



Variatie van stikstofoverschotten en nitraatconcentraties binnen een bedrijfssysteem

Verkenning op grond van gegevens van De Marke

J. Verloop, J. Oenema, L.B.J. Šebek, G.J. Hilhorst

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post.plant@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Variatie van N-overschotten en nitraatuitspoeling	7
2.1 Uitgangspunten	7
2.2 Onderbouwing van de hypothese	8
2.2.1 Van aanvoer naar overschot	8
2.2.2 Van overschot naar uitspoeling	9
2.3 Toetsbaarheid op De Marke	10
3. Beheer van bodem en gewas op De Marke	11
3.1 Perceelsbalansen en nitraatconcentraties	11
3.2 Teeltplan en bemestingsstrategie op De Marke	12
3.2.1 Teeltplan	12
3.2.2 Bemestingstrategie	12
3.3 Gebruik van De Marke-gegevens bij onderzoek naar variatie	13
4. Variatie van perceelsbalansen	15
4.1 Resultaten	15
4.2 Discussie	17
5. Nitraat in grondwater	21
5.1 Resultaten	21
5.2 Discussie	24
6. De relatie tussen het stikstofoverschot en nitraatuitspoeling	25
6.1 Werkwijze	25
6.2 Resultaten	25
6.3 Conclusie	26
7. Discussie	27
7.1 Geen kromlijng verband in een bedrijfssysteem?	27
7.2 Notities over de relatie tussen N-overschotten en nitraatuitspoeling	28
7.3 Tussen N-overschot en uitspoeling; nalevering uit de bodem	29
7.4 Omgaan met variatie binnen een bedrijfssysteem	30
7.5 Synthese	31
8. Literatuur	33
Bijlage I. Overzicht van de N-overschotten per perceel in 1999, 2000 en 2001	2 pp.

Voorwoord

'Als het stikstofoverschot op één landbouwperceel heel hoog is en op een ander perceel juist heel laag, leidt dit dan tot dezelfde milieubelasting als in een situatie waarin de variatie in overschotten tussen beide percelen heel klein is?' Op die vraag gaat dit rapport in. Deze vraag is al eerder gesteld, maar is slechts in beperkte mate opgepakt in het landbouwkundig onderzoek. Dit komt onder andere doordat variatie binnen een bedrijfssysteem zelden meetbaar is gemaakt. Dat maakt het moeilijk om het effect van variatie in een complex systeem als een melkveebedrijf te onderzoeken. Met de gegevens die zijn verzameld op De Marke, proefbedrijf voor duurzame melkveehouderij, is dit onderzoek echter wel onderzoekbaar. Op De Marke is de aanvoer van stikstof en fosfaat naar afzonderlijke percelen bekend, zijn overschotten in kaart gebracht per perceel en zijn nitraatconcentraties bepaald.

Dit werk is onderdeel van het onderzoek naar stikstofstromen op De Marke. Het is daarnaast gericht op het beantwoorden van vragen die zijn gesteld in het kader van het onderzoeksprogramma Toetsing, monitoring en evaluatie van het Mest- en Mineralenbeleid (Mest- en Mineralenprogramma III).

Wies Akkermans heeft een aantal statistische toetsen uitgevoerd.

Samenvatting

Onderzocht werd het effect van spreiding van stikstofoverschotten binnen een bedrijfssysteem op nitraatuitspoeling. De vraag: 'Heeft spreiding van overschotten binnen een bedrijf effect op uitspoeling?' werd onderzocht door te bekijken of het verband tussen N-overschotten en nitraatuitspoeling kromlijinig, afbuigend naar hoge nitraatwaarden is. Deze analyse werd uitgevoerd op grond van gegevens van N-overschotten die per perceel zijn opgesteld op proefbedrijf De Marke en nitraatconcentraties die eveneens per perceel zijn bepaald. De gegevensverzameling omvat een reeks van 1993-2001.

Als voorbereiding op de analyse van het verband tussen stikstofoverschotten en nitraatemissie werd de spreiding van stikstofoverschotten en nitraatconcentraties in beeld gebracht door frequentieverdelingen te analyseren. Hieruit bleek dat het noodzakelijk is het verband tussen overschotten en nitraat te onderzoeken voor homogene gegevensgroepen. Dit zijn verzamelingen van waargenomen perceelsbalansen en nitraatmetingen die horen bij hetzelfde gewas dat zich in dezelfde fase in de rotatie bevindt.

Uit de analyse bleek dat er op De Marke geen aanwijzingen zijn dat variatie van overschotten binnen gewasgroepen de nitraatuitspoeling verhoogt. Er werd geen kromlijinig verband waargenomen tussen N-overschotten en nitraatuitspoeling. Op grond van bij de analyse betrokken literatuurgegevens is te verwachten dat deze conclusie niet geldig is voor bedrijfssystemen met grotere verschillen in N-aanvoer en N-overschotten. De overschotten in maïs varieerden op De Marke van -100 kg N/ha jr tot iets meer dan 100 kg N/ha jr. In gras varieerde het overschot van ca. 40 kg N tot 300 kg N/ha jr. De stikstofaanvoer varieerde van ongeveer 0 tot iets meer dan 100 kg N/ha jr in maïs en van 200 tot 300 kg N/ha jr in gras. In de gangbare praktijk komen veel grotere verschillen voor.

Het onderscheid naar gewas en fase in de rotatie was nodig omdat in de bemestingstrategie op De Marke bewust wordt gestuurd op variatie van overschotten. Het beheer is gericht op een laag overschot in maïs en in het bijzonder eerstejaars maïs. Het beheer laat veel hogere overschotten toe in gras en in het bijzonder tijdelijk gras. Deze geplande variatie heeft een sterk verlagend effect op de nitraatuitspoeling.

1. Inleiding

'Als het stikstofoverschot op één landbouwperceel heel hoog is en op een ander perceel juist heel laag, leidt dit dan tot dezelfde milieubelasting als in een situatie waarin de variatie in overschotten tussen beide percelen heel klein is?' Op die vraag gaat dit rapport in.

In de Nederlandse landbouw wordt meer stikstof (N) en fosfor (P) naar bedrijven aangevoerd dan afgevoerd. Het verschil tussen de aanvoer en afvoer is een overschot dat verloren kan gaan naar het milieu. Het mest- en mineralenbeleid in Nederland stelt grenzen aan overschotten van N en P teneinde de milieubelasting binnen aanvaardbare grenzen terug te brengen. Bij dit beleid wordt tot 2006 gebruik gemaakt van het instrument MINeralen Aangifte Systeem, MINAS. MINAS heeft betrekking op de bedrijfsbalans van nutriënten: de balans wordt opgesteld op grond van de aan- en afvoer 'bij de poort'. Het overschot wordt omgeslagen over het bedrijfsareaal en resulteert dus in een overschot per hectare per jaar. Binnen een bedrijf kan ook een balans opgesteld worden voor de bodem: het verschil tussen aanvoer door (kunst)mest, stikstofbinding en atmosferische depositie en de afvoer met de oogst. De bodembalans van een bedrijf wordt bepaald door de balans van afzonderlijke percelen: de perceelsbalansen. Hoe perceelsbalansen culminerend in een bedrijfsoverschot wordt door MINAS, de meter aan de poort, niet in beeld gebracht. Binnen het bedrijf kan het zelfde MINAS-resultaat dus gerealiseerd zijn met een minimum aan variatie tussen perceelsbalansen of met juist heel veel variatie. Het is mogelijk dat variatie tussen perceelsbalansen een verhogend effect heeft op de emissie. Als dat zo is, dan geeft dat aanleiding om in MINAS -of algemener bij nutriëntenbeheer-variatie van overschotten op perceelsniveau in beschouwing te nemen.

Deze problematiek vormt de aanleiding voor een verkenning gericht op de vragen:

- hoeveel variatie van perceelsbalansen is er binnen een bedrijf en
- heeft die variatie invloed op de emissie naar het milieu.

In 2006 zal de MINAS-regelgeving vervangen worden door gebruiksnormen voor stikstof in dierlijke mest (LNV, 2003). Toekomstig mineralenbeleid is dus niet meer zo gebaat bij verkenningen die specifiek gericht zijn op MINAS. Deze verkenning heeft echter een bredere relevantie. Ten eerste zal de mineralenboekhouding naar verwachting nog veel gebruikt worden als management-instrument bij nutriëntenbeheer. Daarbij doet zich nog steeds de vraag voor of veel variatie in overschotten hogere emissies oplevert. Ten tweede is de vraag relevant voor de vaststelling van de N-gebruiksnormen en voor het omgaan met gebruiksnormen.

In deze verkenning gaan we in op de vraag hoe de hypothese dat variatie van overschotten op een bedrijf de emissie bevordert, kan worden getoetst. We beperken ons tot stikstof en nitraat. Aan de hand van gegevens van De Marke geven we een beeld van:

- de variatie van stikstofoverschotten op de bodembalans van percelen;
- de variatie van nitraatconcentraties in het grondwater;
- de relatie tussen (variatie in) overschotten en emissies.

In hoofdstuk 2 beschrijven we de aanpak van de verkenning. Om de gegevens van De Marke goed te kunnen interpreteren, moeten de bedrijfs- en bemestingsstrategie op De Marke bekend zijn. Deze worden in hoofdstuk 3 beschreven. Hoofdstuk 4 gaat in op de variatie van overschotten en hoofdstuk 5 betreft variatie van nitraatconcentraties. In hoofdstuk 6 wordt de relatie tussen overschotten en nitraatconcentraties belicht. Tenslotte volgt in hoofdstuk 7 een discussie en een synthese.

2. Variatie van N-overschotten en nitraatuitspoeling

De hypothese van deze verkenning luidt dat perceelsvariatie van stikstofoverschotten en stikstofgiften in een bedrijf de gemiddelde nitraatuitspoeling op het bedrijf verhoogt. Om deze hypothese te toetsen hanteren we een aantal uitgangspunten.

2.1 Uitgangspunten

Een toename van de variatie in stikstofoverschotten zal de nitraatuitspoeling verhogen als de reactie van nitraatuitspoeling op het stikstofoverschot verloopt volgens een hogere machtsfunctie, een kromlijinig verband dat afbuigt naar een steilere asymptoot. Als de nitraatuitspoeling toeneemt met het stikstofoverschot volgens een eenvoudig lineair verband, $\text{nitraatuitspoeling} = A + B * \text{N-overschot}$, dan heeft variatie van stikstofoverschotten geen invloed. Als de relatie tussen emissies en overschotten beschreven wordt door een curve die afvlakt bij hogere overschotten (kromlijinig verband, afbuigend naar een maximum) dan leidt meer variatie juist tot lagere emissies. In Box 2.1 wordt een toelichting gegeven op deze uitgangspunten.

Box 2.1. Het effect van variatie op de gemiddelde nitraatconcentratie; een gedachtenexperiment.

Stel dat we op bedrijf A en op bedrijf B overschotten bepalen op twee percelen per bedrijf (zie Tabel 2.1). We kunnen vaststellen dat het gemiddelde overschot op beide bedrijven gelijk is, maar de variatie op bedrijf B is veel groter dan op bedrijf A. Als nitraat lineair samenhangt met het stikstofoverschot dan is de gemiddelde nitraatconcentratie op beide bedrijven gelijk. In Tabel 2.1 is de concentratie voor beide bedrijven berekend voor de lineaire relatie die wordt weergegeven in vgl. 1). Wanneer de relatie beschreven wordt door een machtsfunctie dan is de gemiddelde concentratie op de bedrijven wel verschillend. Dit is in Tabel 2.1 berekend voor de functie die is weergegeven in vgl. 2. Let op: beide vergelijkingen zijn puur bedoeld als voorbeeld en hebben geen realiteitswaarde. Een hogere machtsfunctie trekt het gemiddelde omhoog doordat het hoge overschot bij een hogere machtsfunctie zeer sterk en disproportioneel doorwerkt in een hoge nitraatconcentratie: de nitraatconcentratie die correspondeert met het stikstofoverschot van 180 kg N/ha jr is 386 mg/l.

