

32/umb (574) 2^e ex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

**Invloed van vernatting op de stikstofopname van gewassen
en op het stikstofoverschot van bedrijven**

**Voorstudie naar mogelijkheden om bij schaderegelingen rekening te houden
met stikstof**

**I.G.A.M. Noij
H.F.M. Aarts (AB-DLO)
J. Roelsma**

Rapport 574

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

29 JAN. 1998

bn 948992 *

REFERAAT

I.G.A.M. Noij, H.F.M. Aarts en J. Roelsma, 1997. *Invloed van vernatting op de stikstofopname van gewassen en op het stikstofoverschot van bedrijven; voorstudie naar mogelijkheden om bij schaderegelingen rekening te houden met stikstof*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 574. 60 blz.; 14 fig.; 15 tab.; 22 ref.

Voor schaderegelingen is het nodig de invloed van vernatting op de landbouw te kwantificeren. Daarbij moet rekening worden gehouden met het effect van grondwaterstandsverhoging op de stikstofopname van gewassen en het stikstofoverschot van bedrijven. Uit de analyse van veldproeven en modelresultaten blijkt dat het effect van vernatting op de stikstofopname kan oplopen tot boven $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ op veengrond en tot minder dan $75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ op zandgrond. Het effect op het stikstofoverschot van een melkveebedrijf kan groter en kleiner zijn dan het effect op stikstofopname, afhankelijk van de strategie van de veehouder. De financiële schade kan op veengrond meer dan $f 1000$ (zandgrond $f 400$) per ha bedragen.

Trefwoorden: landbouw, model, schade, stikstof, stikstofoverschot, veldproef, vernatting

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

DLO-Staring Centrum 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	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Doel	11
1.3 Aanpak van de studie	12
1.4 Opbouw van het rapport	14
2 Grasland	15
2.1 Keuze van proeven en proefopzet	15
2.2 Bodemtypen	15
2.3 Resultaten op zandgrond	17
2.4 Resultaten op veengrond	19
2.5 Conclusies	22
3 Akkerbouw	25
4 Modelberekeningen	27
4.1 Het model ANIMO	27
4.2 Beerze-Reusel-studie	29
4.2.1 Opzet van de studie	29
4.2.2 Resultaten	31
4.3 Vierde-Nota-studie	35
4.3.1 Opzet van de studie	35
4.3.2 Resultaten	38
4.4 Conclusies	44
5 Discussie	47
5.1 Algemeen	47
5.2 Effect op perceelsniveau	47
5.2.1 Grasland	47
5.2.2 Akkerbouw	49
5.3 Effecten in bedrijfsverband	50
6 Conclusies en aanbevelingen	53
6.1 Conclusies	53
6.2 Aanbevelingen	54
Literatuur	57
<i>Aanhangsel</i>	
Beschrijving van de gebruikte bodemeenheden uit de Vierde-Nota-studie	59

Woord vooraf

In de periode mei tot oktober 1996 heeft DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO) samen met DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) in opdracht van de toenmalige Dienst Landinrichting en Beheer van Landbouwgronden een voorstudie uitgevoerd naar effecten van vernatting op de stikstofhuishouding. Zoals overeengekomen met de opdrachtgever bestond het resultaat van de voorstudie uit een briefrapport. In overleg met de programmaleider Waterbeheer is daarna besloten het briefrapport te bewerken tot dit SC-rapport.

De opdracht was beperkt tot herinterpretatie van reeds uitgevoerd onderzoek. Dit legt natuurlijk een beperking op aan de te bestuderen situaties en de analyse. We hebben gebruik gemaakt van de resultaten van de modelstudie naar het Stroomgebied van de Beerze en de Reusel, die SC-DLO heeft uitgevoerd in opdracht van de Provincie Noord-Brabant. We hebben ook gebruik gemaakt van een bewerking van deze resultaten als bijdrage aan de Projectgroep Verliesnormen (Van Eck en Meijs, 1995). Wij zijn dank verschuldigd aan Piet Groenendijk die deze gegevens voor ons heeft ontsloten.

Ook hebben we de resultaten gebruikt van de modelstudie naar de stikstof- en fosfaatbelasting van grond- en oppervlaktewater ten behoeve van de Watersysteemverkenningen (WSV) voor de Vierde Nota Waterhuishouding, die SC-DLO in opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en in samenwerking met hetzelfde RIZA en het Waterloopkundig Laboratorium heeft uitgevoerd. We bedanken Hendrik Boogaard voor zijn hulp bij het ontsluiten en bewerken van de resultaten.

Voor de resultaten van veldproeven op grasland hebben we gebruik gemaakt van de proefserie PAW970. We zijn dank verschuldigd aan Teus Baan Hofman die de basisgegevens voor ons heeft bewerkt.

Toon van der Putten bedanken we voor het berekenen van het effect op de bedrijfsoverschotten.

Samenvatting

In opdracht van de Dienst Landinrichting en Beheer van Landbouwgronden hebben we een voorstudie verricht naar het effect van vernatting op de stikstofopname van landbouwgewassen en het daarmee samenhangende stikstofoverschot. Het doel van de voorstudie was om kwantitatief inzicht te verkrijgen in de invloed van de stikstofhuishouding op de schadevorming op landbouwbedrijven door vernatting. Dit inzicht is nodig om te kunnen beoordelen of de huidige methode van effectbeschrijving met de HELP-tabellen, die geen rekening houdt met stikstof zou moeten worden aangepast.

Binnen het kader van deze voorstudie hebben we slechts gebruik kunnen maken van resultaten van reeds uitgevoerd onderzoek, dat niet met het hier beoogde doel was opgezet. Voor grasland hebben we gebruik gemaakt van veldproeven uit de periode 1964-1975 op verschillende locaties op zand- en veengrond met reeds lang bestaande verschillen in ontwatering. Er is één veldproef geanalyseerd, waar nat en recent ontwaterd veen naast elkaar lagen. We hebben geen veldproef gevonden waar het effect van verhoging van het grondwaterpeil is bestudeerd.

Voor de akkerbouw is alleen literatuurstudie verricht. Het betreft proefveldgegevens van kleigrond in Oost-Groningen uit de periode na de Tweede Wereldoorlog met verschillen in ontwatering en van zavelgrond in oostelijk Flevoland uit de periode 1959-1963 met verschillen in ontwatering in winter en voorjaar.

Vervolgens is gebruik gemaakt van modelberekeningen die zijn uitgevoerd in het kader van een studie naar de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Beerze en de Reusel (zandgrond, Noord-Brabant). We hebben voor grasland verschillen tussen locaties met verschillende ontwatering geanalyseerd en het effect van vernatting op dezelfde locatie. Daarnaast zijn voor een aantal bodemtypen resultaten voor gras en maïs geselecteerd uit de studie naar de huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat in het kader van de Watersysteemverkenningen (WSV). Deze resultaten zijn uitsluitend op verschillen in ontwatering tussen locaties geanalyseerd.

Uit de resultaten van de veldproeven en de modelberekeningen blijkt dat het effect van grondwaterstand op de stikstofopname niet lineair is. Op droogtegevoelige zandgrond is er een positief effect van grondwaterstandsverhoging. De stikstofopname neemt met ongeveer $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ toe. Als de grondwaterstand hoger in de wortelzone (ongeveer 50 cm - mv.) doordringt wordt het effect van vernatting negatief als gevolg van verminderde mineralisatie en stikstofterugwinning. Voor grasland op veengrond kan het effect van vernatting op de stikstofopname en het perceeloverschot tot boven $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ oplopen, op zandgrond blijft het veelal beperkt tot minder dan $75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$.

Vervolgens is met een model voor een melkveebedrijf voor een viertal bedrijfs-situaties geanalyseerd hoe het effect van vernatting op de stikstofopname van gras doorwerkt in het bedrijfsoverschot. Wanneer de veehouder het effect van vernatting compenseert door extra stikstof toe te dienen zal het bedrijfsoverschot sterker

toenemen dan het perceeloverschot. Als de veehouder reageert met extra aankoop van ruwvoer zal het effect op het bedrijfsoverschot geringer zijn. Hierbij moet worden aangetekend dat het bedrijfsmodel geen rekening houdt met het effect van vernatting op de ruwvoerkwaliteit, waardoor het effect van vernatting op het overschot wordt onderschat. Het bedrijfsmodel houdt daarentegen ook geen rekening met eventuele compensatie binnen het bedrijf van de negatieve effecten van vernatting op natte percelen door de positieve effecten op droge gronden. De financiële schade als gevolg van geringere stikstofbeschikbaarheid kan oplopen tot meer dan f 1000 per ha op veengrond en meer dan f 400 per ha op zandgrond.

Voor de akkerbouw blijft het effect van vernatting beperkt tot één of enige kg stikstof per cm grondwaterstandsverhoging, als het gewas ook in de periode met verhoogde grondwaterstand groeit. Als het gewas na de natte voorjaarsperiode groeit, zoals maïs, is het effect op zandgrond nihil. Op kleigrond is er dan toch nog een effect via de bodemstructuur.

De effecten van vernatting op stikstofopname en -overschot, en via stikstof op het bedrijfsresultaat, zijn vaak niet verwaarloosbaar. Daarom is het noodzakelijk om bij de effectbeschrijving van ontwatering en vernatting op de landbouw ook rekening te houden met stikstof. Aanbevolen wordt om het aspect stikstof bij de effectbeschrijving met bodem en water integreren omdat de benutting van stikstof een sterke interactie vertoont met de waterhuishouding, het bodemtype en de bedrijfsvoering. Dit instrumentarium zou dan vervolgens op een groter aantal representatieve bedrijfssituaties moeten worden toegepast, om schaderegelingen te kunnen onderbouwen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In Nederland is het beleid erop gericht, om verdroging in het landelijk gebied tegen te gaan. Antiverdrogingsmaatregelen kunnen van invloed zijn op de landbouw. Het beperken van beregening verlaagt de gewasproductie, vooral in droge jaren op droogtegevoelige gronden. Het verhogen van de grondwaterstand door waterhuishoudkundige maatregelen kan een zogenaamde vernatting van landbouwgronden tot gevolg hebben. Dit uit zich o.a. in verminderde draagkracht, een korter groeiseizoen, meer verliezen, verminderde kwaliteit van ruwvoer en soms ook meer droogteschade wanneer de beworteling van de gewassen door de nattere voorjaarsomstandigheden wordt beperkt. Beoogd wordt deze effecten te kwantificeren met behulp van de zogenaamde HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987) die o.a. worden toegepast in landinrichtingsprojecten en voor het onderbouwen van schaderegelingen.

Ten behoeve van de uitvoering van antiverdrogingsmaatregelen wordt thans gewerkt aan een leidraad voor schadevergoedingsregelingen die kan worden toegepast bij vernatting op landbouwbedrijven. Knelpunt daarbij is dat in de HELP-tabellen geen rekening gehouden wordt met de invloed via de stikstofhuishouding. Het vermoeden is dat als gevolg van verminderde stikstofmineralisatie en verhoogde denitrificatie het gewas na vernatting minder stikstof tot zijn beschikking heeft. Tot op heden was de invloed op de schadevorming via stikstof beperkt tot kosten voor extra meststoffen. Nu de bedrijfsvoering van landbouwbedrijven echter in toenemende mate wordt bepaald door de mestwetgeving en het bedrijfsresultaat door de hoogte van nutriëntenoverschotten, wordt het belang van stikstof op de schadevorming steeds groter. Het is nu de vraag of het nodig is om de invloed van stikstof op vernattingsschade te kwantificeren en dit aspect te integreren in een instrumentarium voor het inschatten van schade op het bedrijf.

1.2 Doel

Het doel van de studie is om kwantitatief inzicht te verkrijgen in de invloed van de stikstofhuishouding op de schadevorming op landbouwbedrijven door vernatting. Dit inzicht is nodig om te kunnen beoordelen of de huidige methode van effectbeschrijving met de HELP-tabellen, die onder meer in landinrichtingsprojecten en bij schadeonderzoek door verdroging of vernatting wordt gehanteerd, zou moeten worden aangepast.

In het kader van deze voorstudie is het niet mogelijk een volledig overzicht te geven van de effecten van vernatting op de stikstofhuishouding; we hebben alleen gebruik gemaakt van resultaten van reeds uitgevoerd onderzoek. Dit legt natuurlijk een beperking op aan de te bestuderen situaties en de analyse. We hebben de studie toegespitst op grasland, omdat dat het meeste voorkomt in gebieden waar natschade door vernatting kan optreden.

1.3 Aanpak van de studie

Voor de studie zijn zowel resultaten van modelstudies als van veldproeven gebruikt. Het voordeel van het gebruik van resultaten van modelstudies is dat daarmee meer verschillende situaties kunnen worden bestudeerd. Daar staat tegenover dat het belang dat aan modelresultaten wordt gehecht samenhangt met de mate waarin validatie heeft plaatsgevonden en met het vertrouwen in de procesformuleringen. Dit probleem geldt niet voor de resultaten van veldproeven, maar daar staat tegenover dat die resultaten alleen gelden voor de plaats waarop en de jaren waarin de proef plaatsvond. Daarom hebben we gekozen voor de combinatie.

De resultaten van de gebruikte veldproeven hebben betrekking op verschillen in hydrologie **tussen locaties**. Het effect van verschillen in hydrologie op de stikstofhuishouding is dan dus verstrengd met mogelijke andere standplaatsfactoren zoals bodemgesteldheid. Dit geldt ook voor de meeste modelresultaten, maar hier kun je er wel voor zorgen dat je verschillende locaties kiest met dezelfde bodem. In beide gevallen gaan we ervan uit dat de stikstofhuishouding en organische stofhuishouding in evenwicht is met de bijbehorende hydrologie. De verschillen tussen natte en droge omstandigheden die je daarbij aantreft zijn waarschijnlijk kleiner dan wanneer het verschil tussen nat en droog recent is aangebracht. Bij recente wijziging is het evenwicht namelijk verstoord en zal opbouw (vernatting) of afbraak (diepere ontwatering) van organische (stik)stof optreden. In geval van evenwicht maakt het niet uit of de verschillen zijn ontstaan door vernatting of door verdroging.

Om de effecten van hydrologie te kwantificeren zijn dus twee behandelingen (nat en droog) naast elkaar **op dezelfde locatie** nodig. Vanuit het verleden zijn wel enige proeven op veengrond bekend waar het effect van recente diepere ontwatering is bestudeerd (§ 2.4).

Deel 4 uit de Beerze-Reusel-studie (Van der Bolt et al., 1996; Van der Bolt et al., 1996a; Van der Bolt et al., 1996b; Groenendijk en Van der Bolt, 1996) richt zich op het effect van waterhuishoudkundige ingrepen op de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater. Hierdoor is het mogelijk om de stikstofhuishouding te vergelijken tussen een relatief nat en relatief droog scenario op dezelfde plek. We laten dan het effect zien van vernatting na een periode van 30 jaar.

Als gevolg van de aanpak en de beperkingen van deze studie was het niet mogelijk a priori bewust aangebrachte verschillen in hydrologie te bestuderen. We waren wat dat betreft afhankelijk van het beschikbare materiaal. In de veldproeven is op veengrond sprake van goed en slecht ontwaterd, zonder situaties ertussenin. Op de zandgronden hebben we drie ontwateringsklassen. In de modelstudie is bij de vergelijking op dezelfde locatie ook alleen sprake van een nat en een droog scenario, zonder tussenstappen. Bij de vergelijking tussen locaties is wel sprake van spreiding in de grondwaterstandsverschillen.

Er is ook niet expliciet rekening gehouden met eventuele verschillen in het verloop van de grondwaterstand, als gevolg van verschillen in waterbeheer of plaats in het landschap. Verschillen zijn slechts gekarakteriseerd met GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand), Gt of gemiddelde grondwaterstand.

Bij het bestuderen van de effecten van hydrologie op de stikstofhuishouding speelt het **weerjaar** natuurlijk een belangrijke rol. De proefveldserie PAW970 viel in de periode 1964-1973 en er kon een grof onderscheid worden gemaakt in natte, droge en gemiddelde jaren (hoofdstuk 2). In de Beerze-Reusel-studie (par. 4.2) studie is dezelfde weerjaarseeks gebruikt zowel voor de uitgangssituatie (1990) als voor de scenarioperiode (2020). De weerjaarseeks eindigt steeds met drie gemiddelde weerjaren. Het jaar 1990 wordt gebruikt voor de vergelijking tussen verschillende locaties. Voor het jaar 2020 kunnen we vergelijken tussen een nat en droog scenario op dezelfde locatie.

Uit de Vierde-Nota-studie hebben we resultaten gebruikt van de hydrologische weerjaren 1975 (ca. 10% droog) en 1984 (ca. 90% droog).

Het gaat in deze studie om die aspecten van de **stikstofhuishouding** die invloed hebben op schade voor de landbouw. Omdat in de modelstudies niet de productie is berekend, hebben we gekozen voor weergave van het effect op de **gewasopname**. Deze bepaalt onder de bestudeerde omstandigheden grotendeels de productie van het gewas. De gewasopname vat de effecten op mineralisatie, denitrificatie en het opnameproces zelf als het ware samen, en kan worden opgevat als een afspiegeling van de stikstofbeschikbaarheid voor het gewas. Als deze vermindert kan de boer ervoor kiezen stikstof middels bemesting aan te vullen. Bij de analyse van de veldproeven hebben we ook de effecten op de opbrengst betrokken.

We willen ook de vertaling naar **overschotten** maken. Overschotten kunnen op verschillende manieren worden gedefinieerd. In de modelstudies waarvan hier gebruik wordt gemaakt was men vooral geïnteresseerd in de uitspoeling. Het perceeloverschot is daar gedefinieerd als bemesting + depositie – netto-gewasopname – vervluchtiging en is dus samengesteld uit denitrificatie, opbouw van organische stikstof en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Dit betekent dat een eventueel effect van vernatting op de ammoniakvervluchtiging (en daarmee het overschot) niet is meegenomen. Nattere omstandigheden zouden extra vervluchtiging uit urineplekken kunnen veroorzaken, maar daar houden de modellen nog geen rekening mee. In de situaties die we bestuderen heeft de hydrologie geen invloed op de bemesting, de depositie of de vervluchtiging. Verschillen in gewasopname zijn dan dus gelijk aan de verschillen in perceeloverschot.

In het gebruikte uitspoelingsmodel is het landbouwbedrijf niet opgenomen, de bemesting is invoer voor het model. Hierdoor is een rechtstreekse doorvertaling naar **bedrijfsoverschotten** niet mogelijk. Indirect zullen we dat doen in § 5.3 met behulp van het model FARMMIN (Van der Putten en Van der Meer, 1995).

