode geconstateerd. Ondanks de grote variatie is er een significant, negatief verband gevonden tussen het tijdsverloop van N_{min} in de laag 0-30 cm en de nitraatconcentratie: hogere nitraatconcentraties naarmate N_{min} afneemt in de tijd. Analooq aan het verloop in de tijd is het **verloop van N_{min} met de diepte** onderzocht. Hierbij blijkt een positieve relatie: de nitraatconcentratie is hoger op plekken waar N_{min} toeneemt met de diepte.

Naast analyses van de gegevens voor de drie meetseizoenen afzonderlijk, is het interessant om ook de **gemiddelden over de drie meetseizoenen** te analyseren en de resultaten hiervan te vergelijken met die voor de afzonderlijke drie meetseizoenen. Bij overeenkomstige modelstructuur blijkt dat de modellen die zijn gebaseerd op gemiddelden over drie meetseizoenen beter zijn in termen van percentage verklaarde variantie en standaardfout dan modellen die zijn gebaseerd op de gegevens voor de afzonderlijke drie meetseizoenen. Het model dat gebaseerd is op $N_{min_{nitraat}}$ in combinatie met bodem- en Gt-groep (model 1), zonder onderscheid naar gewas, heeft een percentage verklaarde variantie van 41 % en een standaardfout van 43 mg/l.

Voor proefplekken met **veenlaagjes** en grasland of maïs op **lössgronden** is de relatie tussen de nitraatconcentratie en indicatoren apart geanalyseerd. Over het algemeen is de nitraatconcentratie relatief laag op proefplekken met veenlaagjes. Het blijkt dat op plekken waar veenlaagjes voorkomen het verband tussen de nitraatconcentratie en $N_{min_{nitraat}}$ niet zo sterk meer is. Als alleen proefplekken met gras worden geanalyseerd is het effect van $N_{min_{nitraat}}$ zelfs niet meer significant. Zowel bij akkerbouw als bij grasland blijken de nitraatconcentraties voor lössgronden lager te zijn dan voor zandgronden.

Opschaling van proefplek naar bedrijf

De regressiemodellen voor de voorspelling van nitraatconcentratie in het grondwater zijn ontwikkeld op proefplekniveau. Om met de modellen bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties te kunnen voorspellen moeten zij worden opgeschaald naar bedrijfsniveau. Allereerst wordt er voor elk cluster (combinatie bodem-Gt-gewas bij akkerbouw of combinatie bodem-Gt bij gras en maïs) een gemiddelde nitraatconcentratie berekend. Vervolgens wordt de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie berekend door te wegen naar de oppervlaktefracties die de clusters binnen het bedrijf innemen. De nauwkeurigheid van de geschatte bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie hangt af van 1) de nauwkeurigheid waarmee de oppervlaktefractie van het cluster is

bepaald, en 2) de nauwkeurigheid van de clustergemiddelde nitraatconcentratie. Als $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ 30 kg/ha zou bedragen, en zou zijn bepaald op basis van 40 steken per cluster, dan varieert de clustergemiddelde nitraatconcentratie die voor akkerbouw op basis van model 1 is voorspeld van 0 tot ca. 150 mg/l. De standaardfout van de voorspellingen varieert van ca. 18 tot ca. 25 mg/l. Op analoge wijze worden voor gras clustergemiddelde nitraatconcentraties voorspeld tussen ca. 27 en 57 mg/l met standaardfouten tussen 18 en 20 mg/l. Voor maïs liggen in dit geval de voorspelde clustergemiddelde nitraatconcentraties tussen ca. 38 en 89 mg/l met standaardfouten van ca. 20 tot ca. 27 mg/l. De standaardfouten van de opgeschaalde modellen op bedrijfsniveau blijken aanzienlijk lager te zijn dan die van de modellen op proefplekniveau.

Resultaten toetsing

De voorspellingen van de nitraatconcentratie zijn getoetst op proefplek- en bedrijfsniveau. Bij de ***toetsing op proefplekniveau*** is gebruik gemaakt van proefplekgegevens uit een regionale studie die niet zijn gebruikt bij de ontwikkeling van de regressiemodellen en dus onafhankelijk zijn. Het blijkt dat de voorspelde nitraatconcentratie voor akkerbouw de werkelijke concentratie systematisch onderschat (25.3 mg/l en 6.8 mg/l te laag bij resp. model 1 en 2). De toevallige fouten zijn aanzienlijk (standaardafwijkingen van resp. 75.3 en 73.7 mg/l). Bij gras is de systematische onderschatting 8.7 mg/l bij lage concentraties en neemt de systematische onderschatting toe met het niveau van de voorspelling. Er treden aanzienlijke toevallige fouten op (standaardafwijking van de voorspelfout bedraagt 85.3 mg/l). De grootste systematische fouten treden op bij maïs: 65.8 en 74.1 mg/l bij lage nitraatconcentraties, voor resp. model 1 en 2. De standaardafwijkingen van de voorspelfout bedragen resp. 104 en 103 mg/l.

De ***toetsing op bedrijfsniveau*** is gebaseerd op de gegevens van 15 onafhankelijke bedrijven (12 melkveehouderij- en 3 akkerbouwbedrijven). Uit de toetsing blijkt dat de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau te laag voorspeld wordt; een gemeten concentratie van 50 mg/l wordt systematisch met ca. 15 mg/l onderschat. De standaardafwijking van de voorspelfout (toevallige fout) bedraagt 30 mg/l.

Conclusies en aanbevelingen

Een model met als verklarende variabelen het nitraatgedeelte van de hoeveelheid N_{mineraal} die zich in het najaar in de bovenste 90 cm van de bodem bevindt, en een clusterindeling naar bodem-, Gt- en gewasgroep blijkt het meest geschikt om nitraatconcentraties in het grondwater te voorspellen. De regressiemodellen kunnen niet worden verbeterd door deterministisch-fysische proceskennis te integreren in een niet-lineair model met een additieve restterm. De bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie blijkt aanzienlijk nauwkeuriger te kunnen worden voorspeld dan de nitraatconcentratie op proefplekniveau, hoewel uit toetsing blijkt dat de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie systematisch wordt onderschat. Onderzocht zou moeten worden hoe deze systematische fout kan worden gereduceerd. Het verdient aanbeveling te onderzoeken of $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ bruikbaar is voor sturing op bedrijfsniveau (beïnvloedbaarheid), of voor monitoring van effecten van maatregelen (doelgerichtheid en meetbaarheid).

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

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 werden gemeten, terwijl daar wel aan MINAS-normen werd voldaan. In plaats van MINAS-normen zal daarom 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.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de zoektocht naar een indicator om te sturen op nitraat. Er zijn intussen twee tussenrapporten hierover verschenen op basis van de gegevens van één meetseizoen (Hack-ten Broeke *et al.*, 2003) en op basis van twee meetseizoenen (Burgers *et al.*, 2004). Dit rapport is het eindrapport, gebaseerd op gegevens van drie meetseizoenen.

1.2 Projectdoelstelling

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.

Dit rapport richt zich vooral op

- a) de ontwikkeling van een of meerdere indicatoren voor nitraatuitspoeling die geschikt zijn als grondslag voor aanvullend beleid;
- b) de ontwikkeling van een indicator of indicatoren voor nitraatuitspoeling die geschikt kan zijn als grondslag voor management op bedrijfsniveau, en
- c) de toetsing van de indicator(en) op onafhankelijke praktijkbedrijven.

Deze oorspronkelijke, meervoudige doelstelling is in overleg met verschillende klankbordgroepen (beleid en praktijk) verbreed of juist aangescherpt, mede naar aanleiding van de tussenresultaten. Uitgangspunt bij doelstelling a) is de wens voor een indicator voor alle zand- en lössgronden. De ontwikkeling is dan ook gericht op zand- en lössgronden, met een indeling in bodemsoorten en grondwatertrappen. Met name de klankbordgroep 'beleid' miste daarbij de expliciete aandacht voor een indicator op perceels- en bedrijfsniveau. Daarom is in het derde meetjaar (2002/2003) een extra inspanning geleverd om een dergelijke indicator te vinden. Doelstelling c), toetsing, is nader gespecificeerd in 1) toetsing op puntniveau, waarbij gebruik is gemaakt van de regressiemodellen die zijn afgeleid uit proefplekgegevens, en 2) een toetsing op bedrijfsniveau. Dit rapport besteedt aandacht aan deze (sub-)doelstellingen.

De andere (sub-)doelstellingen van het project 'Sturen Op Nitraat' komen aan de orde in de rapportages van o.a. Roelsma *et al.* (2003), over het concept voor regionale monitoring van nitraat, en Hees *et al.* (2004), over het gebruik van N_{min} in de praktijk met aandacht voor zaken zoals uitvoerbaarheid, controleerbaarheid en handhaafbaarheid.

1.3 Werkwijze en verantwoording

Bij de indicatorontwikkeling, zoals beschreven in dit rapport, is gezocht naar verbanden tussen zogenaamde kandidaatindicatoren en de nitraatbelasting van het grondwater. Middels regressieanalyse is onderzocht of de gegevens zoals het N-bedrijfsoverschot, het N-perceeloverschot, MINAS-overschot, N-mineraalgehalten

in de bodem, weersgegevens en locatiespecifieke factoren zoals grondsoort, bodemkenmerken en grondwatertrap (Gt) kunnen worden gebruikt bij voorspelling van nitraatconcentraties. Deze nitraatconcentraties worden daarmee beschouwd als de meest directe maat om de stikstofbelasting te kwantificeren. Het N-mineraalgehalte heeft betrekking op zowel NH_4 als NO_3 ; in het vervolg wordt dit gehalte N_{min} genoemd.

Bij aanvang van het project is een exploratieve studie uitgevoerd om op basis van bestaand materiaal te achterhalen of er duidelijke aanwijzingen waren voor de bruikbaarheid van potentiële indicatoren (Ten Berge, 2002). Weliswaar konden er niet met zekerheid conclusies worden getrokken. Niettemin leek de hoeveelheid N_{min} die zich na de oogst in de bodem bevindt een goede kanshebber te zijn als indicator voor nitraatuitspoeling.

Verbanden zijn gezocht met behulp van statistische methoden en niet zozeer op basis van deterministisch-fysische kennis. Bij de opzet van gegevensverzameling is uiteraard wel gebruik gemaakt van bestaande kennis over o.a. bodemprocessen. Op basis daarvan zijn keuzes gemaakt over de te verzamelen informatie en over de steekproefopzet. In principe kan nitraatuitspoeling onder verschillende landbouwkundige omstandigheden goed worden gesimuleerd met deterministisch-fysische modellen (e.g. Kroes, 1993; Dijkstra *et al.*;1995; Hack-ten Broeke *et al.*,1996a; Kroes en Roelsma, 1998). Deterministisch-fysische modellen vereisen echter vaak veel detailinformatie. Bovendien resulteert zo'n studie meestal niet in een eenvoudige, praktische, rekenregel waarmee nitraatconcentraties voor alle zand- en lössgronden kunnen worden voorspeld. Juist omdat een 'indicator' een eenvoudig toepasbare voorspellingsmethode voor nitraatconcentraties voor het gehele pleistocene deel van Nederland moest opleveren, is gekozen voor lineaire regressie.

Aan het begin van het project 'Sturen Op Nitraat' bestonden er verschillende inzichten over de relatie tussen N_{min} in het najaar en de nitraatconcentratie in het grondwater. Verschillende studies gaven onduidelijke of zelfs slechte verbanden (e.g. Corré, 1994; Hack-ten Broeke *et al.*, 1996b), terwijl andere een redelijk tot goed verband tussen N_{min} en nitraat vonden (e.g. Goossensen en Meuwissen, 1990; Vellinga *et al.*, 1997; Hack-ten Broeke en Dijkstra, 1998). Mede daarom werd het van belang geacht om de relatie tussen N_{min} en nitraat nog eens grondig te bestuderen binnen 'Sturen Op Nitraat'.

'Sturen Op Nitraat' was één van de zogenaamde Nitraatprojecten, die waren bedoeld om te komen tot een beter milieuresultaat ten aanzien van nitraatuitspoeling binnen de Nederlandse landbouw. Meestal stond MINAS en het voldoen aan de MINAS-normen centraal en bij enkele projecten werden ook nitraatconcentraties in het grondwater gemeten (zie o.a. Ten Berge en Hack-ten Broeke, 2004). In bijna alle Nitraatprojecten waren ofwel verschillende maatregelen of juist het type management in relatie tot MINAS of andere milieuresultaten onderwerp van studie, terwijl dit bij 'Sturen Op Nitraat' nu juist niet het geval was. Bij de gegevensverzameling binnen 'Sturen Op Nitraat' is er daarom voor gezorgd dat niet alleen proefbedrijven en voorloperbedrijven, maar ook praktijkbedrijven deel moesten uitmaken van de te

bezoeken bedrijven, teneinde gegevens te verzamelen over de volle breedte van N-aanvoer (en N-gebruik), intensiteit en management. Het was immers de bedoeling dat de indicator breed kon worden toegepast.

Op 34 bedrijven, verspreid over zand- en lössgronden van Nederland, is op in totaal 478 proefplekken informatie verzameld voor de indicatorontwikkeling. 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).

1.4 Indeling van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de gegevens die aan het onderzoek ten grondslag liggen. Niet alleen de gegevensverzameling op 478 proefplekken op de zogenaamde 34 ontwikkelbedrijven (Smit *et al.*, 2003) wordt beschreven, maar ook de extra verzamelde informatie voor een nadere analyse op perceels- en bedrijfsniveau. Naast deze gegevens voor de ontwikkeling van indicatoren, waren er ook gegevens nodig voor toetsing. Deze gegevens worden eveneens beschreven in hoofdstuk 2. Voor de toetsing op proefplekniveau zijn gegevens gebruikt uit het regionale monitoring-deelproject van Sturen Op Nitraat (Roelsma *et al.*, 2004) en voor de toetsing op bedrijfsniveau zijn gegevens verzameld op zogenaamde toetsbedrijven. Zowel de werkwijze voor de gegevensverzameling als de uiteindelijk beschikbare gegevens voor de analyses en toetsing komen aan bod.

Hoofdstuk 3 gaat uitgebreid in op de toegepaste statistische methoden voor de ontwikkeling van de indicator (regressieanalyse) en de toetsing. De resultaten van de regressieanalyses na twee meetseizoenen bestonden uit regressiemodellen met verklaarde varianties tot maximaal 48 % voor akkerbouw en tot ca. 20 % voor melkveehouderij. Er is onderzocht of de gemeten nitraatconcentraties beter zouden kunnen worden verklaard wanneer vereenvoudigde deterministisch-fysische kennis voor de beschrijving van bodemprocessen in de winterperiode (mineralisatie, denitrificatie en transport) zou worden benut. Deze werkwijze, 'conceptueel model' genoemd, is ook beschreven in hoofdstuk 3. De indicator (of indicatoren) zullen uiteindelijk niet worden toegepast op puntniveau of proefplekniveau, maar op bedrijfsniveau of regionaal niveau. De toepassing op regionaal niveau is beschreven door Roelsma *et al.* (2004), terwijl over de toepassing op bedrijfsniveau in hoofdstuk 5 van dit rapport is beschreven. De methode van opschaling naar bedrijfsniveau is gegeven in hoofdstuk 3.

Het vierde hoofdstuk beschrijft de resultaten van de regressieanalyse en levert daarmee 'de indicator' op. Niet alleen de uitkomsten van de analyse van de proefplekgegevens komen aan bod, maar ook de analyse van de extra verzamelde gegevens op perceels- en bedrijfsniveau. Hoofdstuk 4 toont ook de resultaten van de toepassing van het conceptueel model als onderdeel van de regressieanalyse op

plekniveau. Tenslotte wordt ook ingegaan op het verloop van N_{min} in de tijd en of daarmee rekening moet worden gehouden bij bemonstering.

In hoofdstuk 5 wordt de opschaling naar bedrijfsniveau uitgewerkt die in hoofdstuk 3 is beschreven. Met name de wijze van bemonstering op bedrijfsniveau en de resulterende voorspelling van bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie met bijbehorende voorspelfout wordt besproken aan de hand van een aantal voorbeelden. Als de berekening wordt omgedraaid, namelijk als de norm van 50 mg/l als gegeven wordt beschouwd, kan ook worden uitgerekend welke grenswaarden dan gelden voor de indicator.

Hoofdstuk 6 beschrijft vervolgens de toetsing van de regressiemodellen. Hoofdstuk 7 bevat de conclusies.

2 Gebruikte gegevens

2.1 Gegevensverzameling

2.1.1 Indeling naar grondsoort, grondwatertrap en gewas

De indicatorontwikkeling is gebaseerd op gegevens van 34 ontwikkelbedrijven. Deze bedrijven liggen verspreid over de zand- en lössgronden van Nederland. Er zijn 15 akkerbouw- of vollegrondsgroentenbedrijven, 18 melkveehouderijbedrijven en één gemengd bedrijf. Deze paragraaf beschrijft de gegevensverzameling globaal. Meer achtergronden zijn te vinden in Smit *et al.* (2003).

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:

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

Indeling in drie Gt-groepen:

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

De indeling in zes gewasgroepen:

1. g : grasland;
2. m : snijmaïs op melkveehouderijbedrijven;
3. t : andijvie, boerenkool, bloemkool, Chinese kool, knolselderij, korrelmaïs, spitskool, ijsbergsla, CCM en MKS;
4. a : aardappel, koolraap, koolrabi, kropsla, prei, radijs, snijmaïs op akkerbouwbedrijven, spinazie en ui;
5. b : broccoli, knolvenkel, luzerne, peulvruchten, rode kool, spruitkool, suikerbiet, voederbiet en witte kool;
6. r : aardbei, asperge, bospeen, gerst, haver, rode biet, rogge, schorseneer, tarwe, witlof en wortel.

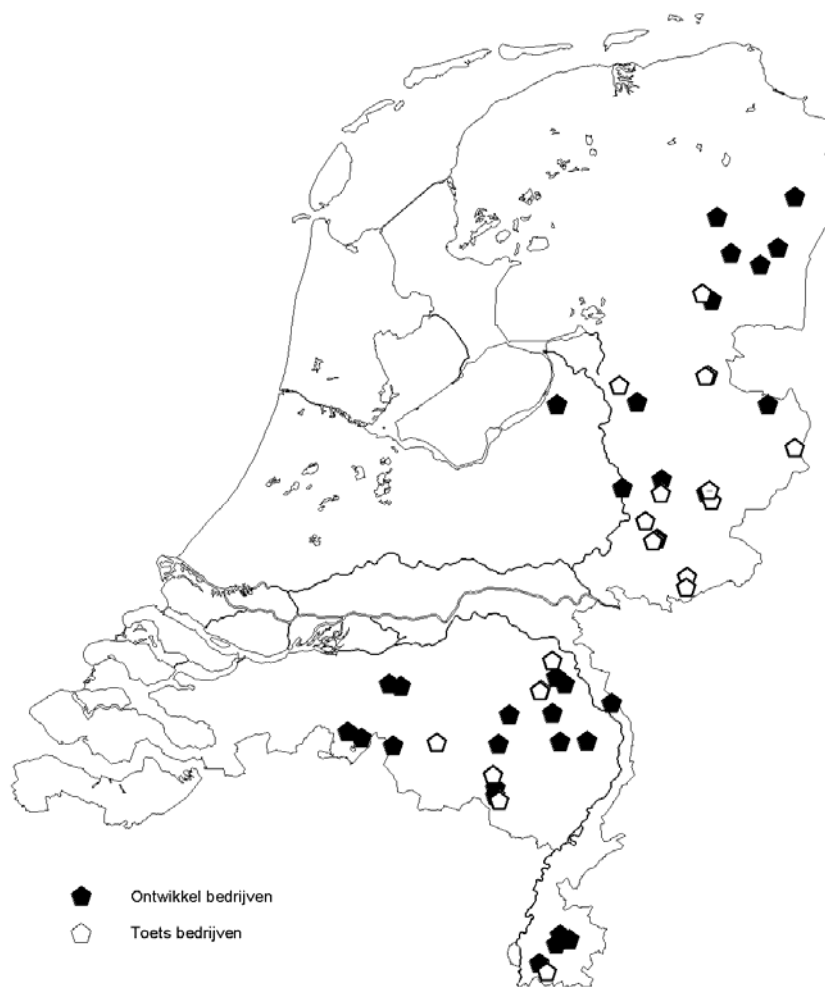
Omdat er binnen de bodemgroep löss geen onderscheid wordt gemaakt in Gt-groepen, leiden deze indelingen tot maximaal 60 combinaties van bodem-Gt-gewas. Niet alle combinaties komen ook werkelijk voor. In totaal zijn er 478 proefplekken geloot, verspreid over 47 bodem-Gt-gewascombinaties.

Bij de analyse van de gegevens over twee meetseizoenen is onderzocht of een andere gewasindeling tot betere resultaten leidt. De oorspronkelijke indeling voorzag in een indeling in vier groepen (Smit *et al.*, 2003) op basis van verwacht overschot én de verwachte mineralisatie als gevolg van bijvoorbeeld gewasresten. Met name de combinaties van enerzijds een laag overschot met een hoge mineralisatie en anderzijds een hoog overschot met een lage mineralisatie zouden echter tot gelijke uitspoeling kunnen leiden. Omdat het doel is de nitraatconcentratie te voorspellen is een indeling op basis van verwachte N_{min} in de bodem logischer. Daarom is een nieuwe indeling geïntroduceerd, met de klassen 'laag', 'midden' en 'hoog' (Burgers *et al.*, 2004; Van Enckevort *et al.*, 2002). Uit de analyses bleek echter dat er geen duidelijk verschil was tussen de groepen 'laag' en 'midden'. Bovendien hebben beide groepen dezelfde *range* voor N_{min}. Daarom werden de groepen 'laag' en 'midden' samengevoegd. Omdat deze alternatieve gewasgroepenindeling uiteindelijk niet tot betere modellen bleek te leiden, is besloten in dit rapport toch de oorspronkelijke indeling te gebruiken.

2.1.2 Ontwikkelbedrijven 2000-2003

Op 34 ontwikkelbedrijven (zie figuur 2.1) zijn in het eerste meetseizoen (2000-2001) 478 proefplekken geloot. Deze proefplekken zijn zo ingericht dat ze ook bij de bemonstering van het tweede en het derde meetseizoen gebruikt konden worden. Wij veronderstellen dat de gegevens over de bodemprofielopbouw, 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 2000, 2001 en 2002 zijn op alle proefplekken bodemmonsters genomen, waarin het N_{min}-gehalte is bepaald. In het voorjaar van 2001, 2002 en 2003 zijn op dezelfde proefplekken grondwatermonsters of bodemvochtmonsters genomen waarin de nitraatconcentraties 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 2003 stond het grondwater op relatief veel proefplekken zo laag dat er geen grondwater kon worden bemonsterd; daarom zijn daar bodemvochtmonsters genomen (158 proefplekken, t.o.v. 119 in andere jaren).



Figuur 2.1 Kaart met locaties van ontwikkelbedrijven en toetsbedrijven

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)

- 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 2001’ (19 maart t/m 5 juni, na de MKZ-crisis) en in het ‘voorjaar van 2002’ (25 maart t/m 17 mei) en ‘voorjaar van 2003’ (18 maart t/m 22 april);

- Verdunningsfactor voor nitraatconcentraties:
Door het RIVM is op basis van de gemeten grondwaterstand bij bemonstering, de locatie van de proefplek, de meetdatum en de neerslag een correctiefactor voor de nitraatconcentratie berekend (Boumans *et al.*, 1997);
- Nmin:
Dit betreft Nmineraal-waarnemingen (nitraat en ammonium) gesommeerd over de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm – mv. voor de meetperiode oktober-december 2000, oktober-november 2001 of oktober-november 2002.
Nmin_{nitraat} : nitraatdeel van Nmin;
Nmin_{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. perceelsoverschotten en arealen) en MINAS-overschot (forfaitaire afvoer i.p.v. gemeten afvoer, zonder depositie):
Alle proefplekken van één bedrijf hebben hetzelfde overschot;
- Weidemest op grasland, in kg N/ha;
- Groenbemester gezaaid in 2000, 2001 en 2002 (ja/nee) op bouwland of maïs;
- N-afvoer met het gewas (gemeten of geschat);
- Weersgegevens :
Neerslagsom1 is de neerslagsom voor het groeiseizoen (1 april -1 oktober) en Neerslagoverschot1 is het overschot voor dezelfde perioden.
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. Op de bedrijven zelf zijn ook neerslaggegevens verzameld, maar hierin ontbraken teveel gegevens om een betrouwbaar overschot te kunnen berekenen. Er is nog een vergelijking gemaakt tussen het gebruik van zoveel mogelijk van deze bedrijfswaarnemingen of alleen data van weerstations en dit bleek voor deze studie niet veel uit te maken. De referentie-gewasverdamping en gemiddelde correctiefactoren per gewasgroep zijn altijd berekend op basis van de gegevens van de weerstations;
- Denitrificatie:
Denitrificatiecapaciteit (potentiële denitrificatie) voor zes bodemlagen, namelijk 2-7 cm, 13-18 cm, 23-28 cm, 33-38 cm, 50-55 cm en 70-75 cm;
- Bouwvoorgegevens:
Voor gegevens over mineralisatiecapaciteit, denitrificatiecapaciteit, C-totaal en N-totaal, oplosbaar organisch N en hot-KCl-extraheerbaar ammonium is de bouwvoor bemonsterd (grasland: 10 cm; bouwland: 25 cm) (Velthof, 2003);
- 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;

- $DOC_{\text{grondwater}}$:
Opgelost organisch koolstof in het grondwater (mg/l). In het grondwater is naast nitraat ook DOC gemeten in 2001 en 2002.

2.1.3 Nmin-metingen in de tijd (2000 en 2001)

Het Nmin-gehalte varieert sterk in de tijd, waardoor het optimale moment van Nmin-bemonstering in het najaar moeilijk te bepalen is; het gekozen tijdstip kan te vroeg of te laat zijn om een goede relatie met de nitraatconcentratie in het grondwater vast te kunnen stellen. Om te kunnen toetsen wat het effect is van het tijdstip van Nmin-bemonstering, is in het najaar van 2000 en van 2001 op een deel (50%) van de proefplekken niet alleen in oktober/november bemonsterd, maar ook in december-januari en februari. Dit 'tijdstippenonderzoek' bleef om budgettaire redenen beperkt tot ongeveer de helft van de bedrijven.

2.1.4 Extra bemonstering perceels- en bedrijfsniveau seizoen 2002/2003

Naast de bemonstering op proefplekniveau zijn er in 2002-2003 nog twee extra bemonsteringen uitgevoerd: één op perceelsniveau en één op bedrijfsniveau. De eerste is alleen op de ontwikkelbedrijven uitgevoerd en de bemonstering op bedrijfsniveau ook op de zogenaamde toetsbedrijven (zie paragraaf 2.1.6).

Bemonstering op perceelsniveau

Het doel van de gegevensverzameling op perceelsniveau is het evalueren van de bruikbaarheid van indicatoren op perceelsniveau, zoals N-aanvoer, N-afvoer en N-overschot. Hiervoor is een nauwkeurige schatting van het perceelsgemiddelde van Nmin en nitraat noodzakelijk. Gezien de grote variatie tussen proefplekken en het kleine aantal proefplekken per perceel is daarom besloten een extra bemonstering uit te voeren. Op 23 van de 34 ontwikkelbedrijven zijn enkele percelen geloot, waarop naast de bemonstering van de proefplekken ook een extra intensieve bemonstering is uitgevoerd. Er zijn 15 graslandpercelen, negen maïspancelen en 13 percelen op de akkerbouwbedrijven geselecteerd, in totaal dus 37 percelen. Op elk perceel zijn 48 steken geplaatst, waaruit vier mengmonsters per bodemlaag (0-30; 30-60 en 60-90 cm) zijn samengesteld. De 48 steken zijn volgens een vooraf opgesteld protocol genomen. Er werden vier tot acht denkbeeldige diagonalen over een perceel gelegd, waarlangs vervolgens de punten werden geloot.

De Nmin-bemonstering vond plaats tussen 5 oktober en 5 november 2002. In het voorjaar van 2003 (18 maart - 2 april) zijn op dezelfde percelen watermonsters genomen ten behoeve van de nitraatmeting. Hiervoor werden op elk van de 37 intensief bemonsterde percelen 16 grondwatermonsters verzameld. De watermonsters zijn direct samengevoegd tot vier mengmonsters. Als het grondwater zich

te diep bevond werd in plaats van een grondwatermonster een bodemonster genomen. Deze werden niet gemengd, maar afzonderlijk geanalyseerd.

Naast gegevens over N-overschotten, N-aanvoer, N-afvoer, N in weidemest en groenbemesters op perceelsniveau, zijn per bedrijf ook de weergegevens beschikbaar.

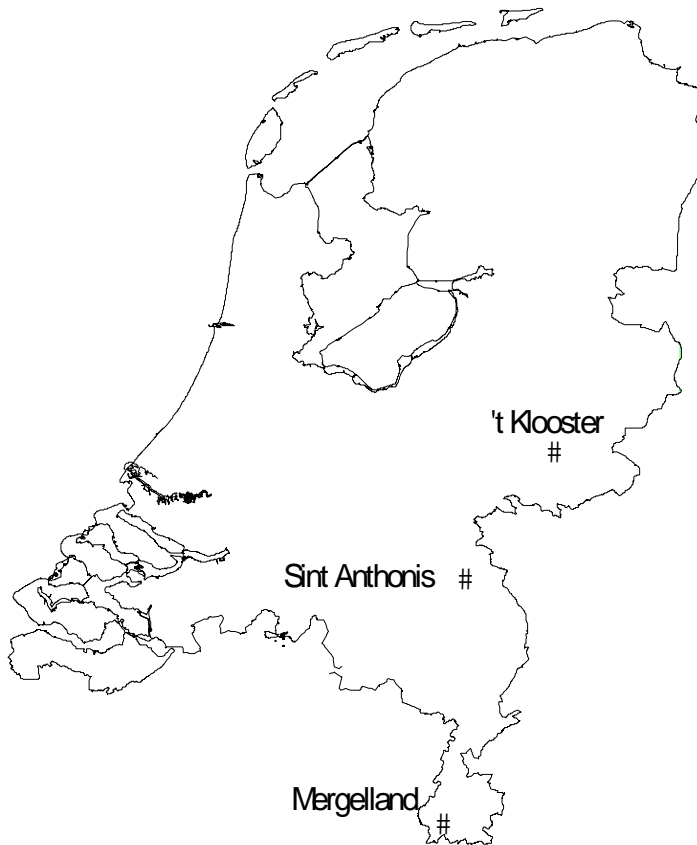
Bemonstering op bedrijfsniveau

De extra gegevensverzameling op bedrijfsniveau is uitgevoerd om de relatie tussen indicatoren op bedrijfsniveau, met name bedrijfsoverschot en MINAS-overschot, en de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie te toetsen. De bemonstering op bedrijfsniveau is op zowel de ontwikkelbedrijven als de toetsbedrijven uitgevoerd (zie par. 2.1.6). De proefbedrijven zijn niet bemonsterd voor deze toets op bedrijfsniveau, omdat deze bedrijven over het algemeen veel meer percelen hebben dan de overige bedrijven, die bovendien veelal niet bruikbaar zijn vanwege de vele experimenten. In het najaar van 2002 op alle percelen van een toets- of ontwikkelbedrijf een mengmonster voor N_{min} genomen, dat is samengesteld uit acht steken per perceel per bodemlaag. Voor N_{min} is een bedrijfsgemiddelde berekend, gewogen naar perceelsoppervlakte.

In het voorjaar van 2003 is bemonsterd om een bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater te schatten. De bemonstering is niet per perceel maar per cluster 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 nitraat een gewogen gemiddelde nitraatconcentratie per bedrijf geschat.

2.1.5 Regionale monitoring 2001-2003

Gedurende de looptijd van het project 'Sturen op Nitraat' is er naast de metingen op de zogenaamde ontwikkelbedrijven ook een regionale studie uitgevoerd. In deze paragraaf wordt de opzet van deze studie kort weergegeven. Roelsma *et al.* (2003) geven een uitvoerige beschrijving van de opzet, uitvoering en resultaat van de regionale studie.



Figuur 2.2 Ligging van de drie studiegebieden

Keuze en beschrijving van de gebieden

Het concept voor regionale monitoring van nitraat (RENIM; Roelsma *et al.*, 2003) is toegepast en getoetst in drie gebieden: twee gebieden op zandgrond ('t Klooster en Sint Anthonis) en een lössgebied (Mergelland) (figuur 2.2). Deze gebieden zijn zo gekozen dat de waarnemingen voldoende zijn verspreid over droge zand- en lössgronden (uitspoelingsgevoelige gronden). Daarnaast kon worden aangesloten op regionale nitraatstudies, die gericht waren op (monitoring van) de reductie van de belasting van het grondwater met nitraat, en kon wederzijds voordeel uit de projecten worden behaald.

Het gebied 't Klooster is een zandgebied in de Achterhoek met hoofdzakelijk melkveehouderij. Het gebied Sint Anthonis is een zandgebied in het oostelijk deel van Noord-Brabant, waar de varkenshouderij sterk vertegenwoordigd is. Het gebied Mergelland is een lössgebied in Zuid-Limburg, waar melkveehouderij en akkerbouw beide sterk vertegenwoordigd zijn. Alle drie gebieden liggen in een drinkwaterwin- gebied.

Tabel 2.1 Beschikbaarheid van de basisgegevens voor de clusterindeling van de gebieden en controle van indeling op puntniveau

Gegevenstype	Landelijk niveau	Regionaal niveau	Lokaal niveau
Bodem	1:50 000 bodemkaart		Veldopname ²
Grondwaterklasse	1:50 000 bodemkaart		Veldopname ²
Gewas ¹		Gebiedsopname 2000	Gewasopname
Neerslag ³	KNMI-neerslagstations		

¹ Per gebied is een opname gemaakt van de gewassen in 2000 in het gehele gebied en in 2001 en 2002 alleen in de bemonsterde percelen.

² Op de locatie van de monsterpunten in de gebieden 't Klooster en Sint Anthonis is een bodemprofielopname en GHG-bepaling gedaan.

³ I.v.m. het relatief kleine oppervlak van de gebieden (1000-2000 hectare) is per gebied slechts 1 KNMI-neerslagstation geselecteerd.

Clusterindeling van de gebieden en gebruikte basisgegevens

Ook de gebieden van de regionale studie zijn ingedeeld in clusters (bodem-Gt-gewascombinaties). Hiervoor is dezelfde stratificatie gehanteerd als voor de ontwikkelbedrijven (zie paragraaf 2.1.1). Voor de indeling van het gebied in clusters werd gebruik gemaakt van de digitale bodemkaart (schaal 1 : 50 000) met bodemtype en grondwatertrappen. Daarnaast werden in het jaar 2000 de landbouwgewassen gebiedsdekkend in kaart gebracht. Delen van het gebied die niet overeenkomen met bodemtype zand of löss of niet met het bodemgebruik dat is beschreven in paragraaf 2.1.1 zijn buiten beschouwing gelaten.