Table 2.1. Hypothetische overschotten op bedrijf A en B.

	A	B
Perceel 1	90	20
Perceel 2	110	180
Overschot gemiddeld	100	100
NO ₃ ¹⁾ Lineaire relatie	63	63
NO ₃ ¹⁾ Machtsfunctie	127	195

¹⁾ Gemiddeld over perceel 1 en perceel 2.

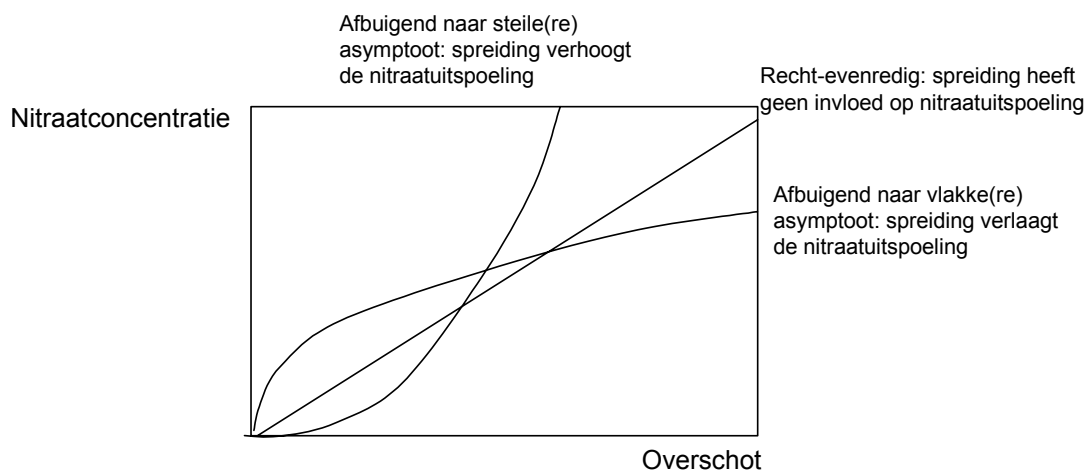
Vgl. 1 $NO_3 = 0,63 * N_{\text{overschot}}$

Vgl. 2 $NO_3 = 0,02 * (N_{\text{overschot}})^{1,9}$

We kunnen de vraag ‘leidt meer variatie tot hogere nitraatuitspoeling?’ dus beantwoorden door te bekijken welke wiskundige functie de relatie tussen overschot en nitraatuitspoeling het best beschrijft:

- een kromlijinig verband afbuigend naar hoge nitraatconcentraties,
- lineair zonder hogere machtsterm of
- een kromlijinig verband afbuigend naar een maximum.

Figuur 2.1 geeft schematisch de toets weer op de hypothese dat variatie de uitspoeling doet toenemen.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de toets op het positieve verband tussen variatie van het N-overschot en nitraatuitspoeling.

2.2 Onderbouwing van de hypothese

Zowel voor grasland (Van Drecht *et al.*, 1991; Steenvoorden, 1988; Van der Meer & Meeuwissen, 1989) als voor maïsland (Oenema, Schröder & Struik, 1999) zijn kromlijnige verbanden aangetoond tussen de stikstofaanvoer en nitraatconcentraties in grondwater. Dit wordt veroorzaakt door:

1. de relatie tussen de stikstofaanvoer en het stikstofoverschot en
2. de relatie tussen het stikstofoverschot en de nitraatconcentratie.

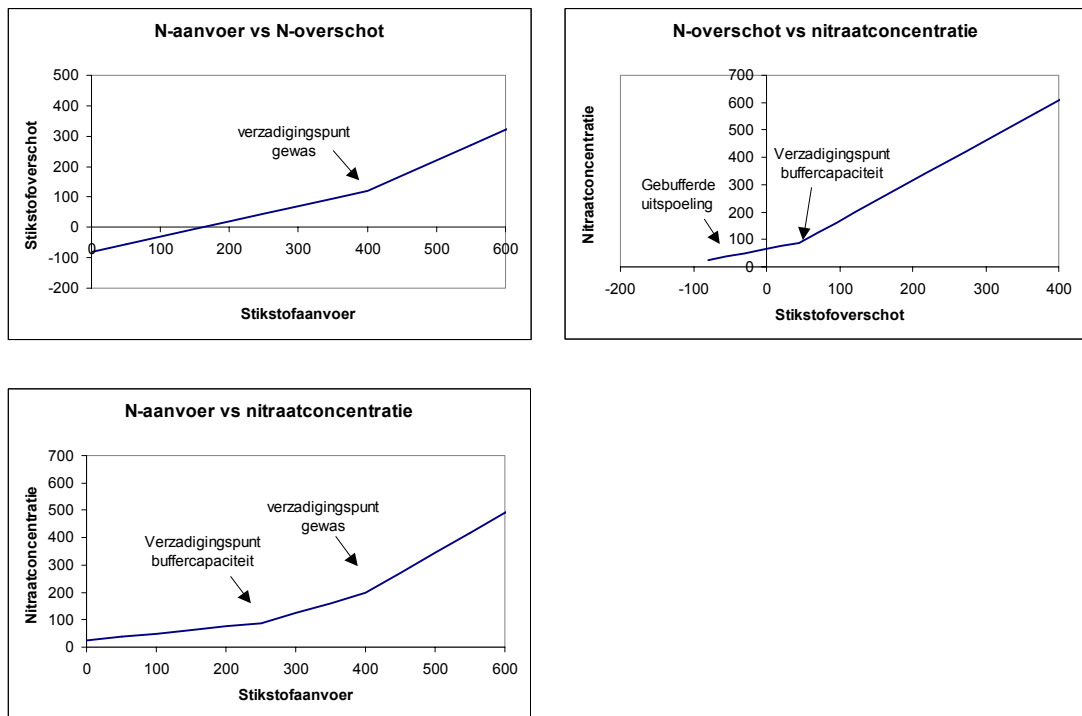
2.2.1 Van aanvoer naar overschot

Het verloop van het stikstofoverschot bij variërende stikstofaanvoer kan worden beschreven door een zogenoemde *broken-stick* functie (zie de aanvoer-overschot diagram in Figuur 2.2). Dit komt door stikstofverzadiging van het gewas. Bij aanvoer van stikstof in hoeveelheden waarbij het verzadigingspunt wordt overschreden, neemt de terugwinning van stikstof in het gewas af ten opzichte van de terugwinning bij een aanvoer onder het verzadigingspunt (Ten Berge, 2002). Als gevolg van de lagere benutting bij verzadiging neemt het stikstofoverschot bij stikstofaanvoer boven het verzadigingspunt sneller toe. In de studie van Ten Berge werd dit effect voor diverse gewassen zichtbaar gemaakt en gekwantificeerd door bewerking van grote gegevensbestanden (weliswaar niet voor de relatie Ndosering-nitraatuitspoeling maar wel voor Ndosering-minerale N in de bouwvoor na de oogst die als indicator voor nitraatuitspoeling geldt).

2.2.2 Van overschot naar uitspoeling

Nitraatuitspoeling naar het grondwater op diep ontwaterde zandgrond kan worden gebufferd door denitrificatie. Het denitrificatieproces wordt mede bepaald door de beschikbaarheid van organische stof. In humusarme droge zandgronden kan de hoeveelheid organische stof bij een hoog nitraataanbod beperkend zijn voor denitrificatie (Velthof, 1998). Nitraatuitspoeling wordt dus bij lage concentraties gebufferd door denitrificatie, hogere concentraties kunnen de capaciteit van de buffering door denitrificatie overstijgen. Daardoor zal de nitraatuitspoeling bij lage N-overschotten minder sterk toenemen dan in het traject van hoge N-overschotten. Als denitrificatie niet meer optreedt, spoelt nitraat kwantitatief uit. De nitraatconcentratie neemt dan recht evenredig toe met het stikstofoverschot. Ook in de relatie tussen het stikstofoverschot en de nitraatconcentratie is dus sprake van een *broken-stick* vergelijking (zie Figuur 2.2, het diagram waarin het stikstofoverschot uitgezet is tegen de nitraatconcentratie).

Het aanvoer-concentratie diagram in Figuur 2.2 laat zien het hoe de hierboven beschreven broken-stick patronen kunnen cumuleren in de respons van de nitraatconcentratie op de stikstofaanvoer. In de praktijk zal verzadiging in al de hier besproken responsen zich niet altijd voordoen bij dezelfde waarde voor stikstofaanvoer of stikstofoverschot. Het samengesteld effect van verzadigingspunten op verschillende niveaus zal waarneembaar zijn als kromlijnige verbanden in plaats van broken stick-verbanden.



Figuur 2.2. De broken-stick functie in de beschrijving van de relatie tussen de stikstofaanvoer en het stikstofoverschot. De broken-stick functie in de beschrijving van de relatie tussen het stikstofoverschot en de nitraatconcentratie. De cumulatie van beide functies in de relatie tussen de stikstofaanvoer en de nitraatconcentratie.

2.3 Toetsbaarheid op De Marke

Uit Figuur 2.2 kunnen we opmaken dat een zekere bandbreedte in zowel aanvoer als stikstofoverschotten nodig is om vast te kunnen stellen of er sprake is van een kromlijng verband tussen overschotten en nitraat. Het is de vraag of de bandbreedte op De Marke voldoende groot is. Op voorhand kan hierover voor De Marke niet met zekerheid een antwoord gegeven worden. Bovendien speelt een rol dat variatie in de aanvoer voor een deel bewust wordt toegepast omdat dit past in een strategie gericht op *lage* nitraatuitspoeling. We moeten dus in de analyse een onderscheid maken tussen bewust toegepaste variatie van overschotten die leidt tot verminderde nitraatconcentratie en willekeurige variatie door variatie in weer en perceelskenmerken die in principe kan leiden tot hoge nitraatuitspoeling. In het vervolg zal duidelijk worden hoe we dat hebben aangepakt. Om die aanpak te begrijpen is eerst meer informatie nodig over de teelt- en bemestingsstrategie. Hoofdstuk 3 bevat die informatie.

3. Beheer van bodem en gewas op De Marke

Sinds 1992 ontwikkelt Proefbedrijf De Marke een bedrijfssysteem voor de melkveehouderij dat moet voldoen aan stringente milieunormen. Dat houdt ondermeer in dat de nitraatconcentratie van het bovenste grondwater niet hoger mag zijn dan 50 mg l⁻¹. Voor het prototypisch model van De Marke werd berekend dat de nitraatnorm gerealiseerd kan worden door de stikstofoverschotten op de bodembalans in te stellen op maximaal 79 kg ha⁻¹. Dit bodemoverschot wordt daarom als afgeleide norm gehanteerd (Biewinga *et al.*, 1992). Het onderzoek levert inzicht in landbouwkundige prestaties en milieuprestaties. Gegevens worden verzameld van zowel de productie van voedergrassen en melk als van N & P-overschotten op perceelsniveau, op kavelniveau en op bedrijfsniveau. Bovendien wordt van een groot aantal stoffen (waaronder nitraat) de concentratie in grondwater bepaald. Door systeemontwikkeling wordt gezocht naar de optimale situatie waarin landbouwkundige en milieuprestaties voldoen aan de randvoorwaarden voor duurzaamheid.