Voor de **akkerbouw** hebben we slechts een zeer beperkt literatuuronderzoek gedaan (hoofdstuk 3). De belangstelling hiervoor is in het kader van vernatting ook geringer dan voor grasland. Landbouwkundige effecten van vernatting worden eerder verwacht in veenweidegebieden en in de nattere delen van de zandgebieden van Nederland, waar grasland overheerst.

1.4 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 behandelen wij de resultaten van de veldproeven op grasland, hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de literatuurstudie voor de akkerbouw. Hoofdstuk 4 behandelt de modelstudies: paragraaf 4.2 gaat over de Beerze-Reusel-studie, 4.3 over de Vierde-Nota-studie. Paragraaf 4.1 gaat in op het hierbij gebruikte model ANIMO.

In hoofdstuk 5 brengen wij de resultaten van veldproeven en modellen met elkaar in verband. Het ingeschatte stikstofeffect van vernatting op perceelsniveau (par. 5.2) gebruiken we voor de inschatting van de effecten in bedrijfsverband (par. 5.3). Tenslotte trekken wij in hoofdstuk 6 conclusies (par. 6.1) en doen wij aanbevelingen (par. 6.2).

2 Grasland

2.1 Keuze van proeven en proefopzet

Aan de proeven die voor analyse in aanmerking komen worden de eisen gesteld dat ze gelegen zijn op zand of veen, dat de objecten verschillen in vochthuishouding, dat de proeven meerdere jaren op eenzelfde plek zijn voortgezet en dat naast de drogestofopbrengst ook de stikstofopbrengst is vastgesteld. Het aantal geschikte proeven is daardoor beperkt.

In 1964-1973 zijn proeven uitgevoerd op verschillende grondsoorten bij verschillende vochttoestanden: de serie PAW970 (Steenbergen, 1974, 1977). Het onderzoek was gericht op het vinden van de economisch optimale stikstofgift. Er werden telkens drie proefvelden aangelegd op normaal vochthoudend en nat veen en op droge, normaal vochthoudende en natte zandgrond. De proefvelden op veengrond lagen op verschillende plaatsen in Zuid-Holland, die op zandgrond op verschillende plaatsen in Gelderland. De proefvelden werden aangelegd op percelen met een oude grasmat van goede botanische samenstelling. Op elk proefveld werden vijf blokken aangelegd, elk met één onbemest object en vijf stikstoftrappen (100, 200, 300, 400 en 500 kg·ha⁻¹·j⁻¹). Per jaar werd één blok gebruikt voor de bepaling van de opbrengst – door te maaien – zodat pas na vijf jaar op hetzelfde blok teruggekomen hoefde te worden. Deze opzet werd gekozen om te voorkomen dat door continu maaien de graszode teveel zou veranderen. De proefveldhouders waren vrij om het gedeelte dat niet voor opbrengstbepaling werd gebruikt naar eigen believen te maaien of te beweiden. Ook stalmest mocht door hen in de winter worden toegediend, ook op het ‘onbemeste’ object.

Om de landbouwkundige effecten van diepere ontwatering op veengrasland te bestuderen werd 1970-1975 op proefboerderij Zegveld onderzoek uitgevoerd waarbij onder normale bedrijfsomstandigheden de gebruiksmogelijkheden van veengrasland bij een hoog en een verlaagd slootpeil werden vastgesteld (PR11, Boxem en Leusink, 1978). Daartoe werd 30 ha bosveengrond opgesplitst in twee gedeelten. Op de ene helft werd het slootpeil gehandhaafd op 25 cm, op het andere verlaagd naar 75 cm. Deze bedrijfs gedeelten werden onafhankelijk van elkaar geëxploiteerd. Op beide gedeelten werden proefvelden met stikstoftrappen aangelegd.

2.2 Bodemtypen

In de proefveldenserie PAW970 bestaat het profiel van de veengronden uit een goed veraarde en intensief doorwortelde bovenlaag met daaronder weinig of niet veraard broekveen of zeggeveen, waarin zich nogal wat houtresten bevinden. De dikte van deze bovenlaag is bij normaal vochthoudende veengronden 25 tot 35 cm en bij natte gronden 15 tot 28 cm. De profielen van de droge zandgronden bestaan uit een 20 tot 25 cm dikke bovenlaag welke zwak humeus en vaak wat zwak lemig is. Daaronder komt tot 50 à 70 cm diepte humus- en leemarm los zand voor met daaronder vast

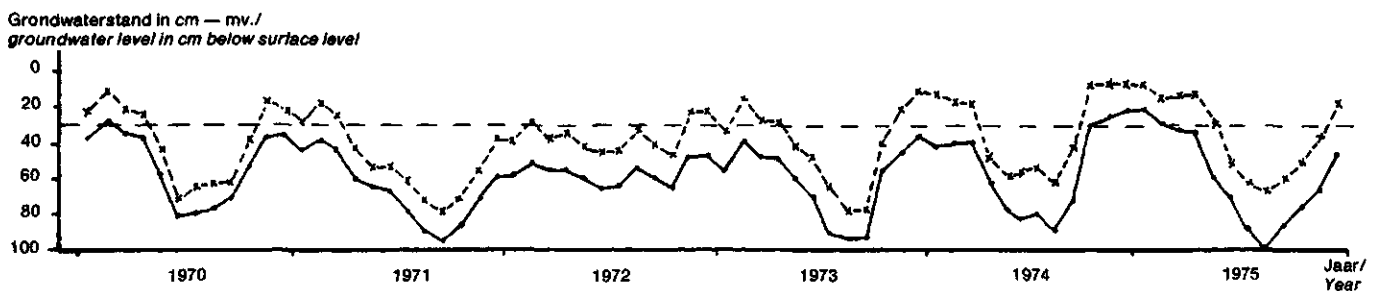


Fig. 1 Grondwaterstand (cm - mv.) in de proefveldserie PR 11 1970-1975. x = Slooppeil 25 cm - mv., • = slooppeil 75 cm - mv.

zand. De normaal vochthoudende zandgronden hebben een 20 tot 25 cm dikke bovenlaag van matig humeuze en vrij sterk lemige grond. Daaronder bevindt zich een lemige grond. De natte zandgronden hebben een 20 tot 25 cm dikke humeuze leemhoudende bovenlaag. Daaronder bevindt zich een iets lemige grijs tot bruingrijze grond. Op de proefvelden zijn in de winterperiode maandelijks en in het groeiseizoen per decade grondwaterstanden bepaald (tabel 1).

Tabel 1 Gemiddelde grondwaterstanden (cm - mv.) in de proefveldenserie PAW970, 1964-1973

	Winter 1/11-28/2	Voorjaar 1/3-30/4	Voorzomer 1/5-30/6	Nazomer 1/7-31/8	Najaar 1/9-31/10
<i>Veen</i>					
norm. vochthoudend	36	47	60	56	51
nat	15	21	39	40	34
verschil in GHG	21				
gemiddeld verschil	20				
<i>Zand</i>					
droog	93	85	120	126	131
norm. vochthoudend	55	51	85	99	99
nat	30	38	59	66	62
verschil ¹ in GHG	21				
gemiddeld verschil	27				

¹ verschil tussen nat en normaal vochthoudend

Proefboerderij Zegveld ligt in een uitgestrekt onvergraven bosveengebied, dat over een grote oppervlakte slechts geringe bodemkundige verschillen vertoont. De bovenste 20 tot 30 cm bestaat uit veraard veen, dat wat klei bevat. Hieronder ligt een onveraard veenpakket van 6 tot 8 m dik. In figuur 1 is het verloop van de grondwaterstand van PR 11 gedurende de proefperiode weergegeven. Over het geheel gezien heeft de verlaging van het slooppeil met ca. 50 cm een grondwaterstands daling van gemiddeld ca. 20 cm veroorzaakt. Ook valt op dat grondwater in de zomer ook bij het hoge peil vrij diep wegzakt. Een uitzondering daarop vormt de natte zomer van 1972.

2.3 Resultaten op zandgrond

De gemiddelde resultaten van de proeven op zandgrond over de hele onderzoeksperiode van PAW970 zijn weergegeven in tabel 2. In tabel 3 zijn de gemiddelde resultaten vermeld van de relatief natte jaren 1965 en 1966 en in tabel 4 die van de relatief droge jaren 1964, 1967, 1970 en 1971. De benutting van de toegediende stikstofmeststof is berekend als het verschil tussen de stikstofopbrengst van het bemeste en onbemeste object gedeeld door de mestgift.

De gemiddelde stikstofopbrengsten van de onbemeste objecten zijn naar hedendaagse inzichten vrij hoog. Vermoedelijk is dat vooral veroorzaakt door de aanwezigheid van klaver, die zich vooral op de onbemeste veldjes heeft uitgebreid.

Stalmestbemesting gedurende de winter en de verplaatsing van stikstof met mest en urine tijdens beweiding, in de jaren dat geen opbrengstbepaling plaats vond, kunnen ook hebben bijgedragen aan de hoge stikstofopbrengsten van het 'onbemeste' object. Het feit dat het steeds oud grasland betrof kan ook een rol gespeeld hebben omdat bij oud grasland de mineralisatie sterker is dan bij recent ingezaaid grasland. Door de hoge stikstofopbrengst is de benutting van stikstofmeststof vergeleken met de huidige maatstaven vrij gering, mogelijk omdat door bemesting de klaver sterk wordt teruggedrongen en de kunstmeststikstof de binding van stikstof door klaver dan moet vervangen. Voor ons doel – het bestuderen van de effecten van de ontwatering op de stikstofhuishouding en opbrengstvorming – is dit echter geen groot probleem. In het vervolg wordt de stikstofopbrengst van het onbemeste object ook wel aangeduid met mineralisatie. Dat is niet geheel correct omdat ook bij het ongemeste object niet alle beschikbare minerale stikstof door het gewas kan worden opgenomen.

Tabel 2 Stikstofgift en stikstofopbrengst ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$), drogestofopbrengst ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op zandgrond (PAW970) gemiddeld over de gehele proefperiode

	N 0	N 100	N 200	N 300	N 400	N 500
<i>Droog</i>						
N-gift	0	100	207	313	403	509
N-opbrengst	161	208	266	331	375	424
ds-opbrengst	7,09	8,89	10,01	11,28	11,56	12,03
benutting meststof		0,47	0,51	0,54	0,53	0,52
<i>Norm. vochthoudend</i>						
N-gift	0	109	219	332	417	529
N-opbrengst	204	247	309	385	414	477
ds-opbrengst	8,33	10,02	11,28	12,7	12,63	13,39
benutting meststof		0,39	0,48	0,55	0,50	0,52
<i>Nat</i>						
N-gift	0	110	218	324	411	515
N-opbrengst	199	239	288	348	374	414
ds-opbrengst	8,13	9,63	10,88	12,29	12,31	12,66
benutting meststof		0,36	0,41	0,46	0,43	0,42

Tabel 3 Stikstofgift en stikstofopbrengst (kg.ha⁻¹.j⁻¹), drogestofopbrengst (Mg.ha⁻¹.j⁻¹) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op zandgrond (PAW970) gemiddeld over de natte jaren

	N 0	N 100	N 200	N 300	N 400	N 500
<i>Droog</i>						
N-gift	0	103	213	320	410	523
N-opbrengst	197	238	296	347	383	431
ds-opbrengst	8,35	9,82	11,15	12,18	12,48	12,73
benutting meststof		0,40	0,46	0,47	0,45	0,45
<i>Norm. vochthoudend</i>						
N-gift	0	103	210	322	403	513
N-opbrengst	178	213	259	326	336	402
ds-opbrengst	7,75	9,38	10,59	12,29	11,89	13,04
benutting meststof		0,34	0,39	0,46	0,39	0,44
<i>Nat</i>						
N-gift	0	103	208	308	393	492
N-opbrengst	166	188	237	269	286	312
ds-opbrengst	6,66	8,35	10,02	10,78	10,43	11,01
benutting meststof		0,21	0,34	0,33	0,31	0,30

Tabel 4 Stikstofgift en stikstofopbrengst (kg.ha⁻¹.j⁻¹), drogestofopbrengst (Mg.ha⁻¹.j⁻¹) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op zandgrond (PAW970) gemiddeld over de droge jaren

	N 0	N 100	N 200	N 300	N 400	N 500
<i>Droog</i>						
N-gift	0	99	208	311	398	505
N-opbrengst	144	190	246	311	358	408
ds-opbrengst	6,30	8,21	9,32	10,63	11,00	11,52
benutting meststof		0,46	0,49	0,54	0,54	0,52
<i>Norm. vochthoudend</i>						
N-gift	0	109	220	332	420	530
N-opbrengst	218	257	324	395	438	498
ds-opbrengst	8,47	9,94	11,46	12,64	12,79	13,50
benutting meststof		0,36	0,48	0,53	0,52	0,53
<i>Nat</i>						
N-gift	0	109	219	327	417	523
N-opbrengst	205	242	290	358	395	443
ds-opbrengst	8,25	9,62	10,81	12,55	12,58	13,06
benutting meststof		0,34	0,39	0,47	0,46	0,46

Op droge zandgronden is de gemiddelde opbrengst aan stikstof van het onbemeste object duidelijk geringer dan op normaal vochthoudende of natte zandgrond. In droge jaren neemt dat verschil toe: de mineralisatie wordt op de droge gronden door vochtgebrek geremd. In natte jaren daarentegen neemt de mineralisatie op droge gronden toe en die op normaal vochthoudende en natte zandgronden af, waardoor

de stikstofopbrengst van de droge zandgrond duidelijk hoger komt te liggen dan die van de andere zandgronden. Daardoor is de spreiding in mineralisatie bij droge gronden het grootst. De drogestofopbrengst van de onbemeste objecten is sterk gecorreleerd met de door mineralisatie beschikbaar gekomen stikstof.

De benutting van meststoffen is op natte zandgrond duidelijk lager dan op droge of normaal vochthoudende zandgrond. De benutting is in natte jaren op alle gronden lager. De benutting van meststoffen op natte grond is dan extreem laag. Dit duidt op een omslagpunt waarboven verhoging van de grondwaterstand een negatief effect heeft. De benutting wijkt in droge jaren niet af van het gemiddelde. Het is echter de vraag hoe droog de droge jaren waren, want zelfs op de droogtegevoelige zandgrond was de productie maar ongeveer 10% lager (op de andere zandgronden zelfs hoger!).

2.4 Resultaten op veengrond

De gemiddelde resultaten over de hele onderzoeksperiode van PAW970 zijn weergegeven in tabel 5. In tabel 6 zijn de gemiddelde resultaten vermeld van de relatief natte jaren 1965 en 1966 en in tabel 7 die van de relatief droge jaren 1964, 1967, 1970 en 1971.

Op normaal vochthoudend veen neemt het onbemeste gewas gemiddeld $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N meer op dan op nat veen. Het verschil in stikstofopbrengst neemt toe met het bemestingsniveau, omdat de benutting van meststoffen op normaal vochthoudend veen duidelijk beter is dan op nat veen. De drogestofopbrengsten op normaal vochthoudend veen zijn dan ook aanmerkelijk hoger dan op nat veen. In droge jaren neemt de mineralisatie op natte veengrond iets toe, op normaal vochthoudend veen met ongeveer dezelfde hoeveelheid af. In natte jaren neemt de mineralisatie van zowel natte als normaal vochthoudende veengrond sterk af, evenals de benutting van meststoffen.

Tabel 5 Stikstofgift en stikstofopbrengst ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$), drogestofopbrengst ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op veengrond (PAW970) gemiddeld over de gehele proefperiode

	N 0	N 100	N 200	N 300	N 400	N 500
<i>Nat</i>						
N-gift	0	108	218	320	405	513
N-opbrengst	214	261	318	352	385	417
ds-opbrengst	8,70	10,41	11,62	12,31	12,46	12,81
benutting meststof		0,44	0,48	0,43	0,42	0,40
<i>Norm. vochthoudend</i>						
N-gift	0	114	228	330	423	525
N-opbrengst	295	355	421	465	509	555
ds-opbrengst	10,67	12,02	12,89	13,56	13,90	14,30
benutting meststof		0,53	0,55	0,52	0,51	0,50

Tabel 6 Stikstofgift en stikstofopbrengst (kg.ha⁻¹.j⁻¹), drogestofopbrengst (Mg.ha⁻¹.j⁻¹) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op veengrond (PAW970) gemiddeld over de natte jaren

	N 0	N 100	N 200	N 300	N 400
<i>Nat</i>					
N-gift	0	101	207	295	395
N-opbrengst	165	205	259	283	311
ds-opbrengst	7,44	9,32	10,74	11,32	11,20
benutting meststof		0,40	0,45	0,40	0,37
<i>Norm. vochthoudend</i>					
N-gift	0	106	216	309	423
N-opbrengst	234	265	335	380	432
ds-opbrengst	9,73	10,50	12,16	12,74	12,92
benutting meststof		0,29	0,47	0,47	0,47

Tabel 7 Stikstofgift en stikstofopbrengst (kg.ha⁻¹.j⁻¹), drogestofopbrengst (Mg.ha⁻¹.j⁻¹) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op veengrond (PAW970) gemiddeld over de droge jaren

	N 0	N 100	N 200	N 300	N 400	N 500
<i>Nat</i>						
N-gift	0	109	223	327	410	518
N-opbrengst	225	268	329	378	407	445
ds-opbrengst	8,78	10,29	11,63	12,55	12,63	13,08
benutting meststof		0,39	0,47	0,47	0,44	0,42
<i>Norm. vochthoudend</i>						
N-gift	0	113	226	328	417	526
N-opbrengst	283	345	396	438	490	540
ds-opbrengst	10,46	11,85	12,47	12,90	13,63	14,07
benutting meststof		0,55	0,50	0,47	0,50	0,49

De resultaten van PR 11 (tabel 8) komen gedeeltelijk overeen met die van PAW970 (tabel 7). De stikstofopbrengst van de onbemeste velden is aanmerkelijk hoger. Dit kan worden verklaard door de diepere zomergrondwaterstanden. Bij het verlaagde peil is de gemiddelde stikstofopname van het onbemeste object bijna 100 kg.ha⁻¹.j⁻¹ hoger dan bij het hoge peil (in PAW970: 80 kg.ha⁻¹.j⁻¹). Dit grotere verschil kan het gevolg zijn van het hogere mineralisatieniveau, maar ook van het feit dat het veen met laag peil in PR11 juist voor de proef diep is ontwaterd in tegenstelling tot PAW970, waar de verschillen in ontwatering reeds langer bestonden. Opvallend is dat de drogestofopbrengst van de bemeste velden bij het verlaagde peil niet hoger is dan bij het hoge peil. In PAW970 waren de opbrengsten bij nat veen gemiddeld duidelijk lager. Hiervoor zijn twee verklaringen. Allereerst is er bij PR11 een geringer verschil in stikstofopname tussen hoog en laag peil dan in PAW970. Door het hogere mineralisatieniveau heeft extra meststof minder effect. Daarnaast wordt in PR11 bij verlaagd peil een lagere opbrengst gerealiseerd bij dezelfde stikstofopname. Dit duidt op een andere limiterende factor dan stikstof, vermoedelijk vocht. Bij verlaagd peil ligt de grondwaterstand in de zomer nl. gemiddeld 30 cm lager (85 cm - mv.) dan op het normaal vochthoudend veen in de PAW970. Zowel het hogere mineralisatie-

niveau als het mogelijke vochttekort bij het verlaagde peil leiden bij PR11 tot een geringere benutting van de meststof en een kleiner verschil in opname en opbrengst tussen de natte en de droge situatie.