In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de basisgegevens die zijn gebruikt voor de clusterindeling van de gebieden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de beschikbaarheid van gegevens op landelijk, regionaal en lokaal (monsterpunt-) niveau.

Steekproefopzet en bemonstering van de proefplekken

Nadat voor ieder gebied een clusterindeling was gemaakt, zijn de proefplekken in de drie gebieden geloot. Aan de gebieden 't Klooster en Sint Anthonis zijn elk 100 meetpunten toegekend. Aan het gebied Mergelland zijn 60 meetpunten toegekend, omdat daar veel minder clusters zijn te onderscheiden dan in de andere twee gebieden, en omdat het gebied kleiner is dan 't Klooster en Sint Anthonis.

Alle gelote proefplekken werden in het veld getoetst op basis van diverse criteria (zie Smit *et al.*, 2003). Vervolgens werd op de geaccepteerde proefplekken een bemonstering voor Nmin of nitraat in het grondwater uitgevoerd, conform het bemonsteringsprotocol.

In het najaar van 2001 is begonnen met de bemonstering van Nmin. De bemonstering is uitgevoerd in de periode 29 oktober - 4 december. In het voorjaar 2002 (12 maart - 3 april) is de nitraatbemonstering in de drie gebieden uitgevoerd. In het najaar van 2002 (20 november - 4 december) is de bemonstering van Nmin in de drie gebieden herhaald. De nitraatbemonstering van 2003 is uitgevoerd tussen 24 februari en 14 maart.

Tabel 2.2 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per bodemgroep

Meetseizoen	Bodem-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	L	30	60.4	0.3	269.6	40.7
	Z1	79	82.5	0.0	468.5	56.5
	Z2	158	91.1	0.0	519.0	61.3
	Z3	206	84.5	0.0	377.7	67.3
2001-2002	L	29	53.6	0.4	153.8	52.2
	Z1	75	45.4	0.0	227.4	27.8
	Z2	158	68.5	0.0	296.6	55.2
	Z3	204	66.1	0.0	410.2	55.3
2002-2003	L	30	21.2	0.0	93.1	16.1
	Z1	76	68.2	0.0	316.7	45.7
	Z2	160	74.6	0.0	541.3	53.6
	Z3	204	71.8	0.0	410.2	55.9

Tabel 2.3 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per Gt-groep

Meetseizoen	Gt-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	1	71	50.5	0.0	382.9	25.8
	2	185	79.1	0.0	365.0	61.3
	3	217	101.1	0.0	519.0	73.5
2001-2002	1	70	42.6	0.0	296.6	22.8
	2	183	60.3	0.0	308.2	44.7
	3	212	72.0	0.3	410.2	59.5
2002-2003	1	72	32.6	0.0	278.3	9.8
	2	185	72.7	0.0	359.7	57.3
	3	213	78.0	0.3	541.3	55.8

2.1.6 Toetsbedrijven seizoen 2002/2003

Om te kunnen toetsen hoe goed de ontwikkelde indicator de nitraatconcentratie in het grondwater voorspelt is een toets uitgevoerd op onafhankelijke praktijkbedrijven, de zogenaamde toetsbedrijven. Er zijn 18 toetsbedrijven geselecteerd, verdeeld over veehouderij en akkerbouw en over alle bodem- en Gt-groepen. Er was 1 bedrijf met löss. De locaties van de toetsbedrijven staan in figuur 2.1. Op toetsbedrijven is alleen een bemonstering uitgevoerd op bedrijfsniveau, zoals beschreven in paragraaf 2.1.3. Op de toetsbedrijven zijn dus geen proefplekken aanwezig.

Tabel 2.4 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per gewasgroep

Meetseizoen	Gewas- groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	88	116.0	0.0	405.7	106.2
	b	60	84.2	0.0	237.9	75.4
	g	178	65.2	0.0	452.0	34.2
	m	72	76.9	0.2	468.5	65.8
	r	63	80.0	0.0	519.0	63.6
	t	12	226.0	0.4	377.7	279.7
2001-2002	a	76	83.3	0.0	257.6	72.9
	b	42	61.6	0.0	258.7	59.9
	g	180	48.1	0.0	294.2	38.2
	m	77	72.6	0.0	410.2	54.4
	r	59	52.0	0.0	263.3	38.8
	t	10	136.7	0.0	263.5	139.6
2002-2003	a	88	96.5	0.2	343.8	88.4
	b	50	57.7	0.0	541.3	20.0
	g	169	51.4	0.0	301.9	34.1
	m	61	72.5	0.0	359.7	41.0
	r	83	69.2	0.0	217.1	55.9
	t	10	182.4	17.8	380.2	166.3

2.2 Beschikbare gegevens

2.2.1 Gegevens voor de ontwikkeling van de indicator op plekniveau

Op basis van de dataset zijn overzichten gemaakt die inzicht geven in de beschikbare gegevens van het eerste (2000-2001), het tweede (2001-2002) en het derde meetseizoen (2002-2003).

Nitraatconcentratie

In de tabellen 2.2, 2.3 en 2.4 worden de gemiddelden van de gemeten nitraatconcentraties gegeven evenals de minimum-, maximum- en mediane waarde respectievelijk per waargenomen bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep.

De gemiddelde nitraatconcentraties liggen in het tweede meetseizoen lager dan in het eerste meetseizoen. Dat geldt voor alle bodem-, Gt- en gewasgroepen. In het derde seizoen zijn de gemiddelde concentraties voor bodemgroep L en Gt-groep 1 nog iets lager. Voor de bodemgroepen L en Z1 ligt het gemiddelde in het tweede meetjaar rond de nitraatnorm van 50 mg/l. In het derde meetjaar ligt dat voor L en Gt-groep 1 nog steeds lager. Op basis van de mediaan kan gesteld worden dat voor de bodemgroepen Z2 en Z3 zo'n 50% van de waarnemingen in het tweede en derde meetjaar onder de nitraatnorm ligt. De verwachting was dat de nitraatconcentratie zou oplopen van L, naar Z1, Z2 en Z3. De gemiddelde waarden van Z2 zijn echter altijd hoger dan Z3. Dit geldt niet voor de mediane waarde. Het hoge gemiddelde voor Z2 wordt veroorzaakt door enkele hoge uitschieters.

Tabel 2.5 Overzicht van de N_{min}-voorraad (kg/ha), gesommeerd over 0-90 cm per gewasgroep

Meetseizoen	Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	38	80.4	8.3	354.8	66.0
	b	28	63.2	4.3	341.0	38.6
	g	158	50.4	3.7	206.8	44.4
	m	46	62.1	5.2	119.5	57.2
	r	52	34.4	4.3	89.3	29.8
	t	12	145.0	13.7	580.4	117.8
2001-2002	a	77	62.1	12.2	179.1	57.3
	b	44	26.8	0.0	70.9	22.6
	g	181	52.9	0.0	174.5	44.0
	m	78	65.0	5.2	156.9	59.9
	r	61	44.6	4.2	164.7	39.7
	t	10	66.0	37.0	111.9	59.6
2002-2003	a	87	102.8	14.1	393.5	94.1
	b	50	78.3	3.9	304.9	42.1
	g	170	64.3	4.2	281.0	48.6
	m	61	93.0	14.2	263.7	70.8
	r	83	76.4	4.2	223.6	70.8
	t	12	221.4	89.2	812.2	155.6

Tabel 2.6 Overzicht van N_{min-nitraat} (kg/ha), gesommeerd over 0-90 cm per gewasgroep

Meetseizoen	Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	38	59.9	3.6	199.3	40.5
	b	28	43.7	4.0	215.3	19.2
	g	158	33.9	0.0	206.8	22.3
	m	46	49.1	5.2	104.3	41.5
	r	52	20.5	3.5	70.9	15.2
	t	12	136.7	5.2	570.3	97.2
2001-2002	a	77	44.6	0.0	107.1	41.7
	b	44	16.3	0.0	54.1	13.0
	g	181	31.5	0.0	103.8	26.5
	m	78	47.5	0.0	108.5	43.9
	r	61	28.7	0.0	87.4	23.9
	t	10	50.5	17.2	93.7	43.7
2002-2003	a	87	88.4	14.1	371.2	72.5
	b	50	63.6	3.9	299.7	26.3
	g	170	49.0	4.2	272.5	32.4
	m	61	74.6	4.2	223.7	57.1
	r	83	58.2	4.2	210.4	48.2
	t	12	179.1	80.9	521.8	143.6

In alle drie de meetseizoenen heeft Gtgroep 1 conform de verwachting gemiddeld de laagste nitraatconcentratie. Opvallend is dat van de gewasgroepen 'gras' steeds de laagste nitraatconcentratie te zien geeft en gewasgroep 't' veruit de hoogste.

Tabel 2.7 Overzicht van $N_{min_{ammonium}}$ (kg/ha), gesommeerd over 0-90 cm per gewasgroep

Meetseizoen	Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	38	20.5	0.0	211.2	6.8
	b	28	19.5	0.0	259.8	8.1
	g	158	16.5	0.0	103.1	12.5
	m	46	13.0	0.0	59.9	9.2
	r	52	13.9	0.0	57.8	9.1
	t	12	8.2	0.0	43.0	2.1
2001-2002	a	77	17.5	0.0	159.2	9.5
	b	44	10.5	0.0	68.6	8.6
	g	181	21.4	0.0	123.2	18.2
	m	78	17.5	0.0	140.1	14.3
	r	61	15.9	0.0	77.2	9.5
	t	10	15.4	0.0	42.7	11.4
2002-2003	a	87	14.4	0.0	135.0	8.9
	b	50	14.7	0.0	88.4	9.1
	g	170	15.3	0.0	207.2	9.0
	m	61	18.6	0.0	234.0	8.9
	r	83	18.1	0.0	195.9	9.5
	t	12	32.3	0.0	290.4	8.5

N_{min}

In de tabellen 2.5, 2.6 en 2.7 wordt voor de kandidaat-indicator N_{min} een overzicht gegeven volgens de gewasgroepindeling. De metingen zijn gedaan in het najaar, in de periode oktober tot december. Er is gekozen voor een overzicht per gewasgroep omdat de regressieanalyses per gewasgroep zijn gedaan. Uit een tussentijdse analyse is gebleken dat een opsplitsing van N_{min} naar het nitraat- en ammoniumdeel een beter resultaat geeft voor wat betreft de voorspelling van de nitraatconcentratie. Daarom staat N_{min} uitgesplitst naar $N_{min_{nitraat}}$ (tabel 2.6) en $N_{min_{ammonium}}$ (tabel 2.7).

Het aantal waarnemingen voor N_{min} is in het tweede meetseizoen toegenomen omdat op een aantal bedrijven de N_{min} in het najaar van 2001 voor het eerst gemeten is. Ten opzichte van het eerste meetseizoen is Gtgroep 1 nu veel beter vertegenwoordigd.

Voor de gemeten N_{min} geldt dat de gemiddelde hoeveelheid in het tweede meetseizoen is gedaald voor de gewasgroepen 'a', 'b' en 't', waardoor de verschillen tussen de gewasgroepen kleiner zijn geworden. De maximumwaarden zijn voor de meeste gewasgroepen flink gedaald. In 2002 zijn de gemiddelde en de maximumwaarden voor de N_{min} -voorraad voor de gewasgroepen 'a' en 't' weer gestegen. Opvallend is dat in het derde seizoen de N_{min} -waarde voor maïs een stuk hoger is dan in de eerste twee seizoenen. In de nitraatconcentratie is deze stijging niet waargenomen. De verschillen tussen de meetseizoenen zijn terug te zien in het $N_{min_{nitraat}}$ en niet in $N_{min_{ammonium}}$. Vooral de maximum ammoniumwaarden zijn opvallend hoog.

Tabel 2.8 Overzicht van perceeloverschotten (kg/ha) per gewasgroep

Meetseizoen	Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	80	154.3	-37.0	382.0	130.0
	b	60	165.8	-74.0	307.5	153.0
	g	150	194.6	-184.3	619.5	186.0
	m	70	67.9	-130.7	196.7	75.7
	r	61	78.4	-35.0	172.0	57.0
	t	12	190.3	152.0	274.0	183.0
2001-2002	a	77	155.2	51.0	350.0	126.0
	b	45	139.9	30.0	335.0	105.0
	g	170	213.6	-34.0	522.0	216.0
	m	79	43.6	-344.7	158.9	83.6
	r	60	61.1	-29.3	274.5	36.0
	t	10	137.5	35.0	501.0	93.0
2002-2003	a	89	116.7	-55.00	305.0	119.0
	b	50	185.1	-216.4	628.0	121.0
	g	164	199.6	-25.0	531.0	186.9
	m	61	48.1	-126.8	292.6	51.0
	r	83	107.8	-225.0	383.0	79.0
	t	12	186.3	9.0	563.0	85.0

Tabel 2.9 Overzicht van werkelijke bedrijfsoverschotten (kg/ha) per gewasgroep

Meetseizoen	Gewas-Groep	Aantal Proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	62	128.0	55.0	355.0	102.0
	b	43	114.0	55.0	355.0	102.0
	g	149	180.5	118.0	322.0	170.0
	m	61	200.4	105.0	322.0	215.0
	r	55	106.0	55.0	234.0	105.0
	t	12	222.0	160.0	355.0	221.0
2001-2002	a	77	138.7	77.0	308.0	141.0
	b	45	149.2	77.0	308.0	148.0
	g	170	187.6	110.0	343.0	176.0
	m	79	228.0	110.0	343.0	227.0
	r	60	122.9	77.0	311.0	114.0
	t	10	101.7	69.0	308.0	69.0
2002-2003	a	89	115.0	55.0	301.0	106.0
	b	49	161.8	61.0	301.0	124.0
	g	170	171.1	27.2	288.4	175.5
	m	61	189.6	27.2	288.4	199.0
	r	79	140.4	36.0	288.4	143.0
	t	12	137.0	55.0	301.0	55.0

Overschotten en aanvoer

In tabellen 2.8, 2.9 en 2.10 wordt voor de kandidaat-indicatoren perceeloverschot, bedrijfsoverschot en MINAS-overschot een overzicht gegeven volgens de gewas-groepindeling, tabel 2.9 en 2.10, met bedrijfs- en MINAS-overschot, 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

Tabel 2.10 *Overzicht van MINAS-bedrijfsoverschotten (kg/ha) per gewasgroep*

Meetseizoen	Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	69	42.1	-36.0	176.0	50.0
	b	48	33.7	-36.0	176.0	50.0
	g	149	116.8	-8.0	246.0	114.0
	m	66	126.0	20.0	246.0	114.0
	r	57	3.6	-36.0	114.0	6.0
	t	12	127.4	6.0	176.0	149.0
2001-2002	a	77	44.5	-19.0	130.0	37.0
	b	46	41.9	-19.0	122.0	33.5
	g	181	78.6	1.7	262.0	80.0
	m	81	133.9	1.7	262.0	159.0
	r	61	23.4	-19.0	159.0	12.0
	t	10	10.2	-5.0	122.0	-5.0
2002-2003	a	89	48.7	-42.0	395.0	58.0
	b	49	68.2	-50.3	395.0	58.0
	g	170	72.0	-50.3	173.3	85.0
	m	61	84.5	-50.3	173.3	113.0
	r	79	49.1	-121.0	395.0	68.0
	t	12	13.0	-42.0	123.0	-42.0

hetzelfde bedrijfsgemiddelde, wat duidelijk naar voren komt bij de minimum- en maximumwaarden in de tabellen.

De perceeloverschotten waren voor de gewasgroepen 'b' en 't' in 2001 gemiddeld lager dan in 2000, en zijn in 2002 weer gestegen. Gewasgroep 'm' heeft gemiddeld de laagste perceeloverschotten en gewasgroep 'g' de hoogste. Hoewel de verschillen tussen minimum- en maximumwaarden behoorlijk groot zijn, verschillen de gemiddelden en mediane waarden niet veel. De werkelijke bedrijfsoverschotten verschillen van jaar tot jaar. Voor gewasgroep 't' is het gemiddelde bedrijfsoverschot in het tweede meetjaar gehalveerd ten opzichte van het eerste meetseizoen, maar daarna weer iets gestegen. De gemiddelde MINAS-overschotten zijn voor gewasgroep 'r' ieder jaar hoger geworden en voor gewasgroep 't' elk jaar lager.

Tabel 2.11 geeft een overzicht van N-aanvoer op perceelsniveau. Deze kandidaat-indicator is in eerdere rapportages niet beschreven, maar de gegevens waren wel beschikbaar. In verband met een verschuiving van de aandacht van overschotten naar aanvoernormen, zijn deze gegevens nu wel opgenomen. De N-aanvoer is in alle drie de meetseizoenen het hoogst op de proefplekken met gras. In de meeste gewasgroepen is de aanvoer van jaar tot jaar redelijk gelijk, maar gewasgroep 't' vertoont een grote fluctuatie, vooral in de mediane waarde. Dit zou kunnen worden verklaard uit het geringe aantal waarnemingen.

Bodemgegevens met betrekking tot organische stof

In 2000 vond eenmalig op alle proefplekken een bemonstering plaats voor het schatten van de potentiële denitrificatie. Aan bodemmonsters die zijn genomen op zes diepten is de potentiële denitrificatie gemeten. De resultaten van die metingen staan per bodemgroep weergegeven in tabel 2.12. De verschillen tussen de bodem-

Tabel 2.11 Overzicht van totaal N aanvoer (kg/ha) (kunstmest + totaal N in dierlijke mest + weidemest)

Meetseizoen	Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
2000-2001	a	76	257.1	105.0	356.4	240.1
	b	61	190.9	120.0	292.4	170.0
	g	169	405.1	82.0	876.6	442.6
	m	73	204.7	0.0	359.6	218.9
	r	59	132.5	0.0	345.0	110.0
	t	12	307.4	198.0	394.0	321.0
2001-2002	a	77	220.5	137.0	440.0	206.5
	b	46	145.8	0.0	245.0	153.0
	g	181	372.8	0.0	708.0	406.4
	m	81	203.2	51.0	315.8	211.0
	r	61	125.4	0.0	414.0	99.0
	t	10	193.0	153.0	245.0	210.0
2002-2003	a	89	243.0	85.0	421.0	234.0
	b	50	204.8	0.0	602.0	174.0
	g	164	376.9	67.0	783.9	406.6
	m	61	188.7	0.0	401.7	200.0
	r	83	159.6	0.0	373.6	132.0
	t	12	201.6	61.2	578.0	75.6

groepen zijn niet erg groot. De bodemgroepen Z1 en Z3 hebben in de bovenste lagen wel een iets hogere potentiële denitrificatie dan L en Z2, maar deze verschillen worden met de diepte kleiner. In de onderste drie lagen lijkt het verschil tussen de gemiddelde waarde en de mediaan groter dan in de bovenste lagen.

Hack-ten Broeke *et al.* (2003) geven deze gegevens weer per bedrijfstype. Daaruit blijkt dat de denitrificatie in de bovenste lagen bij veehouderijbedrijven groter is dan bij akkerbouwbedrijven. Dit kan worden verklaard uit de aanwezigheid van grasland, waarin de potentiële denitrificatie het grootst is (Velthof, 2003).

In tabel 2.13 staan de gegevens over de bouwvoor weergegeven per bodemgroep. De bouwvoor is op grasland bemonsterd tot een diepte van 10 cm, op bouwland tot 25 cm.

Z1 heeft voor vrijwel alle gemeten bodemparameters de hoogste waarde. Alleen de C/N-verhouding is in Z3 gemiddeld hoger dan in de andere groepen. Het organische-stofgehalte in L is beduidend lager dan in de andere groepen, maar het N-gehalte ligt ongeveer tussen dat van Z1 en Z2. De hoge waarden voor potentiële mineralisatie en hot-KCl-extraheerbare N hangen hier mee samen. In het rapport over het eerste meetseizoen (Hack-ten Broeke *et al.*, 2003) zijn deze gegevens gepresenteerd per bedrijfstype. Opvallend was toen dat de akkerbouwbedrijven hogere organische-stofgehaltes vertoonden dan de veehouderijbedrijven. Velthof (2003) heeft de verschillen tussen bouwland, grasland en maïsland verder uitgewerkt en concludeert dat voor alle bodemgroepen binnen deze dataset bouwland de hoogste organische-stofgehaltes heeft. Een verklaring zou kunnen zijn dat er een verstrengeling van factoren is opgetreden: bij de gegevensverzameling is nadrukkelijk gezocht naar bepaalde gronden met een hoog organische-stofgehalte, zoals enkeerdgronden, terwijl deze voornamelijk voor bouwland worden gebruikt.

Tabel 2.12 Potentiële denitrificatie in 6 lagen (mg N / kg / dag) per bodemgroep

Variabele	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
potentiële denitrificatie, 2-7 cm (mg N/kg/dag)					
L	30	3.164	0.167	7.830	2.438
Z1	78	4.639	0.202	35.660	3.589
Z2	156	3.300	0.093	38.450	2.708
Z3	204	4.252	0.008	13.540	3.885
potentiële denitrificatie, 13-18 cm (mg N/kg/dag)					
L	30	2.260	0.298	5.010	2.079
Z1	78	3.282	0.467	10.540	2.826
Z2	156	2.568	0.178	10.170	2.183
Z3	205	3.136	-0.211	14.400	2.555
potentiële denitrificatie, 23-28 cm (mg N/kg/dag)					
L	30	1.595	0.289	4.300	1.381
Z1	78	2.705	0.071	10.772	2.380
Z2	155	2.078	0.029	13.052	1.627
Z3	203	2.119	0.050	7.935	1.741
potentiële denitrificatie, 33-38 cm (mg N/kg/dag)					
L	30	1.287	0.031	4.591	0.950
Z1	77	1.315	0.066	7.486	0.980
Z2	151	1.251	0.017	9.732	0.738
Z3	196	1.235	0.000	12.620	0.665
potentiële denitrificatie, 50-55 cm (mg N/kg/dag)					
L	30	0.999	0.059	3.457	0.573
Z1	72	0.664	0.002	2.882	0.433
Z2	145	0.436	0.007	3.783	0.187
Z3	195	0.596	-0.040	5.396	0.245
potentiële denitrificatie, 70-75 cm (mg N/kg/dag)					
L	29	0.917	0.014	4.842	0.224
Z1	68	0.714	0.003	3.850	0.310
Z2	110	0.547	-0.006	15.755	0.177
Z3	171	0.487	-0.036	3.687	0.192

Correlatiecoëfficiënten

Er is onderzocht of er een directe lineaire relatie bestaat tussen de gemeten nitraatconcentraties en de andere kandidaat-indicatoren. Die relatie wordt weergegeven als correlatiecoëfficiënt. De correlatiecoëfficiënt tussen nitraatconcentratie en N_{min}-gehalte evenals N_{min,nitraat}-gehalte (gesommeerd over de laag 0-90 cm – maaiveld in de eerste periode) is berekend op het niveau van de proefplekken. Beide variabelen worden immers per proefplek gemeten. Voor het perceeloverschot geldt dat alle proefplekken op één perceel hetzelfde perceeloverschot hebben. Voor de berekening van de correlatiecoëfficiënt is eerst het gemiddelde van de nitraatconcentraties per perceel berekend. Alle proefplekken op één bedrijf hebben hetzelfde bedrijfsoverschot en hetzelfde MINAS-overschot. Correlatiecoëfficiënten met deze variabelen zijn gebaseerd op bedrijfsgemiddelden.

De correlatiecoëfficiënten zijn berekend op basis van alle gegevens (alle oorspronkelijke data), maar ook op basis van de gegevens die uiteindelijk meedoen in de regressiemodellen, zoals beschreven in hoofdstuk 4. De proefplekken op kleigrond, proefplekken met veenlaagjes in de bodem en proefplekken met een

Tabel 2.13 Gegevens van de bouwvoor per bodemgroep. Bouwvoor grasland: 0-10 cm, bouwvoor bouwland: 0-30 cm

Variabele	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
C/N-verhouding					
L	29	13.17	10.91	17.76	12.98
Z1	73	18.80	13.20	29.34	18.58
Z2	155	18.80	10.08	30.60	18.21
Z3	202	19.10	10.49	44.46	18.85
C _{totaal} (g per kg)					
L	30	18.33	11.13	35.98	16.41
Z1	78	39.73	15.20	136.60	27.91
Z2	160	30.26	10.58	90.60	25.27
Z3	207	29.59	9.32	80.15	26.75
N _{totaal} (g per kg)					
L	30	1.43	0.85	2.92	1.36
Z1	78	2.10	0.78	7.08	1.70
Z2	160	1.62	0.57	4.09	1.42
Z3	207	1.55	0.48	4.65	1.45
hot-KCl extraheerbaar NH ₄ -N(mg/kg)					
L	29	21.66	11.20	54.83	19.83
Z1	73	29.62	4.60	76.85	27.20
Z2	155	19.99	0.10	58.67	19.97
Z3	202	21.56	3.10	54.27	21.43
potentiële mineralisatie (kg N/ha)					
L	29	1.867	1.088	4.279	1.614
Z1	73	1.889	0.245	5.023	1.571
Z2	155	1.545	0.023	5.668	1.125
Z3	202	1.454	-0.498	5.705	1.107
denitrificatiecapaciteit (mg N/kg/dag)					
L	29	6.952	0.500	25.200	5.800
Z1	73	7.941	0.100	110.300	4.300
Z2	155	4.108	0.000	24.700	3.400
Z3	202	4.306	0.100	33.100	3.200
% organische stof					
L	30	2.67	2.00	4.00	3.00
Z1	79	6.80	3.00	25.00	5.00
Z2	160	5.07	2.00	14.00	4.00
Z3	208	4.46	1.50	12.00	4.00
N-organisch (mg/kg)					
L	29	8.13	4.50	14.30	7.60
Z1	73	9.06	4.20	24.70	8.35
Z2	155	7.18	1.00	17.30	6.00
Z3	202	7.14	0.85	32.00	6.55
dikte bovenste horizont (cm)					
L	30	35	30	45	35
Z1	79	47	17	95	40
Z2	161	32	15	80	30
Z3	208	32	17	80	30

extreme nitraatconcentratie dan wel een extreme N_{min}-waarde doen dan niet meer mee. Opvallend zijn de negatieve correlaties voor de kandidaat-indicatoren bedrijfs-overschot, MINAS-overschot en perceeloverschot bij maïs. Ook bij gras en de

Tabel 2.14 Correlatiecoëfficiënt (r) tussen nitraatconcentratie en de vijf andere kandidaat-indicatoren voor gras, maïs en akkerbouwgewassen per meetseizoen voor alle proefplekken dan wel de gegevens die gebruikt zijn in de regressieanalyse

Akkerbouw	2000-2001		2001-2002		2002-2003	
	Alle data	Gebruikt	Alle data	Gebruikt	Alle data	Gebruikt
Nmin	0.50	0.56	0.18	0.30	0.46	0.54
Nmin _{nitraat}	0.57	0.69	0.43	0.43	0.55	0.58
Perceeloverschot	0.18	0.11	0.29	0.29	0.18	0.18
Bedrijfsoverschot	0.42	0.47	-0.02	-0.02	0.13	0.22
MINAS-overschot	0.55	0.59	0.16	0.16	0.18	0.26

Gras	2000-2001		2001-2002		2002-2003	
	Alle data	Gebruikt	Alle data	Gebruikt	Alle data	Gebruikt
Nmin	0.31	0.43	0.17	0.20	0.41	0.44
Nmin _{nitraat}	0.34	0.47	0.32	0.33	0.48	0.50
Perceeloverschot	0.24	0.17	0.30	0.31	0.24	0.24
Bedrijfsoverschot	-0.02	0.17	0.18	0.19	0.39	0.37
MINAS-overschot	0.07	0.30	-0.02	-0.01	0.26	0.34

Maïs	2000-2001		2001-2002		2002-2003	
	Alle data	Gebruikt	Alle data	Gebruikt	Alle data	Gebruikt
Nmin	0.35	0.33	-0.04	0.05	0.41	0.41
Nmin _{nitraat}	0.43	0.39	0.16	0.28	0.59	0.59
Perceeloverschot	-0.08	-0.14	-0.35	-0.24	-0.03	-0.03
Bedrijfsoverschot	-0.28	0.09	-0.63	-0.66	0.01	0.01
MINAS-overschot	-0.21	-0.21	-0.33	-0.34	-0.13	-0.13

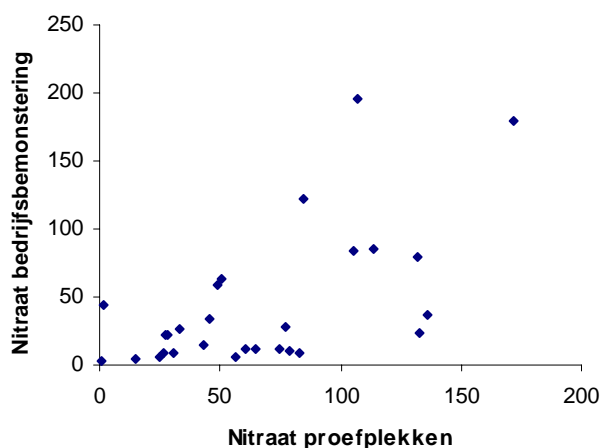
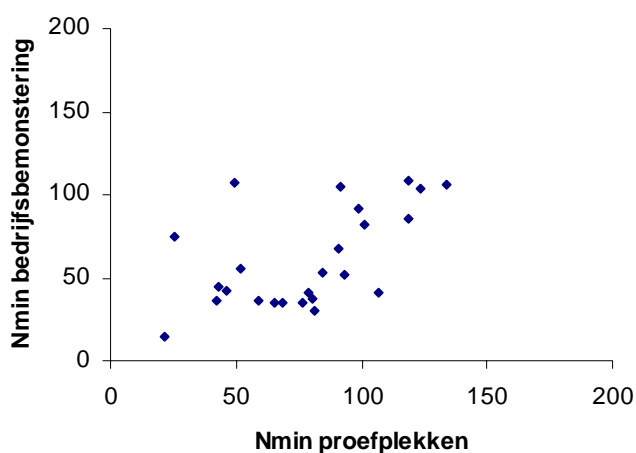
akkerbouwgewassen komt dit een enkele keer voor. Dit zou inhouden dat bij een hoger overschot een lagere nitraatconcentratie hoort. Uit de tabel blijkt vooral ook dat de relatie tussen nitraatconcentratie en Nmin-gehalte en vooral Nmin_{nitraat}-gehalte steeds een duidelijk positieve correlatiecoëfficiënt oplevert (behalve in 2001 voor maïs). Nmin is daarom de meest veelbelovende kandidaat-indicator (Ten Berge en Hack-ten Broeke, 2004).

2.2.2 Beschikbare gegevens op perceel- en bedrijfsniveau

Bedrijfsniveau

Voor de bepaling van de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau zijn per cluster (bodem-Gt-gewasgroepcombinatie per bedrijf) twee (meng-)monsters genomen (zie par. 2.1.4). Op 27 bedrijven is de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie geschat met een oppervlakte-gewogen gemiddelde van de clustermetingen. In de praktijk bleek dat op een aantal bedrijven veel verschillende clusters voorkomen. In de kleinste clusters zijn geen monsters genomen en deze spelen dus uiteindelijk geen rol in het bedrijfsgemiddelde. De bedrijfsgemiddelde Nmin kon ook worden geschat met een gewogen gemiddelde op basis van de perceeloppervlakken. Dit gewogen gemiddelde bleek veelal niet af te wijken van het ongewogen gemiddelde.

Op basis van de proefplekbemonstering kunnen ook bedrijfsgemiddelde Nmin-gehalten en nitraatconcentraties, op grovere wijze, worden geschat. In figuur 2.3 worden de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties en de Nmin-gehalten per bedrijf



Figuur 2.3 Bedrijfsgemiddelde Nmin (boven, kg/ha) en nitraat (onder, mg/l) op basis van de proefplekbeemonstering versus de bemonstering op bedrijfsniveau

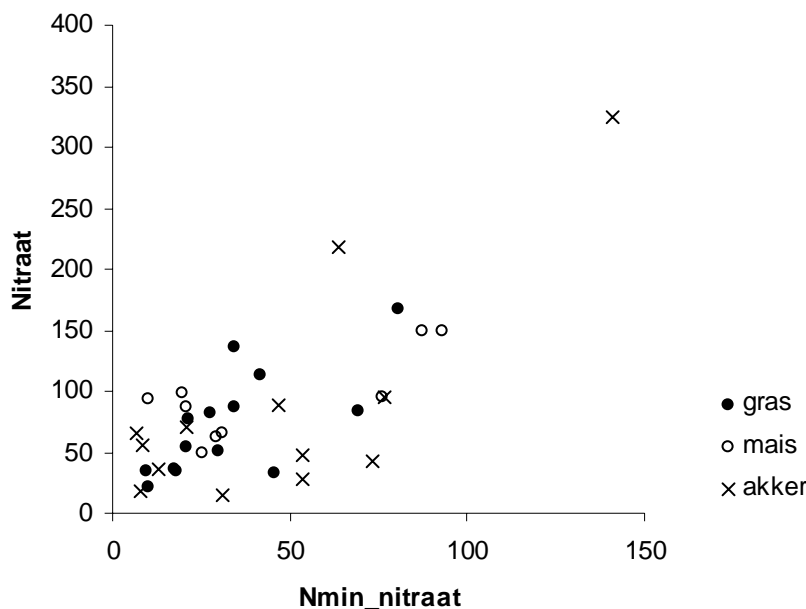
tegen elkaar uitgezet. De geringe samenhang wordt veroorzaakt doordat de proefplekken niet evenredig over alle percelen zijn verdeeld, terwijl voor de bepaling van het bedrijfsgemiddelde Nmin juist alle percelen zijn bemonsterd. Daarnaast zijn voor de bedrijfsbemonstering van nitraat veelal meer stekken bemonsterd dan bij de monsternamen op de proefplekken, dus dat levert bij de bedrijfsbemonstering waarschijnlijk een nauwkeuriger schatting van het bedrijfsgemiddelde op.

Perceelsniveau

In het najaar van 2002 zijn 37 percelen aangewezen die intensief zijn bemonsterd voor zowel de Nmin-meting in het najaar als de nitraatmeting in het voorjaar van 2003. De percelen zijn zo gekozen dat ze verdeeld zijn over de verschillende gewasgroepen. In de onderstaande tabel staat een overzicht van de nitraatconcentratie per gewasgroep waarbij de akkerbouwgewassen bij elkaar zijn gevoegd. Van één perceel was het gewas niet bekend.

Tabel 2.15 Nitraatconcentraties in de intensief bemonsterde percelen (mg/l)

Gewas-groep	Aantal percelen	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
Akker	13	85	14	325	55
Gras	14	72	22	167	66
Mais	9	94	49	149	94



Figuur 2.4 Perceelsgemiddelde Nitraatconcentraties (mg/l) in relatie tot $Nmin_{nitraat}$ (kg/ha) op basis van de extra perceelsbemonstering.