De bijzondere onderzoeksbenadering die op De Marke wordt toegepast, heeft consequenties voor interpretatie van gegevens. Dit hoofdstuk bevat een toelichting op het gebruik van gegevens van De Marke voor de analyse van de effecten van variatie. Paragraaf 3.1 betreft de bepaling van perceelsbalansen voor stikstof en de bepaling van nitraatconcentraties. Paragraaf 3.2 heeft betrekking op respectievelijk het teeltplan op De Marke en de bemestingsstrategie. Tenslotte wordt in paragraaf 3.3 kort ingegaan op de consequenties van de bemestingsstrategie voor de uitvoering van de analyse.

3.1 Perceelsbalansen en nitraatconcentraties

De effecten van variatie in overschotten op nitraatuitspoeling konden op De Marke onderzocht worden met behulp van bodembalansen voor stikstof en nitraatconcentraties, omdat beide op perceelsniveau beschikbaar waren.

Bodembalansen zijn opgesteld door registratie van de aanvoerposten van stikstof en van de afvoer van stikstof met het gewas. Hierbij worden alle meststromen meegerekend (dus kunstmest, drijfmest en weidemest) evenals stikstofbinding met klaver en atmosferische depositie. Aan- en afvoeren met drijfmest en gewas worden bepaald door respectievelijk bemonstering en meting van de hoeveelheid mest die uitgereden wordt en weging van de oogst met behulp van de weegbrug en bemonstering van het gewas. De weidemestexcretie wordt per perceel afgeleid van een stikstofbalans van weidend vee. Uit de voeropname en de mestproductie op stal kan de excretie in de wei geschat worden. De verdeling per perceel wordt berekend uit de beweidingduur.

De nitraatconcentratie wordt jaarlijks op zes plekken per perceel (3 plekken per ha) bepaald door bemonstering van de bovenste meter van het grondwater. Op grond hiervan wordt een perceelsgemiddelde nitraatconcentratie vastgesteld. De bepaling vindt in het najaar plaats. De stikstof die is achtergebleven na een groeiseizoen is onder normale omstandigheden diezelfde winter nog niet in het grondwater terechtgekomen, maar zal pas een jaar later opgenomen zijn in het bovenste grondwater. Daarom worden de nitraatconcentraties over een jaar vergeleken met de overschotten van een jaar ervoor. Deze tijdsprong is met name van belang voor de rotaties. De methode van nitraatbepaling is uitgebreid beschreven door Boumans *et al.*, (2001). De bemonstering wordt uitgevoerd door het RIVM.

3.2 Teeltplan en bemestingsstrategie op De Marke

3.2.1 Teeltplan

De Marke teelt 31 ha gras, 17 ha maïs en 7 ha triticale¹. Het aandeel bouwland is hoger dan gemiddeld op zandgrond. De belangrijkste reden is dat bouwlandgewassen, met name maïs, minder vocht behoeven dan gras. Dat is een belangrijk voordeel op droogtegevoelige grond². Bovendien is de meststofbehoefte van maïs ongeveer 150 kg N ha⁻¹ lager dan die van grasland en is de energieopbrengst hoger.

Er wordt een vruchtwisselingssysteem toegepast van drie jaar gras gevolgd door twee jaar maïs en één jaar Triticale (huiskavel) of van drie jaar gras gevolgd door vier jaar maïs en één jaar Triticale (veldkavel)³. Direct rond de bedrijfsgebouwen ligt blijvend gras. Op De Marke kan dus een onderscheid gemaakt worden tussen:

- Blijvend gras 11 ha;
- Tijdelijk gras 20 ha;
- Maïs 17 ha;
- Triticale 7 ha.

3.2.2 Bemestingstrategie

De Marke probeert de mest van het vee zo goed mogelijk als meststof te benutten. Dat beperkt de behoefte aan kunstmest en verbetert de mineralenbalans. Jaarlijks wordt per perceel de meststofbehoefte vastgesteld, waarbij rekening wordt gehouden met gewassoort, voorvrucht en bodemeigenschappen. De afgeleide norm van 79 kg N/ha jr en van 1 kg P₂O₅/ha jr laat variatie van overschotten toe in ruimte en tijd. De Marke richt zich uiteindelijk op een grondwaternorm van 50 mg l nitraat/l en dat wordt nagestreefd door uitschieters van hoge nitraatconcentraties zoveel mogelijk te voorkomen (nivellering).

Hoge nitraatconcentraties kunnen het best voorkomen worden door gras zwaarder te bemesten dan maïs en te accepteren dat gras hogere overschotten heeft. Kort gezegd: gras kan hogere stikstofgiften benutten en omzetten in nuttig product dan maïs. Maïs heeft weinig nodig en zal bij hoge giften veel verloren laten gaan. Daarom wordt de maïs krap bemest.

Deze strategie is als volgt uitgewerkt. Het bemestingsniveau van grasland is ongeveer 250 kg werkzame N ha⁻¹, van maïs 100 kg N ha⁻¹. De werkelijke bemesting van maïs is geringer, omdat de stikstof die vrijkomt door afbraak van de ondergeploegde graszode en groenbemester ook als meststof wordt ingerekend. Door de afnemende nawerking van de graszode neemt de behoefte aan stikstofmeststof toe met de duur van de bouwlandfase (Tabel 3.1). De consequentie van deze werkwijze is een tijdelijke disbalans in de fosfaataanvoer: in de graslandfase is de afvoer met het gewas kleiner dan de aanvoer met drijfmest, maar in de bouwlandfase wordt de balans weer hersteld, dan wordt meer fosfaat opgenomen dan aangevoerd. Over een lange periode gerekend mag de fosfaatbemesting niet groter zijn dan de afvoer als gewas (evenwichtsbemesting) maar voor een korte termijn is de genoemde disbalans niet bezwaarlijk omdat fosfaat weinig uitspoelingsgevoelig is (Biewinga *et al.*, 1992, Aarts *et al.*, 2003).

Door deze aanpak kan de maïs worden geteeld zonder gebruik te maken van kunstmest. Door de extra drijfmestgift op tijdelijk grasland is ook de aanvoer van stikstof groter, waardoor minder kunstmeststikstof nodig is dan op blijvend grasland (met evenwichtsbemesting).

¹ De triticale is in 2003 vervangen door een zomergraan.

² Ondanks het geringe aandeel grasland en restrictief beregenen (alleen als de zode dreigt af te sterven of om beperkt te kunnen blijven beweiden) wordt in droge jaren de limiet bereikt van 40.000 m³ grondwateronttrekking.

³ Continueteelt van maïs kan de bodem gevoeliger maken voor uitspoeling van nutriënten. Het vermindert de bodemvruchtbaarheid waarbij meer N moet worden aangevoerd om tot een bepaalde productie te komen. Daarom wordt continueteelt op De Marke niet toegepast.

Tabel 3.1. De stikstofbehoefte van maïs (kg N/ha jr) voor percelen met een VochtBergend Vermogen (VBV)⁴ van 25 mm en van 75 mm.

Fase in rotatie	25 mm	75 mm
N-behoefte	80	96
Nawerking uit zode		
Eerstejaarsmaïs	90	90
Tweedejaarsmaïs	45	45
Derdejaarsmaïs	34	34
Vierdejaarsmaïs	23	23
Vijfdejaarsmaïs	11	11
Zesdejaarsmaïs	11	11
Zevendejaarsmaïs	0	0

3.3 Gebruik van De Marke-gegevens bij onderzoek naar variatie

Een belangrijk aspect van de werkwijze op De Marke is dat bewust wordt gestuurd in (variatie van) overschotten; vooral op het niveau van gewassen. Verschillen in overschotten tussen gewassen zijn tot op zekere hoogte onderdeel van de strategie. Zelfs verschillen tussen jaargangen van gewassen in een rotatie zijn onderdeel van de strategie (zie het verschil tussen eerstejaars maïs en tweede- en derdejaars maïs). Als die strategie juist wordt uitgevoerd, leiden die toegepaste verschillen (geplande variatie) niet tot gemiddeld hogere nitraatconcentraties maar juist tot lagere. Dit soort variatie is van een heel andere orde dan willekeurig optredende variatie: deze variatie domineert binnen homogene groepen van gewassen met dezelfde positie in de rotatie en daardoor ook met dezelfde behandeling. Deze variatie is het gevolg van de invloed van onstuurbare factoren zoals neerslag, temperatuur en het optreden van ziektes en plagen. We zouden dit de niet georganiseerde variatie kunnen noemen.

In het beeld van variatie van overschotten op De Marke wordt zowel de gestuurde als de willekeurige variatie in beschouwing genomen. De analyse van de effecten van variatie op de nitraatconcentraties is vooral gericht op de variatie binnen homogene groepen van bodemgebruik. Dat is dus de variatie tussen percelen met gewassen die zich in dezelfde fase van de rotatie bevinden (bijvoorbeeld tweedejaars grasland) en de variatie tussen percelen gerekend over een gehele rotatie (hierbij worden dus automatisch alle jaren van een rotatie geïntegreerd). De variatie kan zowel in ruimte (verschillende percelen) als in tijd (verschillende jaren) in beeld gebracht worden.

⁴ Het VBV is de hoeveelheid water die beschikbaar is voor de plant als de bodem op veldcapaciteit is. Het VBV is sterk afhankelijk van de diepte van de doorwortelbare laag en van de porositeit en de tekstuur van de bodem.

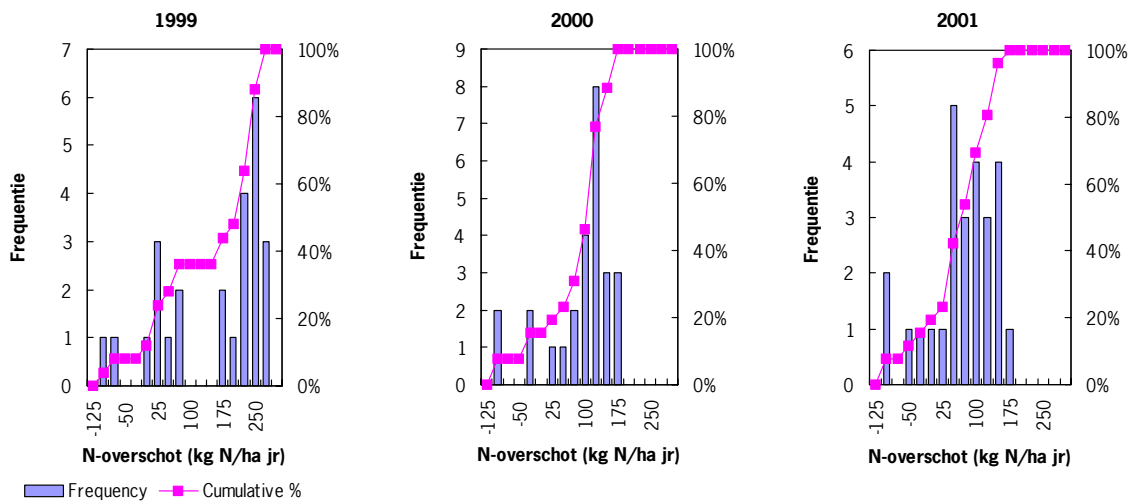
4. Variatie van perceelsbalansen

Dit hoofdstuk geeft een beeld van de variatie van stikstofoverschotten op het bedrijf De Marke. Bij de berekening van de overschotten is gecorrigeerd voor ammoniakverliezen na aanwending van drijfmest. De gegevens van de jaren 1993 tot en met 2001 zijn gebruikt.