Tabel 8 Stikstofgift en stikstofopbrengst ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$), drogestofopbrengst ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$) en benutting van de meststof voor vijf stikstoftrappen bij de proeven op veengrond (PR11) gemiddeld over de gehele proefperiode

	N 0	N 150	N 300
<i>Hoog peil</i>			
N-gift	0	150	300
N-opbrengst	320	416	480
ds-opbrengst	10,5	12,9	13,7
benutting meststof		0,64	0,53
<i>Verlaagd peil</i>			
N-gift	0	150	300
N-opbrengst	416	480	512
ds-opbrengst	12	12,9	13,3
benutting meststof		0,43	0,32

Cumulatieve N-opbrengst gras (kg/ha)

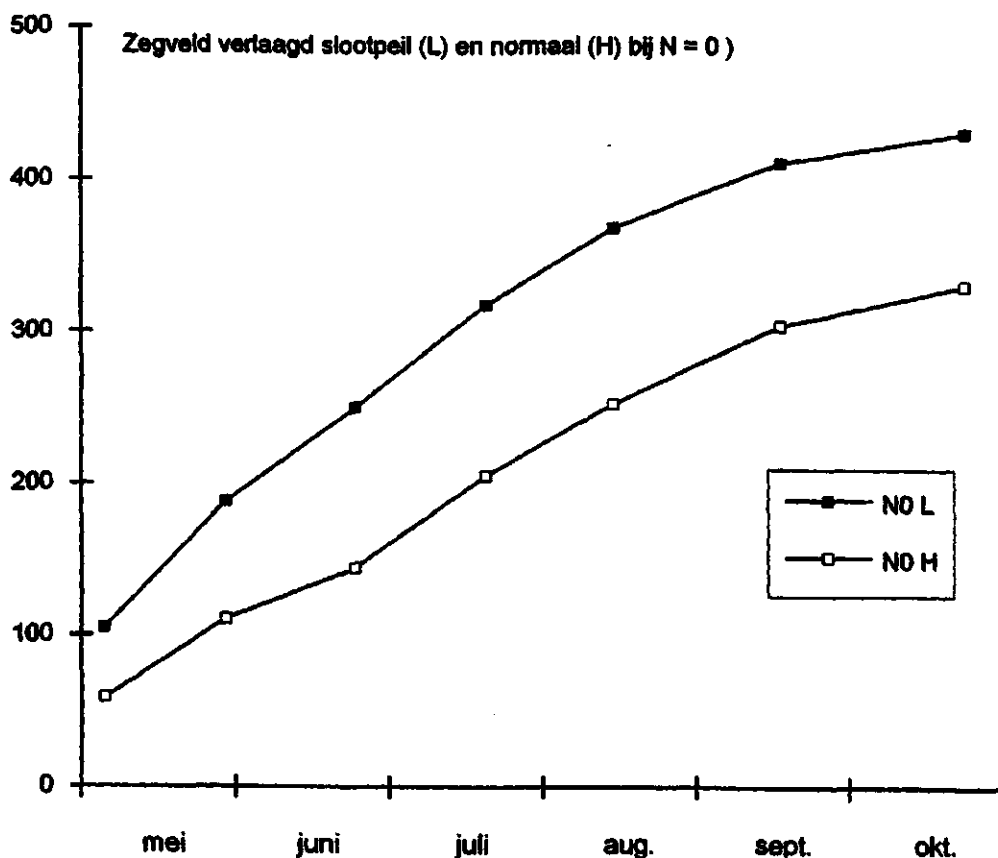


Fig. 2 Cumulatieve stikstofopbrengst van gras ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$) van de onbemeste objecten in PR 11 bij een verlaagd (NO L) en een normaal (NO H) slootpeil

In figuur 2 is de cumulatieve stikstofopbrengst van de onbemeste objecten van PR 11 weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de verschillen in stikstofopname tussen het hoge en het verlaagde peil vooral ontstaan in het begin van het groeiseizoen. Na mei nemen de absolute verschillen nog maar weinig toe. Bij een hoog slootpeil wordt de groei van het gras in het voorjaar duidelijk vertraagd door een te krap stikstofaanbod als gevolg van een beperkte mineralisatie.

2.5 Conclusies

Sinds de periode waarin de veldproeven zijn uitgevoerd (1964-1975) is op veel plaatsen in Nederland de grondwaterstand aanzienlijk gedaald en lijkt het groeiseizoen droger te zijn geworden. De 'droge zandgrond' van PAW970 met een gemiddelde grondwaterstand van 131-85 cm - mv. is naar hedendaagse begrippen 'matig droog' te noemen. Ook de bedrijfsvoering is veranderd. Het areaal blijvend grasland is door herinzaai sterk afgenomen en op de drogere gronden zelfs vrijwel verdwenen. Het gras wordt in een jonger stadium gemaaid omdat de hoog productieve dieren een betere kwaliteit grassilage eisen, in de winter wordt geen mest meer uitgereden en de veebezetting per ha grasland is sterk toegenomen. Ook deze factoren hebben invloed op de stikstofhuishouding en opbrengst van grasland. Niettemin geven de resultaten van de proeven wel zicht op de invloed van de vochtshouding op de stikstofhuishouding van grasland.

Stikstofmineralisatie

Op droge zandgrond zal bij vernatting de stikstofmineralisatie na verloop van tijd toenemen met ongeveer $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. Dit is mogelijk door een vergrote aanvoer van stoppels, wortels en oogstresten als gevolg van een betere gewasgroei. Bij een verdere stijging van het grondwater tot in de bovenste 50 cm neemt de stikstofmineralisatie weer licht af (iets meer dan $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) als gevolg van zuurstofgebrek. Er kan dan ophoping van organische stikstof optreden.

Goed ontwaterd veen mineraliseert veel sterker dan nat veen. Hierdoor kan onbemest gras bij een lager peil $80\text{-}100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N meer opnemen. Het verschil ontstaat vooral in het voorjaar doordat op de nattere koudere grond de mineralisatie later op gang komt. Bij verlaging van het peil is het waarschijnlijk dat de eerste jaren de mineralisatie extra groot is doordat het veen vrij plotseling tot op grotere diepte doorlucht wordt. Na enige jaren zal de gemakkelijk afbreekbare organische stof afgebroken zijn en verwacht wordt dat het verschil in stikstofleverantie tussen ondiep en diep ontwaterde objecten zich dan stabiliseert op het eerder genoemde niveau. Op dieper ontwaterd veen verdwijnt jaarlijks ongeveer 6 mm veen door oxidatie, bij veen met een hoog peil ongeveer 2 mm. Het is aannemelijk dat de hoeveelheid stikstof in 4 mm veen ongeveer overeen komt met de extra mineralisatie na peilverlaging. Ook op natte veengronden wordt ingeteerd op de bodemvoorraad stikstof. Bij veengrond is dus nooit echt sprake van een stabiele situatie.

Benutting van meststoffen

Vernatting heeft nauwelijks gevolgen voor de benutting van meststoffen zolang de hoogste grondwaterstand 50 cm - mv. blijft. Onder nog nattere omstandigheden worden stikstofmeststoffen slechter benut. Waarschijnlijk wordt het niet benutte deel

voor een belangrijk deel gedenitrificeerd tot onschadelijk stikstofgas maar een deel wordt ook omgezet in schadelijke stikstofoxiden en een deel zal in het grond- en oppervlaktewater terecht komen. De benutting van meststof is het slechtst in natte jaren op natte gronden. Wat dat betreft zijn er geen grote verschillen tussen grondsoorten.

Stikstofopbrengst

Bij een verhoging van de GHG van droge zandgronden tot een niveau van 50 cm - mv. neemt de stikstofopbrengst met 40-50 kg.ha⁻¹ toe. Bij een verdere vernatting tot GHG 30 cm - mv. neemt de stikstofopbrengst af en wel sterker naarmate het bemestingsniveau hoger is (tabel 9). Vernatting van normaal vochthoudende veengrond doet de stikstofopbrengst sterk afnemen, vooral bij een hoog bemestingsniveau.

Tabel 9 Effect van vernatting op de stikstofopbrengst van blijvend grasland (kg.ha⁻¹.j⁻¹) bij verschillende bemestingsniveaus

	Stikstofbemesting (kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹)					
	0	100	200	300	400	500
<i>Zandgrond</i>						
droog → norm vochthoudend	+43	+39	+43	+54	+39	+53
norm. vochthoudend → nat	-5	-8	-21	-37	-40	-63
<i>Veengrond</i>						
norm. vochthoudend → nat	-81	-94	-103	-113	-124	-138

In tabel 12 (hoofdstuk 5) staat een schatting van het stikstofeffect van vernatting, uitgedrukt als verschil in stikstofopname gedeeld door verschil in grondwaterstand (kg.ha⁻¹.j⁻¹.cm⁻¹). Voor de vergelijking met de resultaten van de modelstudies hebben we daar zowel het effect van verschillen in GHG als gemiddelde grondwaterstand (zie tabel 1) berekend. Bedenk dat het effect van grondwater niet lineair is, het traject van grondwaterstandsverhoging heeft dus invloed op de waarde van dit effect. We hebben het berekend als gemiddelde over de stikstofgiften 200-400 voor de zandgronden en 100-300 voor de veengronden.

Bemesting

Door een sterkere mineralisatie en een betere benutting van meststoffen is voor eenzelfde drogestofopbrengst op dieper ontwaterde veengronden 100-250 kg.ha⁻¹.j⁻¹ minder stikstof nodig dan op veengronden met een hoog waterpeil. Bij vernatting van normaal vochthoudende zandgronden is het effect kleiner, 50-200 kg.ha⁻¹.j⁻¹. Voor eenzelfde gewasproductie is bij vernatting van droge zandgronden tot 50 cm - mv. door een verbeterde vochtvoorziening ongeveer 100 kg.ha⁻¹.j⁻¹ stikstofmeststof minder nodig.

Natte gronden blijven in het voorjaar langer koud en de mineralisatie komt trager op gang dan op normaal vochthoudende gronden. Het gevolg is dat de grasgroei op nattere gronden later begint door een tekort aan stikstof tenzij tijdig wordt bemest. De benutting van de meststof is dan echter beperkt. Natte gronden zijn vooral in het voorjaar lastig te bewerken, wat nadelig kan zijn voor de gewasgroei en de benutting van meststoffen.

3 Akkerbouw

Vanuit de Nederlandse literatuur zijn ons twee referenties bekend over de invloed van ontwatering op de stikstofhuishouding van akkerbouwgewassen. Het betreft het onderzoek van Van Hoorn (1958) en van Sieben (1974). Het onderzoek van Van Hoorn werd uitgevoerd op zware kleigrond in Oost-Groningen met diverse akkerbouwgewassen. Zomergrondwaterstanden werden gehandhaafd op 40, 60, 90, 120 en 150 cm - mv. Gedurende de eerste helft van de proefjaren (1942-1949) werden ook de de wintergrondwaterstanden op die niveaus gehandhaafd, daarna werd bij de meeste behandelingen gedurende de winter een vaste grondwaterstand van 30-40 cm - mv. gehandhaafd. Dit maakte voor de resultaten niet uit, kennelijk waren de zomergrondwaterstanden bepalend.

Het onderzoek van Sieben vond plaats op een zavelgrond in oostelijk Flevoland in de periode 1959-1963 met diverse granen. De ontwatering gedurende de zomer was steeds optimaal, maar varieerde tussen de behandelingen in de winter- en/of voorjaarsperiode (goed of slecht). De verschillen in ontwateringstoestand tussen behandelingen en jaren werden uitgedrukt in de zogenaamde SOW_{30} en SOV_{30} , dat is de som van het aantal dagen x het aantal cm dat de grondwaterstand zich boven 30 cm - mv. bevindt in de winter en in het voorjaar.

Uit het onderzoek van Sieben blijkt dat het effect van ontwatering op de productie geheel is toe te schrijven aan het effect van ontwatering op de stikstofhuishouding. In het onderzoek van Sieben is dit effect nog nader uitgesplitst in het effect op de mineralisatie en het effect op de stikstofterugwinning. Het bleek dat slechte ontwatering alleen een verminderde mineralisatie tot gevolg had en geen invloed op de terugwinning. Het verschil in stikstofmineralisatie tussen goed en slecht ontwaterde omstandigheden (verschil $SOW_{30} + SOV_{30} = 1200$ cm.d) bedroeg maximaal $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. Het niveau van de stikstofmineralisatie in de proef lag overigens erg laag (van 20 tot $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$).

Ook uit het onderzoek van Van Hoorn blijkt het effect op de productie grotendeels toe te schrijven aan stikstof. Er is in dit geval ook sprake van een klein verschil in maximumopbrengsten tussen goed en slecht ontwaterde omstandigheden. Het verschil in opbrengst kon dus niet geheel gecompenseerd worden met een hogere stikstofgift. Het is niet helemaal duidelijk waar dit aan ligt, onder andere omdat de stikstofgehalten in het gewas niet bij de analyse zijn betrokken. Gesuggereerd wordt dat ook andere nutriënten beperkend waren. Het verschil in stikstoflevering tussen de grondwaterstanden 40 en 150 cm - mv. bedroeg ongeveer $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (55 - 155 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$).

Het effect op de mineralisatie is in het onderzoek van Van Hoorn hoger omdat op de jonge kleigrond in oostelijk Flevoland een hogere vastlegging van organische stikstof mag worden verwacht dan in Oost-Groningen. Hierdoor zal de absolute netto-mineralisatie en daarmee ook het verschil in mineralisatie in Oost-Groningen hoger liggen. Daarnaast doen de verschillen in ontwatering bij Van Hoorn zich voor gedurende het groeiseizoen, terwijl bij Sieben juist in de periode daaraan voorafgaand

verschillen werden aangebracht. In het onderzoek van Sieben heeft de hogere grondwaterstand dus in een kleiner deel van het groeiseizoen direct invloed uit kunnen oefenen. Indirect kan de hogere grondwaterstand in winter en/of voorjaar wel invloed hebben uitgeoefend in de rest van het seizoen via de bodemstructuur. Om algemene uitspraken te kunnen doen voor andere locaties is het dus noodzakelijk rekening te houden met het stikstofleverend vermogen van de bodem. Globaal komt het erop neer dat de mineralisatie een factor drie varieert tussen omstandigheden met een goede en een slechte ontwatering. Voor een meer verfijnde benadering zou het effect op basis van Van Hoorn kunnen worden uitgedrukt als functie van de zomergrondwaterstand en op basis van Sieben als functie van verschillen in SOW_{30} en SOV_{30} .

4 Modelberekeningen

4.1 Het model ANIMO

Zowel in de Beerze-Reusel- als in de Vierde-Nota-studie is gebruik gemaakt van het model ANIMO (Rijtema et al., in voorb.). In dit kader kan alleen een summier beschrijving van het model worden gegeven.

Het ANIMO model is een dynamisch mechanistisch model dat de nutriënten-huishouding in de bodem beschrijft met als doel de uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater te kwantificeren. Het model gaat uit van een bodemprofiel van maaiveld tot een nader te bepalen diepte in de verzadigde zone, dat ingedeeld wordt in compartimenten. De ondergrens wordt daar gelegd waar de regionale component in de hydrologie overheerst boven de lokale component. De verdeling van de uitspoeling van het neerslagoverschot over de ontwateringsmiddelen en het grondwater vindt plaats op grond van drainageweerstand. Hierdoor neemt van boven naar beneden de afwatering naar de middelen van hogere orde (sloten/greppels) af en naar de middelen van lagere orde (kanalen/grondwater) toe. Het bodemprofiel wordt representatief verondersteld voor een bepaalde ruimtelijke rekeneenheid. De waterbalans met de bijbehorende fluxen moet voor iedere rekeneenheid extern worden aangeleverd. In het geval van de Beerze-Reusel-studie is dat voor iedere ruimtelijke rekeneenheid gedaan met SIMGRO, in de Vierde-Nota-studie met het model DEMGEN. De belangrijkste fluxen zijn (evapo)transpiratie, kwel, capillaire opstijging, uitspoeling naar beneden en zijwaartse uitspoeling (soms infiltratie).

De volgende stoffen worden in het model onderscheiden. Ammonium, nitraat, fosfaat en zowel koolstof, stikstof als fosfaat in organische stof. Nitraat komt alleen voor in oplossing, ammonium komt daarnaast voor in geadsorbeerde vorm, fosfaat komt bovendien voor in een sterk geadsorbeerde en in een neergeslagen vorm. Vaste organische stof wordt opgedeeld in fracties van verschillende afbraaksnelheid, daarnaast komt opgeloste organische stof voor.

Het model houdt rekening met convectief en dispersief transport inclusief uitspoeling van de opgeloste stoffen, daarnaast met sorptie van ammonium en fosfaat (tevens neerslag) en met een reeks van transformatieprocessen die samenhangen met de kringlopen van koolstof, stikstof en fosfor in organische stof: afbraak, mineralisatie, immobilisatie en (de)nitrificatie.