De meetresultaten van de intensieve bemonstering op perceelsniveau zijn weergegeven in figuur 2.4. Op perceelsniveau blijkt er een redelijk goede positieve samenhang tussen $Nmin$ en nitraat te bestaan. Dit geldt voor alle drie de gewasgroepen.

2.2.3 Gegevens voor de toetsing op plekniveau (regionale monitoring)

Tabel 2.16 t/m 2.18 vatten de resultaten van de regionale monitoring samen, waarbij de nitraatgegevens per Gt-, bodem- en gewasgroep en de $Nmin$ -gegevens per gewasgroep voor de drie regio's zijn samengevoegd. Enkele extreme waarden in de meetresultaten van de nitraatmetingen in grondwater en bodemvocht (>800 mg/l) zijn uit de dataset verwijderd.

Het valt op dat de $Nmin$ -gegevens ongeveer twee tot vijf keer lager zijn dan die van de proefplekken op de ontwikkelbedrijven, terwijl de nitraatconcentraties in de regio's een stuk hoger liggen dan die op de ontwikkelbedrijven. De nitraatconcentraties in de regio's zijn gemiddeld 25 tot 70 mg/l hoger dan bij de ontwikkelbedrijven. De nitraatconcentraties zijn over het algemeen duidelijk lager bij Gt-groep 1 en bij L, net als bij de ontwikkelbedrijven.

Tabel 2.16 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per Gt-groep, meetseizoenen 2001-2002 en 2002-2003, regionale monitoring

Gt-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde 2001	Minimum 2001	Maximum 2001	Gemiddelde 2002	Minimum 2002	Maximum 2002
1	4	147	67.5	222	86	19	184
2	119	138	0.0	512	130	0	448
3	136	112	1.5	504	104	0	433

Tabel 2.17 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per bodemgroep, meetseizoenen 2001-2002 en 2002-2003, regionale monitoring

Bodem-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde 2001	Minimum 2001	Maximum 2001	Gemiddelde 2002	Minimum 2002	Maximum 2002
L	60	91	5.3	359	67	0	265
Z1	37	143	3.1	427	121	0	397
Z2	43	159	0.1	512	131	0	407
Z3	119	123	0.0	504	133	0	448

Tabel 2.18a. Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per gewasgroep, meetseizoenen 2001-2002 en 2002-2003, regionale monitoring

Gewas-groep	Aantal proefpl.	Gemiddelde 2001	Min. 2001	Max. 2001	Aantal proefpl.	Gemiddelde 2002	Min. 2002	Max. 2002
a	18	140	1	328	22	156	2	413
b	13	79	33	179	13	54	2	166
g	95	93	0	512	91	100	0	433
m	76	167	2	504	87	146	0	448
r	52	127	5	428	46	90	0	407

Tabel 2.18b . Overzicht van Nmin (kg/ha) in 0-90 cm per gewasgroep, meetseizoenen 2001-2002 en 2002-2003, regionale monitoring

Gewas-groep	Aantal proefpl.	Gemiddelde 2001	Min. 2001	Max. 2001	Aantal proefpl.	Gemiddelde 2002	Min. 2002	Max. 2002
a	18	19	8	44	22	30	6	89
b	13	10	3	16	13	14	5	41
g	95	18	1	77	91	21	2	113
m	76	34	6	100	87	25	4	76
r	52	17	1	46	46	16	2	51

Tabel 2.18c. Overzicht van Nmin_{nitraat} (kg/ha) per gewasgroep, meetseizoenen 2001-2002 en 2002-2003, regionale monitoring

Gewas-groep	Aantal proefpl.	Gemiddelde 2001	Min. 2001	Max. 2001	Aantal proefpl.	Gemiddelde 2002	Min. 2002	Max. 2002
a	18	17	7	44	22	26	1	89
b	13	8	3	14	13	11	4	23
g	95	14	1	70	91	16	1	113
m	76	30	2	100	87	22	3	75
r	52	14	1	45	46	12	2	51

2.2.4 Beschikbare gegevens van de toetsbedrijven

Op de toetsbedrijven zijn de Nmin-gehalten en de nitraatconcentraties op bedrijfsniveau bepaald. Plekken voor nitraatbemonstering zijn per cluster geloot, waardoor de gegevens eenvoudig per Gt-, bodem- en gewasgroep weer te geven zijn. De meetresultaten staan in de tabellen 2.19 tot en met 2.21.

Tabel 2.19 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per bodemgroep, meetseizoen 2002-2003, toetsbedrijven

Bodem-groep	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
L	2	62.9	60.6	65.2	62.9
Z1	17	116.2	0.0	562.0	90.3
Z2	30	77.3	0.7	241.3	56.6
Z3	38	97.8	20.3	359.9	77.5

Tabel 2.20 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per Gt-groep, meetseizoen 2002-2003, toetsbedrijven

Gt-groep	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
1	45	82.6	0.0	359.9	71.3
2	24	89.1	24.8	196.9	78.0
3	18	126.6	7.0	562.0	95.7

Tabel 2.21 Overzicht van de Nitraatconcentraties (mg/l) per gewasgroep, meetseizoen 2002-2003, toetsbedrijven

Gewas-groep	Aantal waarnemingen	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
a	11	155.5	32.2	359.9	146.9
b	6	104.5	42.7	149.9	107.9
g	35	54.2	1.9	241.3	40.5
m	15	146.0	0.7	562.0	127.7
r	19	90.0	0.0	236.2	81.8
t	1	0.7	0.7	0.7	0.7

Voor de bepaling van een bedrijfsgemiddelde N_{min} zijn alle percelen van een bedrijf bemonsterd. Vervolgens is aan elk perceel een cluster toegekend, namelijk het cluster met het grootste oppervlak binnen dat perceel. Uit de N_{min} -waarden die op deze wijze aan de clusters zijn toegekend zijn vervolgens clustergemiddelden geschat. In de tabellen 2.22 t/m 2.24 zijn deze gegevens (nitraatdeel van N_{min}) per Gt-, bodem- en gewasgroep gepresenteerd.

De nitraatgehalten op de toetsbedrijven zijn iets hoger dan die op de ontwikkelbedrijven, behalve voor bodemgroep Z2. Bij de bodemgroepen valt vooral de hoge gemiddelde nitraatconcentratie voor bodemgroep Z1 op, terwijl daar juist de laagste gemiddelde $N_{min_{nitraat}}$ -waarde bij hoort.

Voor gewasgroep 't' is het verschil erg groot, maar dit heeft slechts betrekking op één waarneming. Gewasgroep 't' heeft doorgaans de hoogste nitraatconcentraties en veelal ook de hoogste voorraden N_{min} , maar het enkele monster op de toetsbedrijven heeft zowel een lage $N_{min_{nitraat}}$ -voorraad als een laag nitraatgehalte. Bij gras is net zoals bij de ontwikkelbedrijven de gemiddelde nitraatconcentratie laag en dichtbij de norm van 50 mg/l.

Bij de indeling naar Gt-groep valt op dat de nitraatconcentraties voor Gt-groep 1 en 2 vergelijkbaar zijn en dit geldt ook voor de N_{min} -waarden voor deze Gt-groepen. Voor Gt-groep 3 geldt echter dat de nitraatconcentraties conform de verwachting hoger zijn dan die voor de nattere Gt-groepen, maar de N_{min} -waarden zijn lager dan die van Gt-groep 1 en 2.

Tabel 2.22 Overzicht van $N_{min_{nitraat}}$ (kg/ha) per bodemgroep, meetseizoen 2002-2003, toetsbedrijven

Bodem-groep	Aantal Proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
L	2	61.1	21.5	100.8	61.1
Z1	17	49.9	3.8	129.7	36.8
Z2	25	52.5	6.3	186.0	25.6
Z3	35	69.1	4.6	312.6	46.8

Tabel 2.23 Overzicht van $N_{min_{nitraat}}$ (kg/ha) per Gt-groep, meetseizoen 2002-2003, toetsbedrijven

Gt-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
1	39	63.8	6.3	270.2	46.8
2	22	61.5	4.6	312.6	42.0
3	18	47.9	3.8	129.7	31.8

Tabel 2.24 Overzicht van $N_{min_{nitraat}}$ (kg/ha) per gewasgroep, meetseizoen 2002-2003, toetsbedrijven

Gewas-groep	Aantal proefplekken	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Mediaan
a	10	107.4	4.6	270.2	104.1
b	5	49.1	22.2	70.2	48.0
g	33	39.7	3.8	186.0	25.3
m	12	107.1	32.1	312.6	80.6
r	18	43.1	7.3	151.6	23.7
t	1	14.0	14.0	14.0	14.0

3 Statistische methoden en technieken

3.1 Aspecten met betrekking tot de data

Op basis van de beschikbare gegevens is onderzocht of er een relatie bestaat tussen verschillende zogenoemde kandidaat-indicatoren en de nitraatconcentratie in grondwater of bodemvocht. Er is gebruik gemaakt van de gegevens van drie meetjaren, namelijk 2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003. Een meetjaar heeft betrekking op een groeiseizoen waarvan bijvoorbeeld N-giften en gewasgegevens bekend zijn, gevolgd door het najaar waarin N_{min} is gemeten en het voorjaar waarin de nitraatconcentratie is gemeten. De beschikbare gegevens zijn verder besproken in hoofdstuk 2.

Voor het grootste deel van de proefplekken zijn metingen van drie jaar beschikbaar. Van deze proefplekken is ruim 50 % van gewasgroep veranderd tussen het eerste en het tweede meetjaar en bijna 60 % is van gewasgroep veranderd tussen het tweede en derde meetjaar. Bovendien is binnen de akkerbouwgewassen vaak een ander gewas geteeld dat wel in dezelfde gewasgroep valt. Een ander gewas betekent een andere bemesting, andere gewasresten, ander oogsttijdstip en zo verder. Op basis van deze veranderingen is bij de analyse verondersteld dat de metingen tussen de drie jaar onafhankelijk zijn. Deze aanname is achteraf gecontroleerd door de correlatie tussen de residuen te berekenen en is aannemelijk gebleken.

Op basis van het resultaat dat verkregen is na de eerste twee meetjaren, is er ook bij de analyse van de drie meetjaren voor gekozen om de akkerbouwgewassen, gras en maïs apart te analyseren. Naast de kandidaat-indicatoren wordt onderzocht of er nog andere variabelen zijn die variatie in de metingen van nitraatconcentraties mede kunnen verklaren. Regressieanalyse is daarvoor de aangewezen methode. In regressieanalyse wordt onderzocht hoe goed één te verklaren variabele (ook wel responsvariabele genoemd) voorspeld kan worden uit één of meer verklarende variabelen (ook wel predictorvariabelen genoemd). In de analyse is de nitraatconcentratie in grondwater of bodemvocht als responsvariabele genomen. Er is onderzocht in hoeverre de nitraatconcentratie, zoals gemeten op een proefplek, voorspeld kan worden uit alle andere gemeten variabelen.

Om te komen tot een goed regressiemodel moeten een aantal keuzes worden gemaakt en veronderstellingen worden gedaan die betrekking hebben op de steekproefopzet, de manier waarop de data verzameld zijn en op het uiteindelijke doel van het model. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste aspecten die een rol hebben gespeeld bij de analysemethode en de keuzes die zijn gemaakt uitgelegd en verantwoord.

3.2 Regressie: aannames en gebruikte technieken

3.2.1 Modelgebaseerde of ontwerpgebaseerde regressieanalyse

De proefplekken in de dataset zijn het resultaat van een gestratificeerde steekproef waarbij gestratificeerd is volgens de combinatie van bodemgroep, Gt-groep, gewasgroep en bedrijf. Een complete verantwoording is te vinden in het rapport over gegevensverzameling (Smit *et al.*, 2003).

In de statistische methodologie wordt onderscheid gemaakt tussen de 'modelgebaseerde' en de 'ontwerpgebaseerde methoden'. Bij de modelgebaseerde methoden wordt de statistische analyse gebaseerd op een model van de waarnemingen. Bij de ontwerpgebaseerde methoden wordt de statistische analyse gebaseerd op het steekproefontwerp dat voor de gegevensverzameling is toegepast.

In een steekproef hebben alle proefplekken een bepaalde kans om geloot te worden, de zogenoemde insluitkans. Bij ontwerpgebaseerde regressie worden de proefplekken gewogen met de inverse van hun insluitkansen. Bij modelgebaseerde regressie worden de proefplekken niet gewogen. Indien de aantallen proefplekken per stratum evenredig zouden zijn met de oppervlakten van de strata, dan zouden de insluitkansen van de proefplekken gelijk zijn geweest. Het al dan niet wegeen heeft dan geen enkele invloed op het resultaat. Bij het loten van de proefplekken is echter afgeweken van evenredige allocatie. Er is voor gekozen minimaal één punt te loten in elk cluster dat op een bedrijf voorkomt. Verder zijn er reservepunten geloot en gebruikt indien op het veld een ander gewas stond dan was voorzien. Daarom zijn de uiteindelijk gerealiseerde insluitkansen van alle proefplekken berekend. Er bleken grote verschillen in insluitkansen voor te komen. Daarmee ligt het voor de hand een gewogen regressieanalyse uit te voeren.

Het probleem bij een gewogen regressieanalyse zit vervolgens niet in het schatten van de modelparameters maar in het verkrijgen van de juiste varianties en covarianties. De varianties die gegeven worden door standaard statistische pakketten zijn in deze context incorrect. Daarmee zijn ook de standaard toetsen (t -toets en F -toets) niet valide en kunnen geen betrouwbaarheidsintervallen rond voorspellingen worden opgesteld. Daarnaast zijn er nog een aantal andere goede argumenten die pleiten voor een ongewogen regressieanalyse. Dit zijn de argumenten die horen bij een modelgebaseerde benadering. Het doel van het onderzoek is niet zozeer het beschrijven van de situatie rond stikstof op de populatie van bedrijven die nu meedoen in de steekproef, maar het opstellen van een model voor het voorspellen van nitraatuitspoeling voor alle bedrijven in Nederland. Daarnaast is met reden afgeweken van de evenredige allocatie. Door ook in kleine strata tenminste één punt te loten, wordt meer inzicht verkregen in de mogelijke variatie in de betreffende clusters dan wanneer alle punten van een cluster op een paar grote bedrijven terecht zouden zijn gekomen. Deze punten in strata percelen hebben nu een relatief grote insluitkans en zouden in een gewogen regressie weer een zeer ondergeschikte rol spelen.

De gegeven modellen bij de analyses op basis van één en twee meetjaren, respectievelijk beschreven door Hack-ten Broeke *et al.* (2003) en Burgers *et al.* (2004), zijn gebaseerd op een ongewogen regressieanalyse. In de analyse in dit rapport met de gegevens van de drie meetseizoenen is wederom gekozen voor een ongewogen regressieanalyse. Voor de gegeven modellen is steeds gecontroleerd of de parameterschattingen wezenlijk zouden veranderen indien toch een gewogen regressie (gewogen met 1/insluitkans) zou worden uitgevoerd. Dit is nergens het geval, hoewel het effect van de weging in de analyse op basis van drie meetjaren groter is gebleken dan op basis van één of twee jaar.

3.2.2 Onderscheid naar de verschillende bronnen van variatie

Een groot aantal variabelen is gemeten op het niveau van de proefplekken, zodat voor die variabelen iedere proefplek dan zijn eigen waarde heeft. Bij een aantal variabelen is dit echter niet het geval. Zo hebben alle proefplekken op hetzelfde perceel per definitie hetzelfde gewas, perceeloverschot, kunstmestgift, dierlijke mestgift, groenbemester, N-afvoer via het gewas en neerslagoverschot. Verder zijn er variabelen die op bedrijfsniveau worden bepaald. Alle proefplekken van één bedrijf hebben hetzelfde bedrijfsoverschot, MINAS-overschot en dezelfde neerslagsom.

Een variabele die op bedrijfsniveau wordt gemeten, zoals bijvoorbeeld het bedrijfsoverschot, kan geen variatie verklaren tussen de proefplekken binnen een bedrijf. Dit betekent ook dat een mogelijk effect van deze variabele niet getoetst kan worden tegen variatie tussen proefplekken, maar getoetst moet worden tegen variatie tussen bedrijven. In de modelformulering dient dus rekening gehouden te worden met de verschillende niveaus van variatie en welke variabele op welk niveau variatie kan verklaren en getoetst moet worden. Dit worden ook wel *mixed* modellen genoemd. In een *REstricted Maximum Likelihood*-(REML-)model kan men opgeven welke *random* termen er zijn (bedrijven, percelen en proefplekken) en welke variabelen (*fixed* termen) er zijn.

Van de gegeven modellen is gecontroleerd of de variantiecomponenten van de bedrijven en percelen verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de restvariantie (onverklaarde variantie tussen proefplekken). Indien dit zo is, dan is de variatie tussen bedrijven en tussen percelen binnen bedrijven van een vergelijkbare grootte als de variatie tussen de proefplekken. Het effect van alle variabelen kan worden getoetst tegen deze variantie, waarmee dus kan worden volstaan met een gewoon regressiemodel. Voor alle modellen die gegeven worden in hoofdstuk 4 van dit rapport waren de variantiecomponenten van bedrijven en percelen verwaarloosbaar klein ten opzichte van de restvariantie. Daarom is gekozen voor een gewoon regressiemodel met één restterm. In de tekst van hoofdstuk 4 wordt dan ook geen aandacht meer besteed aan de REML-modellen.

3.2.3 Gebruikte selectiemethoden

Het doel van de selectie van variabelen is te komen tot enerzijds een model dat zo goed mogelijk voorspelt (dus met een zo laag mogelijke restvariantie) met anderzijds zo min mogelijk parameters. Het volledige model (met alle verklarende variabelen) heeft per definitie de laagste restvariantie. De selectie vindt plaats op basis van de volgende criteria: percentage verklaarde variantie, *Mallows' C_p* , significantie van parameters en het voldoende ongecorreleerd zijn van twee of meer van de verklarende variabelen. *Mallows' C_p* is een maat om te bekijken in hoeverre de restvariantie van het geselecteerde model groter is dan de restvariantie van het volledige model.

Als gevolg van het grote aantal mogelijke verklarende variabelen is gestart met een voorwaartse, achterwaartse en stapsgewijze selectie van variabelen. Bij voorwaartse selectie wordt steeds een variabele aan het model toegevoegd, bij achterwaartse selectie wordt gestart met het volledige model (alle mogelijke verklarende variabelen erin) en valt steeds een variabele af. Stapsgewijze selectie is een combinatie van voorwaarts en achterwaarts. Het resultaat van deze selectie methoden is vervolgens gebruikt als startpunt voor de GenStat procedure RSEARCH. Hierin worden alle deelmodellen, dat wil zeggen alle mogelijke combinaties van verklarende variabelen, aangepast en de beste combinaties (met het hoogste percentage verklaarde variantie en/of laagste *Mallows' C_p*) worden gegeven. Er is uitgegaan van de modellen met het hoogste percentage verklaarde variantie waarbij alle parameters in het model nog significant zijn. De gegeven modellen hebben de laagste C_p maar voldoen niet *per se* aan het criterium $C_p < p+3$ (Oude Voshaar, 1994). Er is gecontroleerd of de verklarende variabelen in het model onderling voldoende ongecorreleerd zijn om een stabiel model te geven.

Vervolgens is voor de aldus geselecteerde modellen gecontroleerd of één van de andere variabelen nog een relevante bijdrage had voor de voorspelling van de nitraatconcentratie. We spreken van een relevante bijdrage als het effect van een variabele op de nitraatconcentratie 10 mg/l of meer is (over 50% van de range van die variabele, namelijk het verschil tussen het hoogste en het laagste kwartiel). Een parameter voor een verklarende variabele is misschien niet statistisch significant, maar kan door zijn grootte (in combinatie met het bereik van de variabele) toch een relevant effect laten zien op de nitraatconcentratie. Dergelijke variabelen zijn dan alsnog wel opgenomen in de gepresenteerde modellen. De grens van 10 mg/l is een arbitraire keuze, die binnen de projectgroep is gemaakt.

Voor alle modellen is de invloed gecontroleerd van waarnemingen met een groot residu en/of een grote hefboomwerking (*high leverage*). Deze punten kunnen een grote invloed hebben op de parameters van het regressiemodel en daarmee op de ligging van de regressielijn. Het resultaat van deze controle en de eventuele consequenties, zoals een beslissing om punten weg te laten, wordt vermeld in hoofdstuk 4.

De enige variabelen waarvoor gecontroleerd is of er sprake is van een niet-lineair verband met de nitraatconcentratie zijn de neerslagsom en het neerslagoverschot.

Een grotere neerslag kan er in eerste instantie voor zorgen dat Nmin terecht komt in het grondwater waarmee de nitraatconcentratie oploopt. Heel veel neerslag zou tot een verdunning en dus een lagere nitraatconcentratie kunnen leiden. Voor de andere variabelen wordt een min of meer lineair stijgend dan wel dalend verband verwacht met de nitraatconcentratie.

Tenslotte is voor alle verklarende variabelen gecontroleerd of de interactie met de bodem- en/of de Gt-groep significant is. Dit zou namelijk betekenen dat het verband tussen die verklarende variabele en de nitraatconcentratie verschilt per bodemgroep of per Gt-groep. Interacties zijn alleen in het model opgenomen indien zij significant zijn.

3.2.4 Variatie en/of meetfouten in de meting van Nmin

Zowel de waarnemingen aan de responsvariabele (nitraatconcentratie) als aan de verklarende variabelen (zoals Nmin en $Nmin_{\text{nitraat}}$) zijn niet foutloos en behept met variatie. In een gewone regressieanalyse wordt daar geen rekening mee gehouden. Dit verschijnsel kan leiden tot een onderschatting van de helling. De geschatte helling kan gecorrigeerd worden met een correctie factor $(1+\lambda)$ die afhangt van de variatie in de verklarende variabele en van het bereik van deze variabele (Snedecor en Cochran, 1967). Deze λ is te schatten door $s_e^2 / (s_X^2 - s_e^2)$.

Vooruitlopend op de resultaten zoals die zijn beschreven in het volgende hoofdstuk, geven we hier een schatting voor deze λ voor $Nmin_{\text{nitraat}}$ als verklarende variabele. Op basis van berekening van de variantie van de $Nmin_{\text{nitraat}}$ -waarnemingen is $s_X = 50$ kg/ha. Een redelijke schatting voor de meetfout in $Nmin_{\text{nitraat}}$ op proefplekniveau lijkt $s_e = 10$ (i.e. een meting van 50 kg/ha op een proefplek ligt met 95% zekerheid tussen de 30 en 70 kg/ha). Invullen van de formule geeft een geschatte λ van 0.042. Op basis van deze schatting kan geconcludeerd worden of de onderschatting van de helling (door geen rekening te houden met de fout in de waarde van $Nmin_{\text{nitraat}}$) verwaarloosbaar is of niet. Een helling die nu geschat is op 0.64 wordt na correctie voor de onderschatting gelijk aan $0.64 \cdot (1+0.042) = 0.67$. Gegeven de nauwkeurigheid van de helling is deze correctie te verwaarlozen. Dit betekent dat rekening houden met de variatie in de $Nmin_{\text{nitraat}}$ -meting niet resulteert in een heel andere regressiecoëfficiënt en daarmee ook niet in een ander model.

3.2.5 Transformatie van de nitraatconcentratie

Een veronderstelling bij regressieanalyse is dat de variantie in de responsvariabele (nitraatconcentratie) gelijk is over de *range* van de verklarende variabele (bijv. $Nmin_{\text{nitraat}}$). Meerdere malen meldt GenStat bij de *messages* dat dit niet het geval is en ook de grafiek waarbij de residuen worden uitgezet tegen de voorspelde waarden wijst uit dat de variantie toeneemt met een hogere Nmin. Dit is vooral duidelijk bij de hele lage nitraatconcentraties waar de variantie kleiner is.

Vaak kan een constante variantie worden verkregen door de responsvariabele logaritmisch te transformeren. Dit betekent echter dat overgegaan wordt van een additief model naar een multiplicatief model, wat in de gegeven situatie niet wenselijk is. Bovendien blijkt uit het toepassen van die logtransformatie dat de correctie te sterk is, waardoor de variantie na transformatie zelfs afneemt met het niveau.

Een alternatief is een worteltransformatie waarbij de wortel van de nitraatconcentratie als responsvariabele wordt genomen. Voor sommige modellen resulteert dit in een iets hoger percentage verklaarde variantie, maar wanneer de residuen worden uitgezet tegen de voorspelde waarden blijkt dat het beeld niet veel verbeterd is. Op de oorspronkelijke schaal hebben we in feite nu een polynoom en dus een niet-lineair verband tussen $N_{min_{nitraat}}$ en de nitraatconcentratie. Het blijkt dat de lijn op het relevante traject (0-200) vrijwel lineair is en dat ook de voorspelfout niet omlaag gaat. Daarmee zijn de resultaten voor de voorspellingen en betrouwbaarheidsintervallen gelijk aan die van een lineair model en is er dus weinig aanleiding om over te gaan tot een worteltransformatie.

3.3 Procesmodel

De regressieresiduen op proefplekniveau bleken vaak groot te zijn. Daarom is onderzocht of er betere modellen worden gevonden wanneer bij de regressie-modellering intensiever gebruik wordt gemaakt van proceskennis dan bij de hiervoor beschreven regressieanalyse. Dit is gedaan door het proces van nitraatuitspoeling te schematiseren, op grond daarvan een differentiaalvergelijking op te stellen voor de verandering van de hoeveelheid nitraat in de bodem, en deze vergelijking te integreren. Na het toevoegen van een restterm leverde dit een additief niet-lineair regressiemodel voor de nitraatconcentratie op, met een aantal nieuwe predictorvariabelen die van de beschikbare bodem- en meteogegevens zijn af te leiden. Tenslotte is dit model op de normale wijze gekalibreerd met de beschikbare gegevens.

Om een model te krijgen dat niet te ingewikkeld is, is uitgegaan van de volgende eenvoudige schematisering:

1. Er wordt niet gedifferentieerd naar diepte in de bodem: concentraties en fluxen zijn constant met de diepte. Met andere woorden: de bodem wordt beschouwd als een bak met een perfect gemengde nitraatoplossing;
2. Het totale neerslagoverschot in de periode tussen N_{min} -meting en nitraatmeting, wordt gelijk verdeeld verondersteld over deze periode;
3. De nitraatconcentratie in het bodemvocht op het moment van de nitraatmeting is gelijk aan de nitraatconcentratie in het grondwater (nitraatmeting vindt plaats in wat er op dat moment uit de bak loopt);
4. De enige relevante processen in de winterperiode zijn, behalve uitspoeling: (natte) depositie, mineralisatie en denitrificatie. Deze worden alle stationair verondersteld, d.w.z. alle fluxen zijn constant in de tijd.

De verandering van de hoeveelheid nitraat in de bodem, $Q(t)$, wordt gegeven door de volgende differentiaalvergelijking:

$$\frac{dQ}{dt} = IC_n + M - D - IC, \quad [1]$$

waarin:

t : tijd verstreken sinds de N_{min} meting [d];

I : gemiddelde netto neerslagintensiteit [$l \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$];

C_n : nitraatconcentratie in de neerslag [$mg \cdot l^{-1}$];

M : gemiddelde mineralisatie-flux [$mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$];

D : gemiddelde denitrificatie-flux [$mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$];

C : nitraatconcentratie in het bodemvocht [$mg \cdot l^{-1}$], gelijk aan Q/V .

In navolging van Hénault en Germon (2000) voeren we voor M en D de volgende multiplicatieve submodellen in:

$$M = M_p F_{WM} F_T, \quad [2]$$

$$D = D_p F_{WD} F_T F_N, \quad [3]$$

waarin:

M_p : potentiële mineralisatieflux [$mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$];

D_p : potentiële denitrificatieflux [$mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$].

De variabelen F zijn dimensieloze reductiefactoren met waarden tussen 0 en 1, waarbij:

F_{WM} : optimaliteit van de vochttoestand m.b.t. mineralisatie (een functie van de fractie watergevuuld poriënvolume);

F_{WD} : optimaliteit van de vochttoestand m.b.t. denitrificatie (een andere functie van de fractie watergevuuld poriënvolume);

F_T : optimaliteit van de bodemtemperatuur m.b.t. mineralisatie en denitrificatie;

F_N : beschikbaarheid van nitraat voor denitrificatie.

Hénault en Germon (2000) geven voor F_N een asymptotisch tot 1 naderende functie:

$$F_N = \frac{Q}{\alpha + Q}.$$

Deze leidt echter tot een moeilijk te hanteren integratieprobleem. Daarom voeren we in:

$$F_N = \alpha \cdot Q, \quad [4]$$

(dit betekent dat de maximale denitrificatieflux groter kan zijn dan D_p).

Om de afleiding nog verder te vereenvoudigen nemen we aan dat alle natte depositie, mineralisatie, en omzetting van ammoniak in nitraat, direct na de N_{min} -meting plaatsvindt. De hoeveelheid nitraat aan het begin van de periode wordt dus gelijk gesteld aan de som van N_{min} plus depositie, plus mineralisatie:

$$Q(0) = N_{min} + (IC_n + M_p F_{WM} F_T) T, \quad [5]$$

waarin T het aantal dagen is tussen de N_{min} -meting en de nitraatmeting.

Ter verkorting voeren we tijdelijk in:

$$\beta_1 = IC_n + M_p F_{WM} F_T,$$

$$\beta_2 = D_p F_{WD} F_T \alpha + \frac{I}{V},$$

waarin V het vochtvolume is van de bodem in stationaire toestand [mm] ofwel

[l.m⁻²].

De differentiaalvergelijking [1] wordt dan:

$$\frac{dQ}{dt} = \beta_1 + \beta_2 Q.$$

Integreren van deze vergelijking levert op:

$$Q(t) = \frac{\beta_1}{\beta_2} + \left(Q(0) - \frac{\beta_1}{\beta_2} \right) e^{-\beta_2 t}.$$

Weer uitschrijven van de *beta's* levert voor de hoeveelheid nitraat aan het eind van de periode:

$$Q(T) = \frac{IC_n + M_p F_{WM} F_T}{D_p F_{WD} F_T \alpha + I/V} + \left(Q(0) - \frac{IC_n + M_p F_{WM} F_T}{D_p F_{WD} F_T \alpha + I/V} \right) e^{-(D_p F_{WD} F_T \alpha + I/V)T},$$

en voor de concentratie:

$$C(T) = \frac{Q(T)}{V} = \frac{IC_n + M_p F_{WM} F_T}{VD_p F_{WD} F_T \alpha + I} + \left(\frac{Q(0)}{V} - \frac{IC_n + M_p F_{WM} F_T}{VD_p F_{WD} F_T \alpha + I} \right) e^{-(D_p F_{WD} F_T \alpha + I/V)T}. [6]$$

In dit model stellen voor:

$Q(0)$: de hoeveelheid nitraat tijdens de Nmin meting, gelijk te stellen aan Nmin (gemeten predictor);

I : gemiddelde netto neerslagintensiteit (uit de neerslaggegevens te berekenen predictor);

IC_n : nitraatconcentratie in de neerslag (aan de literatuur te ontleen constante);

T : aantal dagen tussen Nmin meting en nitraat meting (uit de meetgegevens te bepalen predictor);

M_p : potentiële mineralisatie-flux (clusterspecifieke regressieparameter);

$F_{WM} \cdot F_T$: reductiefactor voor de potentiële mineralisatie t.g.v. vochttoestand en temperatuur (uit meteo- en bodemgegevens te berekenen predictor; zie sectie 4.3);

V : vochtvolume van de bodem in stationaire toestand (bodem/Gt-specifieke regressieparameter);

$D_p \cdot \alpha$: potentiële denitrificatie-flux, gereduceerd t.g.v. beperkte beschikbaarheid van nitraat (clusterspecifieke regressieparameter);

$F_{WD} \cdot F_T$: reductiefactor voor de potentiële denitrificatie t.g.v. vochttoestand en temperatuur (uit meteo- en bodemgegevens te berekenen predictor; zie sectie 4.3).

4 Resultaten van de statistische analyse op basis van drie meetseizoenen

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de regressieanalyse beschreven, en levert daarmee een 'indicator' op. Paragraaf 4.2 en 4.3 hebben direct betrekking op de lineaire regressieanalyse ten behoeve van het vinden van een indicator voor nitraatconcentraties in het grondwater. In paragraaf 4.2 gaat het over akkerbouw en in paragraaf 4.3 over melkveehouderij, waarbij een indeling is gemaakt in gras en maïs. De gegevens van akkerbouw, gras en maïs zijn ook tezamen geanalyseerd. De resultaten hiervan ondersteunen de resultaten die voor akkerbouw, gras en maïs afzonderlijk en zullen daarom niet in dit hoofdstuk worden gepresenteerd. De gedachte achter afzonderlijke analyses is dat deze tot nauwkeuriger modellen zullen leiden. Het zal blijken dat dit vooral voor gras het geval is.

De vierde paragraaf beschrijft de resultaten van regressieanalyse met gebruikmaking van vereenvoudigde deterministische kennis, het zogenaamde conceptuele model. Paragraaf 4.5 gaat in op de analyse van de gegevens die specifiek verzameld zijn voor perceels- en bedrijfsniveau. De zesde paragraaf geeft de resultaten van de analyse van het N_{min}-verloop in de tijd en met de diepte. De zevende paragraaf beschrijft de resultaten van de analyse van de gemiddelden per proefplek over de drie seizoenen. Tenslotte wordt in paragraaf 4.8 aandacht besteed aan lössgronden en het effect van het voorkomen van veenlaagjes op de nitraatconcentratie.

4.2 Akkerbouw

4.2.1 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). Proefplekken die uit kleigrond blijken te bestaan doen niet mee in de analyse. Daarnaast zijn er drie proefplekken met een extreem hoge nitraatwaarde en twee proefplekken met een extreme N_{min}_{nitraat}-waarde. Omdat deze punten ver buiten het bereik van de overige waarden vallen en daarom van te grote invloed zijn op het resultaat, doen deze punten niet mee in de analyse. Er is wel gecontroleerd of het uiteindelijke resultaat zou veranderen als deze punten wel zouden worden meegenomen; dat bleek niet het geval te zijn. Er blijven 529 proefplekken over die als volgt zijn verdeeld over de seizoenen: 120, 183 en 226 voor respectievelijk meetjaar 2000-2001, 2001-2002 en 2002-2003.

Tijdens de selectie van verklarende variabelen bleek het effect van de proefplekken met veenlaagjes op de nitraatconcentratie erg groot te zijn. Deze veen-proefplekken

maken een relatief groot deel uit van de proefplekken in Gt-groep 1 en veroorzaken daardoor een interactie tussen Gt-groep en $Nmin_{\text{nitraat}}$. Er is daarom besloten de proefplekken met veen uit te sluiten bij deze analyse. In paragraaf 4.7 wordt apart ingegaan op het effect van de aanwezigheid van veenlaagjes in de bodem op de nitraatconcentraties. De combinatie L met Gt-groep 1 en 2 is niet vertegenwoordigd in de dataset en ook de combinatie bodemgroep Z1 met Gt-groep 1 komt niet meer voor. Voor een overzicht van het aantal waarnemingen per bodem-Gt-gewascombinatie, zie bijlage 1.