4.1 Resultaten

Figuur 4.1 geeft de histogrammen weer van het stikstofoverschot voor alle percelen op De Marke (jaren 1999, 2000, 2001). In Bijlage I zijn de waarden per perceel weergegeven. Veelal worden frequentieverdelingen gebruikt om na te gaan of er aanleiding is om onderscheid te maken tussen groepen waarnemingen binnen een grote verzameling. Op De Marke is op voorhand duidelijk dat N-stromen verschillend zijn voor de hoofdgewassen gras en maïs en voor de fase in de rotatie. Daarom maken we histogrammen voor die homogene gewasgroepen. De histogrammen geven dan aan of de verschillen tussen de groepen daadwerkelijk zo groot zijn als we van tevoren hadden verwacht op grond van ons inzicht in het beheer. Bovendien worden de frequentieverdelingen getoond om een snelle visuele indruk te krijgen van de spreiding.

Het stikstofoverschot op het gehele areaal varieerde van -125 kg N/ha jr tot ruim 275 kg N/ha jr. De verdeling van de overschotten verschilde vrij sterk voor de verschillende jaren. In 1999 leken er drie duidelijk te onderscheiden groepen te zijn, in 2000 en 2001 was sprake van een meer geleidelijke verdeling van overschotten.



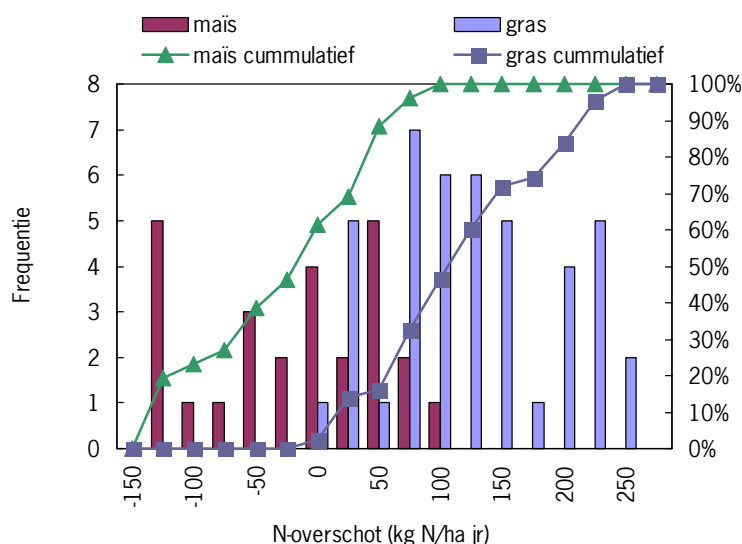
Figuur 4.1. Frequentieverdelingen van de stikstofbalans in drie jaren. De frequentieverdelingen geven een visueel beeld van de spreiding van overschotten. Een steil verloop van de cumulatieve verdeling geeft aan dat veel waarnemingen zich bevonden in dezelfde range van overschotten (weinig spreiding), bij een geleidelijke toename van de frequentieverdeling is de spreiding groter. Een getrappt verloop geven aan dat er verschillende groepen zijn te onderscheiden (bijvoorbeeld 1999).

In Figuur 4.2 zijn de overschotten weergegeven voor gras en maïs voor alle jaren. De overschotten in maïs zijn veel lager dan die in gras. Dit zijn ook de gewasgroepen waarvan in de verdeling in Figuur 4.1 voor 1999 een groot verschil in overschotten te zien was. Uit het histogram van Figuur 4.2 is op te maken dat in de overschotten van de hoofdgroepen gras en maïs ook weer groepen te onderscheiden zijn. Bij maïs lijkt er een driedeling te zijn in overschotten lager dan -100 kg N/ha jr, overschotten van rond de -50 kg N/ha jr en overschotten van ongeveer 50 kg N/ha jr. Bij gras is ook een dergelijk patroon waarneembaar. Dit is in overeenstemming met de verwachting. De jaargangen in de rotatie van de gewassen worden immers verschillend beheerd. Dit kan verder in beeld worden gebracht door een onderscheid te maken naar blijvend gras en tijdelijk gras en door onderscheid te maken naar eerstejaars, tweedejaars en derdejaars gras en maïs. De gemiddelde overschotten per aldus onderscheiden groep zijn weergegeven in Tabel 4.1. Het stikstofoverschot in maïs is significant lager dan van gras. Het overschot in blijvend grasland is significant lager dan dat van tijdelijk gras.

De cumulatieve frequentieverdelingen in de Figuren 4.3 en 4.4 hebben betrekking op de overschotten van eerstejaars, tweedejaars en derdejaars gewassen. De stikstofoverschotten in eerstejaars maïs zijn significant lager dan in de overige maïs jaren in de rotatie. Dit is ook te zien aan de sterk afwijkende curve voor eerstejaarsmaïs in Figuur 4.3. De stikstofoverschotten in eerstejaars gras zijn net niet significant lager dan in de overige grasjaren in de rotatie ($F = 3,36$, $F_{crit} = 3,96$). De tendens dat eerstejaars gras hogere overschotten heeft dan overige jaren kan eveneens teruggevonden worden in de frequentieverdeling in Figuur 4.4.

Tabel 4.1. Stikstofoverschotten in gras en maïspercelen en enkele gegevens met betrekking tot de variatie.

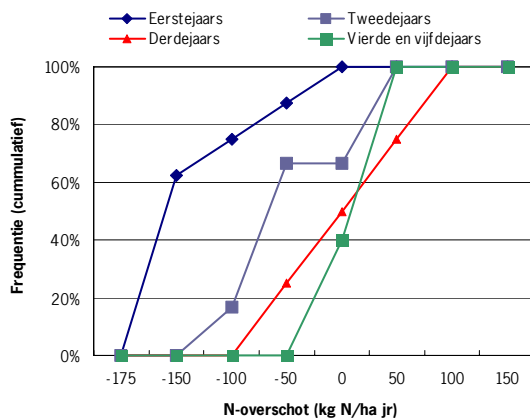
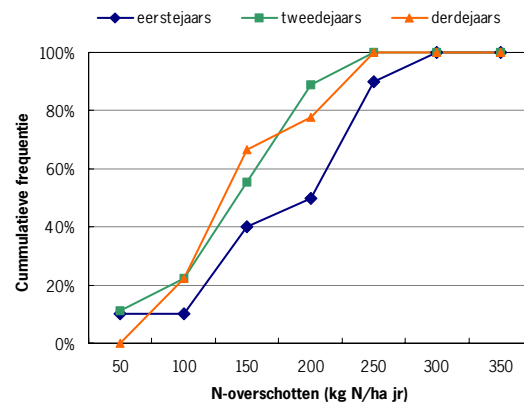
	Tijdelijk gras	Blijvend gras	Maïs
Gemiddeld overschot	201	169	14
Mediaan	210	181	10
Standaarddeviatie	70	69	70
Laagste waarde	39	18	-124
Hoogste waarde	318	273	222



Figuur 4.2. Frequentieverdeling van stikstofbalansen bij maïs en gras.

Tabel 4.2. *Het N-overschotten in de hoofdgewassen.*

		Blijvend gras		Tijdelijk gras		Mais	
		-	1 ^e jrs	2 ^e jrs	3 ^e jrs	1 ^e jrs	2 ^e jrs
Gemiddelde	169	219	196	186	-56	71	94
Mediaan	182	142	205	172	-75	69	29
Stdev	69	78	59	64	55	43	61
Minimum	19	44	39	89	-124	-12	-48
Maximum	273	318	311	316	42	131	188

Figuur 4.3. *Frequentieverdeling van overschotten in mais (eerstejaars, tweedejaars, derdejaars en meer).*Figuur 4.4. *Frequentieverdeling overschotten in gras onderscheiden naar jaarrangnummer in de rotatie.*

4.2 Discussie

Een grootheid -in dit geval het stikstofoverschot- die door veel factoren tegelijk wordt beïnvloed, neemt in het algemeen waarden aan die normaal of lognormaal verdeeld zijn. Als één of enkele omgevingsfactoren een dominante invloed uitoefenen neemt de grootheid veelal waarden aan met een andere verdeling (Oude Voshaar, 1994). Uit de frequentieverdeling van waarnemingen kan dus afgeleid worden of er een dominante sturende factor is. In het geval van de overschotten valt daarbij te denken aan het beheer. Vergelijking van de histogrammen voor de gegevensverzamelingen die niet zijn uitgesplitst naar groepen, met de gegevensverzamelingen die wel zijn uitgesplitst in groepen (gewas en fase in de rotatie), geeft inzicht in de invloed van beheer ten opzichte van overige factoren zoals weersomstandigheden. De overschotten in de gegevensverzamelingen waarin geen onderscheid gemaakt wordt (naar gewas en fase) zijn in de rotatie niet normaal verdeeld. De frequentieverdelingen van de groepen van een specifiek gewas en een specifieke fase in de rotatie zijn dat wel. De overschotten in tijdelijk gras, blijvend gras en mais zijn significant verschillend.

Dit geeft aan dat de verschillen tussen de overschotten van gewassen en de verschillen tussen de overschotten in verschillende fases in de rotatie veroorzaakt zijn door het beheer. Het beheer heeft dus een grotere invloed dan de minder stuurbare factoren zoals weer, heterogeniteit tussen percelen, ontwikkelingen in de zodenkwaliteit of ziektes en plagen. De bemesting heeft een directe invloed. De bemestingsstrategie op De Marke manifesteert zich dus in de gerealiseerde overschotten.

Eerstejaars maïs ontvangt in het algemeen veel minder mest (veelal geen) dan tweede en derdejaars maïs. Ook dit verschil in behandeling komt duidelijk tot uiting in de overschotten. De overschotten in eerstejaars maïs zijn significant lager dan de overschotten van de maïs die later in de rotatie komt. Dit effect kan overigens veroorzaakt zijn door zowel de lagere stikstofgift in eerstejaars maïs als door lagere stikstofopname in de meerderejaars maïs. Een nadere analyse van het N-opnamepatroon in verschillende jaren in de rotatie van maïs wees dat echter niet uit: er leek wel een tendens aanwezig van afnemende stikstofopname, maar die was niet erg sterk.

Functioneert eerstejaarsgras anders dan tweede- en derdejaars gras? Uit de statistische analyse blijkt geen significant verschil in overschotten. Er is wel een tendens van hogere overschotten in eerstejaars gras en dat is te verwachten om twee redenen:

- Eerstejaars gras investeert stikstof in een nieuwe zode. Deze stikstof is weliswaar door het gewas opgenomen, maar wordt niet geoogst en telt dan ook als overschot mee op de balans. Wanneer de zode eenmaal gevormd is, neemt de stikstofstroom naar de zode af;
- Bovendien ontving eerstejaars gras tot 1999 70 kg N/ha jr meer dan meerderejaars gras (met name met het oog op die opbouw van de zode). Het is niet duidelijk in hoeverre deze extra gift bijgedragen heeft tot een hoger overschot. In een analyse van de effecten van managementwijzigingen wordt hier onderzoek naar gedaan (Verloop *et al.*, in voorbereiding).

Tabel 4.3 vat het beeld van de spreiding van stikstofoverschotten op De Marke samen. Hierbij zijn 80% percentielen weergegeven in plaats van de totale bandbreedte om de spreiding aan te geven zonder te gevoelig te zijn voor uitschieters.

Tabel 4.3. De 80% percentielen van de overschotten weergegeven voor alle gewassen met onderscheid naar de positie in de rotatie.