Deze processen worden in het model beïnvloed door het vochtgehalte, de temperatuur, de pH en het zuurstofgehalte in de bodem. Het zuurstofgehalte wordt door het model berekend op basis van bodemfysische karakteristieken, het vochtgehalte en de zuurstofvraag in verband met de afbraak van organische stof en de nitrificatie. Gewasopname wordt bepaald door het nutriëntenaanbod en door de vraag van het gewas. Als het aanbod onvoldoende is om aan de vraag te voldoen, daalt aanvankelijk het gehalte in het gewas en vindt groeireductie plaats zodra het gehalte in het gewas beneden een bepaalde kritische waarde daalt. Het aanbod van nitraat bestaat uit convectief transport met de transpiratiestroom (passieve opname) en bij grasland

eventueel ook diffusief transport (actieve opname). In het geval van ammonium en fosfaat telt het reversibel geadsorbeerde deel mee bij het aanbod. De vraag van akkerbouwgewassen wordt beschreven door van een standaard potentiële gewasopname en transpiratie uit te gaan. Reductie van de potentiële transpiratie leidt tot een lagere vraag. Bij groot aanbod laat de akkerbouwmodule (10%) luxeconsumptie toe. De vraag van grasland wordt bepaald door een berekende watergelimiteerde productie. Deze is afgeleid van een potentiële productie op basis van globale jaarlijkse straling en temperatuur. In de graslandmodule ontstaat bij hoog aanbod automatisch luxe-consumptie. De luxe-consumptie wordt beperkt door een toenemende interne nitraatconcentratie. Hierdoor neemt de concentratie aan het worteloppervlak toe en de diffusieve aanvoer van nitraat af.

De invoer van ANIMO bestaat behalve uit de gesimuleerde waterhuishouding en bodembelasting¹ van het bodemprofiel uit:

- bodemfysische en -chemische kenmerken van het bodemprofiel;
- stikstof- en fosforconcentraties in het kwelwater, oppervlaktewater (infiltratie) en neerslag;
- droge depositie van stikstof en fosfor;
- tijdstip en methode van mesttoediening;
- fractie ammoniakvervluchtiging;
- initiële waarden van toestandsgrootheden (stikstof- en fosforconcentraties in bodemvocht, geadsorbeerd fosfaat aan het bodemcomplex, organische stofgehalte en de verdeling over fracties etc.);
- gewasparameters;
- procesparameters en -coëfficiënten.

Voor het initialiseren van de toestandsgrootheden wordt gebruik gemaakt van een historische berekening. Dit wil zeggen dat de simulatie gestart wordt ruim voor aanvang van het eerste scenariojaar op basis van grove aannames voor de initiële grootheden en dat vervolgens het model op basis van ingeschatte historische mestgiften zijn initiële condities voor de scenariostudie berekent.

Het model berekent nutriëntenbalansen per tijdstap en per compartiment, waardoor balansen kunnen worden uitgevoerd voor verschillende tijdsperioden en voor verschillende bodemlagen.

In de Beerze-Reusel-studie is gebruik gemaakt van een voorloper van versie 3.4, in de Vierde-Nota-studie van versie 3.5 (Kroes, 1995). Een belangrijk verschil tussen beide versies is de beschrijving van de opname van stikstof en fosfaat bij maïs en akkerbouw. In de eerstgenoemde versie werd nog geen rekening gehouden met N-P-interacties. Dit wil zeggen dat de stikstofopname niet werd beperkt bij fosfaatgebrek en andersom. In de eerste versie bestond bovendien nog geen rem op de gewasopname bij een groot aanbod van nutriënten na een periode van tekort. Wat het gewas in een periode van stress tekort kwam, kon vervolgens volledig worden aangevuld, hetgeen niet reëel is. Om deze reden zijn van de Beerze-Reusel-studie alleen de resultaten voor grasland gebruikt.

¹ In dit rapport wordt met bodembelasting de toevoer van meststoffen, inclusief depositie, naar de bodem bedoeld.

4.2 Beerze-Reusel-studie

4.2.1 Opzet van de studie

De Beerze-Reusel-studie bestaat uit vier onderdelen. In de eerste twee onderdelen zijn de regionale hydrologie (Van der Bolt et al., 1996) en de nutriëntenhuishouding (Van der Bolt et al., 1996a) in de uitgangssituatie gesimuleerd. Het derde en vierde deel betreffen scenariostudies naar het effect van bemestingsmaatregelen (Van der Bolt et al., 1996b) en waterhuishoudkundige maatregelen (Groenendijk en Van der Bolt, 1996) op de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater.



Fig. 3 Ligging van het gebied van de Beerze-Reusel-studie

De stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep liggen in het zwak golvende dekzandgebied in het midden van Noord-Brabant (fig. 3). Er komen vooral eerdgronden en veldpodzolgronden voor. In enkele beekdalen wordt de bodem gekenmerkt als beekerd. De indeling van bodemfysische eenheden en de toewijzing aan kaarteenheden (1 : 250 000) is gebaseerd op Wösten et al. (1988, fig. 4).

De hydrologie is gesimuleerd met het regionaal grondwaterstromingsmodel SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989) dat de waterstroming in de volgende subsystemen beschrijft:

- de verzadigde zone (het regionale grondwatersysteem);
- de onverzadigde zone van de bodem;
- het oppervlaktewatersysteem;
- de interactie tussen het grond- en het oppervlaktewater.

De vochtbeweging in de onverzadigde zone, de waterfluxen naar grond- en oppervlaktewater en de grondwaterstanden zijn berekend met tijdstappen van 7 dagen voor 189 ruimtelijke rekeneenheden.

De meteorologische gegevens zijn ontleend aan de gecombineerde datasets voor de stations Eindhoven en Someren voor de weerjaren 1971-1986 (Van Walsum, 1991). De gehanteerde reeks weerjaren blijkt goed representatief te zijn voor het langjarig gemiddelde en voor verschillende meteodistricten. Voor de uitgangssituatie die eindigt met 1990 is dezelfde weerjaarseeks gebruikt als voor de scenarioperiode die eindigt met 2020. De weerjaarseeks eindigt steeds met drie gemiddelde weerjaren. Het jaar 1990 wordt in paragraaf 4.2.2 gebruikt voor de vergelijking tussen locaties en 2020 voor vergelijking op dezelfde locatie.

Uit de gesimuleerde grondwaterstanden is per rekeneenheid de GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) en de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) afgeleid. Gezien de sterke relatie tussen GHG en GLG in de studie is het verantwoord om op basis van de GHG grondwaterklassen te onderscheiden (fig. 4). Als gevolg van deze procedure kunnen grondwatertrappen met dezelfde GHG niet worden onderscheiden (Gt's met ster en Gt III en V).

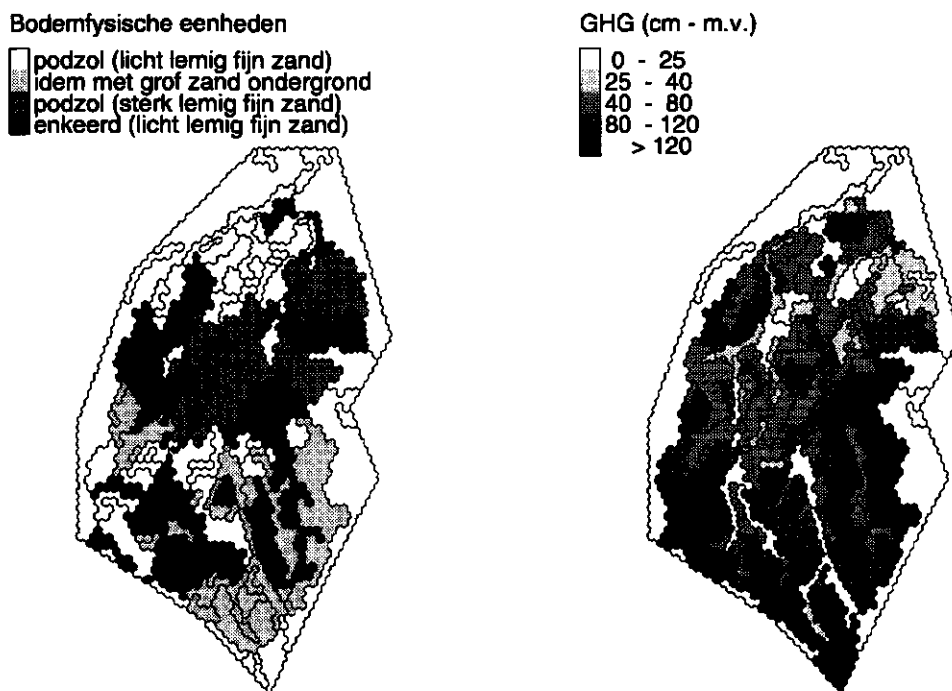


Fig. 4 Bodemtype en de gesimuleerde GHG in het gebied van de Beerze-Reusel-studie

In de studie komen drie bemestingsniveaus voor. Omdat ook ruimtelijk gedifferentieerde bemestingsvarianten zijn opgenomen, zijn er in totaal meer bemestingsscenario's. Voor deze studie hebben we voor het scenario met in het hele gebied het hoogste, in 1990 gangbare stikstofbemestingsniveau van $450-500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ op grasland gekozen.

Behalve het hydrologische uitgangsscenario (met onbeperkte berekening) zijn vier waterhuishoudkundige scenario's doorgerekend. Voor de presentatie van de verschillen tussen locaties is uitgegaan van het uitgangsscenario in het jaar 1990. Voor de presentatie van verschillen in hydrologie op dezelfde plaats vergelijken we het uitgangsscenario zonder vernatting in het gemiddelde weerjaar 2020 met de resultaten van het scenario met de meeste vernatting (zonder berekening).

4.2.2 Resultaten

Vergelijking tussen locaties

Volgens de modelberekeningen is de netto-stikstofopname door het gras op de nattere gronden veel lager (ca. $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$; fig. 5). Doordat onbeperkt wordt berekend blijft de opname vanaf Gt VI gelijk. Zonder berekening zou de stikstofopname op de drogere gronden als gevolg van vochtekort afnemen.

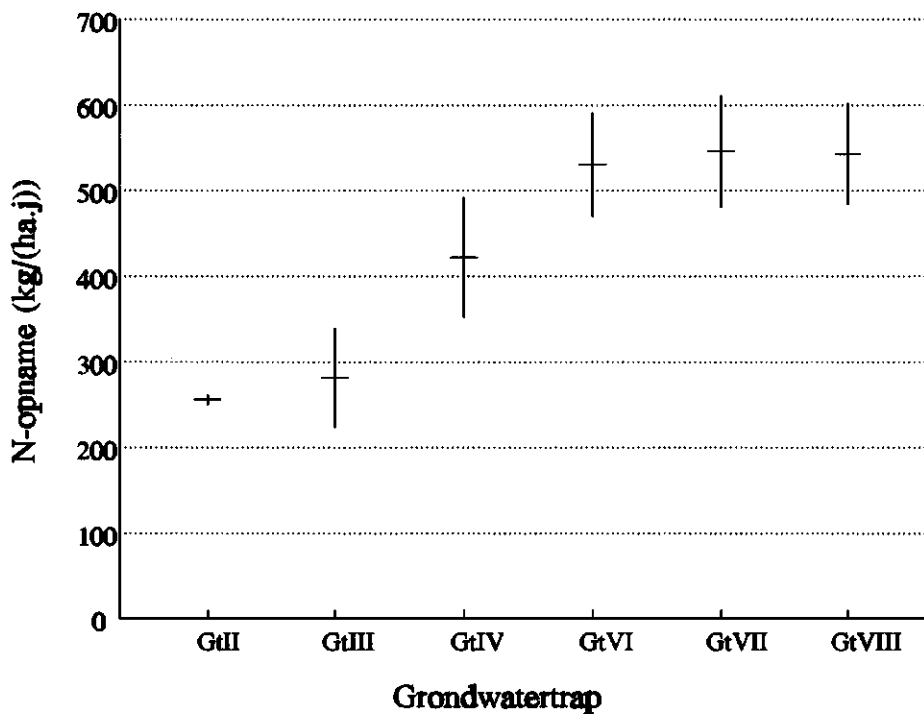


Fig. 5 Stikstofopname door het gewas ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) bij verschillende grondwatertrappen (gemiddelde en standaardafwijking)

De lagere stikstofopname op natte gronden kan als volgt worden verklaard. Ten eerste mag op nattere gronden door een slechtere aëratie een lagere mineralisatie worden verwacht. In alle scenario's ligt de stikstofmineralisatie tussen maaiveld en 1 m - GLG op gronden met een GHG binnen 40 cm ongeveer $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ lager dan op de andere gronden (Groenendijk en Van der Bolt, 1996). Ten tweede is de denitrificatie over hetzelfde profiel op de natte gronden ca. $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N hoger (fig. 6). Hierbij moet worden bedacht dat verschillen in mineralisatie en denitrificatie over

het profiel tot 1 m - GLG slechts een gedeeltelijke verklaring kunnen vormen voor verschillen in gewasopname omdat tussen de wortelzone en 1 m - GLG geen stikstofopname door het gewas, maar wel stikstofmineralisatie en vooral denitrificatie optreedt.

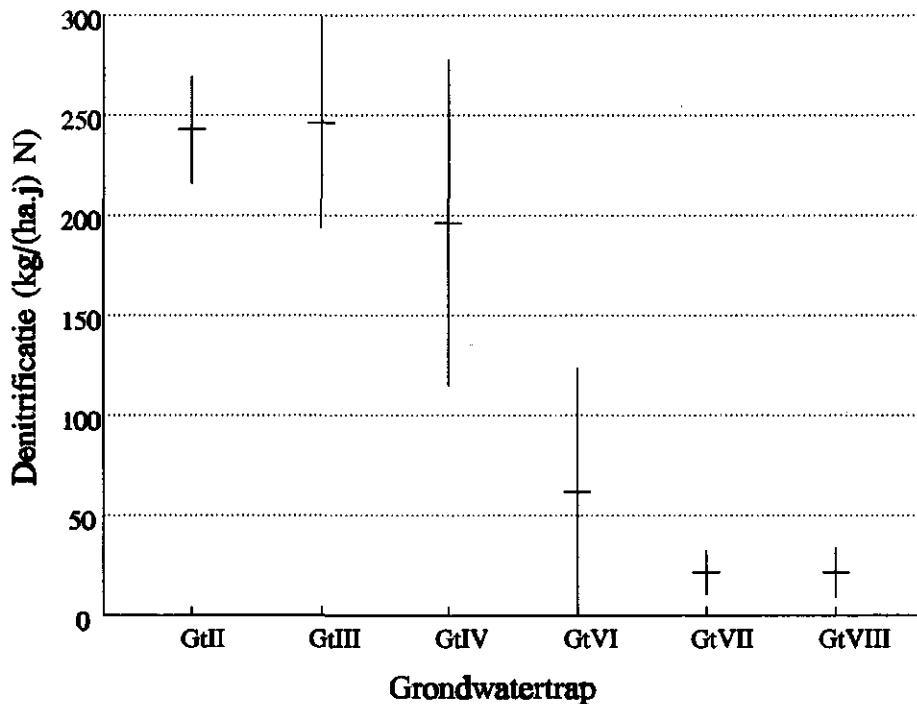


Fig. 6 Denitrificatie ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \text{ N}$) tussen maaiveld en 1 m - GLG bij verschillende grondwatertrappen (gemiddelde en standaardafwijking)

Als derde reden kan worden aangevoerd dat in de modelberekeningen geen rekening is gehouden met de draagkracht van de grond, waardoor in tegenstelling tot de praktijk ook op de natte gronden al in het vroege voorjaar (kunst)mest is toegediend. Als gevolg hiervan daalt de effectiviteit van de stikstofbemesting op de natte gronden en neemt het overschot toe. Groenendijk en Roest (in voorb.) schatten dat de werkzame stikstofgift op de natste gronden hierdoor met 25% afneemt. Vanaf GHG 60 cm - mv. is dit effect er niet meer. Bij het berekenen van de effecten op het overschot is hiermee rekening gehouden (fig. 7).

Uit figuur 7 blijkt dat ook na correctie het stikstofoverschot op grasland gemiddeld zo'n $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ hoger ligt op de nattere gronden. In tabel 10 wordt dit nogmaals weergegeven. Het verschil komt ongeveer tot stand over het GHG-traject van 30 tot 70 cm - mv., dat is ongeveer $2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ N}$ (verschillende locaties!).

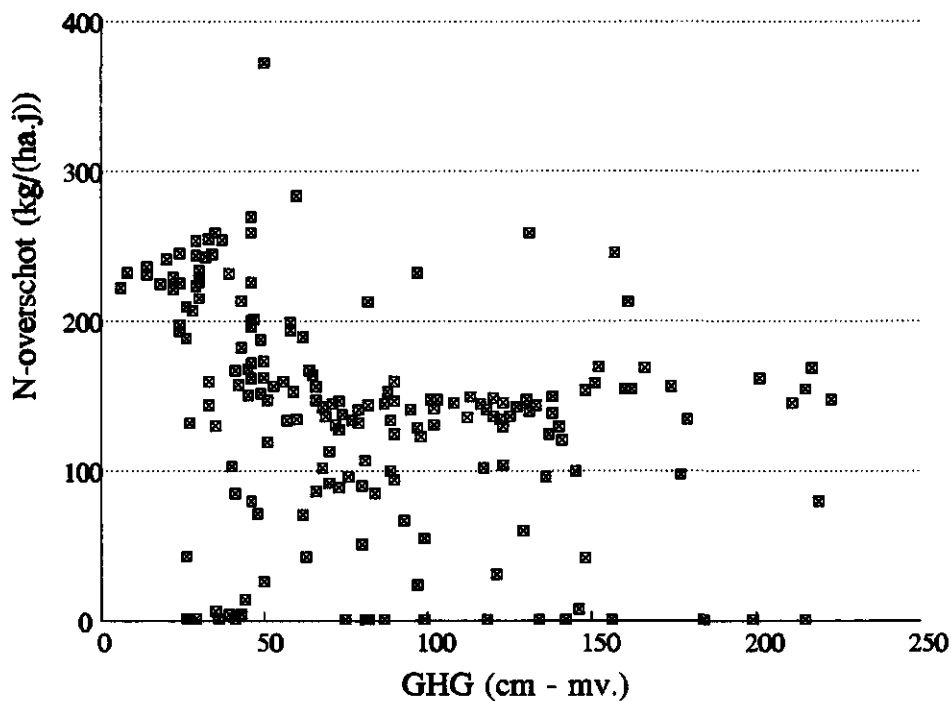


Fig. 7 Berekend stikstofoverschot op grasland ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$) uitgezet tegen de GHG (gecorrigeerd voor voorjaarsaanwending op de natte gronden, zie tekst)

Tabel 10 Berekende Gt en stikstofoverschot ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$; gecorrigeerd voor voorjaarsaanwending op de natte gronden, zie tekst)

Gt	Gemiddeld	Standaardafwijking
II	230	5
III	175	89
IV	149	86
VI	131	50
VII	118	55
VIII	138	58

Vergelijking op dezelfde locatie

Figuur 8 geeft het effect na 30 jaar weer van grondwaterstandsveranderingen als gevolg van hydrologische maatregelen op de stikstofopname van het gras in het studiegebied. We roepen in herinnering dat voor zowel het natte als het droge scenario dezelfde weerjaarreeks, afgesloten met drie gemiddelde jaren, is gebruikt.