Modellen

Uit de selectie komen drie regressiemodellen naar voren. 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. Door deze drie gewasgroepen samen te voegen worden twee parameters bespaard zonder dat het regressiemodel inboet aan voorspellingskracht. Bij de selectie zijn daarom de gewasgroepen 'a', 'b' en 'r' samengevoegd, resulterend in twee groepen 'a+b+r' en 't'.

Hoofdstuk 2 noemt een alternatieve gewasindeling op basis van de verwachte $Nmin$, die ook is gebruikt in de rapportage over twee meetseizoenen (Burgers *et al.*, 2004). Uiteindelijk werd hierbij ook gewerkt met twee groepen, namelijk 'laag+midden' en 'hoog'. Groep 't' blijkt niet overeen te komen met groep 'hoog'; de twee indelingen zijn dus echt verschillend. In de navolgende analyses wordt uitsluitend de indeling 'a+ b+ r' en 't' gehanteerd.

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 :

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

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

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

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 ($j=2$);

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

Tabel 4.1 Schatting van de regressiecoëfficiënten met standaardfout (se), 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.

Model	1		2		3	
	Parameter		Parameter		Parameter	
	schatting		se		schatting	
<i>a</i>	0.69	0.06	0.67	0.06	0.62	0.06
<i>b</i>			-0.31	0.05	-0.20	0.06
<i>d</i>			0.36	0.06	0.28	0.06
<i>e</i>					-2.1	0.8
<i>f_{abr}</i>					0.04	0.03
<i>f_i</i>					0.47	0.09
R^2_{adj}	36 %		43 %		47 %	
<i>Sd</i>	59.6		56.5		54.4	
aantal data	474		474		464	

Tabel 4.2 Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-gewasgroep combinatie van model 1, 2 en 3 voor akkerbouw

Model	Gewas Gt-groep Bodem	$a+b+r$			<i>t</i>		
		1	2	3	1	2	3
		1	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
2	Löss	-	-	-97.1	-	-	-
	Z1	-	-91.0	-72.3	-	-24.2	-5.5
	Z2	-120.9	-73.7	-55.0	-54.2	-7.0	-
	Z3	-121.3	-74.1	-55.4	-55.5	-7.3	11.4
3	Löss	-	-	-47.7	-	-	-
	Z1	-	-33.4	-12.5	-	-76.2	-55.3
	Z2	-56.9	-10.5	-10.4	-99.6	-53.2	-
	Z3	-58.6	-12.2	-8.7	-101.4	-54.9	-34.0

$Nmin_{nitraat}$ = nitraatdeel van $Nmin$ 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;

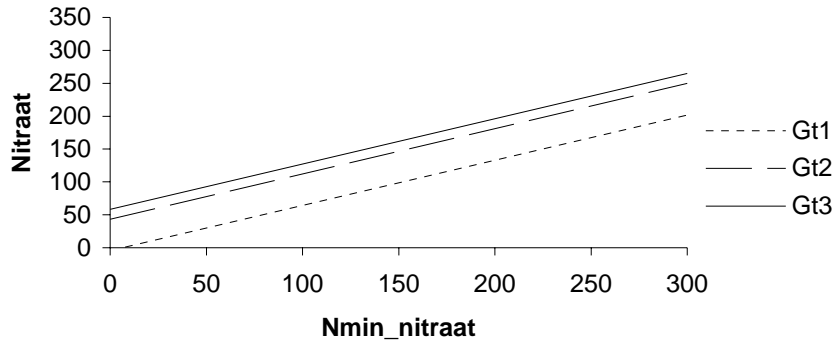
C_Nverb = C/N-verhouding voor de bouwvoor;

Ngift = som van kunstmest en totale dierlijke mestgift (kg/ha).

In tabel 4.1 worden per model de parameterschattingen met standaardfout (Se) gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (Sd).

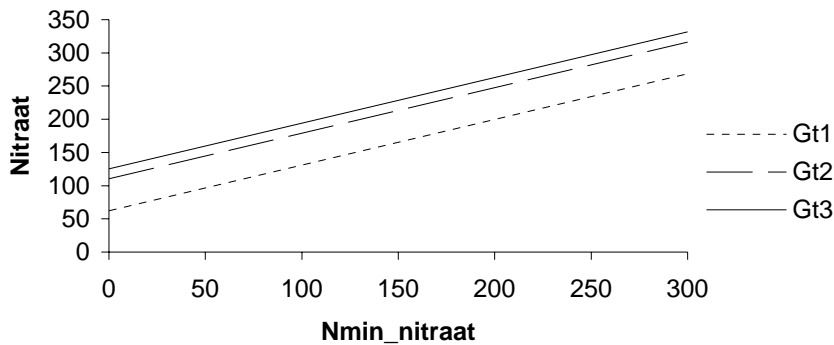
De constante C_i is gegeven voor iedere bodem-Gt-gewasgroepcombinatie die voorkomt in de dataset. De constante is de schatting voor de nitraatconcentratie gegeven dat alle andere verklarende variabelen in het model nul zijn. Bij model 1 komt dit overeen met de voorspelde nitraatconcentratie bij $Nmin_{nitraat} = 0$. Dit betekent voor gewasgroep *t* dat zelfs wanneer de $Nmin_{nitraat}$ nul is de norm voor nitraat (≤ 50 mg/l) niet wordt gehaald. Ook voor gewasgroep 'a+b+r' wordt de norm

Gewasgroep a+b+r



Figuur 4.1a Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) als functie van $Nmin_{nitraat}$ (kg/ha) conform regressiemodel 1 voor gewasgroep a+b+r

Gewasgroep t



Figuur 4.1b Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) als functie van $Nmin_{nitraat}$ (kg/ha) conform regressiemodel 1 voor gewasgroep t

niet gehaald bij Gt-groep 3 op de zandgronden Z2 en Z3. Voor Gt-groep 1 ligt de constante een stuk lager.

Om een idee te krijgen van de nitraatconcentratie bij een nulwaarde voor $Nmin_{nitraat}$ in model 2 kan het beste gekeken worden bij het gemiddelde Neerslagoverschot1 en Neerslagoverschot2 van de dataset, die overeenkomen met respectievelijk 77 mm en 396 mm. De gemiddelde C/N-verhouding voor deze dataset is 20.6 en de gemiddelde $Ngift$ is 184 kg/ha voor gewasgroep 'a+b+r' en 236 kg/ha voor gewasgroep 't'.

De helling van $Nmin_{nitraat}$ versus nitraat (modelparameter a) is voor alle drie de modellen vrijwel gelijk. Het percentage verklaarde variatie van model 3 ligt 11 % hoger dan dat van model 1 en de standaardfout (Sd van het model) is afgenomen met

5.2 mg/l. Dit betekent dat met het derde model nauwkeuriger kan worden voorspeld dan met het eerste (het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling is ca. 20 mg/l smaller). Tegenover deze hogere nauwkeurigheid staan echter wel extra waarnemingen van neerslagoverschotten in zomer en winter, C/N-verhouding en N-gift.

Stabiliteit model

Model 1 heeft veertien punten met een potentieel sterke hefboomwerking waarvan er nog vier overblijven in model 2. Het weglaten van deze punten heeft geen invloed op de helling van $N_{min, nitraat}$ en ook de constanten veranderen niet veel. De modellen zijn dus wel stabiel. Het weglaten van de vijf punten met het grootste residu resulteert bij model 1 in een stijging van het percentage verklaarde variantie (van 36 naar 40 %) en een daling van de standaardfout (van 59.6 naar 56.1 mg/l). Omdat er echter geen redenen zijn om deze punten weg te laten wordt uitgegaan van de modellen die in tabel 4.1 en 4.2 zijn gepresenteerd.

Voorspellingen

De voorspellingen op basis van regressiemodel 1 worden geïllustreerd in figuur 4.1. Voor de drie Gt-groepen en de twee gewasgroepen is de voorspelde nitraatconcentratie voor bodemgroep Z3 uitgezet tegen $N_{min, nitraat}$.

Effect van Gt-groep en bodemgroep

Het effect van de Gt-groep is in alle drie de modellen significant en relevant. Voor Gt-groep 2 ligt de nitraatconcentratie gemiddeld 15 tot 20 mg/l lager dan bij Gt-groep 3 en voor Gt-groep 1 is dat zo'n 65 mg/l. Ook het effect van bodemgroep is significant en relevant. Dit effect kan voor een groot deel worden verklaard uit de nitraatconcentratie, die bij löss gemiddeld veel lager is dan bij zandgronden. Er is geen verschil tussen de zandgronden Z2 en Z3, maar de nitraatconcentratie bij zandgrond Z1 ligt gemiddeld 16 mg/l lager. Dit effect van bodemgroep bij akkerbouw is vergelijkbaar met wat al eerder is gevonden op basis van twee seizoenen (Burgers *et al.*, 2004).

Effect van het weer

Het effect van neerslag in de zomer- en winterperiode op de nitraatconcentratie is significant en relevant. In model 2 en 3 zijn de neerslagoverschotten gegeven omdat die in de modelselectie de voorkeur kregen boven de neerslagsommen. In plaats van het neerslagoverschot kan ook de neerslagsom of een combinatie van som en overschot worden genomen, mits voor beide seizoenen (zomer en winter) één variabele wordt gekozen. Het negatieve teken voor Neerslagoverschot1 betekent dat de nitraatconcentratie in het voorjaar afneemt bij een toenemende neerslag in de zomer van het jaar ervoor. Het effect is 15 mg/l bij 50 mm extra neerslagoverschot. Dit kan het resultaat zijn van een hogere N-opname door goede vochtvoorziening of juist van hogere N-verliezen in de zomer, die in het volgend voorjaar niet meer terug te vinden zijn in de nitraatconcentratie. Het positieve teken voor Neerslagoverschot2 betekent dat een groter neerslagoverschot in de winterperiode leidt tot een verhoging van de nitraatconcentratie (18 mg/l voor 50 mm meer neerslagoverschot). Het extra N-transport weegt dus op tegen het effect van verdunning. Het effect van neerslag is

in model 2 groter dan in model 3. Deze neerslageffecten liggen in dezelfde lijn als bij de analyse na twee meetseizoenen (Burgers *et al.*, 2004).

Effect van bodemkenmerken

Het effect van de C/N-verhouding is significant en relevant. Een verhoging van de C/N-verhouding van 5 (bijvoorbeeld van 10 naar 15) geeft een afname van de nitraatconcentratie van 10 mg/l. Een hogere C/N-verhouding heeft immers een lagere netto N-mineralisatie tot gevolg.

Effect van N-gebruik

Er is een significante relatie tussen de N-gift en de nitraatconcentratie voor gewasgroep 't'. Een verhoging van de gift (met 20 kg/ha) geeft een hogere nitraatconcentratie (van 9 mg/l). Er is geen relatie tussen de N-gift en de nitraatconcentratie gevonden voor gewasgroep 'a+b+r'. Dit resulteerde in model 3 in een interactie tussen de gewasgroep en de N-gift. Het grote effect van gewasgroep 't' is toe te schrijven aan het feit dat binnen deze gewasgroep enerzijds over het algemeen gewassen voorkomen met een hoge mestgift en anderzijds kort groeiende groentegewassen met een lage N-efficiëntie. Voor gewasgroep 't' komt dit blijkbaar onvoldoende tot uiting in de N_{min}. De gewassen zijn meestal bemest in juli of augustus (giften variërend van 24 tot 350 kg/ha N).

Interacties tussen variabelen

Voor model 1 en 3 is voor alle variabelen onderzocht of zij een significante interactie met bodem-, Gt- of gewasgroep hebben. Vervolgens zijn alle significante interacties nader onderzocht.

Een aantal variabelen heeft een significante interactie met de gewasgroepindeling. Het gaat om de variabelen N-gift, N-afvoer met het gewas, MINAS-bedrijfsoverschot, N_{min_{ammonium}} en GHG. Het blijkt in alle gevallen te gaan om een sterk afwijkend effect van alleen gewasgroep 't' ten opzichte van de andere gewasgroepen. Zo is de helling van N-gift bij gewasgroep 'a' en 'r' gelijk aan 0.096 en voor gewasgroep 'b' gelijk aan 0.00 (niet significant afwijkend van 0.096). Voor gewasgroep 't' wijkt de helling 0.48 echter wel significant af. Het verband tussen N-gift en de nitraatconcentratie is dus veel sterker voor gewasgroep 't'. Zoals al eerder aangegeven heeft dat geresulteerd in model 3.

Ook voor de andere genoemde variabelen wijkt gewasgroep 't' sterk af. Voor N-afvoer met het gewas is het verband sterk positief bij gewasgroep 't', terwijl het voor de groepen 'a' en 'r' negatief. Ook het verband met MINAS-bedrijfsoverschot is veel sterker bij gewasgroep 't': het effect van N_{min_{ammonium}} is negatief terwijl het voor de andere groepen vrijwel nul is. Dit levert geen verbetering van de fit van de regressiemodellen op.

In tegenstelling tot het resultaat na twee meetjaren zijn de interacties tussen zowel bodemgroep en N_{min_{nitraat}} als tussen Gt-groep en N_{min_{nitraat}} niet significant. Daarnaast is gecontroleerd op andere interacties met Gt-groep, met Neerslagoverschot₁, met organische stof en de dikte van de bouwvoor, maar ook dit

Tabel 4.3 Schatting van de helling en het effect door toevoegen van een variabele aan model 1, akkerbouw

variabele	helling	P-waarde	eerste kwartiel	derde kwartiel	effect
perceeloverschot	0.026	0.33	56	166	2.9
Nafvoer-gewas	0.070	0.14	84	165	5.7
MINAS-overschot	0.17	<0.001	-12	68	13.6
bedrijfsoverschot	0.13	0.003	80	159	10.3
Nmin _{ammonium}	0.03	0.82	0	20	0.6
Ctotaal	-0.27	0.14	20	41	-5.7
Ntotaal	2.7	0.56	1.0	1.8	2.2
PotMin	-4.7	0.50	0.8	1.3	-2.4
N_NH4	-0.20	0.50	11	24	-2.6
denit1	-1.7	0.18	1.5	4.1	-4.4
denit2	3.2	0.06	1.3	3.2	6.1
denit3	1.7	0.34	0.7	2.5	3.1
denit4	3.5	0.13	0.2	1.5	4.6
denit5	-1.2	0.79	0.1	0.8	-0.8
denit6	-2.2	0.35	0.1	1.0	-2.0
Decap	1.4	0.45	2.3	4.3	2.8
org_stof	-0.72	0.53	3.5	6.0	-1.8
Norg	0.09	0.95	4.3	7.0	0.2
DOC _{grondwater}	-0.78	<0.001	15.8	37.1	-16.4
grondwaterstand	-0.63	<0.001	115	155	-25.2
verdunningsindex	73.1	0.002	0.7	1.0	21.9
dikte bouwvoor	1.01	0.05	30	35	5.1

leverde geen bruikbare resultaten op. Interacties met bodemgroep bleken vooral te worden veroorzaakt door löss en leveren daarom geen beter fittende modellen op.

4.2.2 Effect van andere variabelen

In tabel 4.3 wordt voor alle andere variabelen in de dataset aangegeven wat het effect is wanneer er een wordt toegevoegd aan model 1. Per variabele wordt aangegeven wat het verband is met de nitraatconcentratie (helling), significantie van dit verband (*P*-waarde, indien <0.05 dan significant), het bereik van de variabele in de vorm van eerste en derde kwartiel van de data en tenslotte het effect van de variabelen op de nitraatconcentratie (=helling×(derde kwartiel – eerste kwartiel)).

MINAS- en bedrijfsoverschot

Het MINAS-overschot en het bedrijfsoverschot zijn als toevoeging aan model 1 en 2 significant, terwijl het effect op de nitraatconcentratie relevant is. Bij de selectie van variabelen gaat echter de voorkeur uit naar de N-gift, die is opgenomen in model 3. Het toevoegen van MINAS- of bedrijfsoverschot aan model 3 geeft dan geen significante parameter meer. Met name het MINAS-overschot zou echter wel in plaats van de N-gift opgenomen kunnen worden.

Nmin en Nmin_{nitraat}, bemonsteringsdiepte, combinatie met neerslag, meetijdstip

Nmin (als som van ammonium en nitraat) opnemen in de modellen in plaats van Nmin_{nitraat} geeft een iets lager percentage verklaarde variantie en een iets hogere

standaardfout van de modellen. De helling wordt 0.59 voor model 1 en de nitraatconcentratie bij $N_{min}=0$ blijft gelijk bij Gt-groep 2 en 3 maar wordt 12 mg/l lager bij Gt-groep 1. Het verschil tussen de twee gewasgroepen wordt wat groter. Voor de overige variabelen blijven de geschatte parameters grotendeels gelijk. Daarom blijft $N_{min_{nitraat}}$ deel uitmaken van de modellen.

Voor $N_{min_{nitraat}}$ is steeds uitgegaan van de gesommeerde hoeveelheid over drie lagen, zodat het overeenkomt met de hoeveelheid in de bovenste 90 cm. In plaats daarvan kan ook worden gesommeerd over twee lagen, dus de bovenste 60 cm van de bodem. De modellen zijn ook gefit met $N_{min_{nitraat}}$ voor de laag 0-60 cm als verklarende variabele. Het verband tussen de nitraatconcentratie en $N_{min_{nitraat}}$ is echter iets beter wanneer uitgegaan wordt van de hoeveelheid $N_{min_{nitraat}}$ in 0-90 cm. Toch is het voor latere toepassingen van de regressiemodellen voor voorspellingen op basis van N_{min} -metingen goed denkbaar dat de eenvoudigere (en goedkopere) bemonstering tot 60 cm wordt uitgevoerd.

Als alternatieve variabele is ook de verhouding tussen N_{min} en het neerslagoverschot in de winterperiode beschouwd: $N_{min_{nitraat}}/neerslagoverschot2$. Deze variabele is opgenomen in model 1 in plaats van $N_{min_{nitraat}}$, maar dit geeft geen verbetering van het model.

De N_{min} -metingen zijn niet allemaal uitgevoerd op dezelfde dag. Onderzocht is of datum van de N_{min} -bemonstering effect heeft op de N_{min} -waarde. In een regressiemodel met $N_{min_{nitraat}}$ als responsvariabele is per seizoen gekeken naar een verband tussen de bemonsteringsdatum en de N_{min} -waarde. De verschillen tussen de seizoenen zijn groot. In het eerste meetjaar neemt de $N_{min_{nitraat}}$ -waarde toe (helling=0.32 kg/ha per dag), in het tweede seizoen is er vrijwel geen verloop in de tijd (helling=-0.07) terwijl in het derde meetjaar de $N_{min_{nitraat}}$ -waarde afneemt in de tijd (helling=-0.70). Indien ook bodemgroep, Gt-groep en gewasgroep in het model worden opgenomen veranderen de hellingen wel maar blijft het verloop in de tijd gelijk. Deze resultaten zijn niet consistent en daarmee is het niet eenvoudig mogelijk $N_{min_{nitraat}}$ te corrigeren voor een verschil in bemonsteringstijdstip.

Effect van GHG en grondwaterstand

De GHG is bij de akkerbouwgewassen niet naar voren gekomen als een mogelijk verklarende variabele. De parameter voor GHG is niet significant, maar het effect van GHG op de nitraatconcentratie is wel relevant. Er is echter een grote overlap tussen de Gt-groepindeling en de GHG. Het opnemen in model 1 van de GHG *binnen* Gt-groep geeft geen significante regressiecoëfficiënten en geen verbetering van het model. Het effect van de grondwaterstand ten tijde van nitraatbemonstering lijkt interessant maar ook hierbij wordt het aantal datapunten gehalveerd.

Andere Gt-groepindeling

Ook is een andere indeling in Gt-groepen op basis van de GHG overwogen. De voorgestelde indeling is als volgt:

- Gt-groep 1: GHG 0 - 40;
- Gt-groep 2: GHG 40 – 50 of 60;

- Gt-groep 3: GHG >50 of >60.

Daarmee verandert Gt-groep 1 in principe niet, maar de indeling van 2 en 3 wel. De modellen zijn gekalibreerd met de twee nieuwe Gt-groepindelingen op basis van een klassenindeling met grenswaarde GHG=50 en 60. Geen van beide indelingen leidt tot een verbetering van de regressiemodellen. De resultaten zijn zeer vergelijkbaar, alleen de helling voor Gt-groep 2 daalt iets.

Effect van verdunningsindex

Het effect van de verdunningsindex die door het RIVM is afgeleid (Boumans *et al.*, 1997) is significant en relevant als toevoeging aan model 1, maar het effect is geheel verdwenen als de neerslaggegevens in het model worden opgenomen. Omdat de verdunningsindex is gebaseerd op zowel de grondwaterstand, het tijdstip van grondwaterbemonstering als de neerslaggegevens, is deze dus afhankelijk van de neerslaggegevens, zodat niet beide variabelen in het model kunnen worden opgenomen. Het is ook mogelijk om met de verdunningsindex eenvoudig de nitraatconcentratie te corrigeren: gecorrigeerde nitraatconcentratie = verdunningsfactor × gemeten nitraatconcentratie. De modellen zijn gefit met deze gecorrigeerde nitraatconcentratie als responsvariabele, maar de resultaten waren zeer vergelijkbaar. Er is geen sprake van een duidelijke verbetering.

Effect van voorvrucht

Het effect van de voorvrucht (*i.e.* het gewas van het jaar ervoor) op de nitraatconcentratie is onderzocht op basis van de gegevens van de laatste twee meetseizoenen, omdat de voorvrucht in het eerste seizoen niet bekend is. De waarnemingen zijn als volgt verdeeld over de gewasgroepen:

voorvrucht	a	b	g	m	r	t
gewasgroep						
a+b+r	119	89	33	36	97	3
t	1	2				16

Het opnemen van de voorvrucht als verklarende variabelen in het model laat kleine, niet-significante effecten zien voor gewasgroepen 'a', 'b', 'g', 'm' en 'r'. Alleen het effect van gewasgroep 't' lijkt sterk negatief, terwijl het effect van gewasgroep 't' versus 'a+b+r' verdubbelt. Deze effecten zijn echter gebaseerd op slechts enkele waarnemingen en daarom niet erg betrouwbaar. Opvallend is dat het opnemen van het scheuren van grasland (voorvrucht 'g') in het model geen effect heeft in termen van percentage verklaarde variantie en standaardfout. Het heeft bij akkerbouw dus geen zin om de voorvrucht mee te nemen in het definitieve model.

Adviesgift

Naast de actuele mestgift is er voor ieder gewas een adviesgift bekend. Onderzocht is of het verschil tussen de mestgift en de adviesgift een relatie heeft met de nitraatconcentratie. Het verschil tussen de twee giften is als extra verklarende variabele toegevoegd aan model 1. Daarnaast is in model 1 de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ vervangen door het verschil van de giften. Het toevoegen van deze variabele leidt niet tot betere modellen: in geen van de modellen is deze term significant. Het opnemen van het verschil tussen de mestgift en adviesgift in plaats van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ leidt tot een slechter model, met slechts 20 % verklaarde variantie. Ook het meenemen van een interactie

tussen ‘mestgift-adviesgift’ en de gewasgroepindeling geeft geen verbetering van het model.

Jaareffect

Het toevoegen van een factor ‘jaar’ geeft geen significant effect in model 2 en 3: het percentage verklaarde variantie, de standaardfout van het model en de geschatte parameterwaarden veranderen vrijwel niet. Alleen de helling van neerslagoverschot2 daalt in beide modellen (van 0.36 naar 0.25 in model 2). Toch is het verschil tussen de jaren behoorlijk. De nitraatconcentratie ligt in het tweede meetjaar ongeveer 6 mg/l lager en in het derde jaar 20 mg/l lager dan in het eerste jaar (nadat gecorrigeerd is voor alle andere variabelen in het model).

Effect van groenbemester

Bij ongeveer 10 % van de proefplekken is een groenbemester toegepast na de teelt van het akkerbouwgewas. Voor een deel van de proefplekken is niet bekend of er een groenbemester is toegepast. Onderzocht is of dit mogelijk een effect heeft op de nitraatconcentratie. Na twee seizoenen een zeer significante interactie tussen gewas en groenbemester gevonden (Burgers *et al.*, 2004). Deze interactie bleek veroorzaakt te worden door vier proefplekken (twee uit iedere gewasgroep). Zonder deze proefplekken was de interactie niet meer significant. De interactie-effecten zijn echter nog wel relevant. De interactie bestaat eruit dat het toepassen van groenbemesters na de oogst van een gewas uit de gewasgroep ‘t’ een verhoging van de nitraatconcentratie tot gevolg heeft, terwijl dat bij de gewasgroep ‘a+b+r’ tot een verlaging van de nitraatconcentratie leidt. Dientengevolge wordt er geen enkel effect (significant noch relevant) gevonden wanneer alleen gekeken wordt naar het hoofdeffect van groenbemester. Uit nader onderzoek blijkt dat een groot deel van de proefplekken met een gewas uit gewasgroep ‘t’ met groenbemester laat in het seizoen nog een mestgift heeft gehad, terwijl dit voor de proefplekken met een gewas uit gewasgroep ‘t’ zonder groenbemester niet is gebeurd. Zodoende treedt er verstrengeling met mestgift op (en geen reële interactie); daarom wordt de interactie tussen groenbemester en gewas niet in het model opgenomen.

DOC_{grondwater}

Het effect van DOC_{grondwater} is significant en van relevante omvang. Het aantal beschikbare data is echter drastisch gedaald, omdat DOC-metingen voor lang niet alle plekken beschikbaar zijn. Omdat DOC-metingen worden verricht in een watermonster, is DOC_{grondwater} minder geschikt als verklarende variabele in een model met nitraatconcentratie als responsvariabele. Als er een grondwaterbemonstering moet plaatsvinden, kan immers de nitraatconcentratie ook direct worden bepaald.

Overig

De dikte van de bouwvoor heeft geen effect als neerslag al in het model is opgenomen. Voor de overige variabelen geldt dat noch hun parameter significant is noch hun effect op de nitraatconcentratie relevant is. Zij zijn daarom niet opgenomen in de uiteindelijke modellen.

4.3 Veehouderij

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

4.3.1 Gras, de beste regressiemodellen

Data

Er zijn 530 proefplekken met gras waarop Nitraat en Nmin is gemeten. Een aantal proefplekken lagen op kleigrond en zijn daarom niet in de analyses betrokken. Daarnaast is er één proefplek met een extreem hoge nitraatconcentratie. Dit punt valt ver buiten het bereik van de overige waarden en kan daarom van grote invloed zijn op het resultaat. Dit punt doet daarom niet mee in de analyse. Er blijven 492 proefplekken over die als volgt zijn verdeeld over de seizoenen: 154 voor meetjaar 2000-2001, 177 voor 2001-2002 en 161 voor 2002-2003. De selectie van variabelen is uiteindelijk gebaseerd op ongeveer 450 proefplekken als gevolg van missende waarden voor een groot aantal, mogelijk belangrijke, variabelen.

Net als bij de akkerbouwgewassen is tijdens de selectie van verklarende variabelen gebleken dat het effect van proefplekken met veenlaagjes groot is. Deze veenproefplekken maken een relatief groot deel uit van de proefplekken in Gt-groep 1 en veroorzaken daardoor een interactie tussen Gt-groep en $Nmin_{nitraat}$. Er is besloten de proefplekken met veen uit te sluiten bij de analyse en apart aandacht te besteden aan het effect van veenlaagjes in paragraaf 4.8. 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 (zie ook paragraaf 4.8). De combinatie Gt-groep 1 met bodemgroep Z1 komt niet voor. Voor een overzicht van het aantal waarnemingen per bodem-Gt-combinatie, zie bijlage 1.

Modellen

Uit de selectie komen vier vergelijkbare regressiemodellen naar voren. Alle modellen hebben als verklarende variabelen in het model :

- Gt-groep;
- Bodemgroep;
- $Nmin_{nitraat}$

De indeling van de bodem- en Gt-groepen is besproken in hoofdstuk 2. Deze twee variabelen resulteren in 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 :

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

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

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

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

Tabel 4.4 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 model 1 t/m 4 voor grasland, en het aantal data waarop de modellen zijn gebaseerd.

Model	1		2		3		4	
	schatting	se	schatting	se	schatting	se	schatting	se
a	0.65	0.06	0.61	0.07	0.62	0.07	0.57	0.06
b			-3.34	1.10	-3.44	1.10		
d			-9.70	2.73	-9.79	2.74		
e					-0.10	0.05		
f					0.22	0.06		
g							0.31	0.12
h							+55.2	11.8
R^2_{adj}	21 %		23 %		25 %		26 %	
Sd	49.8		50.1		49.5		48.2	
aantal data	446		425		425		443	

Tabel 4.5 Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-combinatie van model 1 t/m 4 voor grasland.

Gt-groep	Model 1			Model 2		
	1	2	3	1	2	3
Z1	-	32.3	37.9	97.5	113.6	119.7
Z2	11.0	22.9	28.4	92.3	108.4	114.5
Z3	19.0	30.9	36.4	97.6	113.7	119.8
Gt-groep	Model 3			Model 4		
	1	2	3	1	2	3
Z1	-	59.0	68.6	-	31.0	20.0
Z2	43.3	51.9	61.5	9.8	23.9	12.8
Z3	52.7	61.3	71.0	20.1	34.2	23.2

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);

$Nmin_{nitraat}$ = 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;

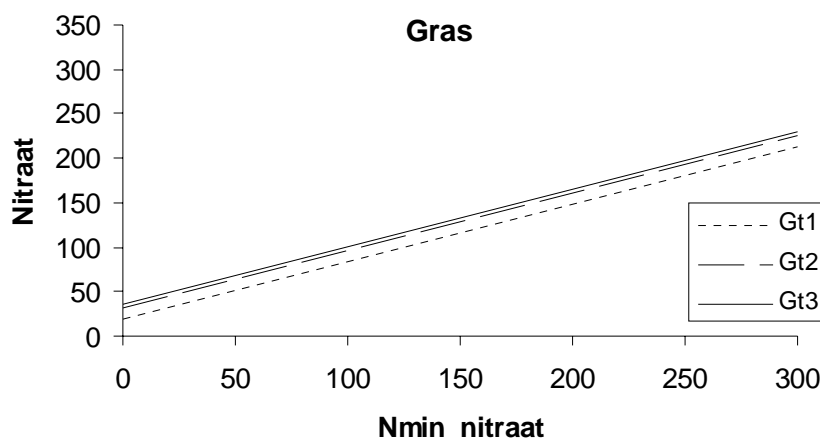
$Neerslagsom1$ = Neerslagsom in de zomerperiode (mm), 1 april-1 oktober;

$Neerslagsom2$ = 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).

In tabel 4.4 worden per model de parameterschattingen met standaardfout gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (Sd). De constante is gegeven voor iedere bodem-Gt-groep-combinatie die voorkomt in de dataset. De constante is de schatting voor de nitraatconcentratie waarbij alle andere verklarende variabelen in het model nul zijn. In model 1 hoort de constante



Figuur 4.2. Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) als functie van $Nmin_{nitrate}$ (kg/ha) conform regressiemodel 1 voor gras

bij $Nmin_{nitrate}=0$ (en is dus het snijpunt met de Y-as als $Nmin_{nitrate}$ op de X-as staat). Voor grasland betekent dit dat de norm voor de nitraatconcentratie gehaald kan worden. De constante is het laagst voor Gt-groep 1, omdat hier relatief veel N vervluchtigt.

Om een idee te krijgen van de nitraatconcentratie bij een nulwaarde voor $Nmin_{nitrate}$ in model 3 kan het beste gekeken worden bij de gemiddelde Neerslagsom1 en Neerslagsom2 van de dataset. Bij $Nmin=0$ geldt in model 3 dat Neerslagsom1 gelijk is aan 449 mm en Neerslagsom2 aan 439 mm. De gemiddelde C/N-verhouding voor deze dataset is 17.0 en de gemiddelde PotMin is 2.5.

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 van $Nmin_{nitrate}$ versus nitraat is voor alle drie de modellen vrijwel gelijk. Door de C/N-verhouding en Potmin in het model op te nemen in het model, neemt het percentage verklaarde variantie toe met 3 %, maar de standaardfout blijft gelijk. De parameterwaarden voor deze twee variabelen zijn echter wel significant. Ook de parameterwaarden voor de neerslagsommen zijn significant. In plaats van de neerslagsom kan ook het neerslagoverschot worden opgenomen in het model. Alleen de parameter voor neerslagoverschot in het winterseizoen is dan significant. Met model 3 wordt 5 % meer van de variatie verklaard dan met model 1, maar de standaardfout van de modellen is vrijwel gelijk. 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. De modellen 2 en 3 zijn wel gegeven omdat ze voldoen aan de eisen zoals die gesteld zijn in hoofdstuk 3.

Stabiliteit model

Model 1 heeft zeven punten met een potentieel sterke hefboomwerking waarvan er nog twee overblijven in model 3. Het weglaten van deze punten heeft geen invloed

op de helling van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ en ook de constanten veranderen niet veel. De modellen zijn dus wel stabiel. Het weglaten van zes punten met het grootste residu resulteert bij model 1 in een lichte stijging van het percentage verklaarde variantie (van 21 naar 23 %) en een behoorlijke daling van de standaardfout (van 49.8 naar 45 mg/l). Alle opvallende punten hadden een voorvrucht met gras of maïs. Omdat er geen redenen zijn om deze punten weg te laten is uitgegaan van de modellen die in tabel 4.4 en 4.5 zijn gepresenteerd.

Voorspellingen

Figuur 4.2 illustreert de voorspellingen op basis van regressiemodel 1. Voor de drie Gt-groepen wordt de voorspelde nitraatconcentratie weergegeven voor bodemgroep Z3 bij een *range* van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$.

Effect van Gt-groep en bodemgroep

Het effect van de Gt-groep is in alle drie modellen significant en relevant. Voor Gt-groep 2 ligt de nitraatconcentratie gemiddeld 5 tot 10 mg/l lager dan bij Gt-groep 3 en voor Gt-groep 1 is dat zo'n 18 mg/l. Het effect van bodemgroep is bij gras niet significant omdat de löss-data bij de analyses buiten beschouwing zijn gelaten (zie paragraaf 4.8). Het verschil tussen de zandgronden Z1 en Z3 is nog maar klein. Het effect van zandgrond Z2 is een kleine verlaging van de nitraatconcentratie van 5 à 9 mg/l, die niet eenvoudig fysisch kan worden verklaard.

Effect van GHG

In model 1 kan in plaats van de Gt-groepindeling ook GHG als verklarende variabele worden opgenomen. Het percentage verklaarde variantie, de standaardfout en de helling voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ blijven dan echter gelijk, terwijl ook het snijpunt met de Y-as gelijk blijft.