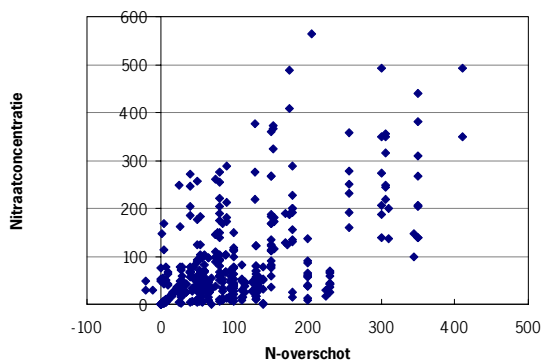
Gewas	80% percentiel	Fase in rotatie	80% percentiel
Tijdelijk gras	102 - 296	Eerstejaars	85 - 310
		Tweedejaars	100 - 245
		Derdejaars	112 - 290
Maïs	-94 - 85	Eerstejaars	-118 - 31
		Tweedejaars	10 - 127
		Derdejaars	-10 - 120
Blijvend gras	90 - 240	-	-

We zien dat de spreiding van N-overschotten binnen de homogene gewasgroepen: eerstejaars maïs, tweedejaars maïs, derdejaars maïs, eerstejaars gras, tweedejaars gras, derdejaars gras en blijvend grasland over het algemeen meer dan 100 - 225 kg N/ha jr bedraagt. Of dat voldoende is om de relatie met nitraat te kunnen vaststellen is op voorhand moeilijk aan te geven. Dat zal blijken het uit het vervolg.

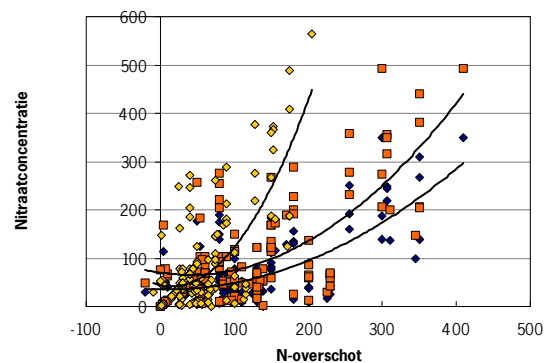
De bemestingsstrategie is gericht op een optimale opbrengst met een zo laag mogelijke nitraatconcentratie. De strategie laat hoge stikstofoverschotten toe in onderdelen van de teelt met een laag risico op nitraatuitspoeling en lage overschotten op onderdelen met een hoog risico. Als de bemestingsstrategie goed werkt, veroorzaakt het verschil in overschotten tussen gras en maïs (niet-toevallige variatie) geen hogere maar juist lagere nitraatconcentraties. Het verband tussen overschotten en nitraatconcentraties (kromlijng naar hoge waarden, recht-evenredig of afvlakkend naar een maximum) zal daarom onderzocht moeten worden in gegevens-verzamelingen waarin de strategisch aangebrachte verschillen in overschotten geen rol meer spelen. Dat zijn de gegevens-verzamelingen die betrekking hebben op homogene gewasgroepen.

Dat wil zeggen de gegevens-verzamelingen van hetzelfde gewas en dezelfde fase van de rotatie. Binnen deze groepen zal de analyse van het effect van variatie zich moeten richten op de variatie die veroorzaakt wordt door minder stuurbare factoren zoals weer en allerlei andere variatie die zich in het bedrijf voordoet. In tegenstelling tot de georganiseerde variatie kan deze soort van variatie tot hogere nitraatconcentraties leiden.

De noodzaak van het onderscheid van homogene gewasgroepen wordt geïllustreerd in Figuur 4.5. In Figuur 4.5 A zijn hypothetische waarnemingen van nitraatconcentraties uitgezet tegen stikstofoverschotten. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen gewasgroepen. Als de relatie tussen de waarnemingen beschreven wordt door een hogere machtsfunctie is dat een aanwijzing dat variatie de nitraatuitspoeling verhoogt. Op grond van Figuur 4.5 A kunnen we hiervoor slechts een vaag vermoeden krijgen. In een statistische analyse zal toevoegen van een tweede-orde term waarschijnlijk niet veel toevoegen aan de verklaarde variantie. Figuur 4.5 B is gebaseerd op dezelfde hypothetische gegevensset maar maakt onderscheid tussen gewasgroepen. Het is eenvoudig in te zien dat hierdoor kromlijnige verbanden in beeld komen die eerder niet zichtbaar waren.



Figuur 4.5A. Nitraat uitgezet tegen het stikstofoverschot (hypothetisch) zonder onderscheid naar gewas.



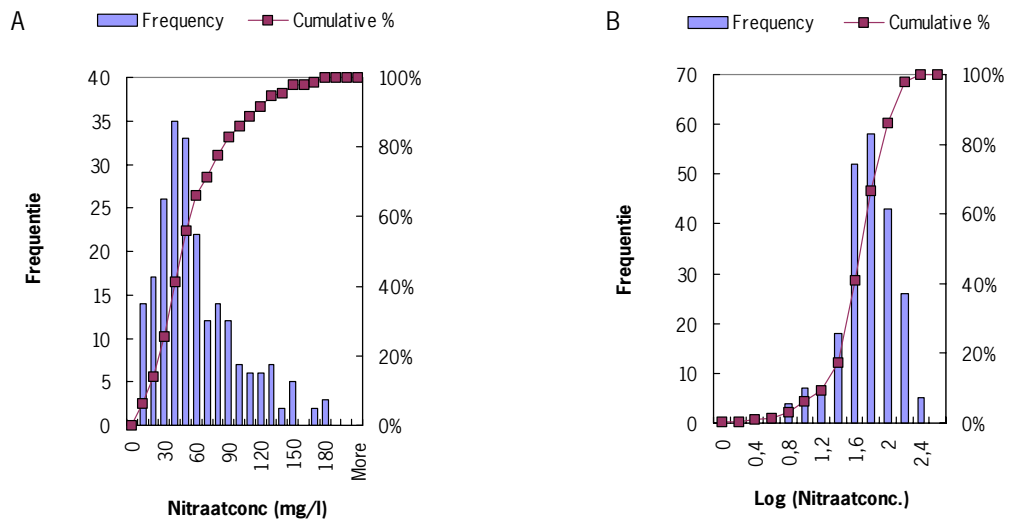
Figuur 4.5B. Puntenwolk als in Figuur 4.5A onderscheiden naar maïs, blijvend gras en tijdelijk gras (hypothetisch).

5. Nitraat in grondwater

In dit hoofdstuk wordt het beeld geschetst van de variatie van nitraatconcentraties op De Marke. Alle weergegeven waarden zijn gecorrigeerd voor variatie van de mate van verdunning door het neerslagoverschot. Hierbij zijn door het RIVM berekende correctiefactoren gebruikt (Boumans *et al.*, 2001).

5.1 Resultaten

Figuur 5.1A laat de variatie zien tussen de perceelsgemiddelden van nitraatconcentraties over de jaren 1993 tot 2001 zonder onderscheid naar bodem, bodembehandeling of gewas. Lage waarden zijn sterker vertegenwoordigd dan hoge waarden, hetgeen gebruikelijk is voor grootheden die geen negatieve waarden kunnen aannemen, zoals concentraties. Daarom wordt bij analyse van de variatie veelal een log-transformatie toegepast (Figuur 5.1B). Deze verdeling is wel min of meer gelijk verdeeld rond het gemiddelde. In het vervolg van het overzicht wordt de logaritme-transformatie achterwege gelaten.



Figuur 5.1. De verdeling van perceelsgemiddelde nitraatconcentraties (A) van alle percelen en (B) de verdeling van de logaritme van de perceelsgemiddelden ($n = 222$).

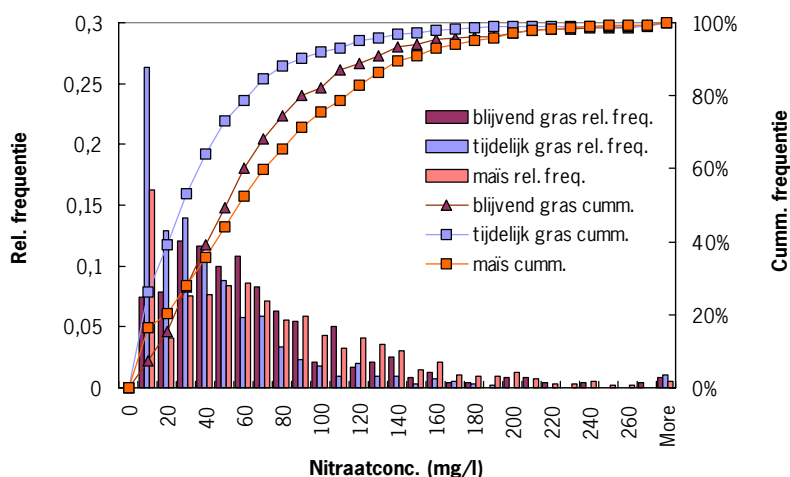
Tabel 5.1 geeft een aantal statistische kengetallen van de verdeling. De linkerkolom heeft betrekking op de gehele reeks van jaren. In de standaarddeviatie over de hele reeks van meetjaren zit ook de spreiding die het gevolg is van jaar-effecten. De spreiding in een specifiek jaar is kleiner dan de spreiding in de gehele reeks aan jaren, zoals te zien is aan de standaarddeviatie in de gegevens van 2001 (rechterkolom Tabel 5.1).

Tabel 5.1. De spreiding van de waargenomen nitraatconcentratie op individuele percelen en de bedrijfs-gemiddelde concentratie (gemiddelde van de waargenomen concentratie per perceel).

	Nitraatconcentratie* (mg nitraat/l grondwater)	
	1993-2001	2001
Gemiddelde	59	67
Mediaan	43	56
Standaarddeviatie	55	37
Minimum	0	4
Maximum	292	129

* Deze waarden zijn berekend op een wijze die afwijkt van de procedure bij vaststelling van de nitraatconcentratie op bedrijfsniveau. Ze wijken daardoor iets af.

Figuur 5.2 geeft de frequentieverdeling weer van de nitraatconcentraties in tijdelijk gras, blijvend gras en maïs. In Tabel 5.2 zijn gemiddelde waarden, standaarddeviaties en bandbreedte vermeld. Het verschil tussen de gemiddelde nitraatconcentratie in maïs en blijvend grasland is statistisch niet significant. De gemiddelde nitraatconcentratie in tijdelijk grasland is significant lager dan de concentratie in maïs en blijvend grasland.



Figuur 5.2. De frequentieverdeling van de nitraatconcentratie in blijvend gras, tijdelijk gras en maïs.

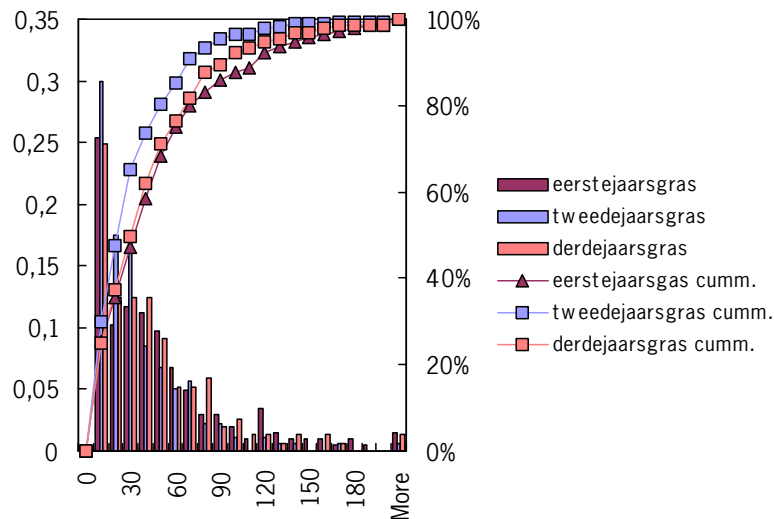
Tabel 5.2. Statistische kengetallen met betrekking tot nitraatconcentraties onder blijvend grasland, tijdelijk gras en maïs.