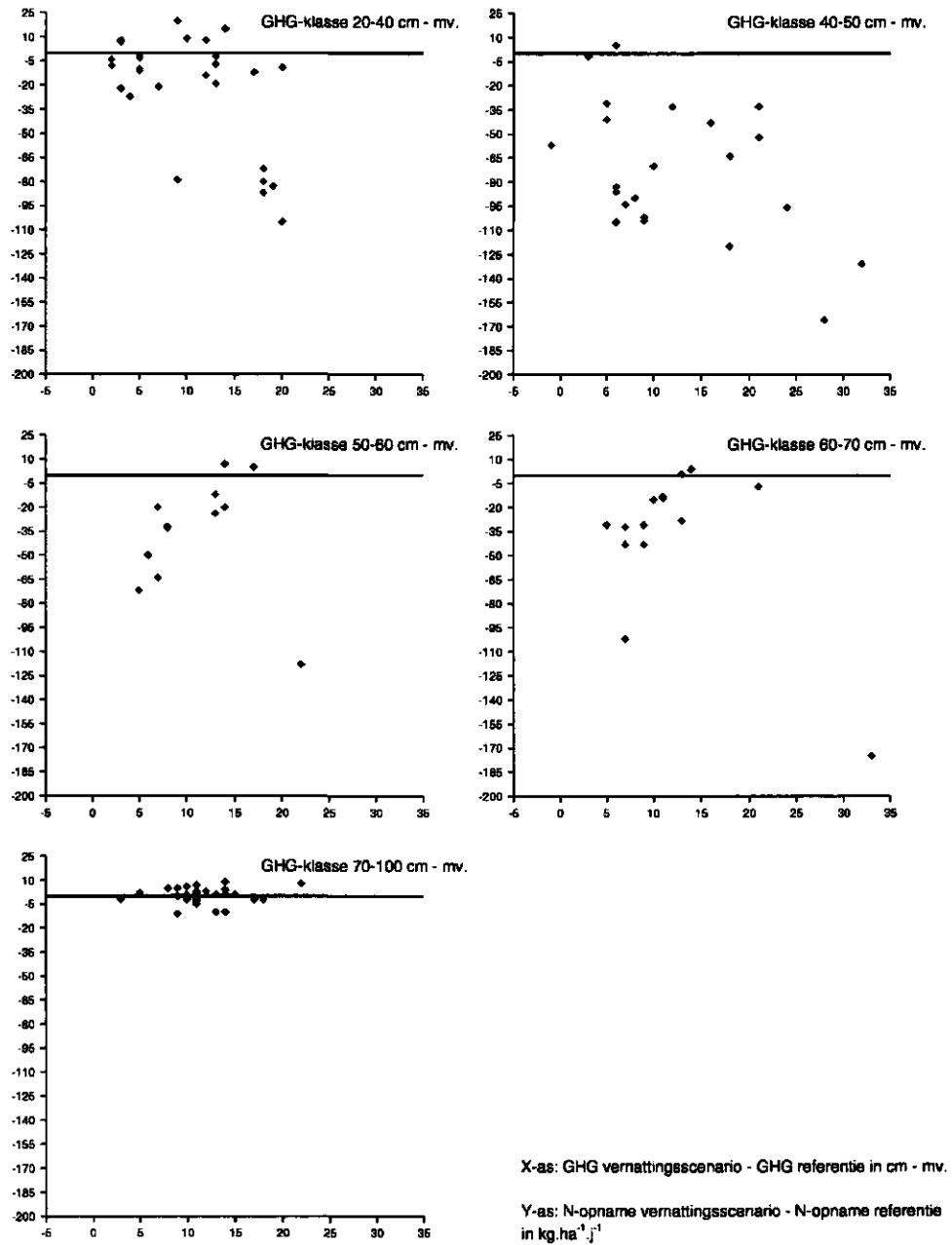


Fig. 8 Het verschil in stikstofopname als functie van de verandering van de GHG voor 5 klassen van GHG in de uitgangssituatie

Voor de interpretatie van de resultaten is eveneens belangrijk dat in het 'droge' uitgangsscenario wel is berekend en in het vernattingsscenario niet. Voor de analyse bleek het nodig uit te splitsen naar klassen van oorspronkelijke grondwaterstanden. Dat is niet verwonderlijk, omdat van grondwaterstandsverhoging in natte gebieden een negatief effect mag worden verwacht en in droge gebieden een positief. Er is dan nog steeds een grote spreiding, maar de resultaten laten zich in drie trajecten indelen. Met GHG binnen 50 cm - mv. lijkt er een negatief verband te bestaan tussen grondwaterstandstijging en stikstofopname door het gras. De daling van de stikstofopname bedraagt ongeveer $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ bij een stijging van de GHG van 30 cm ($5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Vernatting is op de natte gronden uiteraard ongunstig.

In de GHG-klasse van 70 - 100 cm is geen effect waarneembaar. Het ontbreken van een negatief effect is niet verwonderlijk omdat de GHG in deze klasse ook na de vernatting nauwelijks binnen de 50 cm - mv. komt. Er is evenmin een positief effect waarneembaar. Men zou een positief effect kunnen verwachten op grond van een verbeterd vochtleverend vermogen van de bodem. In het vernattingsscenario werd immers niet berekend. Nadere analyse van de waterbalans gaf echter aan dat er in dit gemiddelde weerjaar op de desbetreffende gronden geen vochttekort en dus ook geen verschil in stikstofopname als gevolg van verschillen in vochtleverend vermogen viel te verwachten. Dat was wel het geval op de gronden met GHG beneden 100 cm, maar deze gronden zijn niet in de analyse betrokken, omdat de studie is toegespitst op vernatting. Het is overigens zeer de vraag of de grondwaterstandstijging in deze klasse voldoende is om een effect van capillaire nalevering te sorteren. Bedoeld effect zal eerder optreden in de GHG-klasse 70-100 cm - mv. in een droger jaar.

Tussen GHG 50 en 70 cm - mv. is er een onduidelijk effect. In geval van een flinke stijging van de GHG ($>20 \text{ cm}$) lijkt het effect opnieuw negatief, maar dit is op slechts twee punten gebaseerd. Als de stijging binnen 20 cm blijft is het effect gemiddeld ook negatief (fig. 8: de meeste punten liggen beneden de streep), maar in dat traject neemt de opname minder af met toenemende grondwaterstandstijging. Aangezien er in dit jaar zelfs op de gronden met GHG 70-100 cm - mv. geen vochttekort was, vormt verbeterde vochtvoorziening geen verklaring hiervoor.

4.3 Vierde-Nota-studie

4.3.1 Opzet van de studie

Het doel van de Vierde-Nota-studie was het berekenen van de huidige en toekomstige uitspoeling van stikstof en fosfor vanuit het landelijk gebied naar het oppervlaktewater in Nederland. Daarnaast kan ook de belasting van het grondwater worden gekwantificeerd. De studie is uitgevoerd in het kader van de Watersysteemverkenningen ter voorbereiding op de Vierde Nota Waterhuishouding. Voor verdere informatie over de studie verwijzen we naar de WSV-publicatie van Boers et al. (1997), en voor informatie over het gebruikte instrumentarium naar Boogaard en Kroes (in voorb.).

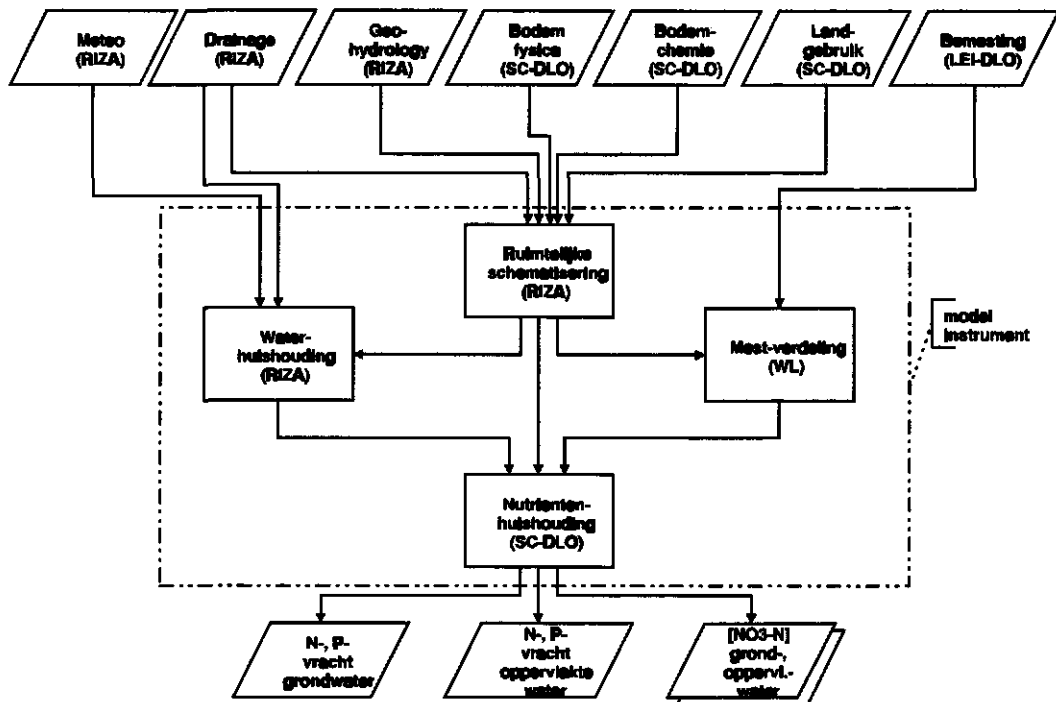


Fig. 9 Schematische weergave van de onderdelen van de Vierde-Nota-studie en de betrokken instellingen

Het project omvat de volgende onderdelen (fig. 9)

- ruimtelijke schematisatie van Nederland;
- hydrologische berekeningen;
- berekening van de bodembelasting;²
- nutriëntenberekeningen.

Ruimtelijke schematisatie van Nederland

Nederland is door het RIZA geschematiseerd in ruimtelijke rekeneenheden (plots). Binnen een plot zijn ruimtelijke kenmerken, die belangrijk zijn voor de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar grond- en oppervlaktewater, in horizontale richting uniform verondersteld. Elke plot wordt met het hydrologische model DEMGEN (DEMAND GENERATOR, Abrahamse et al., 1982) en het nutriëntenemissiemodel ANIMO apart doorgekend.

De schematisatie is tot stand gekomen door kaarten met de belangrijkste ruimtelijke kenmerken voor de uit- en afspoeling met elkaar te combineren en vervolgens weer te clusteren. De resultante is een kaart met grids van 500 m x 500 m (25 ha) gegroepeerd tot 3600 plots met unieke combinaties van de volgende belangrijke ruimtelijke kenmerken:

² In dit rapport wordt met bodembelasting de toevoer van meststoffen, inclusief depositie, naar de bodem bedoeld.

- 80 PAWN-districten: waterhuishoudkundige eenheden gedefinieerd door Abrahamse et al. (1982);
- 5 geohydrologische eenheden (kwel/wegzijging en drainagekenmerken);
- 4 bodemgebruiksvormen: gras, maïs, overige akkerbouw en natuur, afgeleid van satellietbeelden met een pixelgrootte van 50 bij 50 meter (Thunnissen et al., 1992);
- 21 bodemeenheden, gebaseerd op een bodemfysische en -chemische interpretatie van de Bodemkaart van Nederland 1 : 250 000 (Wösten, 1988). In de meeste plots zijn op elkaar lijkende bodemeenheden eerst samengevoegd.

Ten behoeve van dit project zijn de volgende combinaties gekozen (tabel 11). Voor iedere combinatie worden resultaten van plots met verschillende hydrologie gebruikt, die we zullen karakteriseren met een gemiddelde grondwaterstand.

Tabel 11 Overzicht van de bestudeerde combinaties van bodemtype en gewas uit de Vierde-Nota-studie. Voor aanvullende gegevens over het bodemtype zie aanhangsel 1

Bodemeenheid		Grondsoort	Gewas	
2	Koopveen op zand	zand	gras	
3	Klei op veen	klei	gras	
9	Podzol	zand	gras	maïs
11	Podzol	zand	gras	
12	Enkeerd	zand	gras	maïs
13	Beekeerd	zand	gras	
16	Lichte klei	klei	gras	
17	Zware klei	klei	gras	

Hydrologische berekeningen

Het RIZA heeft met het hydrologische model DEMGEN voor elke plot in Nederland de waterhuishouding van de bodem berekend. De bovenrandvoorwaarde van DEMGEN bestaat uit neerslag en verdamping. Daarvoor is de weerjarenreeks 1971-1993 gekozen. In deze reeks komen natte, normale en droge weerjaren voor. Op grasland is onbeperkt berekend. De onderrandvoorwaarde van DEMGEN is de kwel of wegzijging, die zijn berekend met het model NAGROM (De Lange, 1991). In het modelconcept ligt besloten dat laterale in- en uitstroming van een plot in directe verbinding staat met het oppervlaktewatersysteem. Dit heeft tot gevolg dat plots niet onderling worden beïnvloed door laterale in- en uitstroming. De uitvoer van DEMGEN bestaat uit vochtgehalten, verticale fluxen en laterale fluxen. Deze uitvoer wordt voor elk plot per tijdstap van 10 dagen (decade) en per bodemcompartiment gesimuleerd voor de weerjarenreeks 1971-1993 en vormt invoer voor het model ANIMO.

Bodembelastingsberekeningen

Het Waterloopkundig Laboratorium (WL) heeft de bodembelasting voor de 31 verschillende LEI-districten in Nederland berekend. Als basis heeft het WL

statistieken op gemeenteniveau gebruikt die zijn verzameld door het DLO-Landbouwkundig Economisch Instituut (LEI-DLO) en door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). De hoeveelheden aangewende kunstmest en geproduceerde dierlijke mest zijn geaggregeerd naar LEI-district-niveau en daarna met een mestverdelingsmodel van het WL verdeeld over de bodemgebruiksvormen. Het resultaat van bovenstaande mestberekeningen bestaat dus uit vier (gras, bouwland, maïs en natuur) bodembelastingsniveaus per LEI-district.

Nutriëntenemissieberekeningen

Voor iedere plot is de nutriëntenhuishouding gesimuleerd met het model ANIMO (par. 4.1). De simulatieperiode voor ANIMO bestaat uit vier 15-jarlijkse perioden (weerjarenreeks 1971-1985) lopende van 1986 tot en met 2045. We hebben voor dit project een ca. 10% droog (1975) en een ca. 10% nat weerjaar (1984) gekozen uit de tweede reeks van 15 jaren (dus 2005 en 2014).

De Vierde-Nota-studie bevat vijf verschillende mestscenario's, in volgorde van afnemende bemesting: voortzetting huidige bemesting, een landbouwvriendelijke variant van het beleid, huidig beleid (Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid), een milieuvriendelijke variant van het beleid en geen bemesting. Voor dit project is het eerste scenario met het hoogste bemestingsniveau gekozen. Omdat de gekozen combinaties van bodem en gewas in verschillende LEI-districten liggen kan de bemesting per locatie wat variëren. Hierop komen we bij de resultaten terug.

4.3.2 Resultaten

Grasland

Uit deze studie kunnen alleen resultaten worden vergeleken van verschillende locaties, omdat hydrologische scenario's ontbreken. Op grasland werd onbeperkt berekend. Uit de analyse van de resultaten blijkt de indeling volgens de figuren 10 en 11 het meest zinvol. De gemiddelde grondwaterstand (GWS) is over het hele weerjaar berekend uit de modelresultaten. Er is geen duidelijk onderscheid naar bodemeenheid binnen de drie grondsoorten zand-, veen- en kleigrond (tabel 11). Met de gemiddelde grondwaterstand als variabele op de x-as heeft een verdere opsplitsing naar Gt geen zin. De linker figuren bevatten de nattere gronden, de rechter de drogere (Gt 7 en 7* hebben we weggelaten, omdat ze geen informatie toevoegen).

Op de drogere gronden is geen effect van een hogere grondwaterstand op de stikstofopname van gras waarneembaar. De enige uitzondering hierop vormt Gt 5 op kleigrond in het natte jaar (fig. 11). Zoals blijkt uit de gemiddelde grondwaterstand in dat jaar (0,2-0,7 m - mv.) past Gt 5 in die situatie dan ook beter bij de natte gronden. Een positief effect van hogere grondwaterstand in verband met de vochtvoorziening valt niet te verwachten omdat in de studie is uitgegaan van berekening op grasland.