Bij de selectie van variabelen is naast de Gt-groepen ook de GHG geselecteerd. Omdat deze variabelen een grote overlap vertonen is er in eerste instantie voor gekozen ze niet samen in het model op te nemen. Er zou echter binnen een Gt-groep door differentiatie in GHG een extra stukje variatie in de nitraatconcentratie verklaard kunnen worden. Een dergelijk model is gefit. Het blijkt voor het percentage verklaarde variantie en de standaardfout niet veel uit te maken. De helling met Gt-groep 3 is 0.31 ($p=0.002$), dus groot en significant. Zodoende is dit opgenomen in model 4. Het effect van het opnemen van deze helling is als volgt voor te stellen:

In model 1 is het snijpunt met de Y-as, dus de voorspelde nitraatconcentratie bij $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}=0$, voor Gt-groep 3 gelijk aan 36 mg/l. Deze concentratie geldt voor de gemiddelde GHG van deze Gt-groep, dus ongeveer $\text{GHG} = 120 \text{ cm} - \text{mv}$. Voor gronden die wel in Gt-groep 3 vallen maar een GHG van 80 cm – mv. hebben zou deze concentratie met een waarde van $0.31 \times (120 - 80) = 12.4 \text{ mg/l}$ naar beneden bijgesteld moeten worden op basis van dit model met het GHG-effect binnen Gt-groep 3. Voor gronden met een $\text{GHG} = 180 \text{ cm} - \text{mv}$. daarentegen wordt de voorspelde nitraatconcentratie bij $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}} = 0$ gelijk aan $36 + 0.31 \times (180 - 120) = 54.6 \text{ mg/l}$. Deze gronden halen dus de norm voor de nitraatconcentratie niet, zelfs niet bij een $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -waarde van nul.

Effect van scheuren van grasland

In de praktijk wordt grasland in het voor- of najaar soms gescheurd. Dit zou van invloed kunnen zijn op de nitraatconcentratie in het eerste of tweede voorjaar dat volgt op het scheuren. Voor een groot deel van de proefplekken is bekend of zij al dan niet gescheurd zijn in het najaar voor de nitraatmetingen dan wel in het najaar anderhalf jaar voor de nitraatmeting. Voor zes proefplekken geldt dat zij anderhalf jaar voor de nitraatmetingen waren gescheurd. Het effect hiervan was niet significant (daling van 10 mg/l). Voor al dan niet scheuren van grasland in het najaar voorafgaande aan de nitraatmeting geldt voor 20 proefplekken (4.4 %) dat ze wel gescheurd waren. Opnemen van deze variabele in model 1 geeft een stijging van het percentage verklaarde variantie van 5 % en de standaardfout daalt licht (van 49.8 naar 48.2 mg/l). Het effect van scheuren in het najaar geeft dan een (significante) stijging in de nitraatconcentratie van 57 mg/l in het voorjaar erna. Scheuren is als parameter opgenomen in model 4. Als in dit regressiemodel geen N_{min} -variabele zou zijn opgenomen, is het effect van scheuren van grasland nog groter, namelijk 78 mg/l. Een deel van het effect is dus al verdisconteerd in N_{min} .

Interacties tussen variabelen

Voor model 1 en 3 is voor alle variabelen onderzocht of zij een significante interactie met de bodem- of Gt-groep hebben. Vervolgens zijn alle significante interacties nader onderzocht. In zowel model 1 als model 3 is de interactie tussen bodemgroep en $N_{min_{nitraat}}$ significant. Deze interactie komt in beide modellen vooral voor rekening van de sterk afwijkende helling voor bodemgroep Z2. In model 3 resulteert dat in een helling voor $N_{min_{nitraat}}$ van 0.67, 0.22 en 0.80 voor resp. Z1, Z2, Z3. Er is nagegaan of dit wordt veroorzaakt door de gronden met keileem in bodemgroep Z2. Het weglaten van 14 proefplekken met keileem uit de analyse geeft geen verandering in de parameterschattingen van model 1. Ook het indelen van alle proefplekken met keileem bij Z3 geeft geen ander resultaat. In model 3 is de interactie tussen Gt-groep en bedrijfsoverschot significant waarbij er een positief verband bestaat tussen bedrijfsoverschot en de nitraatconcentratie bij de Gt-groepen 1 en 2 en geen verband bij Gt-groep 3. Een aantal bodemparameters heeft een significante interactie met bodemgroep, maar dit leverde geen bruikbare modellen op.

4.3.2 Effect van andere variabelen

In tabel 4.6 wordt voor alle andere variabelen in de dataset aangegeven wat het effect is wanneer er een wordt toegevoegd aan model 1. Per variabele wordt aangegeven wat het verband is met de nitraatconcentratie (helling), significantie van dit verband (P -waarde, indien <0.05 dan significant), het bereik van de variabele in de vorm van eerste en derde kwartiel van de data en tenslotte het effect van de variabelen op de nitraatconcentratie (=helling \times (derde kwartiel – eerste kwartiel)).

Tabel 4.6 Schatting van de helling en het effect door toevoegen van een variabele aan model 1 van gras

variabele	helling	P-waarde	eerste kwartiel	derde kwartiel	effect
perceels-overschot	0.030	0.21	118	272	4.6
Nafvoer-gewas	0.014	0.55	203	346	2.0
Ngift (kunst +werkzaam)	0.012	0.53	89	350	3.1
Ngift (kunst+ totdiermest)	0.017	0.32	172	427	4.3
MINAS-overschot	0.008	0.83	30	134	0.8
bedrijfs-overschot	0.071	0.17	143	217	5.3
Nmin _{ammoniu}	-0.016	0.91	4	23	-0.3
C_Nverh	-1.2	0.20	15	19	-4.8
Ctotaal	-0.22	0.41	23	32	-2.0
Ntotaal	-1.4	0.73	1.3	2.0	-1.0
PotMin	-5.2	0.02	1.6	3.2	-8.3
N_NH4	-0.64	0.03	21	30	-5.8
denit1	-0.34	0.75	2.8	6.0	-1.1
denit2	0.92	0.37	1.7	4.6	2.7
denit3	-0.47	0.75	1.1	3.0	-0.9
denit4	-0.37	0.83	0.3	1.5	-0.4
denit5	3.6	0.31	0.1	0.5	1.4
denit6	-3.7	0.55	0.04	0.37	-1.2
Decap	-0.38	0.45	3.1	8.4	-2.0
org_stof	2.6	0.12	4	5	2.6
Norg	-0.39	0.55	7	12	-2.0
DOC _{grondwater}	-0.43	<0.001	15	45	-12.9
grondwater-stand	-0.10	0.26	98	140	-4.2
verdunnings-index	56	0.01	0.85	0.98	7.3

Nmin en Nmin_{nitraat}, bemonsteringsdiepte, combinatie met neerslag, meettijd

Als Nmin (als som van ammonium en nitraat) in het model wordt opgenomen in plaats van Nmin_{nitraat}, dan neemt het percentage verklaarde variantie af en de standaardfout van het model iets toe. De helling neemt af van 0.65 naar 0.54 in model 1 en van 0.62 naar 0.50 in model 3. In model 1 blijven de constanten vrijwel gelijk. In model 3 stijgen de constanten voor Gt-groep 2 en 3 met 17 mg/l terwijl voor de overige variabelen de geschatte parameters vrijwel gelijk blijven.

Voor Nmin_{nitraat} is steeds gewerkt met de gesommeerde hoeveelheid over drie lagen, wat overeenkomt met de hoeveelheid in de bovenste 90 cm. Er kan echter ook worden gesommeerd over twee lagen, dus in de bovenste 60 cm van de bodem. De modellen zijn ook gekalibreerd met Nmin_{nitraat} in de bovenste 60 cm als verklarende variabele. Het verband tussen de nitraatconcentratie en Nmin_{nitraat} is echter iets beter wanneer uitgegaan wordt van de hoeveelheid Nmin_{nitraat} in de bovenste 90 cm.

Een alternatieve variabele is de verhouding tussen N_{min} en het neerslagoverschot in de winterperiode: $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}} / \text{neerslagoverschot}$. Deze variabele is opgenomen de modellen maar geeft geen verbetering van het model.

Omdat de N_{min} -metingen zijn niet allemaal uitgevoerd op dezelfde dag, is onderzocht wat het effect is van de datum van de N_{min} -bemonstering op de N_{min} -waarde. In een regressiemodel met $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ als responsvariabele is per seizoen gekeken naar een verband tussen de bemonsteringsdatum en de N_{min} -waarde. De verschillen tussen de seizoenen zijn groot. In tegenstelling tot akkerbouw (paragraaf 4.2.2) neemt de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ waarde wel in elk seizoen af naarmate de meting later is genomen. De mate van afname verschilt voor de drie seizoenen. De drie hellingen voor de drie seizoenen zijn resp. -0.39 , -0.12 en -0.33 . Dit betekent dat in het eerste meetjaar de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -waarde afneemt met 0.39 per dag. De drie parameterwaarden zijn echter niet significant en onnauwkeurig. Daarmee ligt een correctie van de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -meting op basis van de meetdatum niet voor de hand. Bovendien zou de correctie per meetjaar moeten verschillen.

Effect van verdunningsindex

Het effect van de verdunningsindex is niet meer significant bij model 3, waarin de neerslagsom is opgenomen. De verdunningsindex kan worden gebruikt voor het berekenen van een gecorrigeerde nitraatconcentratie, namelijk:

gecorrigeerde nitraatconcentratie = verdunningsindex \times gemeten nitraatconcentratie.
 Vervolgens zijn modellen gekalibreerd met de gecorrigeerde nitraatconcentratie als responsvariabele. De resultaten zijn zeer vergelijkbaar met die van de niet-gecorrigeerde nitraatconcentratie, maar de standaardfout van het model neemt wel iets af tot 48 mg/l .

Effect van voorvrucht

Het effect van de voorvrucht (*i.e.* het gewas dat het jaar ervoor geteeld is) op de nitraatconcentratie is onderzocht op basis van de gegevens van de laatste twee meetseizoenen, omdat de voorvrucht in het eerste seizoen niet bekend is. De waarnemingen zijn als volgt verdeeld over de gewasgroepen:

voorvrucht	a	b	g	m	r	t
gewasgroep						
gras	22	1	266	10	7	0

Het opnemen van de voorvrucht als verklarende variabele in het model laat kleine, niet-significante effecten zien voor gewasgroepen 'm' en 'r', een groot effect voor gewasgroep 'b' (gebaseerd op slechts één waarneming) en een behoorlijk effect voor gewasgroep 'a' ($+21 \text{ mg/l}$ met $p=0.057$). Het percentage verklaarde variantie neemt enigszins toe (tot 22%) en de standaardfout neemt af (tot $Sd=47 \text{ mg/l}$), maar het aantal waarnemingen wordt ook kleiner, omdat één jaar immers niet meedoet. Daarom heeft het bij gras niet veel zin om voorvrucht op te nemen in het model.

Adviesgift

Naast de actuele mestgift is er voor ieder gewas een adviesgift bekend. Er is onderzocht of het verschil tussen de mestgift en de adviesgift een relatie heeft met de nitraatconcentratie. Het verschil tussen de twee giften is als extra verklarende

variabele toegevoegd aan model 1 en 3. Dit leidt echter niet tot betere modellen. De term is in geen van de modellen significant. Daarnaast is in model 1 de $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ vervangen door het verschil van de giften. Het verschil tussen de mestgift en adviesgift in plaats van $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ geeft wel een significante parameter voor de ‘overgift’, maar het model is veel minder goed met slechts 4.4 % verklaarde variantie en een standaardfout van 55 mg/l.

Jaareffect

Het toevoegen van een factor ‘jaar’ aan de modellen 1, 2 en 3 heeft bij geen van de drie modellen een significant effect. De percentages verklaarde variantie en de standaardfouten van de modellen veranderen nauwelijks en ook de geschatte parameterwaarden veranderen vrijwel niet. In model 1 geven jaar 2 en 3 een gemiddeld lagere nitraatconcentratie -van respectievelijk 3 en 10 mg/l- dan in het eerste meetjaar. Bij model 3, waarin de neerslagsommen zijn opgenomen, is dit effect omgedraaid; in het tweede jaar is de gemiddelde nitraatconcentratie dan ongeveer 3 mg/l hoger dan in het eerste jaar en in meetjaar 3 ongeveer 8.5 mg/l hoger (nadat gecorrigeerd is voor alle andere variabelen in het model).

DOC_{grondwater}

De relatie tussen de nitraatconcentratie en $DOC_{\text{grondwater}}$ is significant en relevant maar het aantal beschikbare data daalt behoorlijk. Zoals in paragraaf 4.2.2 reeds voor akkerbouw is geconstateerd, is $DOC_{\text{grondwater}}$ bovendien niet bruikbaar als indicator voor de nitraatconcentratie, omdat immers een grondwaterbemonstering moet plaatsvinden waarmee de nitraatconcentratie ook direct bepaald kan worden.

Overig

Voor de overige variabelen geldt dat noch hun parameter significant is, noch hun effect op de nitraatconcentratie groot is. Zij zijn daarom niet opgenomen in de uiteindelijke modellen.

4.3.3 Maïs, de beste regressiemodellen

Data

Er zijn 214 proefplekken met maïs waarop Nitraat en N_{\min} is gemeten. Proefplekken op kleigrond werden uitgesloten van de analyse. Daarnaast zijn er twee proefplekken met een extreem hoge nitraatconcentratie. Deze punten vallen ver buiten het bereik van de overige waarden en kunnen daarom van grote invloed zijn op het resultaat. Ook deze punten doen niet mee in de analyse. Tenslotte zijn er een paar proefplekken met een veenlaagje en een paar proefplekken op lössgrond. Voor beide groepen is het aantal data te beperkt om er nauwkeurig effecten mee te schatten. Evenals bij grasland doen deze proefplekken niet mee in de analyse, maar er wordt apart aandacht besteed in paragraaf 4.8. Er blijven dan 174 proefplekken over die als volgt zijn verdeeld over de seizoenen: 46 voor meetjaar 2000-2001, 68 voor 2001-2002 en 60 voor 2002-2003. De selectie van variabelen is uiteindelijk gebaseerd op ongeveer 140 proefplekken, als gevolg van missende waarden voor een groot

aantal, mogelijk belangrijke, variabelen. Voor een overzicht van het aantal waarnemingen per bodem-Gt-combinatie, zie bijlage 1.

Modellen

Uit de selectie komen vier regressiemodellen naar voren. Alle modellen hebben als verklarende variabelen in het model:

- Gt-groep;
- Bodemgroep;
- $Nmin_{nitraat}$.

De indeling van de bodem- en Gt-groepen is besproken in hoofdstuk 2. Deze twee variabelen resulteren in 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 hebben de volgende structuur:

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

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

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

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

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.

In tabel 4.7 worden per model de parameterschattingen met standaardfout gegeven, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en de standaardfout van het model (Sd).

De constante C_i is gegeven voor iedere bodem-Gt-groep combinatie die voorkomt in de dataset. De constante is de schatting voor de nitraatconcentratie gegeven dat alle andere verklarende variabelen in het model nul zijn. In model 1 hoort de constante bij $Nmin_{nitraat}=0$ (en is dus het snijpunt met de Y-as als $Nmin_{nitraat}$ op de X-as staat). Voor maïs betekent dit dat de norm voor de nitraatconcentratie niet gehaald kan worden bij Gt-groep 3. Voor Gt-groep 1 en 2 ligt de constante een stuk lager.

Tabel 4.7 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

Model	1		2		3		4	
Parameter	schatting	se	schatting	se	schatting	se	schatting	se
a	0.76	0.13	0.87	0.14	0.70	0.14	0.80	0.13
b			0.25	0.12	0.30	0.13	0.37	0.13
d					0.75	0.31		
e_{gras}					29.6	13.5		
e_b					36.5	29.1		
e_r					-20.2	28.2		
f							2.44	0.95
R^2_{adj}	22 %		24 %		26 %		27 %	
Sd	65.6		65.0		62.4		60.9	
aantal data	174		174		157		160	

Tabel 4.8 Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-combinatie van model 1 t/m 4 voor maïs

Model	1			2		
Gt-groep	1	2	3	1	2	3
Bodem						
Z1	24.1	21.8	66.3	-74.8	-78.8	-38.2
Z2	22.9	20.6	65.1	-82.6	-86.7	-46.0
Z3	17.4	15.1	59.6	-81.5	-85.6	-44.9
Model	3			4		
Z1	-93.4	-103.6	-94.5	-8.6	-14.1	22.0
Z2	-90.6	-100.8	-91.7	18.6	13.1	49.2
Z3	-97.5	-107.7	-98.6	26.1	20.6	56.6

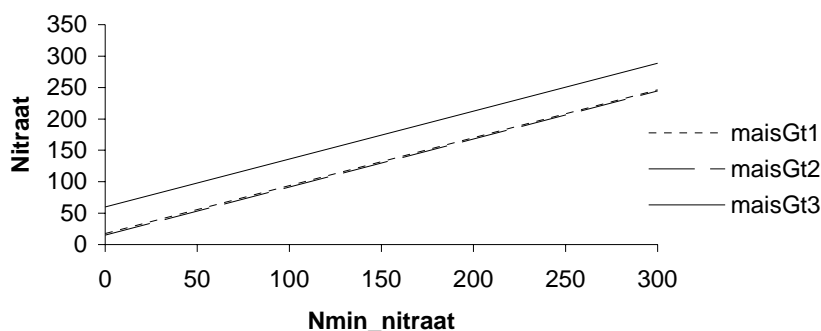
Om een idee te krijgen van de nitraatconcentratie bij een nulwaarde voor $Nmin_{nitraat}$ in model 2 en 4 kan het beste gekeken worden bij het gemiddelde Neerslagoverschot2, Neerslagsom2 en gemiddelde N_{NH_4} van de dataset, die overeenkomen met resp. 390 mm, 438 mm en 20.5 mg N per kg. In model 3 speelt de GHG geen rol bij Gt-groep 1 en 2. De constante bij Gt-groep 3 is gegeven bij een GHG van 80, de laagste GHG-waarde van deze Gt-groep.

De hellingen van $Nmin_{nitraat}$ versus nitraatconcentratie verschillen nogal voor de vier modellen. Het opnemen van de neerslagsom in de winterperiode en N_{NH_4} in het model verbetert het model met 5 % extra verklaarde variantie en verkleint de standaardfout. De parameters voor deze twee variabelen zijn significant.

Stabiliteit model

Model 1 heeft vijf punten met een potentieel sterke hefboomwerking. Het weglaten van deze punten resulteert in een steilere helling voor $Nmin_{nitraat}$, terwijl de constanten iets dalen. Twee van deze vijf punten hebben een andere voorvrucht dan maïs. Model 4 heeft acht andere punten met een sterke hefboomwerking. Het weglaten van deze punten heeft ook een behoorlijke invloed op het resultaat, zodat geconcludeerd moet worden dat de modellen niet stabiel zijn.

Als de zes punten met de grootste residuen worden weggelaten, stijgt bij model 1 het percentage verklaarde variantie (26 %) en daalt de standaardfout behoorlijk ($Sd=55$ mg/l). Ook de andere modellen worden beter als deze zes punten worden



Figuur 4.3 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) als functie van $N_{min_{nitraat}}$ (kg/ha) conform regressiemodel 1 voor maïs

weggelaten. Drie van deze punten hadden als voorvrucht gras. Het effect van voorvrucht wordt nader besproken in de volgende paragraaf.

Voorspellingen

De voorspellingen op basis van regressiemodel 1 worden geïllustreerd in figuur 4.3. Voor de drie Gt-groepen wordt de voorspelde nitraatwaarde weergegeven voor bodemgroep Z3 bij een range van $N_{min_{nitraat}}$.

Effect van Gt-groep, GHG en bodemgroep

Het effect van de Gt-groep is in alle modellen significant en relevant. Bij Gt-groep 2 ligt de nitraatconcentratie gemiddeld 40 mg/l lager dan bij Gt-groep 3, en zo'n 30 tot 40 mg/l lager dan bij Gt-groep 1. In model 1 kan in plaats van de Gt-groep-indeling ook GHG als verklarende variabele worden opgenomen. Het percentage verklaarde variantie, de standaardfout en de helling voor $N_{min_{nitraat}}$ blijven vrijwel gelijk en ook het snijpunt met de Y-as blijft gelijk. In de selectie van variabelen is bij maïs naast de Gt-groepen ook de GHG geselecteerd. Deze variabelen vertonen een grote overlap. Er zou echter binnen een Gt-groep door differentiatie in GHG een extra stukje variatie in de nitraatconcentratie verklaard kunnen worden, zoals in model 2. Het percentage verklaarde variantie neemt ten opzichte van het eerste model toe met 8 % terwijl de standaardfout afneemt, zodat een voorspelling van de nitraatconcentratie nauwkeuriger wordt.

Het effect van bodemgroep is bij maïs niet meer significant als de löss-data niet meedoen. Het verschil tussen de zandgronden Z1 en Z2 is nog maar klein en het effect van deze zandgronden ten opzichte van Z3 is slechts een verhoging van de nitraatconcentratie van 6 mg/l.

Effect van voorvrucht

Het effect van de voorvrucht (*i.e.* het gewas dat het jaar ervoor geteeld is) op de nitraatconcentratie leek voor maïs na een eerste analyse van de gegevens van twee

seizoenen van belang. Daarom zijn ook zoveel mogelijk gegevens van de voorvrucht voor het eerste seizoen verzameld. De waarnemingen zijn als volgt verdeeld over de gewasgroepen:

voorvrucht gewasgroep	a	b	g	m	r	t
maïs	0	5	31	118	6	0

Het opnemen van de voorvrucht als verklarende variabele in model 1 heeft ten opzichte van de voorvrucht ‘maïs’ een effect van -25 ($p=0.40$) voor gewasgroep ‘r’, een effect van 43 ($p=0.15$) voor gewasgroep ‘b’ en een effect van 28 ($p<0.04$) voor gewasgroep ‘g’ (=gescheurd grasland). Deze effecten zijn relevant en voor gras als voorvrucht ook significant. Door het opnemen van de voorvrucht in het model neemt echter bij model 1 de standaardfout niet af en het percentage verklaarde variantie niet toe. De helling $Nmin_{\text{nitraat}}$ daalt naar 0.60 en het verschil tussen de bodemgroepen wordt groter, maar blijft niet significant. Ook voor de overige modellen geldt dat het opnemen van de voorvrucht als een verklarende variabele geen effect heeft op het percentage verklaarde variantie en de standaardfout van het model, en dat de helling van $Nmin_{\text{nitraat}}$ daalt. Tevens geldt dat het effect van een andere voorvrucht dan maïs groot is. Als gevolg van het beperkte aantal waarnemingen leidt dit tot extreme en onbetrouwbare verschillen tussen de Gt-groepen in model 2. In model 3 is de voorvrucht opgenomen.

Interacties tussen variabelen

Voor model 1 en 4 is voor alle variabelen onderzocht of zij een significante interactie met bodemgroep of Gt-groep hebben. Vervolgens zijn alle significante interacties nader bekeken. De interactie tussen $Nmin_{\text{nitraat}}$ en bodemgroep is niet significant en de interactie met Gt-groep is net niet significant ($p=0.09$). Significante interacties tussen MINAS-overschot of werkelijk bedrijfsoverschot met bodem- of Gt-groep resulteren in modellen met negatieve helling voor één van de bodem- of Gt-groepen. Ook andere significante interacties leveren geen bruikbare modellen op.

4.3.4 Effect van andere variabelen

In tabel 4.9 wordt voor alle andere variabelen in de dataset aangegeven wat het effect is als er een wordt toegevoegd aan model 1. Per variabele wordt aangegeven wat het verband is met de nitraatconcentratie (helling), significantie van dit verband (p -waarde, indien <0.05 dan significant), het bereik van de variabele in de vorm van eerste en derde kwartiel van de data en tenslotte het effect van de variabelen op de nitraatconcentratie (=helling \times (derde kwartiel – eerste kwartiel)).

Nmin en $Nmin_{\text{nitraat}}$ bemonsteringsdiepte, combinatie met neerslag, meettijd

Als $Nmin$ (als som van ammonium en nitraat) in het model wordt opgenomen in plaats van $Nmin_{\text{nitraat}}$, wordt het percentage verklaarde variantie kleiner (13% voor model 1) en de standaardfout van het model groter. De helling daalt van 0.76 naar 0.48 in model 1. De constanten voor Gt-groep 1 en 3 stijgen iets (6 mg/l) en het

Tabel 4.9 Schatting van de helling en het effect door toevoegen van een variabele aan model 1 van maïs

variabele	helling	p-waarde	eerste kwartiel	derde kwartiel	effect
perceeloverschot	-0.07	0.26	22	102	neg
Nafvoer-gewas	0.06	0.41	155	195	2.4
Ngift (kunst +werkzaam)	0.05	0.60	99	168	3.5
Ngift (kunst+ totdiermest)	-0.008	0.91	169	235	-0.5
MINAS-overschot	-0.06	0.52	74	159	neg
bedrijfsoverschot	-0.15	0.07	151	264	neg
Nmin _{ammonium}	-0.38	0.22	4.2	21.2	-6.5
C_Nverh	-1.7	0.17	15	19	-6.8
Ctotaal	0.31	0.77	16	25	2.8
Ntotaal	24.8	0.12	1.0	1.5	12.4
PotMin	-7.8	0.38	0.9	1.4	-3.9
org_stof	-3.4	0.54	3	5	-6.8
denit1	-0.43	0.71	2.3	5.5	-1.4
denit2	-5.3	0.07	1.6	3.9	-12.2
denit3	-0.76	0.76	1.3	3.5	-1.7
denit4	-3.7	0.26	0.5	2.3	-6.7
denit5	-1.3	0.83	0.1	1.0	-1.1
denit6	17.4	0.09	0.2	1.0	13.9
Decap	2.53	0.38	2.3	3.9	4.0
Norg	0.84	0.65	4.7	7.5	2.4
DOC _{grondwater}	-1.18	0.006	14	35	-24.8
grondwaterstand	-0.16	0.28	93	150	-9.1
verduunningsindex	23.8	0.68	0.88	0.98	2.4
dikte bouwvoor	0.47	0.28	30	40	4.7

verschil met bodemgroep Z3 wordt groter. De nitraatconcentratie wordt beter voorspeld op basis van $Nmin_{\text{nitraat}}$.

$Nmin_{\text{nitraat}}$ is steeds gesommeerd over drie lagen, wat het overeenkomt met de hoeveelheid in de bovenste 90 cm. In plaats daarvan kan ook worden gesommeerd over twee lagen, dus de bovenste 60 cm van de bodem. De modellen zijn gekalibreerd met $Nmin_{\text{nitraat}}$ in de bovenste 60 cm als verklarende variabele. Het verband tussen de nitraatconcentratie en $Nmin_{\text{nitraat}}$ is echter beter wanneer uitgegaan wordt van de hoeveelheid $Nmin_{\text{nitraat}}$ in de bovenste 90 cm.

Als alternatieve variabele is de verhouding tussen $Nmin$ en het neerslagoverschot in de winterperiode, $Nmin_{\text{nitraat}} / \text{neerslagoverschot}_2$, onderzocht. Als deze variabele wordt opgenomen in de modellen in plaats van $Nmin_{\text{nitraat}}$, geeft dit echter geen verbetering van het model.

Omdat de $Nmin$ -metingen niet allemaal zijn uitgevoerd op dezelfde dag, is onderzocht is of er een effect is van de datum van de $Nmin$ -bemonstering op de $Nmin$ -waarde. In een regressie model met $Nmin_{\text{nitraat}}$ als responsvariabele is per seizoen gekeken naar een verband tussen de bemonsteringsdatum en de $Nmin$ -waarde. De verschillen tussen de seizoenen zijn groot. De effecten zijn tegengesteld aan die bij akkerbouw: in het eerste seizoen neemt de $Nmin_{\text{nitraat}}$ waarde af (helling=-0.31), in tweede seizoen geen verloop (helling=0.02) en in het derde

seizoen neemt de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ waarde toe (helling=1.76). De N_{min} -waarde is dus niet eenvoudig te corrigeren voor verschillen in de bemonsteringsdatum.

Effect van verdunningsindex

Met behulp van de verdunningsindex is een gecorrigeerde nitraatconcentratie te berekenen:

gecorrigeerde nitraatconcentratie = verdunningsindex \times gemeten nitraatconcentratie. De modellen zijn gekalibreerd met de gecorrigeerde nitraatconcentratie als responsvariabele. De resultaten zijn zeer vergelijkbaar met die van het model met niet-gecorrigeerde nitraatconcentratie als responsvariabele; de standaardfout neemt iets af ($Sd=63$ mg/l voor model 1).

Adviesgift

Naast de actuele mestgift is voor ieder gewas een adviesgift bekend. Onderzocht is of het verschil tussen de mestgift en de adviesgift een relatie heeft met de nitraatconcentratie. Het verschil tussen de twee giften is als extra verklarende variabele toegevoegd aan model 1 en 4. Daarnaast is in model 1 de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ vervangen door het verschil van de giften. De modellen verbeteren niet als het verschil tussen mest- en adviesgift wordt opgenomen als verklarende variabele. De term is in geen van de modellen significant. Het verschil tussen de mestgift en adviesgift in plaats van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ geeft ook geen significant effect voor 'overbemesting'.

Jaareffect

Het toevoegen van een factor 'jaar' aan model 3 of 4 heeft in beide gevallen geen significant effect. Het percentage verklaarde variantie en de standaardfout van het model veranderen nauwelijks, terwijl de geschatte parameters veranderen vrijwel niet veranderen, met uitzondering van de hellingen voor Neerslagoverschot2 of Neerslagsom2, die vrijwel nul worden. Bij model 1 is de factor 'jaar' wel significant. Het verschil tussen de meetjaren is bij maïs groot voor alle modellen. De nitraatconcentratie is in het tweede jaar ongeveer 12 mg/l lager dan in het eerste meetjaar en in jaar 3 ongeveer 40 mg/l lager dan in jaar 1 (nadat gecorrigeerd is voor alle andere variabelen in het model). De richting is in overeenstemming met akkerbouw maar het verschil tussen de jaren is bij maïs veel groter. Een deel van het verschil tussen de meetjaren wordt verklaard door de neerslagsom in de winterperiode.

DOC_{grondwater}

De relatie tussen de nitraatconcentratie en $\text{DOC}_{\text{grondwater}}$ is significant en relevant maar het aantal beschikbare data daalt behoorlijk. Bovendien is $\text{DOC}_{\text{grondwater}}$ niet interessant als indicator voor de nitraatconcentratie. Als het grondwater bemonsterd moet worden voor de bepaling van $\text{DOC}_{\text{grondwater}}$ kan immers net zo goed meteen de nitraatconcentratie worden gemeten.

Overig

Het effect van N_{totaal} is niet significant, maar de orde van grootte is wel relevant. Deze variabele is gecorreleerd met N_{NH_4} waarbij de laatste de voorkeur krijgt zodat

Ntotaal niet terug komt in de gepresenteerde modellen. Ook de effecten van denit2 en denit6 (potentiële denitrificatie voor verschillende bodemlagen) zijn groot en bijna significant. Toch is ervoor gekozen deze variabelen niet in één van de modellen op te nemen. De effecten van denit2 en denit6 zijn tegengesteld (positief en negatief effect op de nitraatconcentratie) en dit is niet verklaarbaar. Bovendien is het niet praktisch om dergelijke parameters, die moeilijk te bepalen zijn, in een regressiemodel op te nemen.

Voor de overige variabelen geldt dat noch hun parameter significant is noch hun effect op de nitraatconcentratie van relevante omvang is. Zij zijn daarom niet opgenomen in de uiteindelijke modellen.

4.4 Toepassing van het procesmodel

Het procesmodel dat in paragraaf 3.3 is afgeleid (vergelijking 6), kan worden toegepast als de reductiefactoren voor de potentiële denitrificatie en mineralisatie die in dat model voorkomen per proefplek zijn berekend. Hierna wordt beschreven hoe deze berekeningen zijn uitgevoerd.

De reductiefactor voor de potentiële denitrificatie bestaat uit het product van twee factoren: één die de reductie t.g.v. de vochttoestand aangeeft (F_{WD}), en één die de reductie t.g.v. de bodemtemperatuur aangeeft (F_T). Het submodel voor F_{WD} is ontleend aan Hénault en Germon (2000; verg. 4):

$$F_{WD} = \left[\frac{\delta_{WF} - 0.62}{0.38} \right]^{1.74} \quad \text{als } \delta_{WF} > 0.62,$$

$$F_{WD} = 0 \quad \text{als } \delta_{WF} < 0.62,$$

waarin δ_{WF} de fractie watergevuuld poriënvolume is, welke is gedefinieerd als:

$$\delta_{WF} = \theta_v / P_t,$$

waarin θ_v het volumepercentage bodemvocht is, en P_t de bodemporositeit (in %). Zowel θ_v als P_t worden per proefplek berekend uit de in het veld geschatte textuurgegevens van de bovengrond en de K - θ_v gegevens die daarbij behoren uit Wösten *et al.* (1994). Hierbij wordt tussen de getabelleerde waarden geïnterpoleerd m.b.v. 3^e graads veeltermen in $\log(K)$. De veronderstelling hierbij is dat dagelijks een grondwaterflux optreedt die gelijk is aan de netto neerslagintensiteit van die dag, en dat deze flux stationair is, dus dat de K -waarde gelijk is aan de netto neerslagintensiteit. De F_{WD} wordt dus op dagbasis berekend.

Het submodel voor F_T is eveneens ontleend aan Hénault en Germon (2000; verg. 5):

$$F_T = \exp \left[\frac{(t - 11) \ln(89) - 9 \ln(2.1)}{10} \right] \quad \text{als } t < 11 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$F_T = \exp \left[\frac{(t - 20) \ln(2.1)}{10} \right] \quad \text{als } t > 11 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Evenals de F_{WD} is de F_T op dagbasis berekend, waarbij voor de temperatuur van de bovengrond de gemeten luchttemperatuur is genomen.

De reductiefactor voor de potentiële denitrificatie is tenslotte berekend als het product van de dagwaarden van F_{WD} en F_T , gemiddeld over de periode tussen de Nmin- en de nitraatbemonstering.

De reductiefactor voor de potentiële mineralisatie bestaat, evenals die voor de denitrificatie, uit het product van twee factoren: één die de reductie t.g.v. de vochttoestand aangeeft (F_{WM}), en één die de reductie t.g.v. de bodemtemperatuur aangeeft (F_T). Voor deze laatste wordt dezelfde factor gebruikt als bij de denitrificatie. Het submodel voor F_{WM} is (B.H. Janssen; pers. comm.):

$$F_{WM} = 0.05 \times \delta / \delta_{wp} \quad \text{als } \delta \leq \delta_{wp},$$

$$F_{WM} = 0.05 + \frac{0.95(\delta - \delta_{wp})}{0.5 - \delta_{wp}} \quad \text{als } \delta_{wp} < \delta < 0.5,$$

$$F_{WM} = 1 \quad \text{als } 0.5 \leq \delta < 0.7,$$

$$F_{WM} = 3.1 - 3 \times \delta \quad \text{als } 0.7 \leq \delta,$$

waarin δ_{wp} de fractie watergevuld poriënvolume is bij het verwelkingspunt (pF=4.2).