Gewas	Blijvend grasland	Tijdelijk gras	Maïs
Gemiddelde	65	42	77
Mediaan	48	43	62
Standaarddeviatie	40	42	68
Laagste waarde	17	0	1
Hoogste waarde	184	292	286

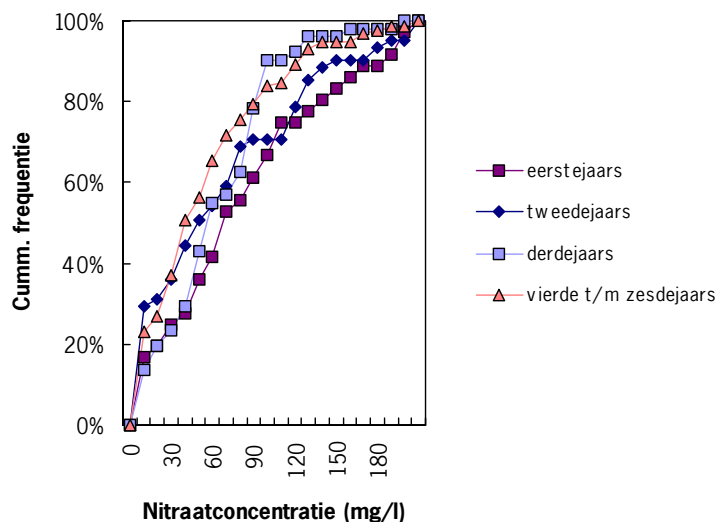
De verdeling van nitraatconcentraties in de gewasgroepen tijdelijk gras en maïs met een onderscheid naar de fase in de rotatie zijn weergegeven in de Figuren 5.3 en 5.4. De statistische kengetallen zijn vermeld in Tabel 5.3. De gemiddelden zijn niet significant verschillend in eerstejaars maïs ten opzichte van tweedejaars en derdejaars maïs. Ook voor tijdelijk grasland zijn de gemiddelden niet statistisch significant verschillend ($P = 0,05$). Bij een lagere betrouwbaarheid ($P = 0,10$) is de nitraatconcentratie onder eerstejaars gras significant hoger dan onder tweedejaars gras en onder eerstejaars maïs significant hoger dan de nitraatconcentratie in overige jaren maïs.

Tabel 5.3. Statistische kengetallen van de nitraatconcentraties in gewassen met onderscheid naar de fase in de rotatie (alles in mg nitraat/l).

	Blijvend gras	Tijdelijk gras			Maïs		
		1 ^e jrs	2 ^e jrs	3 ^e jrs	1 ^e jrs	2 ^e jrs	3 ^e jrs
Gem.	65	46	32	47	89	82	78
Mediaan	48	36	26	30	66	59	41
Stdev	40	40	23	60	74	72	75
Minimum	18	1	4	3	2	14	12
Maximum	184	156	99	292	275	286	269



Figuur 5.3. De frequentieverdeling van de nitraatconcentratie in tijdelijk grasland, onderscheiden naar eerstejaars, tweedejaars en derdejaars gras.



Figuur 5.4. De cumulatieve frequentieverdeling van de nitraatconcentratie in maïs.

5.2 Discussie

In het voorgaande stelden we dat de lage overschotten in maïs nodig zijn om hoge nitraatuitspoeling te verhinderen. Tevens stelden we dat de overschotten onder gras aanzienlijk hoger kunnen zijn zonder dat dit tot te hoge nitraatuitspoeling leidt. Dit wordt bevestigd door de resultaten voor blijvend gras en maïs. De nitraatconcentraties onder deze gewasgroepen zijn niet statistisch significant verschillend, terwijl de N-overschotten van gras aanzienlijk hoger zijn. De nitraatconcentraties onder tijdelijk gras zijn zelfs duidelijk lager terwijl tijdelijk gras gemiddeld de hoogste overschotten heeft. De tendens voor nitraatconcentraties is maïs > blijvend gras >> tijdelijk gras.

Een studie van Aarts (2003) suggereerde dat het verschil van tijdelijk en blijvend grasland toegeschreven kan worden aan wisselbouw-effecten. Hij toonde aan dat bij wisselbouw lagere nitraatconcentraties haalbaar zijn dan bij continue teelt. Echter naast het vruchtwisselingseffect kunnen verschillen in beweidingdruk of bodemtype van de percelen ook een rol kunnen spelen.

Bij maïs en gras zijn de nitraatconcentraties niet statistisch significant verschillend voor een eerstejaars gewas, een tweedejaars gewas en een derdejaars gewas. Maar de tendensen zijn wel duidelijk. Ondanks een heel laag stikstofoverschot in eerstejaarsmaïs zijn de nitraatconcentraties iets hoger. Maïs lijkt dus moeite te hebben om de stikstof die vrijkomt uit de ondergeploegde zode goed te benutten. Met name de wat lagere nitraatconcentraties in derde en vierdejaars maïs geven aan dat het naleveringseffect van de ondergeploegde graszode daarin niet meer zo'n grote rol speelt.

6. De relatie tussen het stikstofoverschot en nitraatuitspoeling

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van de analyse met betrekking tot de relatie tussen stikstofoverschotten en nitraatconcentraties.

6.1 Werkwijze

Bij onderzoek naar het verband tussen stikstofoverschotten en de nitraatconcentratie in een bedrijfssysteem kan verstrengeling optreden tussen omgevingsfactoren en het te onderzoeken verband. We hebben onderzocht of dergelijke verstrengeling optreedt voor variabelen waarvan we dat waarschijnlijk vinden. We hebben hierbij gekeken naar weer-jaareffecten en systematische verschillen tussen percelen. De analyse wees uit dat er geen aanwijzingen zijn dat deze verstrengeling verstorend werkt. Daarom hoeven we in de analyse geen rekening te houden met verstrengeling met weer en perceelseigenschappen. Deze controle is niet nodig voor verschillen tussen gewassen en de fase in rotatie, omdat alle verbanden worden onderzocht binnen homogene gewasgroepen (dus groepen van gegevens die betrekking hebben op hetzelfde gewas en op dezelfde fase in de rotatie).

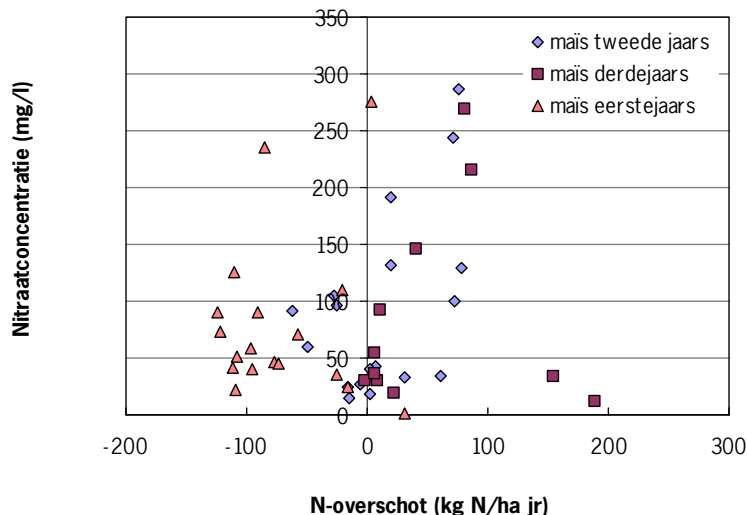
De analyse is uitgevoerd door een model op te bouwen waarin eerst het percentage verklaarde variantie wordt berekend in het eenvoudig lineair verband ($Y = Ax + B$). Vervolgens is bekeken wat het effect is op de verklaarde variantie van het toevoegen van een kwadratische of een exponentiële component aan het model.

6.2 Resultaten

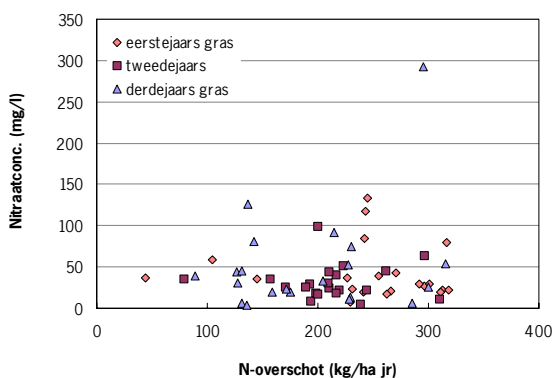
De analyse wijst uit dat er geen kromlijinig verband te zien is tussen het stikstofoverschot en de nitraatconcentratie.

In Figuren 6.1, 6.2 en 6.3 zijn de nitraatconcentraties uitgezet tegen het stikstofoverschot voor respectievelijk maïs, tijdelijk grasland en blijvend grasland. Voor tijdelijk grasland en maïs is een onderscheid gemaakt naar de fase in de rotatie.

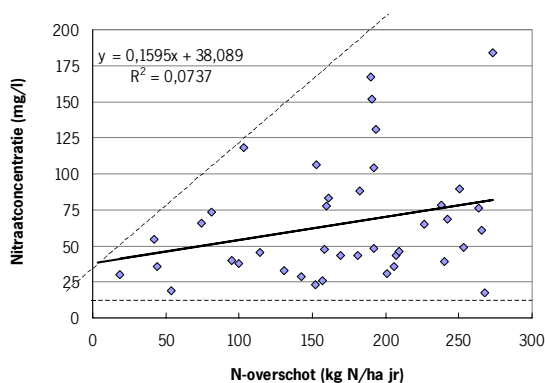
We zien dat de nitraatconcentraties onder maïspancelen sterk variëren over een kleine range van overschotten. Aan het diagram is te zien dat de variatie niet duidelijk verklaard wordt door de overschotten. Uitgaande van een lineair verband is de door het stikstofoverschot verklaarde variantie (R^2) in eerstejaars en derdejaars maïs kleiner dan 1%. In tweedejaars maïs is R^2 gelijk aan 25%. De overschotten onder tijdelijk gras verklaren de variantie van de nitraatuitspoeling maar voor een heel klein deel. De door het overschot verklaarde variantie in eerste en tweedejaars gras is kleiner dan 1%, in derdejaars gras is R^2 6%. De nitraatconcentratie onder blijvend grasland is ongeveer even duidelijk gerelateerd aan de overschotten als bij derdejaars tijdelijk gras ($R^2 = 7\%$).



Figuur 6.1. De nitraatconcentratie van eerste-, tweede- en derdejaarsmaispercelen uitgezet tegen de N-overschotten.



Figuur 6.2. De nitraatconcentratie van eerste-, tweede- en derdejaars tijdelijk graslandpercelen uitgezet tegen de N-overschotten.



Figuur 6.3. De nitraatconcentratie van blijvend graslandpercelen uitgezet tegen de N-overschotten. De gearceerde lijnen in het diagram geven de bandbreedte aan van nitraatconcentraties.

In Figuur 6.3 zijn de gebieden met stippellijnen gemarkeerd waarbinnen combinaties van overschotten en nitraatconcentraties worden aangetroffen. De bovenste lijn geeft een indicatie van de relatie tussen stikstofoverschotten en nitraat voor de 'gevoeligste situaties'. Als de gevoeligheid van een perceel voor nitraatuitspoeling niet bekend is, moeten we aannemen dat alle nitraatconcentraties binnen het gemarkeerde gebied kunnen voorkomen.