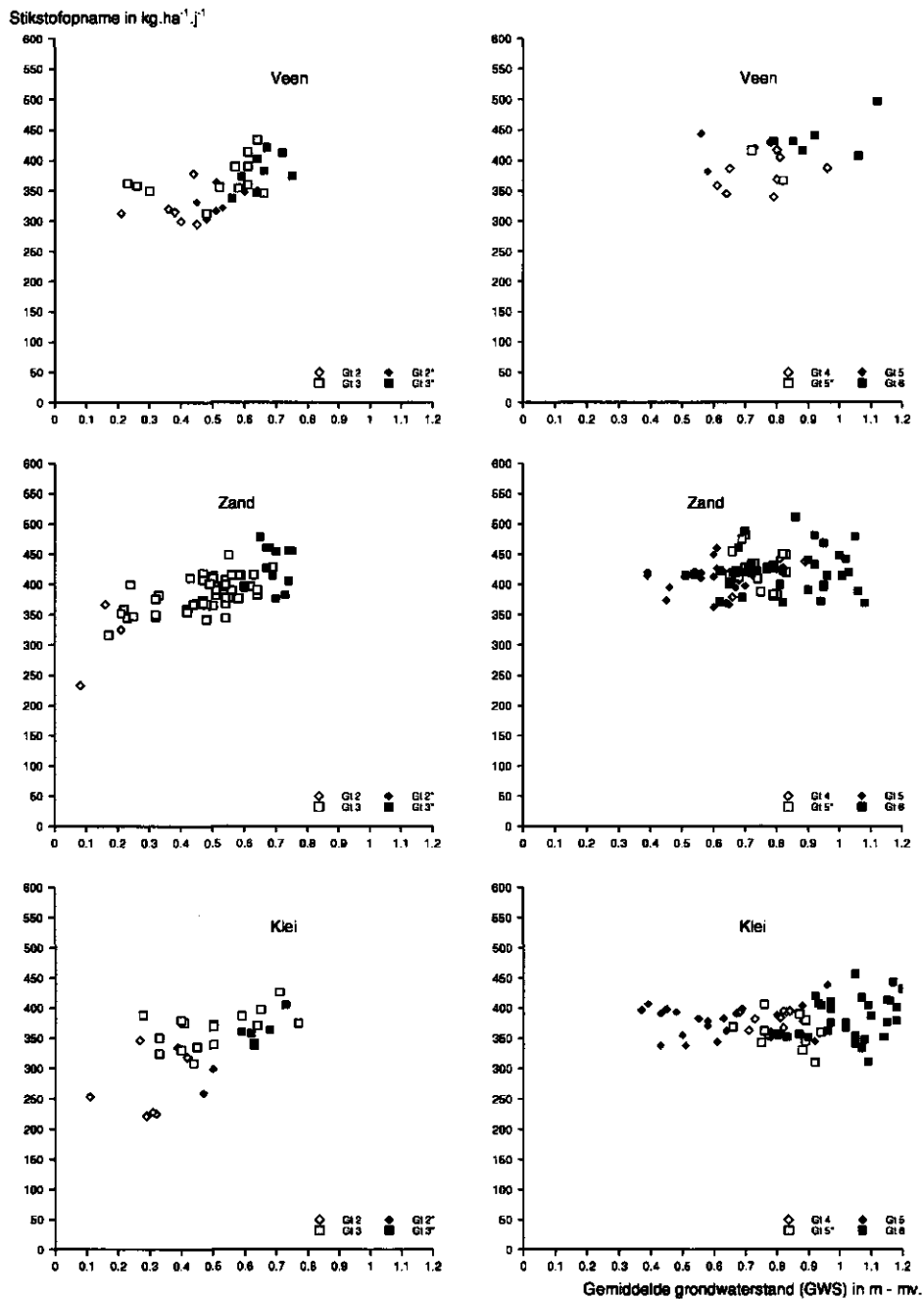


Fig. 10 De invloed van de gemiddelde grondwaterstand op de stikstofopname van gras in de Vierde-Nota-studie. Weerjaar 1975 (droog jaar)

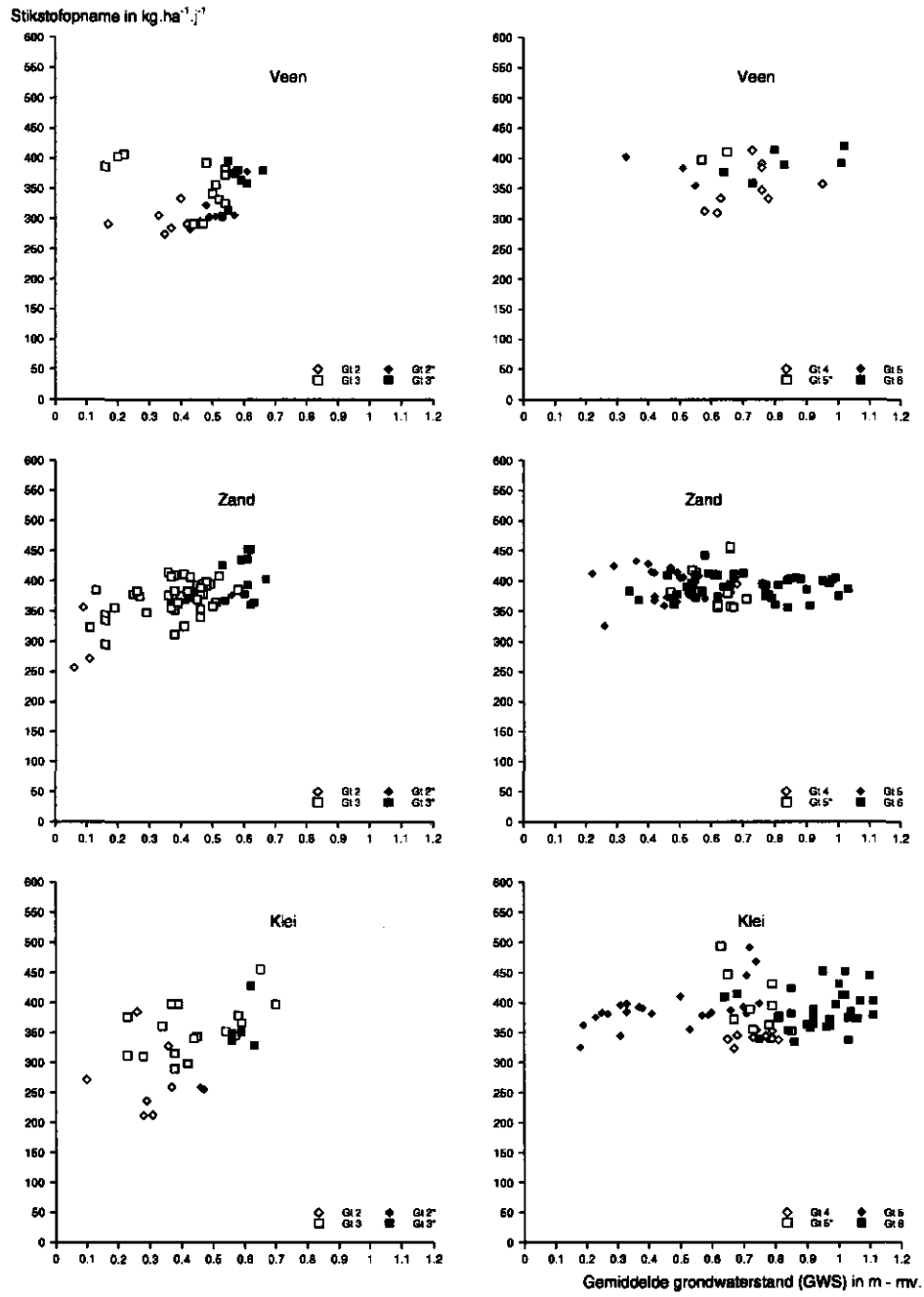


Fig. 11 De invloed van de gemiddelde grondwaterstand op de stikstofopname van gras in de Vierde-Nota-studie. Weerjaar 1984 (nat jaar)

Op de natte gronden is er wel invloed van hogere grondwaterstand op de stikstofopname. Als het grondwater 50 cm hoger staat, ligt de stikstofopname in het droge jaar zo'n $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ lager ($3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). In het droge jaar lijkt het effect op klei- en veengrond iets groter, maar de spreiding is groot. Het is vreemd dat er drie locaties zijn op veengrond met Gt3 (GWS 0,2 m - mv. in 1984), waar de stikstofopname in het natte jaar ($400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) hoger uitvalt dan in het droge jaar ($350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Een verklaring hiervoor vergt nadere analyse van de balansen voor die plekken. Deze drie punten verstoren het algemene beeld van het effect van gemiddelde grondwaterstand op de stikstofopname in het natte jaar.

De resultaten vertonen zo'n grote spreiding voornamelijk als gevolg van verschillen in bemesting. Op alle locaties is weliswaar hetzelfde bemestingsscenario toegepast, maar het bemestingsniveau kan tussen locaties binnen één bemestingsscenario toch verschillen, omdat zij in verschillende LEI-districten zijn gelegen. Er zijn twee manieren om dit probleem te ondervangen. Het is mogelijk een regressiemodel te maken met naast de gemiddelde grondwaterstand het bemestingsniveau als één van de verklarende factoren voor de stikstofopname. Het voordeel hiervan is dat de complete data-set dan in de analyse kan worden betrokken. Binnen het korte tijdsbestek van deze studie was dit echter niet meer haalbaar. Daarom hebben we onze toevlucht gezocht tot het selecteren van groepen locaties met ongeveer het zelfde bemestingsniveau (fig. 12 en 13). Uit de figuren blijkt dat we het nu weliswaar met minder punten moeten stellen, maar dat er redelijke lineaire verbanden uitkomen, die het eerder geschetste beeld grotendeels bevestigen. Afwijkend is het effect van grondwaterstand op de stikstofopname van veengrond met Gt 4 en hoger. Verder is het effect op de nattere zandgronden nu geringer (ca. $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Voor een beter onderbouwde kwantificering van het effect van grondwaterstand op de stikstofopname verdient het aanbeveling een regressiemodel op te stellen. Het maximale effect van grondwaterstand op stikstofopname ligt in de orde van $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Maïs

Volgens de resultaten van de modelberekeningen is er bij maïs geen sprake van invloed van de gemiddelde grondwaterstand op de stikstofopname (fig. 14). Merk op dat bij maïs Gt 2 en 2* niet voorkomt. Er zijn twee verklaringen voor dit verschil met grasland. Ten eerste is er een verschil in start van het groeiseizoen tussen beide gewassen. Voor gras wordt meestal gerekend op groei en opname vanaf het bereiken van T-som $200 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$, dat is gemiddeld medio maart. Bij maïs komt de groei en opname pas vanaf medio juni goed op gang. Verhoging van de grondwaterstand heeft vooral effect op de stikstofopname in de voorjaarsperiode waarin de grondwaterstanden hoger zijn. Het grondwater dringt hoger in de wortelzone, stimuleert de denitrificatie, en remt de stikstofmineralisatie en -opname. De periode van stikstofopname valt bij gras dus wel en bij maïs niet samen met de periode waarin het grootste effect van grondwaterstandsverhoging mag worden verwacht. Ten tweede mag bij dit hoge bemestingsniveau een zwakkere reactie van maïs op stikstof worden verwacht dan bij gras.

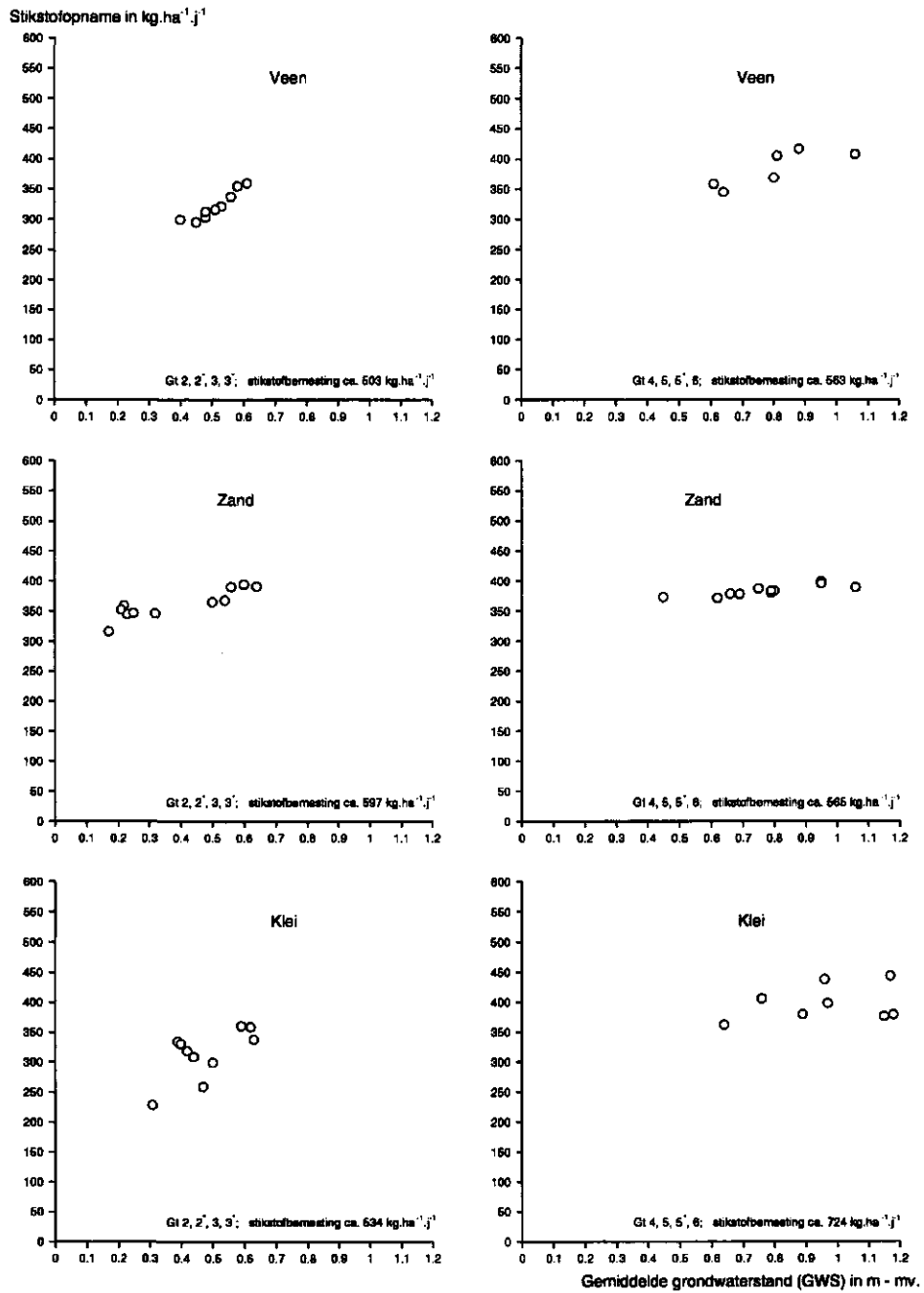


Fig. 12 De invloed van de gemiddelde grondwaterstand op de stikstofopname van gras in de Vierde-Nota-studie bij dezelfde bemesting. Weerjaar 1975 (droog jaar)

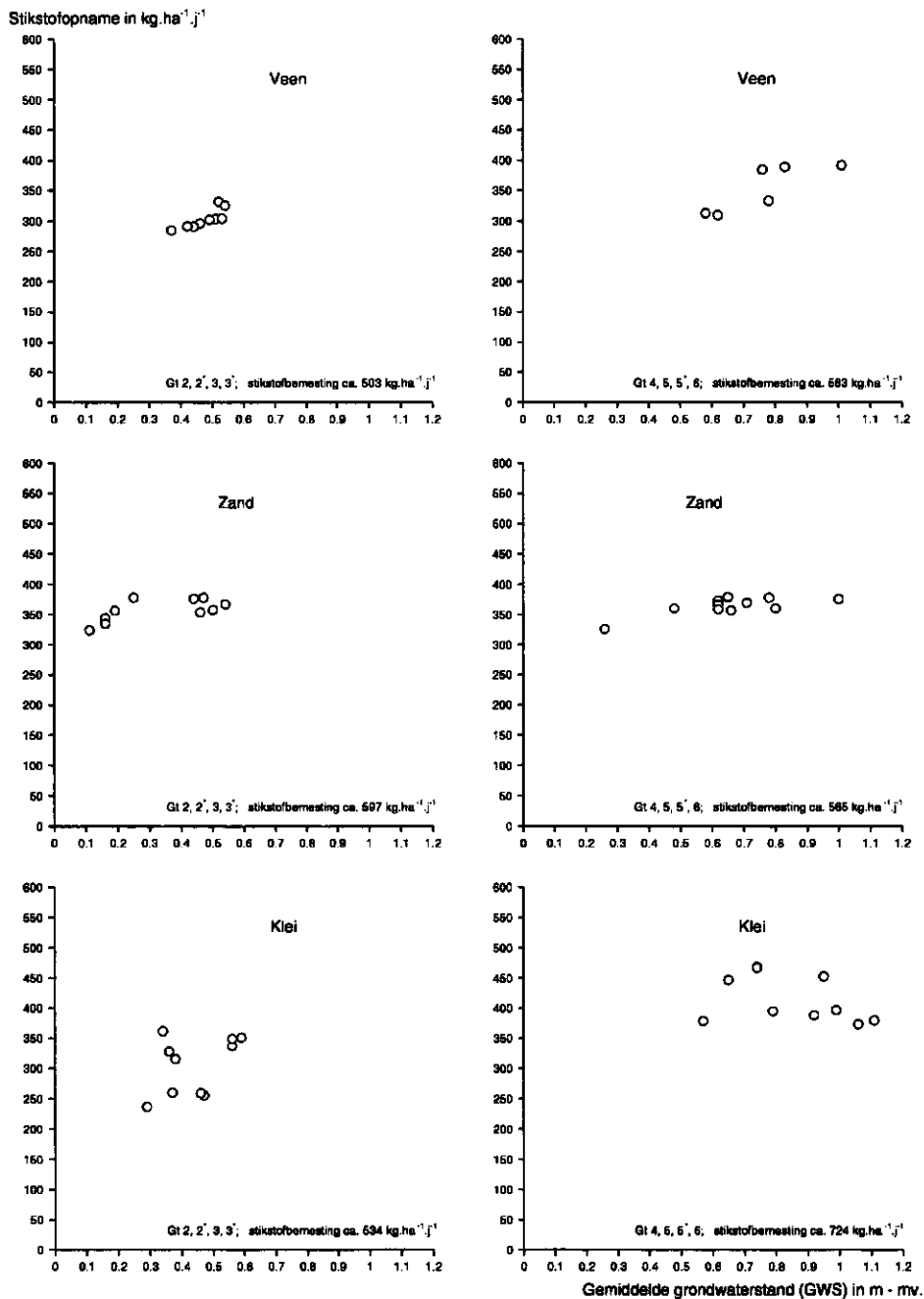


Fig. 13 De invloed van de gemiddelde grondwaterstand op de stikstofopname van gras in de Vierde-Nota-studie bij dezelfde bemesting. Weerjaar 1984 (nat jaar)

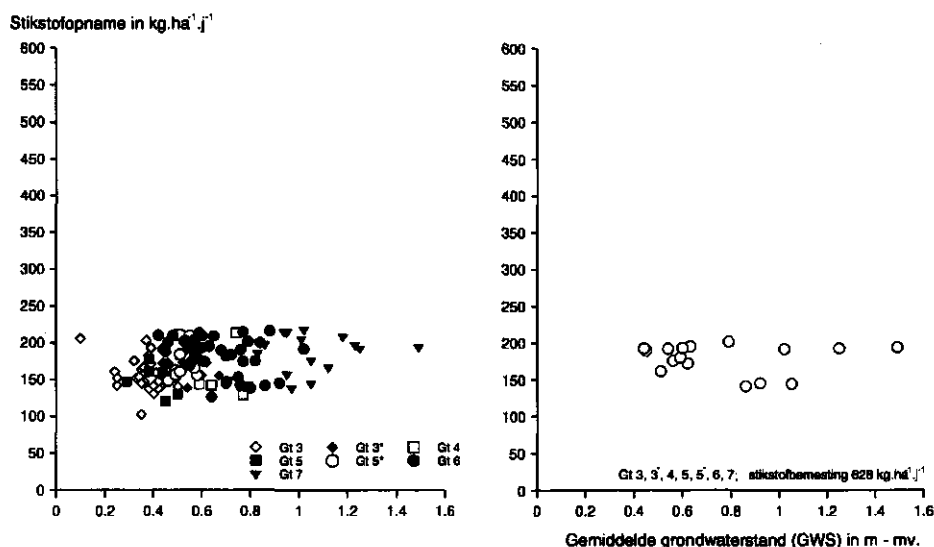


Fig. 14 Invloed van de gemiddelde grondwaterstand op de N-opname van maïs in de Vierde-Nota-studie bij verschillende bemestingen (links) en bij dezelfde bemesting (rechts). Weerjaar 1984 (nat jaar); zandgronden; grondwaterstrappen 3,3*, 4, 5, 5*, 6 en 7.