De reductiefactor voor de potentiële mineralisatie is op soortgelijke wijze berekend als voor de denitrificatie, namelijk als het product van de dagwaarden van F_{WD} en F_T , gemiddeld over de periode tussen de Nmin- en de nitraatbemonstering.

Met behulp van de beschikbare gegevens over de drie meetjaren is m.b.v. GenStat (procedure Fitnonlinear) getracht het procesmodel, zoals afgeleid in sectie 3.3, te kalibreren. Daarbij is voor de nitraatconcentratie in neerslag (C_n) in eerste instantie 37 mg/l genomen (berekend uit gegevens die bij Alterra beschikbaar zijn). Het lukte niet om dit model te kalibreren, omdat het rekenproces niet convergeerde. Ook na velerlei aanpassingen aan het model werd geen convergentie bereikt, traden er zeer grote restspreidingen op, of ontstonden onrealistische waarden voor een of meer regressieparameters. De aanpassingen betroffen o.a. verwijdering uit het model van interacties met bodem-, Gt- en/of gewasgroep, invoering van de nitraatconcentratie in de neerslag als een regressieparameter, en vervanging van een product van twee parameters door één parameter,

De conclusie is dat het procesmodel (en varianten daarvan) dat hier is afgeleid niet geschikt is voor de voorspelling van de nitraatconcentratie, omdat het onmogelijk is het model te kalibreren, waardoor voorspellend vermogen ontbreekt. De oorzaak hiervan moet waarschijnlijk worden gezocht in gebreken in de schematisering en de daarin gemaakte aannamen en/of de gebruikte submodellen.

4.5 Perceels- en bedrijfsinformatie

4.5.1 Analysegegevens van intensief bemonsterde percelen

In het najaar van 2002 zijn 37 percelen aangewezen die intensief zijn bemonsterd voor zowel de Nmin-meting in het najaar als de nitraatmeting in het voorjaar van 2003. De percelen zijn verdeeld over de verschillende gewasgroepen. Vervolgens is onderzocht of de percelen konden worden ingedeeld in één van de vier

Tabel 4.10 Resultaat van regressiemodel voor de percelen met nitraatconcentratie als responsvariabele en respectievelijk Nmin, Ngift en Perceeloverschot als verklarende variabelen. Gegeven worden het percentage verklaarde variantie, de standaardfout (Sd) van het model (mg/l), de helling b1, de standaardfout van de helling en de constante C

Model	R_{adj}^2	Sd	b1	se(b1)	C
Nmin	42 %	47.3	1.29	0.25	7.6
Nmin _{nitraat}	51 %	43.4	1.48	0.24	21.1
Ngift	8 %	59.1	0.12	0.06	48.0
Perceeloverschot	12 %	57.7	0.17	0.07	55.1

bodemgroepen (L, Z1, Z2, Z3) op basis van het dominant voorkomen van deze bodemgroep op het perceel. Hetzelfde is gedaan voor de Gt-groep. In de meeste gevallen was er duidelijk sprake van een dominante bodem- en Gt-groep. Bij vijf percelen was het oppervlak duidelijk verdeeld over twee groepen. Toch zijn deze percelen ingedeeld op basis van het grootste oppervlak. In hoofdstuk 2 is een overzicht van de gemeten nitraatconcentraties gegeven.

De intensieve bemonstering van een groep percelen had als doel te onderzoeken of het verband tussen nitraatconcentraties en variabelen die op perceelsniveau gemeten worden duidelijker wordt t.o.v. proefplekniveau. Het gaat dan met name om het perceeloverschot en de mestgift. Het resultaat van een eenvoudig lineair regressie model met de nitraatconcentratie als responsvariabele is gegeven in tabel 4.10.

Op perceelsniveau is er geen duidelijk verband tussen de nitraatconcentratie en de mestgift of het perceeloverschot, hoewel de helling voor de gift en het perceeloverschot wel significant zijn. Als bodem-, Gt- en gewasgroep in het regressiemodel worden opgenomen verbetert het beeld; de helling voor de totale mestgift wordt 0.26 ($p < 0.01$) en de helling voor perceeloverschot wordt 0.21 ($p = 0.02$), maar de percentages verklaarde variantie blijven steken op resp. 25 en 15 %.

De relatie tussen de nitraatconcentratie en Nmin is ook op perceelsniveau duidelijk aanwezig. Het verband tussen de nitraatconcentratie en Nmin is, net als bij de proefplekken, beter wanneer alleen het nitraatdeel van Nmin (Nmin_{nitraat}) wordt genomen. Indien bodem-, Gt- en gewasgroepen in het model worden opgenomen, verbetert het model niet (in termen van standaardfout en percentage verklaarde variantie). De verschillen tussen de Gt-groepen, bodemgroepen en gewasgroepen zijn groot (gras en maïs 24 mg/l hoger dan akkerbouw) maar door het beperkte aantal waarnemingen per combinatie zijn de verschillen niet significant en niet nauwkeurig te schatten.

In de analyses valt steeds één perceel (met een hoge nitraatconcentratie) op dat zowel een sterke hefboomwerking als een groot residu heeft. Het weglaten van dit ene perceel in de analyse resulteert in een minder steile helling voor Nmin_{nitraat} (1.04) en een hogere constante (34.8) terwijl het percentage verklaarde variantie daalt naar 30 %. Er is geen reden om dit perceel weg te laten.

De analyse op perceelsniveau is ook uitgevoerd voor de akkerbouw, gras en maïs apart. Voor akkerbouw is de conclusie volledig afhankelijk van het al dan niet meenemen van het bovengenoemde extreme perceel. In tabel 4.11 staan de resultaten

Tabel 4.11 Resultaat van regressiemodel voor de percelen met nitraatconcentratie als responsvariabele en $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ als verklarende variabele. Gegeven worden percentage verklaarde variantie, de Sd van het model (mg/l), de helling $b1$, de standaardfout van de helling en de constante C (mg/l)

Model	R_{adj}^2	Sd	$b1$	$se(b1)$	C
akkerbouw	54 %	60.5	1.77	0.46	3.5
akkerbouw – extreem	7 %	52.7	0.82	0.60	33.9
gras	45 %	32.0	1.44	0.43	24.7
maïs	51 %	24.8	0.83	0.27	58.4

van een eenvoudige lineaire regressie uitgevoerd per gewasgroep.

De helling voor akkerbouw komt redelijk overeen met de helling bij de proefplekken mits het extreme perceel buiten beschouwing wordt gelaten maar het verband tussen de nitraatconcentratie en $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ is nu niet meer significant hetgeen ook blijkt uit het lage percentage verklaarde variantie. De helling voor gras is een stuk steiler dan bij de analyse op proefplekniveau en het intercept ligt gemiddeld iets lager. De helling voor maïs komt behoorlijk goed overeen met die gevonden werd bij de analyse op proefplekniveau, en ook nu blijft de constante hoog. Dit betekent dat een nulwaarde voor de perceelsgemiddelde $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ niet voldoende is om de nitraatnorm op perceelsniveau te halen.

4.5.2 Analyse bedrijfsgegevens

In het derde meetseizoen (2002-2003) is een bemonstering op bedrijfsniveau uitgevoerd om een betere schatting te krijgen van bedrijfsgemiddelde N_{\min} -gehalten en nitraatconcentraties. Daartoe zijn in het najaar van alle percelen per bedrijf mengmonsters genomen waaraan N_{\min} gemeten is. Het bedrijfsgemiddelde N_{\min} en $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ is berekend als het gemiddelde over alle percelen. Voor de bepaling van de nitraatconcentratie is uitgegaan van de clusterindeling in bodem-, Gt- en gewasgroep. Per cluster zijn in het voorjaar twee mengmonsters genomen waarin de nitraatconcentratie is gemeten. De bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie is berekend door middel van een oppervlakte-gewogen gemiddelde van de clustermetingen. In de praktijk bleken een aantal bedrijven uit heel veel verschillende clusters te bestaan. In heel kleine clusters zijn geen monsters genomen; deze spelen dus uiteindelijk geen rol in het bedrijfsgemiddelde. Voor 27 bedrijven is op bovenstaande wijze een bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie en $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ -gehalte verkregen.

Er is ook op bedrijfsniveau geen goede relatie te zien tussen de nitraatconcentratie en het MINAS-overschot dan wel het werkelijke bedrijfsoverschot. Er is ook geen verband met de neerslagsom, niet in de zomer noch in de winterperiode. Tussen de nitraatconcentratie en N_{\min} of $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ wordt wel een relatie gevonden op bedrijfsniveau, conform de analyse op proefplekniveau.

Uit de analyses komt naar voren dat steeds twee bedrijven een groot residu en/of een sterke hefboomwerking hebben. Het gaat om twee akkerbouwbedrijven waarvan er één een hoge nitraatconcentratie en een hoge N_{\min} -waarde heeft in combinatie met een laag bedrijfsoverschot. Het weglaten van dit bedrijf uit de analyse resulteert in

Tabel 4.12 Resultaat van regressiemodel voor de bedrijven met nitraatconcentratie als responsvariabelen en respectievelijk Nmin, Minas-overschot en bedrijfsoverschot al dan niet met neerslagsom in zomer- of winterperiode als verklarende variabelen. Gegeven worden het percentage verklaarde variantie en de standaardfout (Sd, mg/l) van het model, de helling (b_1) van de verklarende variabele en de helling (b_2) van de extra verklarende variabele (neerslagsom), de standaardfouten se van de hellingen en de constante C (mg/l)

Model	$R^2_{adj.}$	Sd	b_1	$se(b_1)$	b_2	$se(b_2)$	C
Nmin	38 %	40	0.80	0.19			-11
Nmin + neerslagsom1	36 %	40	0.82	0.20	0.08	0.18	-45
Nmin + neerslagsom2	37 %	40	0.80	0.19	0.28	0.34	-120
Nmin _{nitraat}	40 %	39	1.03	0.23			-14
Nmin _{nitraat} +neersl1	39 %	40	1.08	0.25	0.10	0.17	-60
Nmin _{nitraat} +neersl2	39 %	39	1.03	0.24	0.23	0.34	-103
MINAS-overschot	0 %	52	0.05	0.16			40
Bedrijfsoverschot	6 %	49	0.21	0.13			10

een geheel andere conclusie. Het verband tussen de nitraatconcentratie en Nmin is nog wel significant, maar de helling is veel minder steil ($b_1=0.31$) en er is nu wel een duidelijk en significant verband met het bedrijfsoverschot. Indien ook het tweede opvallende bedrijf uit de analyse wordt weggelaten is het verband tussen de nitraatconcentratie en Nmin niet meer significant. Dat betekent dat het regressiemodel met Nmin niet stabiel is en dat er eigenlijk te weinig waarnemingen zijn om harde conclusies te trekken. Er zijn echter geen redenen om de twee bedrijven buiten beschouwing te laten. Daarom is de regressieanalyse uitgevoerd met inbegrip van de gegevens van deze twee bedrijven.

De analyse op bedrijfsniveau is ook uitgevoerd voor de akkerbouw- en veehouderijbedrijven apart. Voor akkerbouw is de conclusie volledig afhankelijk van het al dan niet mee nemen van de twee opvallende bedrijven. Indien alle data worden meegenomen is de relatie met Nmin vergelijkbaar met de *overall* analyse; de neerslagsom in de winterperiode voegt nu wel wat toe.

Voor de veehouderijbedrijven is er geen relatie tussen de nitraatconcentratie en het MINAS-overschot. De helling voor Nmin is minder steil bij de veehouderijbedrijven, maar ook nu voegt de neerslagsom in de winter wel wat toe, echter met een omgekeerd teken ten opzichte van de akkerbouw. Het verband tussen de nitraatconcentratie en het bedrijfsoverschot is veel duidelijker dan in de *overall* analyse, maar net niet significant. Er is echter ook een (waarschijnlijk toevallige) correlatie tussen het bedrijfsoverschot en de neerslagsom in de winterperiode. Daarmee zijn deze variabelen inwisselbaar en is niet duidelijk welke van de twee een werkelijk verband vertoont met de nitraatconcentratie.

Tenslotte is gekeken naar mogelijke regionale verschillen. Daartoe hebben we gebruik gemaakt van gegevens over depositie van het RIVM/MNP (gepubliceerd in de Milieubalans 2004). Deze depositie verklaart 17 % van de variatie en in combinatie met Nmin of Nmin_{nitraat} wordt 47 % van de variatie verklaard met een standaardfout voor Nmin van 37 mg/l. De helling voor de N-depositie (1.8) is significant ($P = 0.04$) en de helling voor Nmin wordt 0.73 ($P < 0.001$). In combinatie met Nmin_{nitraat} wordt de helling voor depositie 1.63 en is depositie net niet meer significant ($P = 0.06$). In de analyse voor de akkerbouw- en veehouderijbedrijven apart is het effect

Tabel 4.13 Overzicht van de nitraatconcentraties (mg/l) per seizoen, per Gt-groep, bodemgroep en gewasgroep voor de proefplekken waarop drie keer in de tijd een Nmin-meting is uitgevoerd

	2000-2001		2001-2002	
	Aantal waarnemingen	Gemiddelde nitraatconcentratie	Aantal waarnemingen	Gemiddelde nitraatconcentratie
Gtgroep				
1	16	51.1	40	29.8
2	39	84.5	71	61.8
3	112	92.7	124	71.6
Bodem				
L	17	52.9	17	56.7
Z1	38	93.7	42	41.2
Z2	43	83.0	60	63.2
Z3	69	93.7	116	68.7
gewas				
a	16	91.0	36	68.7
b	17	64.0	21	50.8
g	74	72.5	66	47.3
m	23	110.6	49	64.8
r	28	48.6	38	53.9
t	9	297.7	8	157.8

van N-depositie wel groot voor beiden, maar uitsluitend significant bij de veehouderijbedrijven.

4.6 Nmin-verloop in de tijd en met de diepte

Nmin-metingen zijn uitgevoerd voor drie bodemlagen, namelijk 0-30, 30-60 en 60-90 cm – mv. Voor een deel van de proefplekken zijn naast de Nmin-bepalingen in de periode oktober-december 2000 en 2001 ook metingen gedaan op latere tijdstippen in de winter, namelijk in de periode december-januari en de periode na 15 januari in zowel 2000/2001 als 2001/2002. Dit betekent dat er voor deze proefplekken in feite negen Nmin-waarnemingen per meetjaar beschikbaar zijn, namelijk voor drie lagen op drie tijdstippen. De waarnemingen zijn niet onafhankelijk. Ook de datum van iedere meting is bekend. In dit hoofdstuk wordt onderzocht of er een verband bestaat tussen nitraatconcentratie in het grondwater en het Nmin-gehalte op verschillende diepten en/of tijdstippen. Verder wordt onderzocht of er een relatie bestaat tussen de Nmin-waarnemingen op de verschillende tijdstippen onderling.

Tabel 4.13 geeft een overzicht van de gemiddelde nitraatconcentratie per bodem-, Gt- en gewasgroep en het aantal proefplekken waarvan op drie tijdstippen Nmin is bepaald. De gemiddelde nitraatconcentraties van de gewasgroepen wijken vooral in het eerste meetseizoen behoorlijk af van de gemiddelde concentraties van de gehele dataset (zie tabel 2.4).

Tabel 4.14a en b geven een overzicht van de gemiddelde Nmin-gehalten (in kg N per ha) in de drie lagen op de drie tijdstippen per meetseizoen. Uit deze tabel blijkt dat het verloop met de diepte heel variabel kan zijn. Met name in het eerste meetseizoen zijn zowel dalingen als stijgingen met de diepte te zien op alle

Tabel 4.14 Overzicht van de gemiddelde N_{min}-gehalten (in kg N per ha) in de drie lagen op de drie tijdstippen per Gt-groep, bodem- en gewasgroep (op basis van de plekken die op alle drie de tijdstippen zijn gemeten) a: 2000-2001

Tijdstip	Laag 0-30 cm			30-60 cm			60-90 cm		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Gt-groep									
1	24.9	14.3	21.0	16.3	15.1	15.7	20.3	16.9	17.3
2	19.9	13.3	19.8	24.1	15.6	15.7	22.3	24.2	21.4
3	15.0	9.9	14.8	17.2	10.6	12.3	18.8	11.2	11.7
Bodemgroep									
L	16.7	12.9	15.0	15.9	15.1	12.4	12.9	7.7	11.8
Z1	20.3	11.6	18.7	19.9	13.2	16.2	19.4	15.0	16.4
Z2	18.1	12.0	19.2	18.9	12.8	14.8	21.8	15.8	16.5
Z3	15.9	9.8	14.1	19.8	10.7	11.3	20.2	15.8	12.8
Gewasgroep									
a	23.5	17.6	28.7	26.4	12.8	18.4	31.0	13.7	15.8
b	18.8	14.5	14.7	23.7	13.7	15.0	12.2	12.1	13.3
g	17.8	11.4	17.0	16.9	12.0	14.2	15.5	13.8	14.0
m	19.4	7.6	14.2	21.9	16.2	10.2	22.0	19.1	18.2
r	11.5	9.1	14.4	10.0	7.3	9.3	12.0	7.2	7.3
t	12.2	6.5	8.6	46.3	15.4	17.0	86.4	43.2	31.8

b: 2001-2002

Tijdstip	Laag 0-30 cm			30-60 cm			60-90 cm		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Gt-groep									
1	24.8	26.1	30.3	19.6	17.8	23.0	16.3	19.5	21.2
2	19.6	19.4	16.9	16.5	19.0	18.2	16.1	17.8	17.8
3	18.8	16.3	13.0	16.9	16.6	12.0	16.3	14.0	15.7
Bodemgroep									
L	24.4	18.3	13.5	32.0	19.4	18.2	31.4	16.8	21.6
Z1	20.6	16.8	17.6	18.6	12.7	15.4	16.7	16.0	14.6
Z2	20.2	19.0	16.5	16.2	17.7	15.8	15.2	16.0	18.5
Z3	19.1	19.7	17.7	15.8	18.9	15.5	15.2	16.0	16.9
Gewasgroep									
a	22.1	19.1	14.3	20.1	20.5	11.4	19.9	20.6	16.5
b	11.8	16.6	17.4	7.8	12.2	10.6	6.5	9.2	8.6
g	21.6	16.0	16.8	16.8	13.2	14.7	14.5	12.8	16.1
m	22.1	21.4	17.8	21.0	23.6	21.7	20.4	20.9	22.4
r	14.9	11.4	13.1	13.4	13.4	10.6	14.8	9.3	13.3
t	20.8	24.2	21.6	22.2	23.3	14.6	23.0	28.5	19.9

verschillende tijdstippen. Op tijdstip 2 lijkt er wel sprake van een toename van N_{min} met de diepte voor alle Gt-groepen en bodemgroepen, maar niet voor alle gewasgroepen. In het tweede meetseizoen is er tijdens het eerste meettijdstip vrijwel steeds sprake van een daling van N_{min} met de diepte, maar op de andere meettijdstippen is dat weer minder duidelijk. Er lijken wel duidelijke verschillen te zijn tussen de gewasgroepen. Bij gewasgroep 'r' bijvoorbeeld is in alle gevallen sprake van nauwelijks verschillen tussen de N_{min}-waarden op de verschillende diepten dan wel een daling van N_{min}-gehalte met de diepte, terwijl bij gewasgroep 't' op bijna alle tijdstippen sprake is van een stijging met de diepte.

Aan het verloop van N_{min} in de tijd valt op dat in de tweede meetperiode van het eerste meetseizoen de waarnemingen per bodemlaag vrijwel altijd lager uitvallen dan in de eerste meetperiode. In het tweede meetseizoen gaat dat echter niet op.

Regressieanalyse

Er is een regressieanalyse uitgevoerd met de negen N_{min}-metingen (drie lagen op drie tijdstippen) per locatie en de drie tijdstippen waarop gemeten is als verklarende variabelen in het model met de nitraatconcentratie als responsvariabele. Daarnaast zijn de clusterindeling (bodem-, Gt- en gewasgroep) en de neerslagsom of het neerslagoverschot per periode (periode tussen eerste en tweede bemonstering en tussen tweede en derde bemonstering) in het model opgenomen. De resultaten van de regressieanalyse laten zien dat alleen het N_{min}-gehalte in de bovenste laag (0-30 cm – maaiveld), gemeten op het eerste tijdstip en het N_{min}-gehalte in de derde laag (60-90 cm – maaiveld) op het tweede tijdstip een significante en positieve relatie met de nitraatconcentratie vertonen (verklaarde variantie 40%). Dit zou kunnen worden verklaard door transport van nitraat, namelijk het nitraat uit de bovenste laag op tijdstip 1 bevindt zich op tijdstip 2 in de bodemlaag van 60-90 cm – maaiveld en later (in het voorjaar) in het grondwater. Wordt in plaats van N_{min} naar N_{min,nitraat} gekeken dan heeft alleen het N_{min,nitraat}-gehalte in de derde laag (60-90 cm – maaiveld) op het tweede tijdstip een significante positieve relatie met de nitraatconcentratie (verklaarde variantie 43%). De voorspelfout van beide modellen is groot (61 en 60 mg/l), zodat voorspellingen onnauwkeurig zijn.

De neerslagsom in de periode tussen de eerste en tweede meting heeft een negatief teken, terwijl de neerslagsom tussen de tweede en derde periode een positief teken heeft. Dit betekent dat de hoeveelheid neerslag tijdens de winter de nitraatconcentratie in het grondwater op drie manieren kan beïnvloeden:

1. toename in de neerslag leidt tot meer uitspoeling en hogere nitraatconcentraties;
2. toename in de neerslag leidt tot meer water in het bodemprofiel en tot een verdunning (en lagere concentraties) van het nitraat, en
3. toename in neerslag leidt tot meer denitrificatie en daardoor tot lagere nitraatconcentraties.

Deze effecten spelen door elkaar, terwijl de resultaten van de statistische analyse suggereren dat in beide winters eerst de tweede en/of derde factor en later de eerste factor een overheersende invloed hebben op de nitraatconcentratie.

Verloop in de tijd

In de regressieanalyse wordt alleen gezocht naar een directe relatie tussen de N_{min}-gehalten in de lagen op de verschillende tijdstippen en de nitraatconcentratie. Een andere manier om naar de data te kijken is te onderzoeken of het verloop in de tijd (per laag of gesommeerd over de lagen) een relatie heeft met de nitraatconcentratie. Tijdens de winter zijn er verschillende processen die tot veranderingen in de hoeveelheid N_{min} in bodemlagen kunnen leiden. Aanvoer van minerale N kan optreden door mineralisatie, atmosferische depositie (bovenste laag) en transport uit bovenliggende lagen naar eronder gelegen lagen (aangenomen dat er geen bemesting of beweiding plaatsvindt). Afvoer van minerale N kan optreden door uitspoeling naar

Tabel 4.15 Gemiddelde helling van lineaire regressielijn per proefplek per laag door de tijd voor laag 0-30 per Gt-gewascombinatie

Gewasgroep	Periode					
	2000-2001			2001-2002		
	Gt-groep			Gt-groep		
	1	2	3	1	2	3
a	-0.52	1.17	0.06	0.17	-0.02	-0.16
b	-0.14	-0.02	-0.02	0.32	0.17	-0.02
g	0.01	-0.03	0.01	-0.02	-0.16	-0.09
m	0.09	0.01	-0.02	0.03	-0.15	-0.06
r	0.09	0.15	0.06	0.26	-0.06	-0.08
t	-0.05	-0.07	-0.08	0.13	-0.02	0.03

diepere lagen, denitrificatie, immobilisatie en indien er een gewas aanwezig is door gewasopname (dit geldt met name voor grasland en percelen met wintergewassen).

Het verloop van het Nmin-gehalte per laag in de tijd is te beschrijven met een eenvoudige lineaire regressielijn. De helling van deze lijn en het gemiddelde Nmin-gehalte kunnen worden gezien als twee karakteristieken die het verloop in de tijd beschrijven. Een positieve helling betekent dat Nmin toeneemt in de periode van oktober tot en met januari en een negatieve helling dat Nmin afneemt in die periode. De grootte van de helling geeft de snelheid aan waarmee de hoeveelheid Nmin in een laag verandert.

Per proefplek is per laag een eenvoudige lineaire regressie uitgevoerd op de drie Nmin-bepalingen tegen de meetdatum. De helling van de regressielijn en het gemiddelde van de drie datapunten is berekend. Per proefplek worden zo zes nieuwe variabelen verkregen, namelijk per laag een helling en een gemiddelde, die het verloop in de tijd beschrijven. Vervolgens is met multiële lineaire regressieanalyse onderzocht of er een verband bestaat tussen deze karakteristieken, de bodem-Gt-gewascombinaties en seizoen enerzijds en de nitraatconcentratie anderzijds.

In tabel 4.15 wordt voor de laag 0-30 cm de gemiddelde helling in kg N per ha per dag gegeven per Gt-gewas-combinatie per meetseizoen. De variatie tussen de hellingen voor de proefplekken per bodem-, Gt- of gewasgroep is groot. Voor bijvoorbeeld de laag 0-30 cm op bodemgroep Z1, Gt-groep 3 en gras varieert de helling van -0.25 tot +0.42 kg/ha N per dag in het eerste meetseizoen en van -0.51 tot +0.40 kg/ha N per dag in het tweede meetseizoen. Dit betekent dat het verloop van de hoeveelheid Nmin in de tijd zowel kan dalen als kan stijgen voor proefplekken met eenzelfde bodem-Gt-gewascombinatie. In tabel 4.15 resulteert dit in hele lage gemiddelde hellingen in beide meetjaren. In de gegevens van tabel 4.15 is geen duidelijke lijn te ontdekken. De hellingen voor de lagen van 30-60 en 60-90 cm – maaiveld geven een vergelijkbaar resultaat. Dit betekent waarschijnlijk dat er binnen bodem-Gt-gewascombinaties grote verschillen bestaan in de bovengenoemde aan- en afvoerposten van Nmin tijdens de winter. Vaak wordt aangenomen dat Nmin-gehalten tijdens de winter in een profiel sterk afnemen door verliezen via uitspoeling en denitrificatie (“het profiel is leeg in het vroege voorjaar”). De resultaten voor deze winters, beide relatief natte, geven duidelijk aan dat dit niet algemeen geldt, en dat er ook een groot aantal proefplekken waren waarbij de

hoeveelheid N_{min} tijdens de winter toenam. De enige oorzaak hiervoor lijkt mineralisatie te zijn.

Het gemiddelde per laag per tijdstip heeft een significante, positieve samenhang met de nitraatconcentratie voor alle drie de lagen. Dit betekent dat een hoger gemiddeld N_{min} (gemiddeld over de drie tijdstippen) een gemiddeld hogere nitraatconcentratie geeft. Dit komt overeen met de resultaten in paragraaf 4.2 t/m 4.5. Er is een relevant en significant verschil in de nitraatconcentratie tussen de twee jaren en ook de verschillen tussen bodem-, Gt- en gewasgroepen zijn vergelijkbaar.

Ondanks de grote variatie tussen hellingen (binnen een bodem-Gt-gewascombinatie) wordt er een significante relatie gevonden tussen de helling voor de laag 0-30 cm – maaiveld en de nitraatconcentratie. Het verloop in de tijd in deze bovenste laag (gekaracteriseerd door de helling) heeft een negatieve relatie met de nitraatconcentratie. Dit betekent dat als N_{min} in de tijd afneemt in de periode van oktober tot januari, dit gemiddeld leidt tot een toename van de nitraatconcentratie. *Vice versa* neemt de nitraatconcentratie ook af met een toenemende N_{min} in de laag 0-30 cm – mv. Voor het verloop in de andere bodemlagen wordt dit verband niet gevonden.

Verloop met de diepte

Op dezelfde manier als het verloop in de tijd kan ook het verloop van N_{min} met de diepte worden onderzocht. Het verloop met de diepte wordt beschreven door een lineaire regressielijn per plek per tijdstip. De drie N_{min}-bepalingen in de diepte worden dan uitgezet tegen de gemiddelde diepte. Ook nu is de helling van de lijn (snelheid waarmee N_{min} toe- of afneemt in de diepte) op te vatten als een karakteristiek die het verloop in de diepte op één tijdstip beschrijft. De helling voor N_{min} is zo gedefinieerd dat een positieve helling een hoger N_{min}-gehalte in de diepere lagen betekent. De grootte van de helling bepaalt de snelheid waarmee N_{min} toeneemt in de diepte. Het gemiddelde N_{min}-gehalte (maar nu gemiddeld over de lagen) is als de andere beschrijvende karakteristiek genomen. Met multiële lineaire regressieanalyse is onderzocht of er een verband bestaat tussen de bodem-Gt-gewasindeling, seizoen en deze karakteristieken met de nitraatconcentratie.

Zoals verwacht is er een positief verband tussen de gemiddelde N_{min} in de bodem (0-90 cm – maaiveld) van de eerste meetperiode en de nitraatconcentratie. Dit komt overeen met de resultaten in paragraaf 4.2 t/m 4.4, waarin N_{min}, gesommeerd over de drie lagen in de eerste periode, steeds als een verklarende variabele naar voren kwam. Daarnaast is ook de regressiecoëfficiënt voor de helling significant en positief. Dit betekent dat er een relatie is tussen het verloop van N_{min} in de diepte en de nitraatconcentratie waarbij de nitraatconcentratie hoger is als de N_{min} toeneemt met de diepte.

Uitgaande van alleen de proefplekken die in de tweede periode (december-januari) gemeten zijn is er ook een positief verband tussen de gemiddelde N_{min} in de bodem (laag 0-90 cm – maaiveld) en de nitraatconcentratie. Verder blijkt er ook in deze periode een significant positief verband tussen de nitraatconcentratie en de helling, dus een positief verband met een toenemende N_{min} in de diepere lagen. Tenslotte

blijkt dit resultaat ook gevonden te worden wanneer wordt uitgegaan van alleen de metingen na 15 januari. In het algemeen blijkt er dus een positief verband tussen de gemiddelde N_{min} en de nitraatconcentratie maar ook blijkt de nitraatconcentratie toe te nemen naarmate de N_{min} in de diepere lagen toeneemt.

4.7 Gemiddelde per proefplek over de drie meetseizoenen

De resultaten die tot nu toe zijn beschreven hebben betrekking op analyses van de gegevens voor de drie meetseizoenen afzonderlijk. Het is interessant om ook de gemiddelden over de drie meetseizoenen te analyseren en de resultaten hiervan te vergelijken met die voor de afzonderlijke drie meetseizoenen. Daarom zijn de nitraatconcentraties, $N_{min_{nitraat}}$ en de neerslagsommen gemiddeld per proefplek. Bodem- en Gt-groep en andere bodemkundige gegevens zijn constant in de tijd en behoeven dus niet te worden gemiddeld. De gewasgroep varieert in de tijd, maar omdat dit een kwalitatieve variabele is die niet is te middelen is deze niet in de analyses betrokken. Er zijn twee modellen geselecteerd met de volgende structuur:

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

Model 2: $Nitraat = C_i + a \times N_{min_{nitraat}} + b \times C_Nverb + d \times PotMin + e \times Neerslagsom1 + f \times Neerslagsom2$

waarin:

C_i = de constante per bodem-Gt-combinatie (zie tabel 4.18);

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

$Nitraat$ = de gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l) over drie meetseizoenen;

$N_{min_{nitraat}}$ = het nitraatdeel van N_{min} voor de laag 0-90 cm (kg/ha), gemiddeld over drie meetseizoenen;

C_Nverb = C/N-verhouding voor de bouwvoor, gemiddeld over drie meetseizoenen;

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

$Neerslagsom1$ = neerslagsom (mm) gemiddeld over de drie zomerperiodes (1 april - 1 oktober);

$Neerslagsom2$ = neerslagsom (mm) gemiddeld over de drie winterperiodes (1 oktober - 1 april).

Tabel 4.16 en 4.17 geven de resultaten van de regressieanalyses. Vergelijken met de resultaten voor afzonderlijke gegevens van de drie meetseizoenen voor akkerbouw, gras en maïs levert de analyse van de gemiddelden over drie meetseizoenen betere modellen op in termen van percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}) en standaardfout van het model (Sd). Dit blijkt uit vergelijking van modellen met overeenkomstige structuur: model 1 in tabel 4.16-4.17 heeft dezelfde structuur als model 1 voor akkerbouw in tabel 4.1-4.2, model 1 en 2 in tabel 4.16-4.17 hebben dezelfde structuur als model 1 en 3 voor gras in tabel 4.4-4.5, model 1 in tabel 4.16-4.17 heeft dezelfde structuur als model 1 voor maïs in tabel 4.7-4.8. In alle gevallen is R^2_{adj} in tabel 4.17 het hoogst en Sd in tabel 4.17 het laagst.

Tabel 4.16 Schatting van de regressiecoëfficiënten met hun standaardfout, het percentage verklaarde variantie (R^2_{adj}), de standaardfout van model 1 en 2 (Sd in mg/l) en het aantal data waarop de modellen zijn gebaseerd. Modellen voor de gemiddelden over drie seizoenen

Model	1		2	
Parameter	schatting		se	
a	1.0930		0.0675	
b			-1.677	
d			-10.75	
e			-0.1589	
f			0.453	
R^2_{adj}	41.0 %		45.4 %	
Sd	43.0		41.5	
aantal data	428		413	

Tabel 4.17 Schatting van de constante C_i (in mg/l) per bodem-Gt-combinatie van model 1 en 2. Modellen voor de gemiddelden over drie seizoenen

Model	1			2		
Gt-groep	1	2	3	1	2	3
L	-36.96	-18.94	3.15	-124.57	-103.57	-82.7
Z1	-9.85	8.17	30.26	-85.26	-64.26	-43.39
Z2	-1.92	16.1	38.19	-76.84	-55.84	-34.97
Z3	-4.66	13.36	35.45	-75.07	-54.07	-33.2

4.8 Proefplekken met veenlaagjes en lössgronden

Veenlaagjes

In de analyse van de gegevens van drie meetjaren zijn de proefplekken met een veenlaagje buiten beschouwing gelaten. Deze proefplekken worden besproken in deze paragraaf. In het rapport met de analyse van de gegevens van twee meetjaren is al duidelijk geworden dat het al dan niet aanwezig zijn van een veenlaagje een behoorlijke invloed kan hebben op de nitraatconcentratie.

Het aantal proefplekken met een veenlaagje is beperkt, en de verdeling over de gewas- en Gt-groepen is erg scheef. Proefplekken met maïs hebben maar zelden een veenlaagje. Bij gras en akkerbouw maakt het aantal proefplekken met een veenlaagje een relatief groot deel uit van Gt-groep 1. Dit resulteerde in een niet-betrouwbare interactie tussen de Gt-groep en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$. Op basis daarvan is besloten deze proefplekken apart te analyseren.