6.3 Conclusie

In de gegevensset van De Marke zien we geen aanwijzingen voor een kromlijng verband. De gegevens op De Marke geven dus geen aanwijzing voor de hypothese dat variatie in stikstofoverschotten nitraatconcentraties verhoogt.

7. Discussie

In deze algemene discussie wordt ingegaan op:

- verklaringen voor het niet waarnemen van een kromlijng verband in de gegevensset van De Marke en de geldigheid van de conclusie hierover buiten de context van De Marke;
- het zwakke verband in de waargenomen relatie tussen stikstofoverschot en nitraatconcentratie in het bovenste grondwater?;
- de rol van nalevering van stikstof uit de bouwvoor;
- hoe bij de bedrijfsvoering ingespeeld kan worden op variatie binnen een bedrijfssysteem.

Deze discussie wordt afgesloten met een synthese

7.1 Geen kromlijng verband in een bedrijfssysteem?

In hoofdstuk 6 werd vastgesteld dat we in de gegevensset van De Marke geen aanwijzingen zagen voor het optreden van een kromlijng verband tussen overschotten en nitraat. Dit was niet conform de verwachting die we in hoofdstuk 2 hebben geformuleerd. Verklaringen hiervoor zijn dat:

1. de range waarover het overschot varieert op De Marke te beperkt is om de niet-lineairiteit waar te nemen;
2. het beeld vertroebeld wordt door de ruis van andere beïnvloedende omgevingsfactoren die aanwezig zijn in het bedrijf;
3. de toedeling van nitraatconcentraties aan gewassen en jaargangen van gewassen niet klopt.

Ad 1

Uit een uitgebreide studie naar stikstofstromen in landbouwpercelen (Ten Berge, 2002) valt op te maken dat niet-recht evenredige toename van de hoeveelheid minerale stikstof die na de oogst in de bodem waargenomen wordt, bij gras pas optreedt bij stikstofdoseringen hoger dan 300 kg N/ha jr *boven* het punt van stikstofverzadiging van het gewas en bij maïs direct nadat de stikstofaanbod het verzadigingspunt overstijgt. Als we dit vertalen naar de stikstofoverschotten op De Marke dan lijkt het erop dat de bandbreedte van stikstofoverschotten op De Marke precies ophoudt waar niet-lineaire relaties waarneembaar beginnen te worden. Dat betekent dat variatie in N-overschotten tussen percelen geen item is voor bedrijven die hun N-overschotten trachten te beperken.

Ad 2

Bij inventarisatie van het effect van variatie binnen bedrijven op uitspoeling is de bedrijvencontext (met de variatie die zich daar daadwerkelijk voordoet) de enige relevante meetomgeving. In die meetomgeving is eventuele niet-lineairiteit in de relatie tussen overschotten en nitraatconcentratie van ondergeschikt belang, omdat er andere factoren zijn die de relatie meer beïnvloeden.

Ad 3

Als vuistregel wordt gehanteerd dat een nitraatconcentratie die is gemeten in een bepaald winterseizoen niet gerelateerd dient te worden aan het groeiseizoen ervoor, maar aan het groeiseizoen van een jaar eerder. Uit een andere analyse van de gegevens van De Marke bleek dat deze vuistregel met name voor grondwater dat op grotere diepte zit, niet geldig zou kunnen zijn. Er is voorzichtigheid geboden bij het toeschrijven van gemeten nitraatconcentraties aan een specifiek gewas.

De eerste twee verklaringen geven de context aan waarin de conclusie met betrekking tot de invloed van variatie op uitspoeling geldig is. De derde verklaring kan *bias* veroorzaken in de hier uitgevoerde analyse. Zolang hierover nog onzekerheden bestaan, zullen we deze mogelijkheid als een kanttekening bij interpretatie van gegevens moeten meenemen. Met deze kanttekening kan echter gesteld worden dat:

Er niets is te zien van een kromlijng verband tussen de N-overschotten en de nitraatconcentratie in een bedrijfs-systeem op droge zandgrond met voorkomende N-dosering van ongeveer 0 tot iets meer dan 100 kg N/ha jr in maïs en van 200 tot 300 kg N/ha jr in gras en met overschotten uiteenlopend van -100 kg N tot meer dan 100 kg N in maïs en van 40 kg N tot 300 kg N/ha jr in gras. Variatie verhoogt de gemiddelde nitraatconcentratie in dit bedrijfs-systeem dan ook niet.

Het blijft de vraag of het emissie-verhogende effect van variatie wel een rol speelt op bedrijven met gemiddeld hogere stikstofoverschotten en met grotere verschillen tussen de stikstofoverschotten per perceel. Dit zou kunnen blijken uit gegevens van bedrijven die niet voorlopen in het beperken van N-overschotten. Dergelijke bedrijven worden echter zelden intensief onderzocht. Op de voorlopersbedrijven in het landbouwkundig onderzoek (praktijk-cijfers 2, Koeien & Kansen, VEL- en VANLA en NIMF) was de bandbreedte van N-overschotten voor 2000 en 2001 respectievelijk -34 en -184 tot 522 en 620 kg N/ha jr op gras. Voor maïs was de bandbreedte voor deze jaren respectievelijk -59 en -104 tot 313 en 344 kg N/ha jr. Een analyse op één of enkele van deze bedrijven zou helderheid kunnen geven over de situatie op bedrijven met meer variatie.

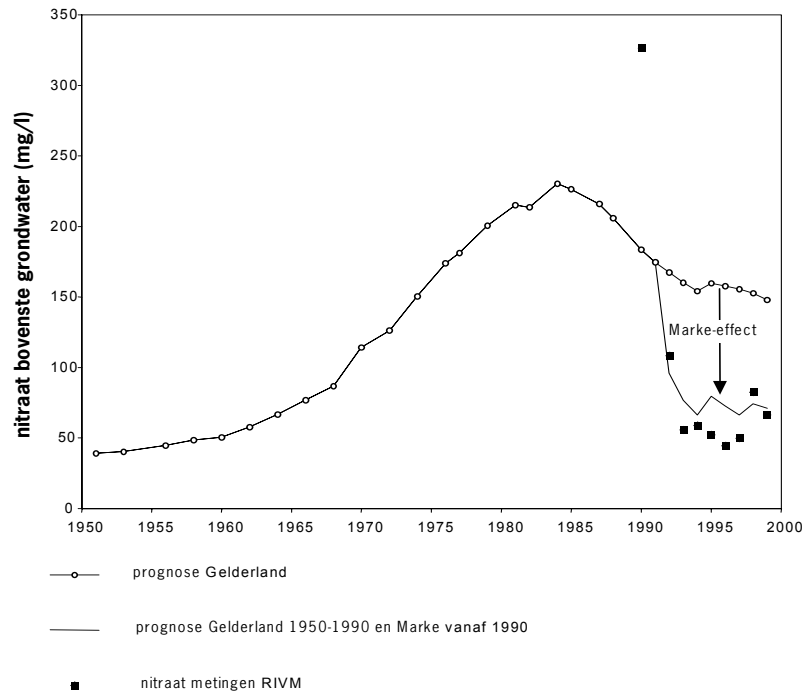
7.2 Notities over de relatie tussen N-overschotten en nitraatuitspoeling

Op basis van de diagrammen in hoofdstuk 6 lijkt het alsof stikstofoverschotten weinig effect hebben op nitraatconcentraties. Dat is in zijn algemeenheid onjuist voor melkveebedrijven, zoals blijkt uit resultaten van Koeien & Kansen (Oenema *et al.*, 2002).

De gewassen met een grote kans op hoge uitspoeling worden krap bemest: vergelijk maïs met gras. Fases in de rotatie waarin de kans op hoge uitspoeling extra groot is, worden zelfs nauwelijks bemest (eerstejaars maïs). De overschotten in 'moeilijke' onderdelen van de teelt zijn dan ook lager dan overschotten in 'makkelijker' onderdelen. Dat leidt soms tot het samengaan van lage overschotten en hoge nitraatconcentraties (eerstejaars maïs) en soms tot het samengaan van hoge overschotten en lage nitraatconcentraties (eerstejaars gras). Nu hebben we 'dwarsdoorsnedes' van het bodem/gewassysteem (homogene groepen van gewas en jaar in de rotatie) gemaakt waarbinnen de verstrengelingen tussen gewas, jaar in rotatie en bemesting niet meer voorkomen. In die dwarsdoorsnedes is echter niet alleen het gemiddelde overschot laag in de risicovolle onderdelen, maar ook het bereik. Zo komt het overschot in eerstejaars maïs niet boven de 100 kg N/ha jr, maar komen overschotten in tijdelijk gras voor die hoger zijn dan 300 kg N/ha jr.

Dat deze benadering van nutriëntenbeheer effect heeft op de nitraatuitspoeling werd al duidelijk uit het verloop van de gemiddelde nitraatconcentraties in de periode dat het areaal van De Marke overging van een gangbaar beheer naar 'De Marke nutriëntenbeheer'. Figuur 7.1 geeft dit weer.

Nutriëntenbeheer is dus meer dan het beperken van overschotten. De combinatie van beheer van de bouwvoor met de daarin opgeslagen stikstofvoorraad, toepassen van een geschikt, bij de omstandigheden passend teeltplan en het voorkomen van overdosering zijn allemaal aspecten die bijdragen aan beperking van nitraatconcentraties. Deze specifieke bodem-gerichte benadering van nutriëntenbeheer, leidt ertoe dat de relatie tussen N-overschotten en nitraat niet eenduidig is, ook niet in homogene gewasgroepen.



Figuur 7.1. Het effect van De Marke-beheer op nitraat in het bovenste grondwater. Schatting van de uitspoeling bij beheer conform de gangbare praktijk (onderbroken lijn met bolletjes) en de ontwikkeling op De Marke door toepassing van het nutriëntenbeheer (onderbroken lijn en blokken); (Aa, van der et al., 2003).

7.3 Tussen N-overschot en uitspoeling; nalevering uit de bodem

Overschotten op de bodembalans zijn niet allesbepalend voor nitraatuitspoeling, omdat bodemprocessen de nitraatconcentratie ook beïnvloeden⁵:

- verschillen in mineralisatie van stikstof die eerder opgeslagen is in de bodemvoorraad;
- verschillen in binding van niet door gewassen opgenomen stikstof in de bouwvoor en
- verschillen in denitrificatie.

Een gedetailleerde analyse van het effect van deze bodemprocessen op de nitraatconcentratie valt buiten het kader van deze studie. We kunnen wel enkele grove contouren schetsen. Ten Berge heeft gepostuleerd dat gewasproductie op vruchtbare bodems⁶ samengaat met lagere overschotten dan productie op onvruchtbare bodems (Ten Berge *et al.*, in press). De uitspoeling van nitraat is bij eenzelfde overschot hoger op vruchtbare bodems dan op onvruchtbare bodems. Dit is te verklaren doordat stikstof die is opgeslagen in de bouwvoor feitelijk een flux van stikstof naar gewassen opgang houdt. Hierdoor is de stikstofafvoer met gewassen hoog bij een relatief lage bovengrondse stikstofaanvoer (lage overschotten dus). Bovendien houdt de gemineraliseerde stikstof een flux van stikstof naar het grondwater opgang (hoge nitraatconcentraties dus). Bij onvruchtbare bodems is de ondergrondse aanlevering naar gewassen laag en is er dus veel bovengrondse stikstofaanvoer nodig (hoge overschotten), maar is ook de flux naar het grondwater laag (lage nitraatconcentraties).