4.4 Conclusies

Uit de modelstudies blijkt een duidelijk effect van grondwaterstandsverhoging op de stikstofopname van gras, als het grondwater ongeveer binnen 50 cm - mv. komt. Deze diepte is niet verwonderlijk, omdat hij overeenkomt met de wortelzone, waar de diverse stikstofluxen het grootst zijn. Er is geen effect waargenomen bij maïs. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de latere start van het groeiseizoen bij maïs waardoor het gewas minder last heeft van natte omstandigheden die zich vooral voordoen in het voorseizoen.

Uit de vergelijking tussen locaties komt in de Beerze-Reusel-studie een groot verschil in stikstofopname door grasland van $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ naar voren tussen droge en natte gronden. Een dergelijk groot verschil wordt niet bevestigd door de Vierde-Nota-studie waar deze verschillen op zandgrond beperkt blijven tot hooguit $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. In de Beerze-Reusel-studie is sprake van overschatting. De maximale stikstofopname van het gras van $550 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ is niet reëel. Het maximum van $450 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ uit de Vierde-Nota-studie lijkt redelijk. Bovendien is in de Beerze-Reusel-studie stikstof onder natte omstandigheden te vroeg en dus inefficiënt toegediend.

Uit de vergelijking van de effecten van hogere en lagere grondwaterstanden op dezelfde locatie in de Beerze-Reusel-studie komt een verschil in stikstofopname van ongeveer $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, Mogelijk speelt de overschatting van de maximale stikstofopname hier een geringere rol.

Omdat de bemesting constant blijft werken verschillen in opname in de modelstudies rechtstreeks door in een hoger stikstofoverschot op perceelsniveau. In de Beerze-Reusel-studie is echter gecorrigeerd voor de bemesting die te vroeg in het seizoen is uitgevoerd. Het verschil in stikstofoverschot op graspercelen tussen natte en droge gronden is dan ongeveer $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$, wat lager dan de bovengenoemde verschillen in stikstofopname. Samenvattend luidt de conclusie uit de modelstudies dat de invloed van vernatting op de stikstofopname en het perceeloverschot³ $100\text{-}200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$ bedraagt.

De verschillen in stikstofopname of -overschot tussen natte en droge situaties per cm grondwaterstandsverschil zijn maximaal $3 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ bij de vergelijking tussen locaties (par. 4.2.2 en 4.3.2) en maximaal $5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ bij vernatting (par. 4.3.2). Dit komt overeen met de verwachting (par. 1.3) dat recent aangebrachte grondwaterstandsverschillen (nog geen evenwicht) een groter effect hebben dan reeds langer bestaande grondwaterstandsverschillen (wel evenwicht).

³ perceeloverschot = bemesting + depositie - netto-gewasopname - vervluchtiging (par. 1.3)

5 Discussie

5.1 Algemeen

Voor het doel van deze studie zijn we vooral geïnteresseerd in het kwantificeren van het effect van grondwaterstandsverhoging op de stikstofopname en het stikstofoverschot. Dit effect komt tot stand via de processen mineralisatie, denitrificatie en opname (stikstofbenutting). Bij de tot nu toe gehanteerde definitie van perceelsoverschot⁴ is de absolute waarde van het verschil in opname gelijk aan het verschil in overschot. Zodra de meer algemene definitie van overschot op bedrijfsniveau wordt gehanteerd is het niet meer zo eenvoudig, omdat er dan effecten in bedrijfsverband meespelen (ammoniakvervluchtiging vanuit de stal, veevoeding, management, etc.). Hierop komen we in paragraaf 5.3 terug. De discussie beperkt zich in paragraaf 5.2 nog tot het effect op perceelsniveau. We willen eerst de resultaten op perceelsniveau vergelijken en daaruit een conclusie trekken ten aanzien van de te verwachten verschillen in opname als gevolg van vernatting onder verschillende omstandigheden. In paragraaf 5.3 maken we dan een inschatting van de effecten daarvan in bedrijfsverband.

In de voorgaande hoofdstukken is het effect van grondwaterstandsverhoging (in cm) op de opname ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ N) uitgedrukt in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$. Het effect van de grondwaterstand is echter niet lineair. Grondwaterstandsverhoging heeft op droge gronden aanvankelijk een positief effect op de opname. Pas wanneer de grondwaterstand binnen de wortelzone komt, ontwikkelt zich een duidelijk negatief effect.

5.2 Effect op perceelsniveau

5.2.1 Grasland

Met behulp van tabel 12 is getracht zo veel mogelijk recht te doen aan de verschillen in aanpak en omstandigheden tussen de verschillende studies voor grasland. Uit de resultaten blijkt dat model- en proefveldresultaten redelijk overeenstemmen. Bij de vergelijking tussen locaties wordt in de Beerze-Reusel-studie op zandgrond een wat hoger effect gevonden dan in de PAW970-serie. De effecten op veengrond liggen in de Vierde-Nota-studie wat lager dan in PAW970. In de PAW970 serie varieert de gemiddelde grondwaterstand echter van ongeveer 28 tot 48 cm - mv., terwijl de gemiddelde grondwaterstand in de Vierde-Nota-studie soms beneden 1 meter zakt. Dit is voor veengronden niet reëel. In de Vierde-Nota-studie werd de grondwaterstand in veel gevallen te diep gesimuleerd (Boers et al., 1997). Bij zo'n diepe grondwaterstand valt geen negatief effect van vernatting te verwachten. Waarschijnlijk is dus het effect op basis van de Vierde-Nota-studie onderschat.

⁴ perceelsoverschot = bemesting + depositie - netto-gewasopname - vervluchtiging (§ 1.3)

Tabel 12 Het stikstofeffect van vernatting op grasland in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ in veldonderzoek (PAW970 en PR11, hoofdstuk 2) en modelonderzoek (Beerze-Reusel-studie, B-R en Vierde Nota-studie, NW4, hoofdstuk 4) op basis van verschillen in GHG en gemiddelde grondwaterstand. In de tabel is onderscheid gemaakt in effecten als gevolg van hydrologische verschillen tussen locaties en effecten als gevolg van aangebrachte hydrologische verschillen op één locatie

Grondsoort	Tussen locaties			Op één locatie	
	PAW970	B-R	NW4	PR11	B-R
<i>GHG</i>					
zand	1,6	2,5	-	-	5
veen	4,9	-	-	5	-
<i>Gemiddelde grondwaterstand</i>					
zand	1,2	-	< 1,5	-	-
veen	5,1	-	< 3,5	5	-
klei	-	-	< 2,5	-	-

In paragraaf 1.3 is uitgelegd dat na recent gewijzigde hydrologie op één locatie een groter effect verwacht mag worden van vernatting dan bij vergelijking van locaties met hydrologische verschillen. De resultaten van de Beerze-Reusel-modelstudie bevestigen deze theorie voor zandgrond. De theorie lijkt voor veengrond in eerste instantie niet te worden bevestigd op grond van de resultaten uit de twee proefveldseries. Echter ook hier speelt het verschil in gemiddelde grondwaterstand een rol tussen de twee proefseries. De verschillen in grondwaterstand tussen 'nat' en 'droog' stemden weliswaar goed overeen, maar de gemiddelde grondwaterstand lag bij PR11 beduidend lager dan bij PAW970. Hierdoor valt het effect bij PR11 lager uit dan bij PAW970. Onder met PAW970 vergelijkbare omstandigheden zou bij PR11 een hoger effect worden verwacht hetgeen weer overeenstemt met de theorie.

Het stikstofeffect in de Beerze-Reuselstudie van $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ na vernatting lijkt voor zandgrond erg hoog vergeleken met de proefvelden en vergeleken met veengrond. We hebben echter niet de beschikking over proefveldresultaten voor zandgrond met recent aangebrachte ontwateringsverschillen. In de vorige alinea hebben we gezien dat het stikstofeffect van $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ als gevolg van diepere ontwatering op veengrond waarschijnlijk een onderschatting is.

Op grond van de resultaten lijkt er weinig verschil tussen het uitdrukken van het stikstofeffect per cm gemiddelde grondwaterstandsverandering of per cm verschil in GHG. Aangezien er een correlatie is tussen beide, is dit niet verwonderlijk. Omdat het effect van grondwater in de wortelzone groter is, zou een duidelijker relatie met GHG mogen worden verwacht, de gemiddelde grondwaterstand zegt echter wat meer over het groeiseizoen als geheel.

Met uitzondering van PR11, zijn in de veldproeven alleen effecten gemeten van verschillen tussen locaties. Dit is een belangrijke tekortkoming in het beschikbare materiaal (tabel 12). In PR11 is alleen verlaging van de grondwaterstand bestudeerd. Het is de vraag of het effect van grondwaterstandsverlaging in omgekeerde richting mag worden toegepast op grondwaterstandsverhoging. Voor het effect van vernatting

op één locatie hebben we slechts de beschikking over één modelstudie. Vervolgonderzoek zou zich met name hierop moeten richten.

Samenvattend kunnen we stellen dat het stikstofeffect van vernatting niet lineair is. Het effect is groter naarmate het grondwater zich hoger in de wortelzone bevindt. Uitgedrukt in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ stikstofopnamevermindering per cm grondwaterstandsverhoging kan het effect voor grasland op veengrond groter zijn dan $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, na recent aangebrachte verschillen in ontwatering. Het effect tussen locaties met verschillen in ontwatering zal op veengrond veelal binnen $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ blijven. Voor zandgrond is de bovengrens van het effect door het ontbreken van voldoende proefveldmateriaal onzeker, maar ligt waarschijnlijk veel lager dan bij veengrond. Een maximumeffect van $2,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ lijkt gezien de resultaten een redelijke schatting om de effecten in bedrijfsverband mee door te rekenen.

5.2.2 Akkerbouw

De studie van Van Hoorn voor akkerbouwgewassen had betrekking op een proef op één locatie met aangebrachte grondwaterstandsverschillen. Er werd daar een stikstofeffect van ongeveer $1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ gevonden. De proef van Sieben is niet in tabel 12 onder te brengen omdat het verschil in ontwatering werd uitgedrukt in $\text{cm}\cdot\text{d}$ ($\text{SOW}_{30}+\text{SOV}_{30}$). Als we er van uitgaan dat het verschil van $1200 \text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ zich over 100 dagen (februari-april) heeft voorgedaan en dat de grondwaterstand op het best ontwaterde object zich steeds beneden de 30 cm - mv. bevond, dan is het verschil in grondwaterstand meer dan 12 cm geweest. Dit betekent dat het maximale verschil in stikstofopname van $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$, uitgedrukt per cm grondwaterstandsverschil, in de zelfde orde grootte ligt als de waarden in de tabel. Dit betekent dat het stikstofeffect van vernatting voor de akkerbouwgewassen ongeveer ligt tussen de gevonden waarden voor gras en die voor maïs (geen effect). Dit kan als volgt worden verklaard.

Zowel voor de wintergranen als voor grasland start het groeiseizoen in de periode dat een stikstofeffect van verschillen in grondwaterstand mag worden verwacht. Op grasland is dit effect groter omdat grasland over het algemeen natter is dan percelen met wintergraan. Bovendien kan grasland de achterstand die in de eerste snede in het voorjaar is opgelopen niet meer inhalen, terwijl er bij graan mogelijk nog compensatie kan optreden in de rest van het seizoen.

De start van het groeiseizoen van maïs valt veelal na de natte periode, dit geldt in mindere mate ook voor suikerbieten en aardappelen. Uit het onderzoek van Sieben bleek dat het effect op de mineralisatie voor een belangrijk deel was toe te schrijven aan het meer blijvende effect van de ontwatering op de structuur van de kleigrond. Omdat de resultaten voor maïs alleen betrekking hebben op zandgrond waar dit effect via de structuur niet speelt is hiermee verklaard waarom bij de akkerbouwgewassen wel en bij maïs geen effect is waargenomen.

5.3 Effecten in bedrijfsverband

In de vorige hoofdstukken zijn de effecten van vernatting op de stikstofhuishouding beschreven op perceelsniveau. Prestaties in de landbouw worden echter afgerekend op bedrijfsniveau. Daarom zijn de effecten op perceelsniveau opgeschaald met behulp van het bedrijfsmodel FARMMIN (Van der Putten en Van der Meer, 1995). Verondersteld is dat bij veen de bedrijfsoppervlakte volledig in gebruik is als grasland, op zand wordt op 25% van de oppervlakte snijmaïs verbouwd. Het vee wordt op beide grondsoorten dag en nacht beweid. De jaarlijkse melkproductie is 7000 kg per koe en 11 700 kg per ha. Door deze aannames wordt de gemiddelde situatie in de praktijk dicht benaderd. Uitgegaan is van 'management volgens het boekje'. In de praktijk is dat vaak niet goed te realiseren, waardoor het stikstofoverschot hoger zal zijn. Voor een verkenning van de effecten van vernatting is dat geen groot probleem. Het gaat immers om verschillen.

Tabel 13 Uitgangspunten voor de stikstofhuishouding bij grasland voor de bedrijfsberekeningen (kg.ha⁻¹.j⁻¹). Gift is de hoeveelheid werkzame N uit kunstmest en drijfmest, mineralisatie is het stikstofleverend vermogen, benutting is het terugwinningspercentage

	Mineralisatie	Gift	Opname	Benutting
<i>Veen</i>				
1 - normaal	300	200	418	0,59
2 - nat	200	300	335	0,45
<i>Zand</i>				
1 - normaal	200	400	460	0,65
2 - nat	180	400	400	0,55

In tabel 13 staan een aantal aannames met betrekking tot de stikstofhuishouding van het grasland. Uit de vorige paragraaf bleek dat de maximale verschillen in stikstofopname tussen natte en normale omstandigheden kunnen oplopen tot boven 5 kg.ha⁻¹.j⁻¹.cm⁻¹ op veengrond. Voor zandgronden verwachten we een stikstofeffect van hoogstens 2,5 kg.ha⁻¹.j⁻¹.cm⁻¹. Uitgaande van een vernatting van maximaal 30 cm kan dus een verschil in stikstofopname van meer dan 150 kg.ha⁻¹.j⁻¹ ontstaan op veengrond. Op zandgrond zou dit veelal minder dan 75 kg.ha⁻¹.j⁻¹ zijn. Deze verschillen ontstaan door verschillen in stikstofmineralisatie en -benutting. Op zandgrond vooral door verschillen in benutting, op veengrond vooral door verschillen in mineralisatie.

Om het aantal varianten te beperken berekenen we alleen de situaties in tabel 13. Omdat de benuttingspercentages in de veldproeven van hoofdstuk 2 (zandgrond ca. 50%) erg laag liggen ten opzichte van recentere proefveldresultaten (ca. 75%, Van der Meer en Van Uum-Van Lohuyzen, 1986) gebruiken we in de berekeningen hogere benuttingspercentages. We gaan er daarbij van uit dat in de praktijk lagere benuttingspercentages worden gehaald dan in recente proefveldresultaten.

Het verschil in stikstofopname tussen normale en natte zandgrond bedraagt in de berekeningen 60 kg.ha⁻¹.j⁻¹. De verschillen in opname bij veengrond lijken te laag, maar dat komt omdat de bemesting aan het verschil in mineralisatie is aangepast. Bij dezelfde bemesting zou het verschil in stikstofopname tussen normale en natte veengrond 128 (stikstofgift 200) of 142 (stikstofgift 300) kg.ha⁻¹ bedragen. De verschillen in opname in de bedrijfsberekening sluiten dus goed aan bij de vorige paragraaf.

De effecten van vernatting zijn ook in bedrijfsverband op veengronden veel groter dan op zandgronden (tabel 14). Bij vernatting neemt de behoefte aan stikstofmeststoffen sterk toe. Omdat de drijfmestproductie nauwelijks verandert moet het verschil in meststofbehoefte worden vertaald in kunstmestaankoop. Zelfs bij een verhoging van de stikstofbemesting met $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ wordt veel minder ruwvoer geproduceerd dan bij diepere ontwatering. Op natte veengrond moet ruwvoer worden aangekocht terwijl het bedrijf op dieper ontwaterde veengrond ruwvoer kan verkopen. Een nog hogere bemesting met als doel zelfvoorzienend te worden voor ruwvoer zou in de natte situatie zoveel kunstmest vergen dat de rentabiliteit twijfelachtig is (meer kunstmest en een hoger stikstofoverschot). Door de grotere hoeveelheid kunstmest en de lagere productie van ruwvoer stijgt het stikstofoverschot sterk ($185 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Het effect is zelfs groter dan het effect op de stikstofopname ($128\text{-}142 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Als dit extra overschot zou worden belast met f 1,50 per kg dan is de totale schade door vernatting f 1 135 per ha. Ook zonder overschotheffing is de schade nog aanzienlijk, namelijk f 858 per ha.

De werkelijke milieubelasting in termen van ammoniakvervluchtiging en nitraatuitspoeling verschilt nauwelijks. Het model FARMMIN maakt geen onderscheid in uitspoeling naar grond- of oppervlaktewater. Verder moet worden bedacht dat in de dieper ontwaterde situatie jaarlijks een groter deel van het veen wordt verbruikt. Er wordt in die situatie ingeteerd op de voorraden die in eerdere eeuwen zijn opgebouwd, waardoor meer CO_2 vrijkomt. In de natte situatie wordt meer stikstof vastgelegd of gedenitrificeerd. Bij een evaluatie van de milieueffecten zou bovendien de emissie van lachgas (N_2O) moeten worden betrokken.

