32/446(243)1e ex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

# Verklaring van de variabiliteit van nitraatconcentraties op 1 m - mv. onder beweid grasland door simulatie

**J.P. Dijkstra**
**M.J.D. Hack-ten Broeke**
**W.J.M. de Groot**
**W.J.M. van der Voort**

**Rapport 243**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1993**

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0580 0186

2 - DEC. 1993

Isn 588924

REFERAAT

Dijkstra, J.P, M.J.D. Hack-ten Broeke, W.J.M. de Groot en W.J.M. van der Voort, 1993. *Verklaring van de variabiliteit van nitraatconcentraties op 1 m - mv. onder beweid grasland door simulatie.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 243, 76 blz.; 24 fig.; 2 tab.; 22 ref.; 4 aanh.

Op het proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu 'De Marke' hebben CABO-DLO en SC-DLO een project opgestart dat voorziet in de monitoring van bodem, gewas en nutriënten op het bedrijf. Op een van de percelen waar in 1991 beweid grasland was, is een uitgebreide studie gedaan naar de variabiliteit van [$NO_3^-$] op 1 m - mv. De spreiding van de gemeten concentraties in dat jaar lag tussen 0 en 140 mg/l. Met de modellen SWACROP en ANIMO zijn de concentraties gesimuleerd waarbij de beweiding als variabele factor werd gebruikt om de gemeten spreiding te verklaren. Uit een studie naar de ruimtelijke variabiliteit van de nitraatconcentraties blijkt dat de cups voor de monstername tenminste één meter uit elkaar moeten liggen om onafhankelijke waarnemingen te krijgen en derhalve een goed gemiddelde voor het perceel. Tevens blijkt dat het perceel uit twee verschillende bodemeenheden bestaat waar ook verschillende concentraties van nitraat in het bodemvocht gevonden worden.

Trefwoorden: variabiliteit, beweid grasland, nitraatconcentraties op 1 m - mv., simulatie

ISSN 0927-4499

Dit rapport is tevens opgenomen in de reeks verslagen van De Marke, Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu, Hengelo Gld., als rapport nr. 9

©1993 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

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.

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.

Project 7232 [*JD*]

INHOUD blz.


| | | |
|---|---|---|
| WOORD VOORAF | | 9 |
| SAMENVATTING | | 11 |
| 1 | INLEIDING | 13 |
| 1.1 | Hoofstukindeling | 14 |
| 2 | VELDWAARNEMINGEN | 15 |
| 2.1 | Lokatiebeschrijving | 15 |
| 2.2 | Proefplekbeschrijving | 15 |
| 3 | METHODE OM DE VARIABILITEIT VAN DE NITRAATCONCENTRATIE OP 1 M - MV. TE SIMULEREN | 21 |
| 3.1 | SWACROP | 21 |
| 3.2 | ANIMO | 23 |
| 3.3 | Methode | 26 |
| 4 | MODELINVOER | 29 |
| 4.1 | SWACROP | 29 |
| 4.1.1 | Invoer | 29 |
| 4.1.1.1 | Bodemfysische invoergegevens | 29 |
| 4.1.1.2 | Meteorologische invoergegevens | 30 |
| 4.1.1.3 | Invoergegevens voor het gewas | 30 |
| 4.1.1.4 | Overige invoergegevens | 30 |
| 4.1.2 | Calibratie | 31 |
| 4.2 | ANIMO | 31 |
| 4.2.1 | Invoer | 31 |
| 4.2.1.1 | Material.inp | 32 |
| 4.2.1.2 | Ini.inp | 32 |
| 4.2.1.3 | Addit.inp | 33 |
| 4.2.1.4 | Overige invoerfiles | 33 |
| 4.2.2 | Calibratie | 34 |
| 5 | RESULTATEN VAN DE SIMULATIES | 35 |
| 5.1 | SWACROP | 35 |
| 5.2 | ANIMO | 37 |
| 5.2.1 | Huidige situatie | 37 |
| 5.2.2 | Simulatie van de variabiliteit van de nitraatconcentratie op 1 m - mv. | 38 |
| 6 | ONDERZOEK NAAR DE RUIMTELIJKE VARIABILITEIT VAN NITRAATUITSPOELING OP EEN PERCEEL | 47 |
| 6.1 | Inleiding | 47 |
| 6.2 | Methode | 47 |
| 6.2.1 | Opzet | 47 |
| 6.2.2 | Bemonstering | 49 |
| 6.3 | Ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling | 50 |

6.3.1 Variabiliteit op middellange afstand 50
6.2.3 Variabiliteit op zeer korte afstand 52

7 CONCLUSIES EN DISCUSSIE 55
7.1 Conclusies 55
7.2 Discussie 56
7.2.1 SWACROP 56
7.2.2 ANIMO 56
7.2.3 Ruimtelijke variabiliteit 57

LITERATUUR 59

AANHANGSELS
1 Gemeten nitraatconcentraties op de proefplekken 9, 11, 17 en 19 61
2 Invoerfile 'SWADAT.INP' 63
3 Jaarbalansen van stikstof voor de scenario's 67
4 Analyseresultaten van de grondwatermonsters 75