Er zijn in totaal 38 proefplekken waar een veenlaagje voorkomt. In het eerste meetjaar is niet op al deze proefplekken de N_{min} gemeten. Op basis van drie meetjaren zijn er 84 proefplekken die een veenlaagje hebben waarbij zowel de nitraatconcentratie als de N_{min} gemeten is. Tabel 4.18 geeft een overzicht van de gemiddelde nitraatconcentratie per Gt- en gewasgroep voor de proefplekken met en zonder een veenlaagje. Tevens wordt het aantal proefplekken gegeven op basis waarvan het gemiddelde is bepaald. Op geen enkele proefplek met gewasgroep t blijkt een veenlaagje in de bodem voor te komen. Over de gehele linie is duidelijk te zien dat op de proefplekken met een veenlaagje de nitraatconcentratie gemiddeld veel lager is.

Tabel 4.18 Het aantal proefplekken en de gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l) per Gewas- en Gt-groep voor de proefplekken met een veenlaagje

Gewasgroep	Gt-groep	met veenlaag		zonder veenlaag	
		aantal	gemiddelde	aantal	gemiddelde
Gras	1	10	16.3	51	29.8
	2	13	14.0	209	55.9
	3	1	10.9	204	56.2
Maïs	1	1	15.5	39	75.6
	2	3	17.7	75	58.3
	3	1	102.3	62	100.1
a+b+r	1	24	11.9	35	22.5
	2	13	17.9	123	90.2
	3	18	74.4	286	84.1

Tabel 4.19 Aantal proefplekken op lössgrond met respectievelijk gras en maïs per meetjaar en de bijbehorende gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l)

Seizoen	Gras		Maïs	
	aantal	gemiddelde	aantal	gemiddelde
1	5	29.4	1	33.0
2	6	52.1	0	-
3	7	15.4	1	19.0

In een regressieanalyse voor de 84 proefplekken met een veenlaagje waarbij de Gt-groep, bodemgroep, gewasgroep en $N_{\text{min, nitraat}}$ zijn opgenomen in het model, wordt 24% van de variantie verklaard ($Sd = 45.4 \text{ mg/l}$). De verschillen tussen de gewasgroepen zijn klein en niet significant. De verschillen tussen de Gt-groepen zijn groot (Gt-groep 1 en 2 zitten 60 mg/l lager dan Gt-groep 3) en significant. De verschillen tussen de bodemgroepen zijn niet significant. De helling voor $N_{\text{min, nitraat}}$ is 0.20 en wel significant ($p=0.04$) maar een stuk kleiner dan in paragraaf 4.2 en 4.3.

Voor de proefplekken met een veenlaagje is het verband tussen $N_{\text{min, nitraat}}$ en de nitraatconcentratie dus niet meer zo sterk meer. Bovenstaande conclusies worden vooral bepaald door het grote aandeel van proefplekken met akkerbouw. Als alleen de proefplekken met gras worden geanalyseerd is het verschil tussen de Gt-groepen veel kleiner zien en is de helling voor $N_{\text{min, nitraat}}$ niet meer significant.

Lössgronden

Bij akkerbouw zijn de löss-proefplekken meegenomen in de analyse, maar het aantal proefplekken op lössgrond met gras of maïs is te beperkt om deze op te nemen in de regressiemodellen met een aparte bodemgroep in het model. Alle proefplekken op löss liggen in Gt-groep 3. In tabel 4.19 wordt een overzicht gegeven van het aantal proefplekken per seizoen en de gemiddelde nitraatconcentratie op deze proefplekken voor gras en maïs.

Voor de proefplekken met gras is met behulp van een regressie analyse onderzocht of het verband tussen de $N_{\text{min, nitraat}}$ en de nitraatconcentratie ook wordt gevonden voor de proefplekken op lössgrond (zie paragraaf 4.3.1). De helling voor N_{min} wordt op basis van deze 18 punten geschat op 0.38 ($Se=0.26$) en is daarmee een stuk kleiner dan de helling van 0.65 voor zand uit paragraaf 4.3.1. Door de grote variatie is de helling niet meer significant. De constante, geschat op 14.6 mg/l, is een stuk lager

dan de constanten van de overige bodemgroepen bij Gt-groep 3. Het beeld is bij gras dus hetzelfde als bij akkerbouw: de nitraatconcentraties zijn bij lössgronden aanzienlijk lager dan bij zandgronden.

5 Opschaling van proefplek naar bedrijf

5.1 Inleiding

Bij het opzetten van het monitoringsysteem voor het project 'Sturen op Nitraat' is er bewust voor gekozen om regressiemodellen te ontwikkelen op het schaalniveau van proefplekken, en dus niet op dat van bijvoorbeeld monsters, percelen, bedrijven, clusters (bodem-Gt-gewascombinaties) of gebieden. Dat heeft twee belangrijke consequenties:

- Ruimtelijke variaties op het lagere schaalniveau, d.w.z. monsters binnen proefplekken, worden niet door de modellen voorspeld en komen als pseudo-meetfout terecht in de foutentermen van de modellen;
- De modellen zullen worden gebruikt om gemiddelde nitraatconcentraties te voorspellen op hogere schaalniveaus, met name op bedrijfs- en op gebiedsniveau. Dat kan wel, maar dan moeten de modellen worden opgeschaald.

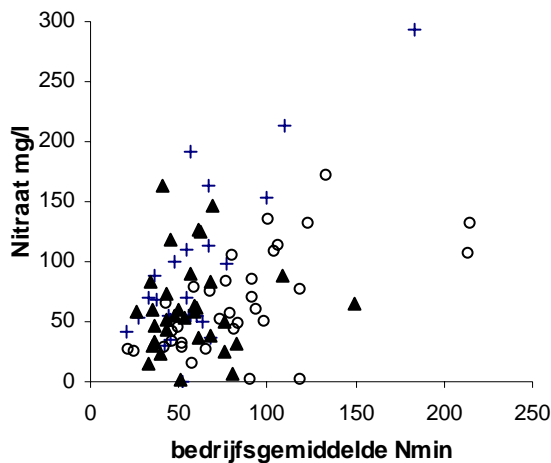
Dit hoofdstuk beschrijft de methode en resultaten van opschaling van proefplek naar bedrijf. Om te komen tot een opschaling van proefplek naar bedrijf is het nodig eerst nader te analyseren op welke wijze de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties voorspeld zullen worden. Paragraaf 5.2 gaat nader in op de opschaling na drie meetjaren.

De bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie per meetjaar kan in eerste instantie worden berekend op basis van de data, waarbij rekening wordt gehouden met de clusteroppervlakten. Hetzelfde kan worden gedaan voor de bedrijfsgemiddelde N_{min} en $N_{min_{nitraat}}$. In figuur 5.1 en 5.2 zijn respectievelijk de bedrijfsgemiddelde N_{min} en $N_{min_{nitraat}}$ uitgezet tegen de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie per meetjaar. De nitraatconcentratie lijkt enigszins beter met $N_{min_{nitraat}}$ samen te hangen dan met N_{min} . Naarmate de waarden hoger worden wordt het verband enigszins duidelijker.

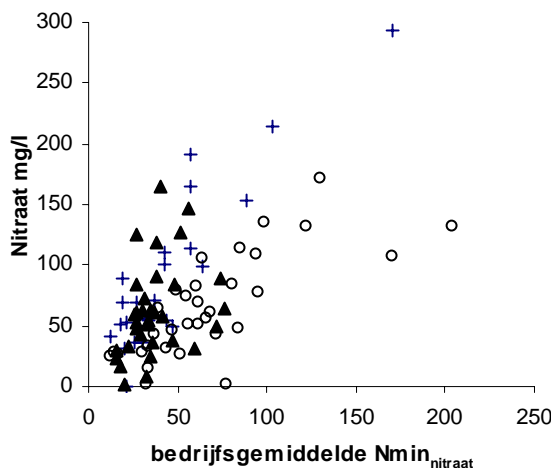
5.2 Voorspelling van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie

Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven, resulteert de analyse van de gegevens van drie meetjaren in afzonderlijke lineaire modellen voor de akkerbouwgewassen, gras en maïs. De modellen hebben verschillende intercepten voor de Gt-groepen 1, 2 en 3 en voor de bodemgroepen Z1, Z2 en Z3 (en löss). Voor akkerbouw is verschil ook het intercept voor de gewasgroepen 'abr' en 't'. De modellen verschillen wat betreft de kwantitatieve predictoren die erin zijn opgenomen.

Omdat niet alleen de modellen voor akkerbouw, gras en maïs verschillen, maar binnen die modellen er ook verschillende intercepten per Gt- en bodemgroep zijn, kan het modellarium m.b.t. voorspelling óók beschouwd worden als te zijn opgebouwd uit $4 \times 3 \times 3 = 36$ verschillende modellen



Figuur 5.1 Bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie als functie van bedrijfsgemiddelde N_{min} -waarden op basis van clustergemiddelden per bedrijf voor 3 meetseizoenen (+ 2000-2001; ▲ 2001-2002; o 2002-2003)



Figuur 5.2 Bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie als functie van bedrijfsgemiddelde $N_{min_{nitraat}}$ -waarden op basis van clustergemiddelden per bedrijf voor 3 meetseizoenen (+ 2000-2001; ▲ 2001-2002; o 2002-2003)

(één voor elk cluster, d.w.z. gewas-Gt-bodem combinatie), van de volgende vorm:

$$\hat{y}_{ij} = \hat{\alpha}_j + \hat{\beta}_{1j}x_{1ij} + \hat{\beta}_{2j}x_{2ij} \quad [1]$$

waarin:

\hat{y}_{ij} : de voorspelde nitraatconcentratie op plek i binnen cluster j van het betreffende bedrijf;

$\hat{\alpha}_j$: intercept van het model voor cluster j , bepaald door de gewas-Gt-bodemgroep;

$\hat{\beta}_{1j}, \hat{\beta}_{2j}$: de geschatte regressiecoëfficiënten van de kwantitatieve predictoren in het model voor cluster j ;

x_{1ij}, x_{2ij} : de waarden van die kwantitatieve predictoren op de betreffende plek.

Hierbij wordt opgemerkt dat het cluster bepaalt welke predictoren zijn opgenomen in het model, en dat de predictor x_2 kan ontbreken.

In dit hoofdstuk beperken we ons voor de akkerbouw tot model 1 (zie hoofdstuk 4), het model met de bodem-, Gt- en gewasgroep en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$. Voor gras en maïs beperken we ons tot het model met bodem- en Gt-groep en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ (model 1). In al deze modellen is de helling voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ gelijk voor de bodem- en Gt-groepen en bij akkerbouw ook gelijk voor de twee gewasgroepen.

Voor opschaling is het belangrijk te constateren dat een deel van de kwantitatieve predictoren direct op bedrijfsniveau worden bepaald (zoals bijv. MINAS-overschot) en dat een ander deel wordt bepaald via monstername (zoals N_{min}). Analyse van afzonderlijke monsters zal in de praktijk niet haalbaar zijn en is ook niet nodig gezien het feit dat de modellen lineair in de predictoren zijn. Dat wil zeggen dat het niet uitmaakt of je met het model eerst nitraatconcentraties op monsterplekken schat en dan het gemiddelde daarvan berekent, dan wel eerst gemiddelden van de predictoren bepaalt en die dan in het model gebruikt.

In het vervolg is er vanuit gegaan dat voor alle predictoren bedrijfs- of cluster-gemiddelden als invoer worden gebruikt, die zijn bepaald aan de hand van bedrijfsgegevens of via analyse van mengmonsters. Dit betekent dat voor het schatten van cluster-gemiddelden binnen het bedrijf modellen van het volgende type worden gebruikt:

$$\hat{y}_j = \hat{\alpha}_j + \hat{\beta}_{1j} \cdot \hat{x}_{1j} + \hat{\beta}_{2j} \cdot \hat{x}_{2j} , \quad [2]$$

waarin streepjes gemiddelden aangeven en dakjes schattingen. Het bedrijfs-gemiddelde kan dan worden geschat als het gewogen gemiddelde van de cluster-gemiddelden:

$$\hat{y} = \sum_{j=1}^J a_j \hat{y}_j , \quad [3]$$

waarin:

a_j : oppervlaktefractie van cluster j binnen het bedrijf;

J : aantal clusters binnen het bedrijf.

Omdat de helling voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ in het model gelijk is voor de verschillende bodem- en Gt-groepen (en bij akkerbouw ook voor de twee gewasgroepen), hoeft alleen het intercept gewogen te worden met de oppervlaktefractie van het cluster. Zo wordt de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie bij akkerbouwbedrijven volgens model 1 voorspeld met :

$$\hat{y} = \sum_{j=1}^3 A_j \hat{\alpha}_j + \hat{\beta}_1 \hat{x}_1 , \quad [4]$$

waarin:

A_j : relatief oppervlak van Gt-bodem-gewasgroep j in het bedrijf;

$\hat{\alpha}_j$: geschat intercept voor Gt-bodem-gewasgroep j in het akkerbouwmodel;

$\hat{\beta}_1$: geschatte regressiecoëfficiënt voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$;

\hat{x}_1 : geschat bedrijfsgemiddelde voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$;

Bij de huidige modellen is het dus niet noodzakelijk om per bodem-Gt-groep een schatting voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ te hebben om te komen tot een goede voorspelling van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie. Een goede schatting van de bedrijfsgemiddelde $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ is bij de akkerbouwbedrijven voldoende. Bij de veehouderijbedrijven moet $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ per areaal gras en maïs apart worden geschat, omdat de helling voor $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ per gewas verschilt.

5.3 De nauwkeurigheid van voorspellingen van bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties

De nauwkeurigheid van de voorspellingen valt in feite samen met het begrip ‘doelgerichtheid’ van de indicatoren zoals eerder gedefinieerd binnen Sturen Op Nitraat (Noij, 2001). Daarom dient aan de nauwkeurigheid van de voorspellingen, en dus ook de kwantificering daarvan, ruime aandacht te worden besteed.

De voorspelling van de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie is het oppervlaktegewogen gemiddelde van de geschatte clustergemiddelden in het bedrijf. De nauwkeurigheid van de voorspelling voor het bedrijf wordt dus bepaald door de nauwkeurigheid van de geschatte oppervlakten van de clusters en van de geschatte gemiddelden van de clusters. Als precies bekend zou zijn waar welke gewassen op het bedrijf worden geteeld, dan wordt de nauwkeurigheid van de clusteroppervlakten bepaald door de nauwkeurigheid van de Gt-kaart en bodemkaart van het bedrijf. De nauwkeurigheid van de clustergemiddelden van de kwantitatieve predictoren wordt bepaald door de nauwkeurigheid van bedrijfsgegevens en bemonstering.

Eerst wordt nagegaan hoe de nauwkeurigheid van de voorspellingen van de clustergemiddelde nitraatconcentraties gekwantificeerd kan worden. Vervolgens wordt ingegaan op de nauwkeurigheid van de bedrijfsgemiddelden.

Als maatstaf voor de nauwkeurigheid gebruiken we de *Mean Squared Error* (MSE, gemiddelde gekwadraterde fout), welke gelijk is aan het kwadraat van de *bias* (de systematische fout) plus de variantie (maat voor de toevallige fout):

$$MSE(\hat{y}_j) = [\text{bias}(\hat{y}_j)]^2 + \text{Var}(\hat{y}_j). \quad [5]$$

Deze vergelijking kan stapsgewijs worden uitgewerkt (zie Hack-ten Broeke *et al.*, 2003). Voor alle modellen geldt dat er maar één kwantitatieve predictor ($N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$) is, en dat de regressiecoëfficiënt van deze predictor in alle clusters gelijk is. In die eenvoudige situatie geldt dat de totale fout te schatten is door:

$$E_m[MSE_b(\hat{y}_j)] \cong \text{Var}_m(\hat{\alpha}_j) + \text{Var}_m(\hat{\beta}) \cdot [\hat{x}_j^2 - \text{Var}_b(\hat{x}_j)] + 2\text{Cov}_m(\hat{\alpha}_j, \hat{\beta}) \cdot \hat{x}_j + \text{Var}_b(\hat{x}_j) \cdot \hat{\beta}^2 + E_m(\bar{e}_j^2). \quad [6]$$

In formule [6] is alles bekend, behalve de laatste term: de verwachting van het kwadraat van het ruimtelijk gemiddelde van de modelresiduen (als deze residuen binnen het cluster op het bedrijf steeds tegen elkaar zouden wegvallen, dan zou deze term nul zijn.) Voor de ontwikkelbedrijven kan deze residueterm worden geschat door de residuen van de proefplekken per meetjaar te middelen binnen de strata (clusters en bedrijven) en de bijbehorende variantie van dat gemiddelde uit te rekenen.

Vervolgens wordt per bedrijf, per meetjaar, een gewogen gemiddelde over de clusters berekend van dit residugemiddelde en diens variantie (gewogen op basis van de relatieve oppervlakte van de clusters binnen dat bedrijf). Per bedrijf, per meetjaar, wordt nu de restterm berekend door het gewogen gemiddelde te kwadrateren en de *bias*-correctie (de variantie) ervan af te trekken. Tenslotte wordt van al deze resttermen weer het gewogen gemiddelde berekend (gewogen op basis van de relatieve oppervlakte van de bedrijven). Dit gemiddelde is gebruikt als de beste schatting voor de term $E_m(\bar{e}_j^2)$.

Vervolgens wordt de nauwkeurigheid van voorspellingen van bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties berekend. Als de fouten in de voorspellingen van de cluster-gemiddelden van een bedrijf ongecorrigeerd zijn, dan is formule [6] eenvoudig op te schalen naar bedrijfsniveau:

$$E_m[MSE_b(\hat{y}_j)] \cong \sum_{j=1}^J a_j^2 E_m[MSE_b(\hat{y}_j)], \quad [7]$$

dat wil zeggen de gewogen som van de fouten per cluster, met de kwadraten van de relatieve oppervlakten van de clusters als gewichten.

5.4 Berekening van de voorspelling en de nauwkeurigheid van een cluster- en een bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie

Vergelijking [6] geeft de totale fout van de voorspelling van de cluster-gemiddelde nitraatconcentraties. Vergelijking [6] bestaat in feite uit drie componenten:

- een component met termen die betrekking hebben op de onnauwkeurigheid van de regressielijn;
- een component met termen die betrekking hebben op de onnauwkeurigheid van $N_{\min_{\text{nitraat}}}$. Door in de toekomst de $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ anders te bepalen verandert de bijdrage van deze term aan de totale onnauwkeurigheid;
- een component die bestaat uit de restspreiding $E_m(\bar{e}_j^2)$ die naar bedrijfsniveau is opgeschaald.

Deze drie componenten kunnen apart worden uitgerekend. Daarmee wordt inzichtelijk gemaakt hoe de totale onnauwkeurigheid is opgebouwd.

De variantie van $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ is op basis van drie meetjaren geschat op $1050 \text{ kg}^2\text{ha}^{-2}$. Dit is zeer vergelijkbaar met de schatting na twee meetjaren ($1000 \text{ kg}^2\text{ha}^{-2}$). Deze schatting is gebaseerd op de $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ -gegevens in de dataset. Voor iedere combinatie van meetjaar, bedrijf, bodem-, Gt- en gewasgroep is de variantie van $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ tussen de proefplekken berekend en vervolgens gepoold (gewogen gemiddeld). Bij de voorspelling is ervan uitgegaan dat er op basis van 40 steken op een bedrijf een mengmonster wordt gemaakt waaraan de $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ wordt bepaald. De restspreiding op bedrijfsniveau is geschat op $309 \text{ mg}^2\text{l}^{-2}$ en ook deze schatting komt goed overeen met de schatting op basis van twee meetjaren ($300 \text{ mg}^2\text{l}^{-2}$).

Tabel 5.1 De voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) per cluster (bodem-Gt-gewascombinatie) met de bijbehorende *se* (mg/l) op basis van 40 steken voor de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ bepaling bij een gestelde $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}} = 30$ kg/ha (op basis van het model 1, hoofdstuk 4)

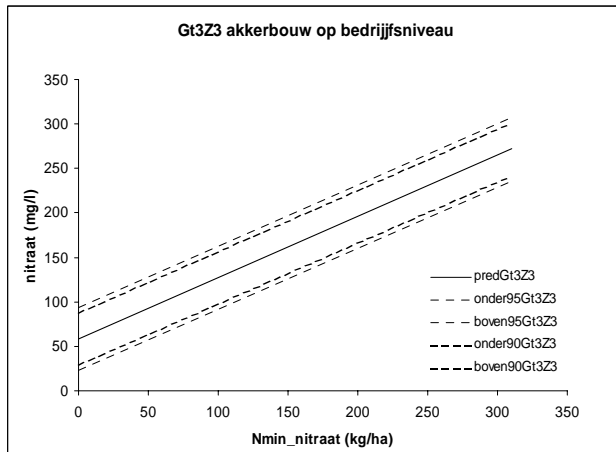
bodem	gewas Gt-groep	a+b+r		t	
		voorspelling	<i>se</i>	voorspelling	<i>se</i>
L	1	0.0 (-13.7)	22.5	53.0	25.0
	2	34.0	20.9	100.8	24.1
	3	49.2	19.9	115.9	23.2
Z1	1	0.3	22.8	67.0	24.5
	2	48.0	20.9	114.8	23.2
	3	63.1	20.4	129.9	22.7
Z2	1	20.6	20.1	87.3	22.8
	2	68.4	18.8	135.1	22.2
	3	83.5	18.4	150.2	21.8
Z3	1	16.3	20.7	83.0	23.0
	2	64.1	18.7	130.8	21.8
	3	79.2	18.4	145.9	21.5

5.4.1 Akkerbouw

Voor model 1 uit hoofdstuk 4, het regressiemodel met gewasgroep, bodemgroep, Gt-groep en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ worden de drie termen berekend die gezamenlijk de nauwkeurigheid van een clustergemiddelde bepalen. De voorspellingen worden gegeven voor een $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -waarde van 30 kg/ha.

De bijdrage van de onnauwkeurigheid van de regressielijn aan de totale variantie van de voorspelling van een clustergemiddelde varieert van 25 tot 310 mg^2l^{-2} . Deze bijdrage hangt onder andere af van de nauwkeurigheid van de schatting van het intercept en varieert dus voor de verschillende clusters. De bijdrage van $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ aan de totale variantie komt op 12.3 mg^2l^{-2} en voor de bijdrage van de derde term (de restspreiding op bedrijfsniveau) is 300 mg^2l^{-2} genomen. In tabel 5.1 wordt per gewasgroep, bodem en Gt-combinatie de voorspelling van het clustergemiddelde met diens nauwkeurigheid (*se*) gegeven. Hier wordt uitgegaan van 40 steken per cluster, dus één cluster per bedrijf.

In figuur 5.3 is voor Gt-groep 3, bodemgroep Z3 en gewasgroep 'a+b+r' het verband gegeven tussen de $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ en de nitraatconcentratie zoals dat volgt uit model 1. Tevens zijn de 90%- en 95%-betrouwbaarheidsintervallen gegeven die horen bij de schattingen op clusterniveau. Voor een bedrijf dat uit één cluster bestaat (dus het gehele bedrijf heeft dezelfde bodem- en Gt-groep en verbouwt gewassen in gewasgroep 'a+b+r') zijn dit ook de betrouwbaarheidsintervallen die horen bij de schatting op bedrijfsniveau.



Figuur 5.3 Nitraatconcentratie als functie van $N_{min_nitraat}$ volgens regressiemodel 1 met betrouwbaarheidsintervallen voor akkerbouw op Gt-groep 3 en bodemgroep Z3

Uit figuur 5.3 blijkt dat een bedrijf met een gemiddelde $N_{min_nitraat}$ gelijk aan 30 kg/ha naar verwachting een nitraatconcentratie heeft van 79 mg/l. Verder volgt uit de figuur dat met 90% zekerheid de werkelijke nitraatconcentratie zal liggen tussen 49 en 109 mg/l. Dit betekent tevens dat een bedrijf met Gt-groep 3, bodemgroep Z3 en een gemiddelde $N_{min_nitraat}$ groter dan 31 kg/ha met 90% zekerheid boven de nitraatnorm van 50 mg/l uit zal komen.

Meestal zal een bedrijf niet bestaan uit één bodem-Gt-gewascombinatie, maar komen er meerdere clusters voor. Hieronder volgt een rekenvoorbeeld. De gegevens zijn afkomstig uit hoofdstuk 4.

Rekenvoorbeeld 1

voor een akkerbouwbedrijf met 4 clusters:

1. Z3 – 1 – t
2. Z1 – 2 – a+b+r
3. Z2 – 2 – a+b+r
4. Z3 – 3 – a+b+r

met respectievelijk een relatief oppervlak van 0.1, 0.3, 0.3, 0.3.

De vergelijking per cluster is nu als volgt :

1. $N1 = 62.4 + 0.69 \times N_{min_nitraat}$
2. $N2 = 27.4 + 0.69 \times N_{min_nitraat}$
3. $N3 = 47.8 + 0.69 \times N_{min_nitraat}$
4. $N4 = 58.6 + 0.69 \times N_{min_nitraat}$

waarbij geldt dat $N1$ = nitraatconcentratie voor cluster 1, etc.

Om beneden de grens van 50 mg/l voor een heel bedrijf te blijven kunnen we uitgaan van die grens per cluster. Per cluster geldt dan een andere $N_{min_nitraat}$ -waarde die gehaald moet worden. Deze waarden zijn resp. 0.0 kg/ha (-18.0), 32.7 kg/ha, 3.2 kg/ha en 0.0 kg/ha (-12.5) voor cluster 1 t/m 4.

Tabel 5.2 De voorspelde nitraatconcentratie (mg/l) per cluster met de bijbehorende se (mg/l) op basis van 40 steken voor de $N_{min_{nitraat}}$ bepaling bij een gestelde $N_{min_{nitraat}} = 30$ kg/ha (op basis van het model 1 voor respectievelijk gras en maïs, hoofdstuk 4)

bodem	gewas	gras	se	maïs	se
	Gt	voorspelling		voorspelling	
Z1	1	37.2	20.0	47.0	27.2
	2	52.0	18.7	44.7	25.8
	3	57.2	18.4	89.2	23.6
Z2	1	27.6	19.0	45.8	21.5
	2	42.5	18.3	43.5	22.1
	3	47.7	18.6	88.0	23.5
Z3	1	35.9	19.4	40.3	23.4
	2	50.7	18.2	38.1	19.8
	3	56.0	18.2	82.5	20.4

Een ander uitgangspunt is de gemiddelde $N_{min_{nitraat}}$ op bedrijfsniveau. Hoe laag moet die zijn om uit te komen op een voorspelde nitraatconcentratie van 50 mg/l?

$$50 = 0.1 \times N1 + 0.3 \times N2 + 0.3 \times N3 + 0.3 \times N4$$

$$50 = 46.4 + 0.69 \times N_{min_{nitraat}} \Rightarrow N_{min_{nitraat}} = 5.2 \text{ kg/ha.}$$

Dus bij een bedrijfsgemiddelde $N_{min_{nitraat}}$ van 5.2 kg/ha zal de voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie gelijk zijn aan 50 mg/l.

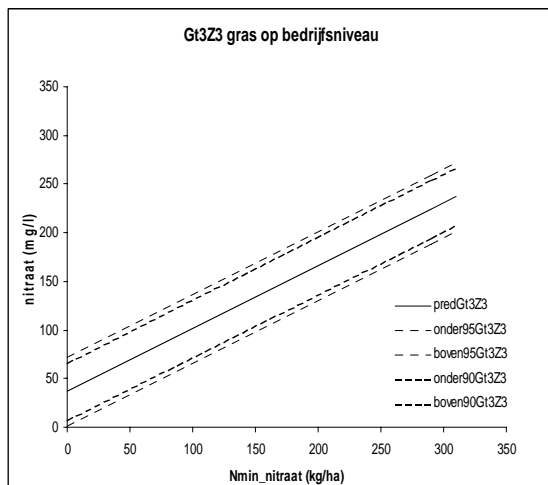
5.4.2 Veehouderij

Voor gras en maïs is uitgegaan van model 1, het regressiemodel met bodem-, Gt-groep en $N_{min_{nitraat}}$ (zie hoofdstuk 4). De drie termen die gezamenlijk de nauwkeurigheid van een clustergemiddelde bepalen zijn berekend. De voorspellingen worden gegeven voor een $N_{min_{nitraat}}$ -waarde van 30 kg/ha.

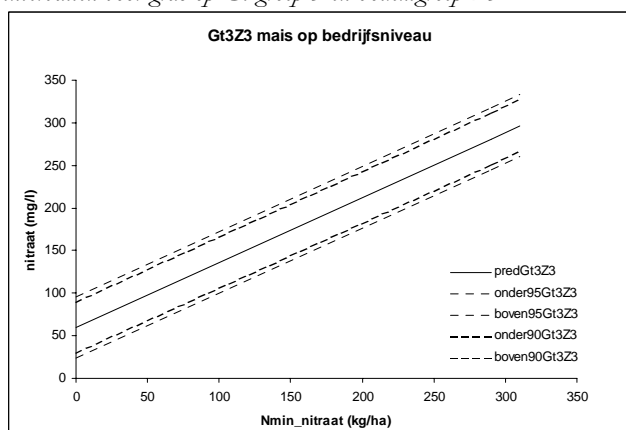
De bijdrage van de onnauwkeurigheid van de regressielijn aan de totale variantie van de voorspelling van een clustergemiddelde varieert van 19 tot 90 mg^2l^{-2} voor gras en van 77 tot 426 mg^2l^{-2} voor maïs. Deze bijdrage hangt onder andere af van de nauwkeurigheid van de schatting van het intercept en varieert dus voor de verschillende clusters. De bijdrage van $N_{min_{nitraat}}$ aan de totale variantie komt voor gras op 10.8 mg^2l^{-2} en voor maïs op 14.9 mg^2l^{-2} . De restspreiding op bedrijfsniveau is weer gesteld op 300.

In tabel 5.2 wordt per bodem-Gt-combinatie de voorspelling van het clustergemiddelde nitraat met diens nauwkeurigheid (*se*) gegeven bij een $N_{min_{nitraat}}$ -waarde van 30 kg/ha.

In figuur 5.4 is voor Gtgroep 3 en bodemgroep Z3 het verband gegeven tussen $N_{min_{nitraat}}$ en de nitraatconcentratie voor gras en maïs zoals die volgen uit model 1. Tevens zijn de 90%- en 95%-betrouwbaarheidsintervallen gegeven die horen bij de schattingen op clusterniveau. Voor een bedrijf dat uit één cluster bestaat (dus gehele bedrijf heeft dezelfde Gt- en bodemgroep) zijn dit ook de betrouwbaarheidsintervallen die horen bij de schatting op bedrijfsniveau.



Figuur 5.4a Nitraatconcentratie als functie van $N_{min_nitraat}$ volgens regressiemodel 1 met betrouwbaarheidsintervallen voor gras op Gt-groep 3 en bodemgroep Z3



Figuur 5.4b Nitraatconcentratie als functie van $N_{min_nitraat}$ volgens regressiemodel 1 met betrouwbaarheidsintervallen voor maïs op Gt-groep 3 en bodemgroep Z3

Uit figuur 5.4 blijkt dat een bedrijf met alleen grasland en een gemiddelde $N_{min_nitraat}$ gelijk aan 30 kg/ha naar verwachting een nitraatconcentratie heeft van 56 mg/l. Verder volgt uit de figuur dat met 90% betrouwbaarheid de werkelijke nitraatconcentratie zal liggen tussen 26 en 86 mg/l. Uit de figuur kan ook afgelezen worden dat een bedrijf met alleen grasland, Gt-groep 3, bodemgroep Z3 en een $N_{min_nitraat}$ groter dan 67 kg/ha met 90% zekerheid boven de nitraatnorm van 50 mg/l uit zal komen. Voor een bedrijf met alleen maïs ligt de grens veel lager: de nitraatnorm wordt met 90% zekerheid overschreden als de bedrijfsgemiddelde $N_{min_nitraat}$ groter is dan 26 kg/ha.

Om tot bedrijfsgemiddelde voorspellingen te komen, kan gebruik worden gemaakt van de clustergegevens. Hieronder volgen enkele rekenvoorbeelden.

Rekenvoorbeeld 2

Een bedrijf teelt alleen gras en het bedrijfsareaal valt geheel binnen bodemgroep Z3 en Gt-groep 2. Stel dat $N_{min_nitraat}$ wordt gemeten op basis van één mengmonster van

40 steken en de gemeten $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -waarde is 30 kg/ha. De voorspelde nitraatwaarde is dan gelijk aan 50.7 mg/l NO_3 met een $se=18.2$ (zie tabel 5.2).

Dit betekent dat we met 95% zekerheid kunnen zeggen dat de werkelijke bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater in het voorjaar voor zo'n bedrijf zal liggen tussen

$$\text{NO}_3 = 50.7 \pm 2 \times 18.2 \text{ mg/l.}$$

Rekenvoorbeeld 3

Een bedrijf teelt op de ene helft van zijn areaal gras en op de andere helft maïs. Het gehele bedrijf heeft bodemgroep Z3. De graspercelen vallen allemaal binnen Gt-groep 3 en de maïspcelen voor de helft in Gt-groep 1 en voor de andere helft in Gt-groep 2. Stel er wordt $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ gemeten op basis van één mengmonster (van 40 steken) per cluster (voor de drie clusters: bodem-Z3/Gt-3/gras, bodem-Z3/Gt-1/maïs en bodem-Z3/Gt-2/maïs). De $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ -waarde is voor dit rekenvoorbeeld overal 30 kg/ha. De voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatwaarde in het grondwater in het voorjaar (zie tabel 5.2) is nu :

$$\text{NO}_3 = 0.5 \times 56.0 + 0.25 \times 40.3 + 0.25 \times 38.1 = 47.6 \text{ mg/l.}$$

De bijbehorende standaardafwijking (se , zie tabel 5.2) wordt als volgt berekend :

$$se = \sqrt{(0.5^2 \times 18.2^2 + 0.25^2 \times 23.4^2 + 0.25^2 \times 19.8^2)} = 11.9.$$

Dit betekent dat we met 95% zekerheid kunnen zeggen dat de werkelijke bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater in het voorjaar voor het bedrijf van dit tweede rekenvoorbeeld zal liggen tussen

$$\text{NO}_3 = 47.6 \pm 2 \times 11.9 \text{ mg/l.}$$

Hieruit blijkt dat de variantie omlaag gaat (en de betrouwbaarheid omhoog) naarmate een bedrijf uit meerdere clusters bestaat. Dit is op het eerste gezicht merkwaardig, maar kan uit twee oorzaken worden verklaard. Ten eerste is in de bovenstaande voorbeelden uitgegaan van een mengmonster van 40 steken per cluster, wat betekent dat er in het eerste voorbeeld 40 steken en in het tweede voorbeeld 120 steken zijn genomen. Het is logisch dat daarmee de nauwkeurigheid van de voorspelling omhoog gaat. De tweede oorzaak ligt in het feit dat een bedrijfsgemiddelde, berekend op basis van verschillende (onafhankelijke) clustergemiddelden, nauwkeuriger is dan een bedrijfsgemiddelde op basis van één clustergemiddelde.