⁵ Deze variatie doet zich voor tussen percelen en tussen jaren (waarin de weersomstandigheden telkens verschillend zijn). Verdunningseffecten door variatie van het neerslagoverschot tussen jaren speelt een beperkte rol omdat de nitraatconcentraties daarvoor gecorrigeerd zijn.

⁶ In dit verband wordt hiermee bedoeld: bodems met veel organisch N in de bouwvoor.

We mogen veronderstellen dat de bouwvoor minder labiel (beschikbaar) organisch gebonden stikstof bevat naarmate de bouwlandfase (met maïs) langer duurt. Anderzijds mogen we veronderstellen dat deze voorraad toeneemt naarmate de graslandfase langer duurt. Tenslotte zal blijvend grasland meer beschikbaar organisch gebonden stikstof bevatten dan tijdelijk grasland. Als dat zo is, dan kunnen we de stelling van Ten Berge toepassen op De Marke en mogen we verwachten dat de verhouding van nitraat ten opzichte van het stikstofoverschot afneemt in de volgorde eerstejaars, tweedejaars, derdejaars maïs. De verhouding zal toenemen in de volgorde eerstejaars, tweedejaars, derdejaars gras. Tenslotte zal de verhouding in blijvend grasland hoger zijn dan in tijdelijk grasland. In Tabel 7.1 zien we dit verwachtingspatroon bevestigd voor blijvend gras en tijdelijk gras en voor de jaren van de maïsrotatie. Bij tijdelijk gras zijn de overschotten consistent met de verwachting, maar de nitraatconcentraties van eerstejaarsgras niet.

Tabel 7.1. *De veronderstelde ontwikkeling van de voorraad labiele organisch gebonden stikstof in de bouwvoor en de overschotten en nitraatconcentraties in onderdelen van de gewasteelt.*

	Hvh. Labiel N in de bouwvoor (rel)	Overschot	Nitraatconcentratie (mg/l)
Blijvend gras	+	169	65
Tijdelijk gras	-	201	42
Maïs			
1 ^e jaar	+	-56	89
2 ^e jaar	0	71	82
3 ^e jaar	-	94	78
Tijdelijk gras			
1 ^e jaar	-	219	46
2 ^e jaar	0	196	32
3 ^e jaar	+	186	47

In grote lijnen is het beeld op De Marke dus in overeenstemming met de stelling van Ten Berge. In deze denklijn ligt dan ook een mogelijkheid om aanvullende indicatoren te vinden voor nitraatuitspoeling. Om deze analyse te verdiepen door expliciet data van de hoeveelheid organisch gebonden stikstof bij de analyse te betrekken.

7.4 Omgaan met variatie binnen een bedrijfssysteem

In deze analyse hebben we ons gericht op het effect van variatie van stikstofdosering en variatie van stikstofoverschotten op de nitraatconcentratie. Als variatie de nitraatconcentratie verhoogt, zou geconcludeerd kunnen worden dat variatie zoveel mogelijk vermeden dient te worden. De werkelijkheid ligt echter iets genuanceerder. Variatie op zich dient niet vermeden te worden maar alleen de variatie die de nitraatuitspoeling verhoogt. Als de relatie tussen het stikstofoverschot op verschillende percelen door één curve met een hogere machtsfunctie beschreven wordt, dan is variatie van het overschot inderdaad te vermijden (dit werd al geïllustreerd in Tabel 2.1). Als echter op de percelen verschillende relaties geldig zijn, en deze zijn bekend, dan kan ingespeeld worden op die verschillen door het stikstofoverschot sterker te beperken op de percelen waar stikstofoverschotten het snelst tot uitspoeling leiden. Dit wordt ook duidelijk uit Figuur 4.5 door te bedenken dat de verschillende curvers in 4.5 B niet betrekking hebben op verschillende gewassen maar op verschillende percelen. Het is eenvoudig in te zien dat differentiatie van het overschot in 60 kg N/ha jr op het perceel dat het gevoeligst is voor nitraatuitspoeling, 100 op het gemiddelde perceel en 200 kg N/ha jr op het perceel dat het ongevoeligst is voor uitspoeling tot een lagere nitraatconcentratie leidt dan het realiseren van een gemiddelde overschot van 120 kg N/ha jr zonder onderscheid naar percelen (Figuur 4.5 A).

Het is de vraag of de nitraatconcentratie op De Marke verder beperkt kan worden door meer rekening te houden met verschillende perceelseigenschappen. Dit zou georganiseerd kunnen worden op twee niveaus:

1. Rekening houden met verschillende benuttingpercentages op percelen (om gemiddeld uit te komen op een laag stikstofoverschot);
2. Rekening houden met verschillen in niraatuitspoeling op percelen (bij een gegeven stikstofoverschot).

Een verkenning van de perspectieven van deze benadering is beschreven in het rapport Van beheer naar Resultaat; ontwikkelingen in het bodem- en gewasbeheer op De Marke (Verloop *et al.*, in druk).

7.5 Synthese

Op De Marke zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat niet geplande variatie van overschotten de niraatuitspoeling verhoogt.

Deze conclusie is gebaseerd op de constatering dat een kromlijng verband dat afbuigt naar hoge niraatwaarden zich in het bedrijfssysteem niet manifesteert.

De context waarin deze waarnemingen gedaan zijn, is van groot belang. Te noemen zijn:

- De droogtegevoelige zandgrond met een diepe ontwatering;
- De vruchtwisseling waarin variatie van overschotten bij de beheerstrategie hoort;
- Het beperkte bereik van overschotten: van -100 kg N tot meer dan 100 kg N in maïs en van 40 kg N tot 300 kg N/ha jr in gras;
- Het beperkte bereik van stikstofaanvoer: van ongeveer 0 tot iets meer dan 100 kg N/ha jr in maïs en van 200 tot 300 kg N/ha jr in gras.

De rotatie heeft een grote invloed op overschotten, evenals de jaargang van een gewasteelt in de rotatie. De georganiseerde variatie in het teeltplan verlaagt de niraatuitspoeling. Nutriëntenbeheer op De Marke is dan ook meer dan het beperken van overschotten. De combinatie van beheer van de bouwvoor met de daarin opgeslagen stikstofvoorraad, toepassen van een geschikt en bij de omstandigheden passend teeltplan, en het voorkomen van overdosering zijn allemaal aspecten die bijdragen aan beperking van niraatconcentraties.

De gegevens op De Marke bevestigen het beeld dat een groter gehalte van organisch gebonden N in de bouwvoor een verlagend effect heeft op het overschot, maar een verhogend effect heeft op de niraatconcentratie.

8. Literatuur

- Aa, M. van der, J. Verloop, J. Griffioen & H.P. Broers, 2003.
Omzetting van nitraat in de ondergrond; kunnen we daarop vertrouwen?; Discussie naar aanleiding van waarnemingen op proefboerderij De Marke. Tijdschrift Bodem, oktober 2003, nr. 5, Kluwer.
- Aa, M. van der & H.P. Broers, 2003.
Temporele variatie bij grondwaterkwaliteitsmonitoring; het belang van meetmoment en monstervolume. Stromingen 9, 2003, nr. 1.
- Aarts, H.F.M. *et al.*, 2003.
Betekenis wisselbouw voor melkveebedrijf op lichte zandgrond; Analyse van resultaten proefbedrijf 'De Marke'. De Marke Rapport 36, Plant Research International Rapport 46.
- Berge, H.F.M. ten, In press.
Nitrogen rate, surplus or residue? Performance of selected indicators for nitrate leaching.
- Berge, H.F.M. ten, 2002.
A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farmings systems in the Netherlands. Reeks sturen op Nitraat 2.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts & R.A. Donker, 1992.
Melkveehouderij bij stringente milieunormen; Bedrijfs- en onderzoeksplan van het Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu. De Marke rapport nr. 1, CLM 98-1992, CABO-DLO verslag 162, PR intern rapport 141, Hengelo.
- Boumans, L.J.M., B. Fraters & G. van Drecht, 2001.
Nitrate in the upper groundwater of 'De Marke' and other farms. NJAS 49 (2001), 163-177.
- Drecht, G. van *et al.*, 1991.
Berekening van de nitraatuitspoeling naar het grondwater met behulp van eenvoudige modellen. Rapport van het IKC-V, RIVM en SC.
- Hack ten Broeke, M.J.D., 2001.
Nitrate leaching to groundwater at experimental farm 'De Marke' and other Dutch sandy soils. NJAS, 49, 195-205.
- Meer, H.G. van der.
Stikstofbenutting en -verliezen van gras- en maïsland. Stand van zaken in het onderzoek naar de stikstofproblematiek van gras- en maïsland. Werkgroep Stikstofproblematiek van gras- en maïsland, Wageningen.
- Middeloo, N. & H.F.M. Aarts, 1991.
De invloed van bodemeigenschappen, bemesting en gebruik op de opbrengst en de stikstofemissies van grasland op zandgrond. Verslag 144, CABO-DLO, Wageningen.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselveiligheid, 2003.
Brief aan De Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Kenmerk: DL. 2003/3528.
Betreft: Hofarest Nitraatrichtlijn. TRC 2003/8504.

Oenema, J., H.F.M. ten Berge, C.J. de Jong & F.B. Fraters, 2002.

Stikstofoverschotten in 'Koeien & Kansen' en de relatie met nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater.
Koeien & Kansen rapport 11, PRI nr. 49.

Schröder, J.J., 1999.

Naar een beter beheer van stikstof in de teelt van snijmaïs op zandgrond. In: Stikstofbenutting van maïs; theorie en praktijk.

Steenvoorden, J.H.A.M., 1988.

How to reduce nitrogen losses in intensive grassland management. Ecological Bulletins 39. 126-130.

Velthof, G.L., 1998.

Dossier nitraat: de nitraatuitspoeling uit droge zandgrond: een overzicht.

Verloop, J., J. Oenema & G.J. Hilhorst., 2004.

Van beheer naar resultaat; ontwikkelingen in het bodem- en gewasbeheer op De Marke (in druk).

Bijlage I.

Overzicht van de N-overschotten per perceel in 1999, 2000 en 2001

Tabel 1. Stikstofoverschotten op de perceelsbalans: gemiddelden, standaarddeviatie en het bereik. De afzonderlijke resultaten per perceel zijn opgenomen in Bijlage I.

	N-overschot*		
	1999	2000	2001
Gemiddelde	134	76	59
Stdev	116	74	74
Laagste waarde	-108	-124	-110
Hoogste waarde	270	170	168

* Dit zijn niet gewogen gemiddelden van de percelen. Bij bepaling van de bodembalans op bedrijfsniveau wordt normaliter een weging toegepast naar de oppervlaktes van de percelen.

Tabel 2. De overschotten per perceel in 1999 t/m 2001.

Perceelsnr.	N-overschot		
	1999	2000	2001
1	-57	78	130
2	42	81	114
3	6	110	44
4	5	118	104
5	270	79	127
6	227	-124	-61
7	215	-110	-49
8	265	103	18
9	238	74	41
10	-108	-25	120
11	-95	-28	134
12	226	170	88
13	231	156	131
14	242	81	99
15	205	114	94
16	63	143	38
17_1	210	105	77
17_2	170	85	38
19	2	100	144
20	241	104	168
21	62	59	54
22	-4	10	73
k1	209	142	-121
k2	199	126	-110
k3	250	152	43
18	168	123	-20
23		37	67
Gemiddelde	134	76	59
Stdev	116	74	74
Min	-108	-124	-110
Max	270	170	168