Tabel 14 Verschil in bedrijfsresultaat (per ha) van melkveebedrijven tussen normaal en nat. Kosten kunstmest f 1 per kg N, krachtvoer f 0,40 per kg ds, ruwvoer f 0,30 per kg ds, overschotheffing f 1,50 per kg N

	Veen			Zand		
	normaal (kg)	nat (kg)	verschil (f)	normaal (kg)	nat (kg)	verschil (f)
<i>Aanvoer grondstoffen</i>						
kunstmest-N	124	223	99	266	268	2
krachtvoer (ds)	2963	2963	0	2110	2165	22
ruwvoer (ds)	0	1074	322	0	24	7
<i>Afvoer producten</i>						
melk	11700	11700	0	11700	11700	0
dieren	356	356	0	356	356	0
ruwvoer (ds)	1455	0	437	1098	0	329
mest (ton)	0	0	0	0	0	0
<i>Milieuprestaties</i>						
N-overschot	129	314	277	271	311	60
vervluchtiging $\text{NH}_3\text{-N}$	55	56	0	55	54	0
uitspoeling $\text{NO}_3\text{-N}^*$	75	73	0	124	116	0
Extra kosten vernatting			1135			413

* uit wortelzone

Op zandgrond zijn de effecten van vernatting minder groot. Het vernatte bedrijf komt een klein beetje ruwvoer tekort terwijl het goed ontwaterde bedrijf nog ruwvoer kan verkopen. Het stikstofoverschot neemt door vernatting toe met $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. Het verschil in bedrijfsoverschot is in dit geval kleiner dan het verschil in stikstofopname ($60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$), omdat het effect van vernatting door de veehouder niet wordt gecompenseerd door extra stikstofkunstmest te gebruiken. Hij accepteert een lagere ruwvoerproductie en -verkoop, en vermijdt daardoor ook de verliezen die daarmee gepaard gaan. Iets dergelijks zal bij dezelfde strategie ook gebeuren in het geval van ruwvoertekort. Bij extra ruwvoeraankoop worden verliezen als gevolg van de productie van dat ruwvoer eveneens vermeden. De totale vernattingsschade bedraagt met heffing f 413 en zonder heffing f 353 per ha.

Ook op zandgrond zijn de verschillen in milieueffecten gering. In werkelijkheid zal in de natte situatie een groter deel van de nitraatuitspoeling naar het oppervlaktewater gaan en een kleiner deel naar het grondwater.

In de bedrijfsberekeningen is met een stikstofterugwinning gerekend die ligt tussen de waarde uit de gebruikte oudere veldproeven en de waarde op basis van recentere proefveldresultaten (Van der Meer en Van Uum-van Lohuyzen, 1986). Hierdoor worden ook grotere verschillen in de drogestofopbrengst c.q. de ruwvoerbilans berekend. De realiteit hiervan hangt af van de stikstofterugwinning onder praktijkomstandigheden. Onder ongunstige omstandigheden kunnen de effecten van vernatting daarom meevallen ten opzichte van de berekeningen.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met managementproblemen door vernatting, met als mogelijk gevolg een slechtere grasgroei (te laat bemesten, zodekwaliteit), een slechtere benutting (grotere beweidings- en oogstverliezen) of een slechtere kwaliteit product (te laat inscharen, te zware snede, te lange veldperiode, botanische samenstelling). Het integreren van deze aspecten in bedrijfsverband zou tot grotere verschillen in stikstofoverschot leiden. Om slechtere ruwvoerkwaliteit te compenseren is in de natte situatie bijvoorbeeld meer krachtvoer nodig. Deze aspecten, die vaak ook verband houden met de veebezetting, gelden voor beide grondsoorten en zouden in een vervolgonderzoek aandacht moeten krijgen. Ze maakten geen deel uit van de projectopdracht, omdat ze voor een deel al in het huidige instrumentarium voor effectbeschrijving zijn opgenomen. In een vervolgstudie is het echter noodzakelijk ook deze aspecten van de bedrijfsvoering te integreren om het effect van stikstof goed in te kunnen schatten.

In de bedrijfsberekeningen is ook geen rekening gehouden met meerdere bodemtypen (droog en nat) op het veehouderijbedrijf. Dit zou in een vervolgstudie wel moeten omdat dan rekening kan worden gehouden met interne compensatie op het bedrijf van effecten van vernatting (op droge grond positief, op natte gronden negatief).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op droogtegevoelige zandgrond is er een positief effect van vernatting op de stikstofopname als gevolg van verbeterde vochtvoorziening. Dit effect bedraagt op grasland gemiddeld ongeveer $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$.

Er is een negatief effect van vernatting op de stikstofopname wanneer de grondwaterstand in het groeiseizoen binnen de wortelzone (50 cm - mv.) komt. Het effect van grondwaterstandsverhoging (cm) op de stikstofopname ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) is niet lineair, want het wordt negatiever naarmate de grondwaterstand hoger in de wortelzone doordringt. Aangezien hogere grondwaterstanden in de praktijk vooral voorkomen in het voorjaar, is dan het effect van vernatting op de stikstofopname het grootst.

Het negatieve effect van vernatting in het groeiseizoen op de stikstofopname komt tot stand via verlaging van de stikstofmineralisatie en verlaging van de stikstofbenutting van toegediende meststof (stikstofterugwinning). Het effect van vernatting op de stikstofterugwinning van grasland ligt in de orde van 20%, ongeacht de grondsoort. Het effect op de mineralisatie is op veengrond veel groter (ca. 50%) dan op zandgrond (<10%). Hierdoor kan op goed ontwaterde veengrond voor dezelfde opbrengst de stikstofgift op grasland 100 tot $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ lager zijn dan op natte veengrond. Op zandgrond is dit verschil 50 tot $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$.

Na recent aangebrachte verschillen in grondwaterstand (cm) kan het effect op de stikstofopname van grasland op veengrond oplopen tot boven de $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, tussen locaties met reeds lang bestaande verschillen in ontwatering is het effect kleiner. Het maximumeffect op zandgrond is bij gebrek aan materiaal onzeker, we schatten het op $2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Uitgaande van een grondwaterstandsverhoging van 30 cm kan het effect op de stikstofopname op veengrond dus oplopen tot waarden boven de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, op zandgrond is het naar schatting maximaal $75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$.

Op zandgrond is er bij maïs geen negatief effect waargenomen, waarschijnlijk omdat de vernatting buiten het groeiseizoen optrad. Op kleigrond is er bij granen wel een negatief effect van vernatting buiten het groeiseizoen waargenomen, waarschijnlijk als gevolg van negatieve invloed op de bodemstructuur. Dit effect had alleen invloed op de mineralisatie. Het effect van grondwaterstandsverhoging op de stikstofopname van akkerbouwgewassen ligt in de orde van één tot enige $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Eén van de redenen voor de aanzienlijke spreiding in resultaten ten aanzien van het effect op de stikstofopname per cm grondwaterstandsverhoging is de reeds vermelde niet-lineariteit van het effect. Als gevolg van de beperkingen die aan deze studie waren opgelegd was het niet mogelijk de oorzaak voor de spreiding nader te analyseren. Evenmin was het mogelijk na te gaan wat het effect is van het patroon van de grondwaterstandsverhoging in de tijd.

De absolute waarde van het verschil in perceeloverschot tussen de natte en de droge situatie is in deze studie per definitie gelijk aan het verschil in stikstofopname. Voor het bedrijfsoverschot van melkveebedrijven ligt dat anders, enerzijds omdat dan ook verliezen via het voer, het vee en de mest meespelen, anderzijds omdat het verschil in overschot af zal hangen van de manier waarop de veehouder inspeelt op de vernatting. Als de veehouder het effect van vernatting compenseert door extra kunstmeststikstof te gebruiken, dan kan het verschil in bedrijfsoverschot groter worden dan het verschil in opname. Als de veehouder daarentegen een lagere productie accepteert en meer ruwvoer en krachtvoer aankoopt (of minder ruwvoer verkoopt) dan zal het verschil in bedrijfsoverschot tussen 'nat' en 'droog' kleiner zijn dan het verschil in opname.

Op veengrond zijn we ervan uitgegaan dat de veehouder de lagere stikstofopname als gevolg van vernatting gedeeltelijk compenseert met extra kunstmeststikstof. Het verschil in bedrijfsoverschot van stikstof loopt daardoor op tot $185 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N en de financiële schade als gevolg van stikstof tot f 1135 per ha mét en f 858 per ha zonder overschotheffing. Op zandgrond gaan we ervan uit dat de lagere stikstofopname als gevolg van vernatting gecompenseerd wordt via het ruwvoer, waardoor het verschil in bedrijfsoverschot beperkt blijft tot $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N. De financiële schade is f 413 per ha mét en f 353 per ha zonder heffing.

Het gebruikte bedrijfsmodel houdt geen rekening met de verminderde kwaliteit van het ruwvoer als gevolg van vernatting. Hierdoor is in de natte situatie in werkelijkheid extra krachtvoer nodig, waardoor de verschillen in bedrijfsoverschot zullen toenemen. De bedrijfsberekeningen houden daarentegen ook geen rekening met interne compensatie op het bedrijf van de effecten van vernatting als gevolg van de aanwezigheid van zowel droge grond (positief effect) als natte grond (negatief effect).

Het viertal bedrijfsberekeningen is uiteraard te gering om de mogelijke spreiding in het effect op het overschot aan te geven. Ze dienen slechts als globale indicatie.

De effecten van vernatting op stikstofopname en -overschot, en op het bedrijfsresultaat zijn onder diverse reële omstandigheden niet verwaarloosbaar. Tot slot kan daarom worden geconcludeerd dat het noodzakelijk is om bij schaderegelingen ook rekening te houden met stikstof.

6.2 Aanbevelingen

Voor een verbeterde onderbouwing van het bestudeerde effect van grondwaterstandsverhoging (cm) op stikstofopname ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) is vooral behoefte aan veldonderzoek met grondwaterstandsverhoging als één van de behandelingen. Aanbevolen wordt dergelijk onderzoek zodanig uit te voeren dat het voor calibratie en validatie van modellen kan worden benut.

In een vervolgonderzoek zou de grote spreiding in het effect van grondwaterstandsverhoging (cm) op stikstofopname ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) nader moeten worden geanalyseerd. Daarbij moet ook het patroon van de grondwaterstandsverhoging worden betrokken.

Ten behoeve van de analyse van de effecten in bedrijfsverband moet in het vervolg ook het effect van vernatting op de kwaliteit van het ruwvoer worden betrokken. Hetzelfde geldt voor interne compensatie op het bedrijf van de effecten van vernatting als gevolg van de aanwezigheid van zowel droge als natte grond.

Aanbevolen wordt om ter onderbouwing van een schaderegeling het aspect stikstof te integreren in één instrumentarium, omdat de benutting van stikstof een sterke interactie vertoont met de waterhuishouding, het bodemtype en de bedrijfsvoering.

Ten behoeve van de onderbouwing van een schaderegeling wordt aanbevolen om in een vervolgstudie uit te gaan van een groter aantal representatieve reële bedrijfs-situaties.

Literatuur

Abrahamse, A.H., G. Baarse, E. van Beek, 1982. *PAWN-volume XII; Model for regional hydrology, agricultural water demands and damages from drought and salinity*. N-1500/12-Neth. Rand Corporation, Santa Monica, USA.

Boers, P.C.M., H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh en J.A.P.H. Vermulst, 1997. *Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw*. RIZA, SC-DLO, WL. Rapport 532, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bolt, F.J.E. van der, P.E.V. van Walsum en P. Groenendijk, 1996. *Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep; Simulatie van de regionale hydrologie*. Rapport 306.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bolt, F.J.E. van der, P. Groenendijk en H.P. Oosterom, 1996a. *Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep. Simulatie van de nutriëntenhuishouding*. Rapport 306.2, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bolt, F.J.E. van der, P. Groenendijk en H.J. Oosterom, 1996b. *Nutriëntenbelasting van grond en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep; Effecten van bemestingsmaatregelen*. Rapport 306.3, DLO Staring Centrum, Wageningen.

Boogaard, H.L., J.G. Kroes, in voorb. *GONAT. National nutrient simulations with ANIMO 3.5*. Technical document 41, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Boxem, T. en A.W.F. Leusink, 1978. *Ontwatering in veengrasland*. Verslag van een vergelijkend onderzoek onder bedrijfsomstandigheden te Zegveld van 1970 t/m 1975. Publ. 11, PR, Lelystad.

Eck, G. van en J.A.C. Meijs, 1995. *Stikstofverliezen en stikstofoverschotten in de Nederlandse landbouw*. Project Verliesnormen, deelrapport 3. Ministeries van LNV, VROM en V&W, Landbouwschap en LTO-Nederland.

Groenendijk, P. en F.J.E. van der Bolt, 1996. *Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep. Effecten van waterhuishoudkundige ingrepen*. Rapport 306.4, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Groenendijk, P. en C.W.J. Roest, 1997. *Stikstofverliezen, -overschotten en -uitspoeling door bemesting van graslandpercelen in het stroomgebied van de Beerze en de Reusel*. Rapport 484 DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Hoorn, J.W. van, 1958. *Results of a groundwater level experimental field with arable crops on clay soil.* *Neth.J.Agric.Sc.* 6(1):1-10.

Kroes, J.G., 1995. *ANIMO Version 3.5 USER'S GUIDE.* Interne Mededeling 102, DLO-Staring Centrum, Wageningen..

Lange, W.J. de, 1991. *A ground water model of The Netherlands.* Basisrapport Derde Nota Waterhuishouding, RIZA, Lelystad.

Meer, H.G. van der en M.G. van Uum-van Lohuyzen, 1986. *The relationship between inputs and outputs of nitrogen in intensive grassland systems.* In: H.G van der Meer, J.C. Ryden and G.C. Ennik (eds.): *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems.* Developments in Plant and Soil Sciences, Vol. 23, p. 1-18. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.

Putten, A.H.J. van der en H.G. van der Meer, 1995. *Verkenning van streefwaarden voor het overschot op de stikstofbalans van melkveebedrijven.* Rapport 45. AB-DLO. Wageningen

Querner E.P. en P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO.* Report 7, DLO-Staring Centre, Wageningen.

Rijtema, P.E., J.G. Kroes, P. Groenendijk, C.W.J. Roest, in voorb. *Formulation of the nitrogen and phosphate behaviour in agricultural soils, the ANIMO model.* Rapport 30, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Sieben, W.H., 1974. *Over de invloed van de ontwatering op de stikstoflevering en op de opbrengst van jonge zavelgronden in de IJsselmeerpolders.* Van Zee tot Land 51, RIJP, Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.

Steenbergen, T. van, 1974. *Het effect van stikstofbemesting op de gewasopbrengst van grasland bij diverse ontwateringstoestanden en grondsoorten.* Verslag van de proefveldenserie PAW970, intern verslag CABO, Wageningen.

Steenbergen, T. van, 1977. *Invloed van gronsoort en jaar op het effect van stikstofbemesting op de graslandopbrengst.* Stikstof 85: 9-16.

Thunnissen, H., R. Olthof, P. Getz, L. Vels, 1992. *Grondgebruiksdatbank van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen.* Rapport 168, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Werkgroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie.* Meded. Landinrichtingsdienst 176, Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Wösten J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom, A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie.* Rapport nr. 2055, Stiboka, Wageningen.

Aanhangsel 1 Beschrijving van de gebruikte bodemeenheden uit de Vierde-Nota-studie

Bodemfysische en -chemische indeling (Wösten et al., 1988)

Legenda tabelkop

nr naam code bodemkaart

Legenda tabelkolommen

- 1: horizontcode
 2, 3: laagdiepte in cm
 4: code Staringreeksbouwsteen
 5: dichtheid in kg.m⁻³
 6: Al/Fe-gehalte
 7: % organische stof
 8: % lutum op de minerale delen
 9: pH-KCl

2		'kpveenzd'	'aVz, hVz					
'A1	'	0 20	'B16'	0.71	247.0	30.	8.	5.0
'C11	'	20 35	'O17'	0.24	220.4	60.	8.	5.0
'C12	'	35 75	'O17'	0.24	220.4	70.	8.	5.0
'DG	'	75 100	'O02'	1.70	17.0	1.	4.	5.2
'DGx	'	100 700	'O02'	1.70	17.0	1.	4.	5.2

3		'klveenol'	'pVb, kVb					
'A1g	'	0 20	'B11'	0.67	417.2	15.	55.	4.9
'C1g	'	20 35	'B11'	0.73	450.3	10.	55.	4.9
'D1	'	35 50	'O17'	0.28	341.2	55.	70.	5.0
'D2	'	50 75	'O17'	0.20	266.6	60.	70.	5.0
'DG	'	75 100	'O17'	0.15	148.2	60.	70.	5.0
'DGx	'	100 700	'O17'	0.15	148.2	60.	70.	5.0

9		'podzolZ8'	'Hn21					
'Ap	'	0 20	'B02'	1.3	66.4	5.	3.	4.8
'B2	'	20 50	'B02'	1.5	66.2	3.	3.	4.4
'B3	'	50 75	'O02'	1.6	45.9	2.	3.	4.4
'C1g	'	75 100	'O02'	1.6	34.9	0.5	3.	4.6
'C1gx	'	100 700	'O02'	1.6	34.9	0.5	3.	4.6

11		'podzlZ8x'	'Hn23x					
'Ap	'	0 20	'B03'	1.3	76.8	5.	5.	4.8
'B2	'	20 50	'B03'	1.5	112.7	3.	5.	4.4
'C1g	'	50 100	'O02'	1.6	66.8	2.	3.	4.6
'Dx	'	100 700	'O06'	1.7	57.3	0.2	15.	4.0

12		'enkeerdz'	'zEZ21					
'Aanp'	'	0 25	'B02'	1.3	78.2	5.	3.	4.4
'Aan2'	'	25 75	'B02'	1.3	87.1	4.	3.	4.4
'B2	'	75 100	'B02'	1.4	81.0	2.	3.	4.5
'Cx	'	100 700	'O02'	1.5	70.5	0.5	3.	4.7

13		'beekeerd'	'pZg23					
'Ap	'	0 25	'B03'	1.3	85.3	6.	6.	4.9
'C11g'	'	25 50	'O03'	1.7	59.4	1.	6.	5.0
'C12	'	50 100	'O02'	1.7	27.4	0.5	4.	5.2
'Gx	'	100 700	'O02'	1.7	11.8	0.5	4.	5.4

16	'lichklei'		'Mn35A, Rd90A, Rd90C				
'A1	'	0 25	'B10'	1.4	82.7	5.	28. 7.3
'C12	'	25 60	'O10'	1.4	75.3	2.	28. 7.4
'C22g'	'	60 100	'O10'	1.4	75.3	1.	20. 7.7
'Cx	'	100 700	'O10'	1.4	75.3	1.	20. 7.7
17	'zwarklei'		'Rn44C, gMn83C, kMn48C, Rn47C'				
'A	'	0 25	'B12'	1.2	219.7	6.	55. 5.6
'C11g'	'	25 100	'O13'	1.3	151.5	2.	55. 5.5
'Gx	'	100 700	'O13'	1.0	210.2	2.	55. 7.4