Rekenvoorbeeld 4

voor een veehouderijbedrijf met 4 clusters:

1. Z2 – 1 – gras
2. Z2 – 2 – gras
3. Z3 – 2 - gras
4. Z3 – 2 - maïs

met respectievelijk een relatief oppervlak van 0.20, 0.35, 0.35, 0.10.

De vergelijking per cluster is nu als volgt :

1. $N1 = 11.0 + 0.65 \times N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$

2. $N2 = 22.9 + 0.65 \times N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$

3. $N3 = 30.9 + 0.65 \times N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$

4. $N4 = 15.1 + 0.76 \times N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$

waarbij geldt dat $N1 =$ nitraatconcentratie voor cluster 1 etc.

Om beneden de grens van 50 mg/l per bedrijf te blijven kunnen we uitgaan van die grens per cluster. Per cluster geldt dan een andere $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ waarde die gehaald moet worden. Deze waarden zijn resp. 60.0 kg/ha, 41.6 kg/ha, 29.4 kg/ha en 45.9 kg/ha voor cluster 1 t/m 4.

Een ander uitgangspunt is de gemiddelde $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ op bedrijfsniveau. Hoe laag moet die zijn om uit te komen op een voorspelde nitraatconcentratie van 50 mg/l ?

$$50 = 0.2 \times N1 + 0.35 \times N2 + 0.35 \times N3 + 0.1 \times N4$$

$$50 = 22.5 + 0.66 \times N_{\text{min}_{\text{nitraat}}} \Rightarrow N_{\text{min}_{\text{nitraat}}} = 41.6 \text{ kg/ha.}$$

Bij een bedrijfsgemiddelde $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ van 41.6 kg/ha zal de voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie dus gelijk zijn aan 50 mg/l.

6 Resultaten toetsing

6.1 Proefplekniveau

In het project ‘Sturen op Nitraat’ is een regionale studie uitgevoerd waarbij proefplekken zijn bemonsterd op dezelfde manier als bij de ontwikkelbedrijven (Roelsma *et al.*, 2004). Voor de proefplekken is bekend tot welke bodem-, Gt- en gewasgroep (tot welk cluster) de proefplek behoort. De informatie van deze proefplekken is niet gebruikt bij het opstellen van de regressiemodellen uit hoofdstuk 4. Daarom kunnen deze ‘regionale’ proefplekken goed gebruikt worden om de modellen te toetsen op proefplekniveau.

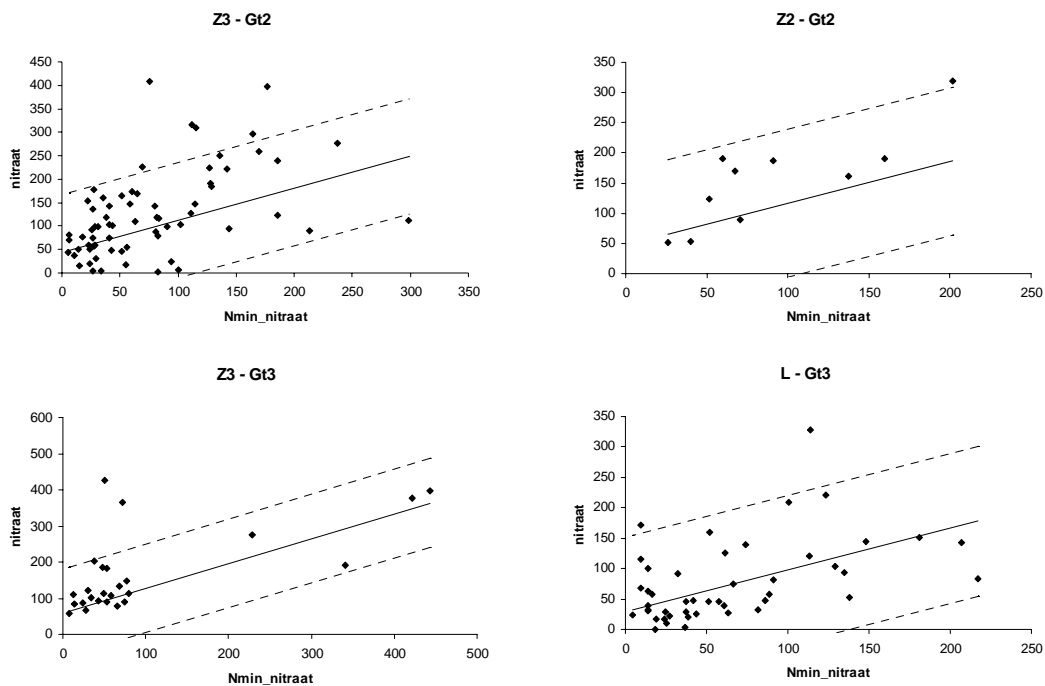
Voor iedere proefplek uit de regionale monitoring is op basis van de modellen 1 (en 2) uit hoofdstuk 4, de modellen met bodem-Gt-gewasgroepen en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ een voorspelde nitraatconcentratie berekend. Deze voorspelde nitraatconcentratie kan worden vergeleken met de gemeten nitraatconcentratie. Het vergelijken van de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie is op verschillende manieren gedaan.

6.1.1 Akkerbouw

In de regio’s zijn over een periode van twee meetjaren gegevens beschikbaar van 168 proefplekken waarop een akkerbouwgewas is geteeld. Gewasgroep ‘t’ komt hier niet voor. Er zijn vier bodem-Gt-combinaties met tenminste tien proefplekken. figuur 6.1 geeft voor deze vier combinaties de voorspelde nitraatconcentratie 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. Tenslotte staan ook de gemeten waarden ($N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ versus nitraatconcentratie) van de proefplekken in de figuren.

De waarnemingen die zijn verricht op de proefplekken in de regio’s vallen grotendeels binnen de betrouwbaarheidsgrenzen. Dit betekent dat op proefplekniveau de gemeten nitraatconcentratie veelal binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval valt van de voorspelde nitraatconcentratie (wanneer die voorspelling gebaseerd is op model 1 en de gemeten $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$). De nitraatconcentratie voor een aantal proefplekken bij met name de combinatie van bodemgroep Z3 en Gt-groep 2 wordt onderschat. De gemeten nitraatconcentratie is voor deze proefplekken veel hoger dan op basis van model 1 en de gemeten $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ voorspeld wordt.

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 6.1). Door middel van eenvoudige lineaire regressie kan het verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie worden onderzocht. Voor akkerbouw is dit gedaan voor de voorspellingen op basis van model 1 en model 2, aangezien voor de regio-proefplekken ook de neerslaggegevens beschikbaar zijn.

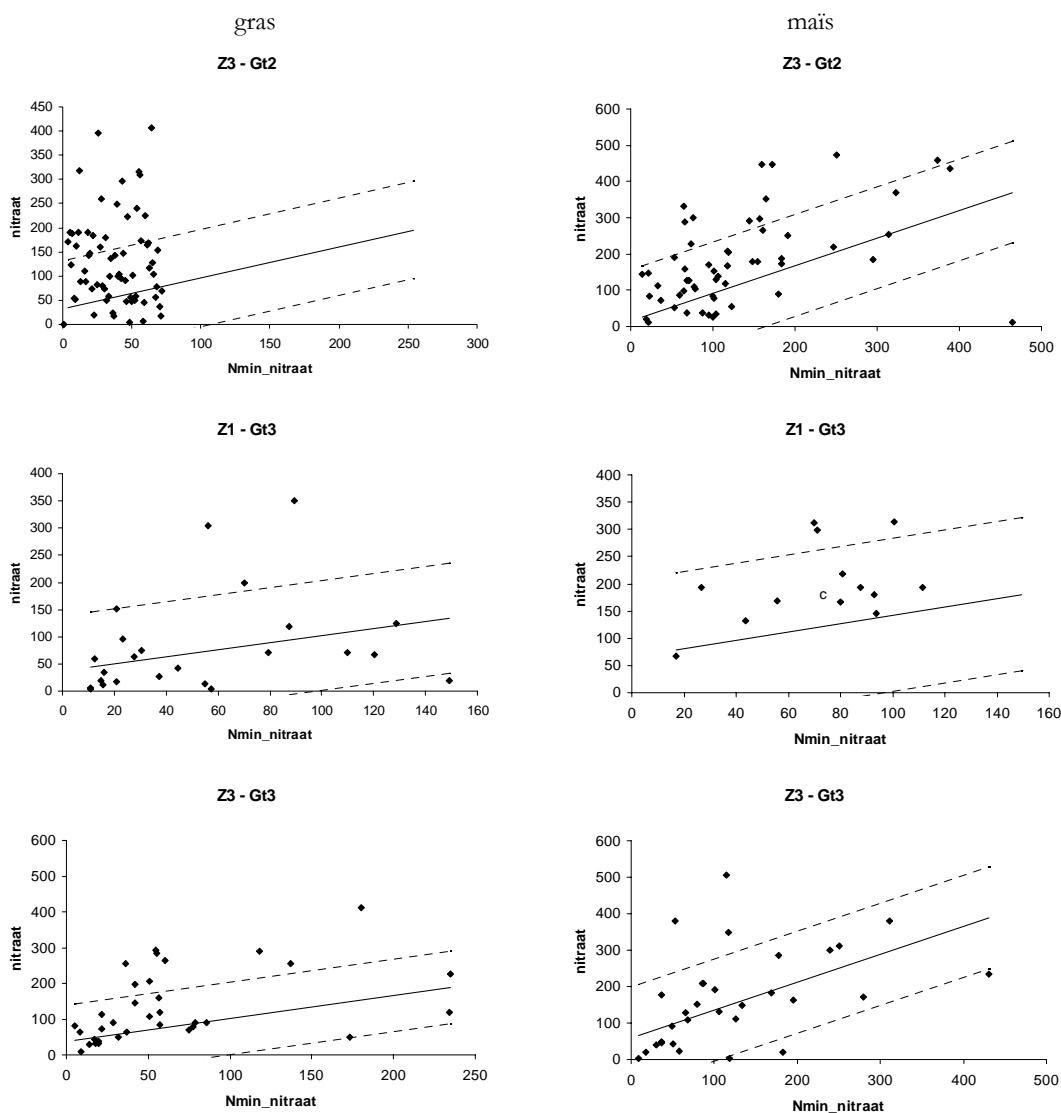


Figuur 6.1 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l, lijn) als functie van $Nmin_{nitraat}$ (kg/ha) met 95%-betrouwbaarheidsinterval (stippellijnen) en de waarnemingen van de 'regionale' proefplekken (stippen) voor de bodem-Gt-groepcombinaties Z3-Gt2, Z2-Gt2, Z3-Gt3 en L-Gt3

Voor model 1 blijkt er wel een goed en significant verband te zijn tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie op proefplekniveau. Het verband heeft een helling van 1.00 ($se=0.11$), maar het intercept is 25.3. Dit betekent dat de nitraatconcentratie gemiddeld te laag (25.3 mg/l) geschat wordt. Er is met andere woorden sprake van een systematische onderschatting van de nitraatconcentratie. Bij de voorspellingen op basis van model 2 is deze systematische onderschatting nog maar 6.8 mg/l. Met een helling van 1.03 geeft dit model dus een betere voorspelling van de nitraatconcentratie. De variatie van de afwijkingen tussen gemeten en voorspelde concentraties is bij zowel model 1 als model 2 groot: de voorspelfouten hebben een standaardafwijking van resp. 75.3 en 73.7 mg/l.

6.1.2 Veehouderij

In de regio's zijn over een periode van twee meetjaren gegevens beschikbaar van 147 proefplekken waarop gras en 122 proefplekken waarop maïs is geteeld. De proefplekken met lössgrond zijn niet betrokken in de toetsing. Voor deze proefplekken is het immers niet mogelijk op basis van de modellen in hoofdstuk 4 een voorspelling te geven van de nitraatconcentratie.



Figuur 6.2 Voorspelde nitraatconcentratie (mg/l, lijn) als functie van $Nmin_{nitrat}$ (kg/ha) met 95%-betrouwbaarheidsinterval (stippellijnen) en de waarnemingen van de 'regionale' proefplekken (stippen) voor de bodem-Gt-groepcombinaties Z3-Gt2, Z1-Gt3 en Z3-Gt3 (gras steeds links en maïs rechts)

Voor gras zijn er drie bodem-Gt-combinaties met tenminste tien proefplekken. In figuur 6.2 is voor deze drie combinaties de voorspelde nitraatconcentratie gegeven die afhangt van de gemeten $Nmin_{nitrat}$ -waarde in het najaar. Verder zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen rond de voorspelling gegeven die horen bij nieuwe proefplekken. Tenslotte staan ook de gemeten waarden ($Nmin_{nitrat}$ versus nitraatconcentratie) van de proefplekken in de figuren. Ook voor maïs zijn er drie bodem-Gt-combinaties met een behoorlijk aantal proefplekken waarvoor eveneens de resultaten gegeven worden in figuur 6.2.

De waarnemingen van de 'regionale' proefplekken met gras of maïs vallen grotendeels binnen de grenzen van het 95%-betrouwbaarheidsinterval, wanneer de

voorspelling gebaseerd is op model 1 en de gemeten $N_{\min_{\text{nitraat}}}$. In vergelijking met akkerbouw valt wel een groter deel buiten de grenzen, 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 voorspeld. Bij gras wordt met name voor bodemgroep Z3 de nitraatconcentratie te laag geschat. Voor maïs geldt dat ook in combinatie met Gt-groep 2. Het aantal proefplekken waarvoor een te hoge nitraatconcentratie wordt voorspeld is zeer beperkt.

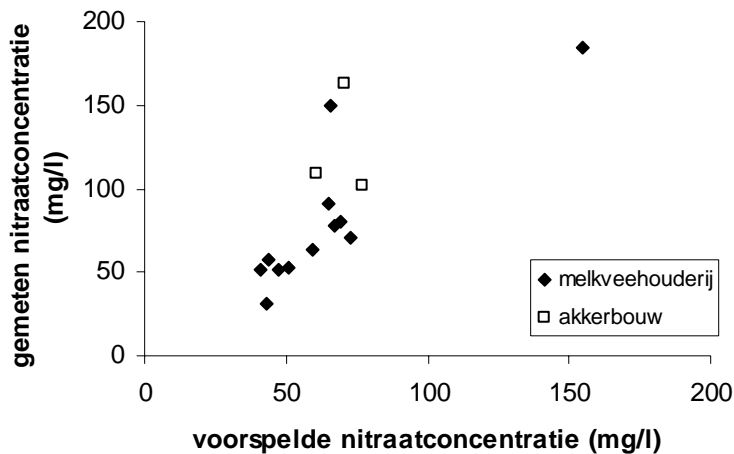
Een andere manier om de gemeten en voorspelde nitraatconcentratie te vergelijken is door de gemeten en voorspelde waarde tegen elkaar uit te zetten (niet te verwarren met figuur 6.2), en het verband met eenvoudige lineaire regressie te beschrijven. Voor zowel gras als maïs is dit gedaan voor de voorspellingen op basis van model 1. Voor maïs is dit bovendien gedaan voor de voorspellingen van model 2, aangezien voor de regio-proefplekken ook de neerslaggegevens beschikbaar zijn. Voor gras is er een significant verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatwaarde op proefplekniveau. Het verband heeft een helling van 1.32 ($se=0.18$) en het intercept is 8.7 mg/l. Dit betekent dat de nitraatconcentratie systematisch wordt onderschat en dat deze onderschatting toeneemt naarmate de nitraatconcentratie hoger wordt. De variatie tussen de gemeten en voorspelde waarde op proefplekniveau is net als bij akkerbouw groot: de standaardafwijking van de voorspelfouten bedraagt 85.3 mg/l.

Ook voor maïs is het verband tussen de voorspelde en gemeten nitraatconcentratie op proefplekniveau significant met een helling van resp. 0.78 ($se=0.13$) en 0.69 ($se=0.11$) voor model 1 en 2. Het intercept is echter erg groot: 65.8 mg/l voor model 1 en 74.1 mg/l voor model 2. Er is dus sprake van een systematische onderschatting van de nitraatconcentratie bij maïs. De helling is kleiner dan 1.00 zodat een deel van deze onderschatting als het ware wordt gecompenseerd naarmate het niveau van de voorspelling toeneemt. De variatie tussen gemeten en voorspelde waarde blijft voor beide modellen groot: de standaardafwijking van de voorspelfout bedraagt 104 en 103 mg/l voor resp. model 1 en 2.

6.2 Bedrijfsniveau

Om te kunnen toetsen hoe goed de ontwikkelde indicator de nitraatconcentratie in het grondwater voorspelt op bedrijfsniveau zijn gegevens verzameld op 16 onafhankelijke bedrijven, de zogenaamde toetsbedrijven. Deze bedrijven hebben geen rol gespeeld bij de totstandkoming van de regressiemodellen. Er is één bedrijf met löss, waarvoor op basis van de ontwikkelde modellen geen goede voorspelling op bedrijfsniveau kan worden gedaan. Daarom is dit bedrijf niet in de toetsing betrokken, zodat het aantal toetsbedrijven op 15 komt: twaalf veehouderij- en drie akkerbouwbedrijven.

In het najaar van 2002 is op alle percelen van de toetsbedrijven een mengmonster voor N_{\min} genomen, dat is samengesteld uit 8 steken per perceel per bodemlaag. Voor ieder perceel is de $N_{\min_{\text{nitraat}}}$ gesommeerd over de lagen (0-90 cm). Het is bekend welk gewas er stond. Vervolgens is voor ieder perceel uitgezocht welke



Figuur 6.3 Voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie als functie van het bedrijfsgemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties op de toetsbedrijven

bodemgroep en welke Gt-groep het meeste voorkomt (de zogenoemde dominante bodem- en Gt-groep). Het blijkt dat 40% van de percelen volledig uit één bodem- en Gt-groep bestaat. Voor nog eens 40% van de percelen bestaat meer dan 70% van het oppervlak uit de dominante bodem-Gt-groep. In de resterende 20 % hoort tenminste de helft van het perceel bij de dominante bodem-Gt-groep. Daarom is het redelijk om bij de berekening van de voorspelling uit te gaan van de dominante bodem- en Gt-groep.

Op basis van al deze gegevens is per perceel de nitraatconcentratie voorspeld met behulp van de modellen 1 voor akkerbouw, gras en maïs. Van ieder perceel is ook het oppervlak bekend. De voorspelde nitraatconcentratie per bedrijf is berekend als het gemiddelde van de voorspellingen op perceelsniveau, gewogen naar het oppervlak van elk perceel.

In het voorjaar van 2003 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. Van ieder cluster is ook het clusteroppervlak bekend. De gemeten nitraatconcentratie per bedrijf is berekend als het gemiddelde van de nitraatconcentratie per cluster, gewogen naar het clusteroppervlak.

Heel kleine clusters zijn niet bemonsterd en spelen dus geen rol in het bedrijfsgemiddelde. In zes gevallen bleek dit kleine cluster overeen te komen met een klein perceel. In die zes gevallen zijn ook de perceelsmetingen niet meegenomen in de bepaling van het bedrijfsgemiddelde.

Tabel 6.1 Voorspellingen van nitraatconcentraties op bedrijfsniveau (mg/l)

bedrijf		voorspelling	ondergrens	bovengrens	metingen
L01	melkveehouderij	47.5	33.3	61.8	51.1
L02		50.8	39.9	61.8	53.2
L05		43.3	32.5	54.0	31.7
L06		44.1	28.2	60.0	57.6
L07		64.7	47.0	82.4	90.6
L08		155.1	133.1	177.1	184.1
L09		40.9	31.3	50.5	52.0
L11		73.1	60.1	86.2	70.3
L12		59.5	44.6	74.4	63.9
L13		69.1	54.0	84.2	80.3
L15		65.4	43.8	87.0	149.2
L17		67.0	47.9	86.1	77.4
L10	akkerbouw	70.5	54.2	86.8	162.5
L14	akkerbouw	77.1	62.7	91.5	101.9
L16	akkerbouw	60.7	46.7	74.8	109.1

Figuur 6.3 geeft de voorspelde tegen de berekende bedrijfsgemiddelden weer. Het verband lijkt heel redelijk en is nader onderzocht met eenvoudige lineaire regressie-analyse. Het verband is significant met een helling van 1.24 ($se=0.30$) en een intercept van 7.0. Dit betekent dat de nitraatconcentratie systematisch lager voorspeld dan gemeten wordt, en dat de omvang van deze systematische onderschatting toeneemt met het niveau van de voorspelling. Dit stemt overeen met de resultaten van de toetsing op proefplekniveau. Een gemeten nitraatconcentratie van 50 mg/l wordt systematisch 15 mg/l te laag voorspeld. De toevallige afwijkingen zijn relatief klein in vergelijking met de resultaten op proefplekniveau: de standaardafwijking van de verschillen tussen gemeten en voorspelde bedrijfsgemiddelde nitraatconcentraties bedraagt 30 mg/l.

Bij iedere voorspelde nitraatconcentratie op bedrijfsniveau kan een standaardfout en daarmee een betrouwbaarheidsinterval worden berekend zoals in de rekenvoorbeelden van hoofdstuk 5. Hierbij wordt per perceel rekening gehouden met de nauwkeurigheid van de voorspelling voor dat perceel, en wordt voor de nauwkeurigheid op bedrijfsniveau gewogen met de perceelsoppervlakten. De nauwkeurigheid van de voorspelling van het perceelsgemiddelde hangt af van drie componenten (paragraaf 5.4). De eerste component is de bijdrage van de onnauwkeurigheid van de regressielijn. Die varieert voor akkerbouw tussen 25 en 310 mg^2l^{-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 167 mg^2l^{-2} (het gemiddelde van 25 en 310 mg^2l^{-2}). Hetzelfde is gedaan voor gras en maïs. De tweede component heeft te maken met de onnauwkeurigheid van de $N_{min_{nitraat}}$ -meting. Deze meting is gebaseerd op acht stekken per perceel en geen 40 zoals het uitgangspunt is in de tabellen van hoofdstuk 5. De bijdrage van deze term aan de totale variatie van een cluster gemiddelde is nu respectievelijk 61.5, 54.2 en 74.5 mg^2l^{-2} voor akkerbouw, gras en maïs. De bijdrage van de restterm blijft 300 mg^2l^{-2} .

Tabel 6.1 geeft het resultaat van de voorspelling met het 95%-betrouwbaarheidsinterval per bedrijf. Deze betrouwbaarheidsintervallen zijn aanzienlijk smaller dan die op proefplekniveau. Daarnaast wordt het bedrijfsgemiddelde van de gemeten nitraatconcentraties per bedrijf gegeven. Voor zeven toetsbedrijven ligt de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie in het 95%-betrouwbaarheidsinterval rond de voorspelde nitraatconcentratie. Voor twee bedrijven ligt de meting maar net buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Voor de overige zes ligt de meting boven de bovengrens van het interval zodat ook hier blijkt dat voorspellingen op basis van model 1 niet tot een overschatting, maar hooguit tot een onderschatting van de nitraatconcentratie leidt.

Het blijkt dat alle drie akkerbouwbedrijven deel uitmaken van de groep waarvoor de nitraatconcentraties worden onderschat. Voor twee bedrijven ligt de nitraatconcentratie opvallend veel hoger (34 en 75 mg/l hoger) dan de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Bedrijf L10 heeft één hoge meting voor de nitraatconcentratie en voor één cluster (bodemgroep Z2, Gt-groep 1, gewasgroep 'a') wordt de nitraatconcentratie behoorlijk onderschat. Voor twee andere clusters wordt de nitraatconcentratie ook onderschat, maar deze clusters hebben een lage $N_{min, nitraat}$ -waarde gecombineerd met een hoge nitraatconcentratie.

Voor de veehouderijbedrijven is de gemeten nitraatconcentratie van één bedrijf echt veel hoger (62 mg/l) dan de bovengrens. Bij dit bedrijf (L15) wordt de onderschatting veroorzaakt door één cluster (bodemgroep Z3, Gt-groep 1, gewasgroep 'a') dat het overgrote deel van het bedrijf beslaat.

7 Conclusies en aanbevelingen

1. Er is gezocht naar indicatoren waarmee de nitraatconcentratie van het grondwater kan worden voorspeld. Het onderzoek is gebaseerd op de proefplekgegevens voor drie meetseizoenen. Als kandidaat-indicatoren zijn N-bedrijfsoverschot, het N-perceeloverschot en N-mineraalgehalten in de bodem onderzocht. Daarnaast zijn diverse andere mogelijke verklarende variabelen met betrekking tot bodem, weer en bemesting in de analyses betrokken. Een regressiemodel met als verklarende variabelen het nitraatdeel van de hoeveelheid N_{mineraal} die zich in de bovenste 90 cm van de bodem bevindt ($N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$) en een clusterindeling naar bodem-, Gt- en gewasgroep blijkt het meest geschikt om nitraatconcentraties in het grondwater te voorspellen.
2. De modellen kunnen niet worden verbeterd door deterministisch-fysische proceskennis te integreren in een niet-lineair model met een additieve restterm; dit model bleek niet goed te kunnen worden gekalibreerd. Oorzaken moeten worden gezocht in de schematisatie, modelveronderstellingen en de gebruikte submodellen voor de reductiefactoren voor potentiële denitrificatie.
3. De regressiemodellen voor akkerbouw, gras en maïs zijn ongeveer even nauwkeurig in termen van de standaardfout van het model. Deze bedraagt voor het model met bodem-Gt-(gewas-)combinatie en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ als predictoren 59.6, 49.5 en 65.0 mg/l voor resp. akkerbouw, gras en maïs. Uit een onafhankelijke toetsing op proefplekniveau blijkt dat de nitraatconcentratie systematisch wordt onderschat. Bij een model op basis van $N_{\text{min}_{\text{mineraal}}}$ en een indeling naar bodem-, Gt- en gewasgroep is voor akkerbouw de onderschatting 25.3 mg/l. Voor gras is de systematische onderschatting tenminste 8.7 mg/l bij lage concentraties en hoger naarmate het niveau van de voorspelling toeneemt. De grootste systematische fout treedt op bij maïs: 65.8 mg/l bij lage nitraatconcentraties, maar afnemend bij hogere concentraties. Als bij akkerbouw de neerslagoverschotten over de periodes 1 april-1 oktober en 1 oktober-1 april als verklarende variabelen aan het model worden toegevoegd neemt de systematische onderschatting af tot 6.8 mg/l. De toevallige fout in termen van standaardafwijking van de voorspelfout bedraagt voor akkerbouw, gras en maïs resp. 75.3, 85.3 en 104 mg/l. Dit is hoger dan de standaardfouten van de modellen.
4. Het model dat is gebaseerd op gemiddelden over de drie meetseizoenen, zonder differentiatie naar gewas, blijkt nauwkeuriger te zijn dan de modellen die zijn gebaseerd op gegevens van de drie meetseizoenen afzonderlijk. De standaardfout bedraagt bij het model met bodem-Gt-combinatie en $N_{\text{min}_{\text{nitraat}}}$ als predictoren 43.0 mg/l, terwijl het model 41 % van de variantie verklaart.
5. De opgeschaalde modellen op bedrijfsniveau blijken aanzienlijk lagere standaardfouten te hebben dan de modellen op proefplekniveau. De bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie kan dus nauwkeuriger worden voorspeld dan de nitraatconcentratie op proefplekniveau. Uit onafhankelijke toetsing blijkt echter dat de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie systematisch wordt onderschat; een gemeten concentratie van 50 mg/l wordt systematisch 15 mg/l

onderschat. Het verdient daarom aanbeveling te onderzoeken of de systematische fout kan worden gereduceerd.

6. Per bodem-Gt-gewas-combinatie (cluster) kan een kritisch gehalte $N_{min_{nitraat}}$ worden berekend, en dit kan door weging naar de oppervlaktefracties die de clusters innemen worden opgeschaald naar een kritisch bedrijfsgemiddelde. Als dit kritische gehalte wordt overschreden zal de bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie van het grondwater met 90 % zekerheid boven de norm van 50 mg/l uitkomen. Uit enkele rekenvoorbeelden blijkt dat de kritische $N_{min_{nitraat}}$ -gehalten op bedrijfsniveau liggen in de ordegrootte van 5 tot 50 kg/ha;
7. Het verdient aanbeveling om na te gaan of de indicator $N_{min_{nitraat}}$ bruikbaar is voor sturing op bedrijfsniveau (beïnvloedbaarheid), of voor monitoring van effecten van maatregelen (doelgerichtheid en meetbaarheid).

Literatuur

Berge, H.F.M. ten (ed.), 2002. *A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands*. Wageningen, Plant Research International. Report 31. Reeks Sturen Op Nitraat 2.

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.

Boumans, L.J.M, G. van Drecht, B. Fraters, T. de Haan en W. de Hoop, 1997. *Effect van neerslag op nitraat in het bovenste grondwater onder landbouwbedrijven in de zandgebieden; gevolgen voor de inrichting van het MONitoringnetwerk effecten mestbeleid op Landbouwbedrijven (MOL)*. Bilthoven, RIVM. Rapport 714831002

Burgers, S.L.G.E., H.F.M. ten Berge, J.J. de Gruijter, M.J.D. Hack-ten Broeke, I.E. Hoving, S. Radersma, A. Smit en G.L. Velthof, 2004. *Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat. Gegevens en regressie-analyse op basis van twee meetseizoenen (2000-2001 en 2001-2002)*. Wageningen, Alterra. Rapport 866. Reeks Sturen Op Nitraat 9.

Corré, W.J., 1994. *Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid. Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten*. Haren, AB-DLO. Rapport 21.

Dijkstra, J.P., M.J.D. Hack-ten Broeke, F.G. Wijnands en B.M.A. Kroonen-Backbier, 1995. *Stikstofemissie naar het grondwater van geïntegreerde en gangbare bedrijfssystemen in de akkerbouw op de proefboerderijen Borgerswold en Vredepeel. Simulatie van de vocht- en nitraat-huishouding op de proefboerderij Vredepeel voor de jaren 1990-1993*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 287.2

Enckevort, P.L.A. van, J.R. van der Schoot en W. van den Berg, 2002. *Relatie tussen N-overschot en N-uitspoeling, op gewasniveau voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt*. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO-Rapport 1125234.

Goossensen, F.R. en P.C. Meeuwissen (red.), 1990. *Advies van de Commissie Stikstof*. Wageningen, DLO. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 9.

Hack-ten Broeke, M.J.D. en J.P. Dijkstra, 1998. Nitraatconcentraties in het grondwater 1992-1995. In: Y. Hofmeester et al. (red). *Perspectieven geïntegreerde akkerbouw in Noordoost-Nederland (op basis van gegevens uit het bedrijfssystemen-onderzoek te Borgerswold)*. Lelystad, PAV. Publicatie nr. 87. pp. 106-110.

Hack-ten Broeke, M.J.D., W.J.M. de Groot and J.P. Dijkstra, 1996a, Impact of excreted nitrogen by grazing cattle on nitrate leaching. *Soil Use and Management* **12**: 190-198.

Hack-ten Broeke, M.J.D., A.H.J. van der Putten, W. J. Corré en J. Hassink, 1996b. Stikstofverliezen naar het milieu. In: J.W.G.M. Loonen en W.E.M. Bach-de Wit (red.), *Stikstof in beeld; naar een nieuw bemestingsadvies op grasland*. Wageningen, Dienst Landbouwkundig Onderzoek. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij 20, pp. 78-98.

Hack-ten Broeke, M.J.D., S.L.G.E. Burgers, H.F.M. ten Berge, P.L.A. van Enckevort, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving, A. Smit, G.L. Velthof, 2003. *Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat. Gegevens en regressie-analyse voor het eerste meetseizoen (2000-2001)*. Wageningen, Alterra. Rapport 772. Reeks Sturen Op Nitraat 4.

Hees, E.M., C.W. Rougoor, E.A.P. van Well en D. Boels, 2004. *Sturen Op Nitraat. Over het gebruik van de indicator in de praktijk*. Wageningen, Alterra. Rapport 978. Reeks Sturen Op Nitraat 11.

Hénault, C. & J.C. Germon, 2000. NEMIS, a predictive model of denitrification on the field scale. *European Journal of Soil Science* **51**: 257-270.

Kroes, J.G., 1993. *Resultaten van onderzoek naar de vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 268.

Kroes, J.G. en J. Roelsma, 1998. *User's guide for the ANIMO version 3.5 nutrient leaching model*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technical Document 46.

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.

Oude Voshaar, J.H., 1994. *Statistiek voor onderzoekers: met voorbeelden uit de landbouw- en milieuwetenschappen*. Wageningen, Wageningen Pers.

RIVM, 2004. *Milieubalans 2004*. Bilthoven, RIVM-Milieu en Natuurplanbureau.

Roelsma, J., C.W. Rougoor en P.E. Dik, 2003. *Regionaal Nitraatmonitoringsconcept RENIM. Ontwikkeling en toetsing van een eenvoudige methodiek voor het monitoren van de uitspoeling van nitraat naar het grondwater in zand- en lössgebieden*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 911. Reeks Sturen Op Nitraat 7.

Smit, A., M.J.D. Hack-ten Broeke, H.F.M. ten Berge, S.L.G.E. Burgers, W. Chardon, P.L.A. van Enckevort, 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.

Snedecor, G.W. en W.G. Cochran, 1967. *Statistical methods, sixth editon.* The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A..

Vellinga, Th. V., M. Mooij en A.H.J. van der Putten, 1997. *Richtlijnen voor bemesting en graslandgebruik ter beperking van nitraatuitspoeling op zandgrond (Nitraat Reductie Planner).* Lelystad, PR. Rapport 166.

Velthof, G.L., 2003. *Relaties tussen mineralisatie, denitrificatie en indicatoren voor bodemkwaliteit in landbouwgronden.* Wageningen, Alterra. Rapport 769. Reeks Sturen Op Nitraat 6.

Wösten J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 18.

Bijlage 1

Tabel B1.1 Aantal waarnemingen per bodem-Gt-gewasgroep-combinatie voor akkerbouw

gewasabr_t	bodemgroep	L	Z1	Z2	Z3
	Gt-groep				
abr	1	0	0	30	5
	2	0	7	48	68
	3	43	24	117	102
t	1	0	0	1	3
	2	0	2	6	2
	3	0	4	0	12

Tabel B1.2 Aantal waarnemingen per bodem-Gt-combinatie voor grasland

Gt-groep	1	2	3
bodemgroep			
Z1	0	29	73
Z2	37	79	30
Z3	15	104	83

Tabel B1.3 Aantal waarnemingen per bodem-Gt-combinatie voor maïs

Gt-groep	1	2	3
bodemgroep			
Z1	3	1	16
Z2	31	21	5
Z3	5	53	39