FIGUREN
1 Kaart van de omgeving van de lokatie met uitsnede van de lokatie met globale begrenzingen 16
2 Onderverdeling percelen proefbedrijf 'de Marke' met daarin aangegeven de plaats van de proefplekken 17
3 Inrichting van een proefplek 18
4 Plaatsing van de cups 19
5 Verloop sink term variabele als functie van de drukhoogte 22
6 Mogelijkheden voor de onderrandvoorwaarden 23
7 Stikstofbalans in de bouwvoor 24
8 De koolstofcyclus in ANIMO 25
9 De stikstofcyclus in ANIMO 25
10 Verdeling van organisch materiaal 32
11 Simulatie van de drukhoogte op 20 cm - mv. (a) en 30 cm - mv. (b) 35
12 Simulatie van het vochtgehalte op 20 cm - mv. (a), 30 cm - mv. (b) en de vochtvoorraad van 0-40 cm - mv. (c) 36
13 Simulatie [$NO_3^-$] op 1m-mv., perceel 17 38
14 [$NO_3$-N]-profielen van dag 435 t/m 440. De regenbui is op dag 437 39/40
15 Simulatie met het scenario 'geen beweiding' 41
16 Simulatie met het scenario 'volledige beweiding' 41
17 Simulaties met de scenario's waarbij de mest in één keer op het land valt 42/43
18 Simulaties op bodemeenheid Hn51, huidige situatie (a) en geen beweiding (b) 44
19 Schema grondwaterbemonstering voor semi-variogram 48
20 Plaatsing grondwaterbuis voor grondwaterbemonstering 49
21 Frequentieverdeling nitraatconcentraties in het bovenste grondwater 51
22 Semi-variogram perceel 17 gestratificeerd naar bodemeenheid 52
23 Semi-variogrammen t.b.v. de bepaling van de ruimtelijke variabiliteit op zeer korte afstand 53
24 Semi-variogram op dag 402 54

TABELLEN


| | | |
|---|---|---|
| 1 | Korte beschrijving van het profiel bij proefplek 17 | 29 |
| 2 | Gemeten en gesimuleerde nitraatconcentraties op 1 m - mv. | 43 |

# WOORD VOORAF

Dit verslag is het resultaat van onderzoek gedaan naar de variabiliteit van nitraatuitspoeling onder beweid grasland op De Marke, proefboerderij voor Melkveehouderij en Milieu. Op dit proefbedrijf vindt sinds 1991, in het kader van een samenwerkingsproject met CABO-DLO, monitoring plaats van de vocht- en nitraathuishouding op zes proefplekken. Eén van de doelstellingen van de proefboerderij is het minimaliseren van uitspoeling van nutriënten, dus ook stikstof. Onder beweid grasland wordt een grote variabiliteit gevonden van de nitraatconcentraties in het bodemvocht. Hoofddoel van dit onderzoek was om na te gaan of deze variabiliteit te simuleren en dus te verklaren is met behulp van computermodellen. Daartoe zijn de gegevens gebruikt van het winterseizoen '91/'92 van één van de zes proefplekken.

Behalve de auteurs hebben Joop Kroes en Dick Brus, werkzaam bij respectievelijk de afdelingen Regionale milieu-effectstudies en Landinventarisatiemethoden van DLO-Staring Centrum, meegewerkt aan dit onderzoek.

# SAMENVATTING

Onderzoek naar nitraatuitspoeling heeft de laatste jaren veel aandacht, omdat duidelijk wordt dat emissies van nutriënten problemen opleveren voor de volksgezondheid. Nitraatuitspoeling is vooral een probleem in verband met de grondwaterwinning voor drinkwater.

Vooral op zandgronden waar maïs geteeld wordt en waar beweid grasland is, kan veel nitraat via uitspoeling verloren gaan. In dit onderzoek wordt de nitraatuitspoeling onder beweid grasland nader bekeken, waarbij gebruik is gemaakt van gegevens die verkregen zijn op De Marke, proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu.

Op dit bedrijf wordt nagegaan of het mogelijk is om een melkveehouderijbedrijf te runnen dat aan de milieu-eisen voldoet en dat voldoende rendabel is. Het bedrijf is gelegen op een zandgrond in een wegzijgingsgebied. Het ligt gedeeltelijk in het grondwaterbeschermingsgebied dat hoort bij de waterwinning 't Klooster (Hengelo (Gld)).

DLO-Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek heeft in samenwerking met DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied een project opgestart dat o.a. voorziet in de monitoring van bodem, gewas en nutriënten op het bedrijf. De metingen die verricht worden door SC-DLO zijn gebruikt voor dit onderzoek. Dit betreft vochtgehalte, drukhoogte, grondwaterstand, bodemtemperatuur en nitraatconcentratie in het bodemvocht op 1 m - mv.

Bij de gemeten nitraatconcentraties kan bijvoorbeeld een spreiding worden gevonden op één dag op één lokatie die loopt van 0 tot 140 mg $NO_3$/l. In dit onderzoek is geprobeerd deze spreiding te simuleren en te verklaren met de modellen SWACROP en ANIMO.

SWACROP simuleert de waterhuishouding in de bodem in de onverzadigde zone. Het model is gebaseerd op de wet van Darcy en de continuïteitsvergelijking. ANIMO simuleert de stikstof- en koolstofcyclus in de bodem. In dit model staat een transport- en conservatievergelijking centraal, waarin omzettingsprocessen als mineralisatie, immobilisatie, (de)nitrificatie als eerste-orde reacties beschreven worden.

De 'huidige situatie', met beweiding zoals die het laatste jaar heeft plaatsgevonden, is gebruikt voor de calibratie van beide modellen. Voor validatie ontbreken vooralsnog de gegevens.

De variabiliteit van nitraatconcentraties op 1 m - mv. is gesimuleerd door het doorrekenen van verschillende scenario's. De scenario's die de variabiliteit moeten verklaren zijn: geen beweiding en 'volledige beweiding'. Bij 'volledige beweiding' wordt de oppervlakte als het ware geheel bedekt met mestflatten en urineplekken. De 'volledige beweiding' is op verschillende manieren ingevoerd. Ten eerste door op dezelfde beweidingsdagen als bij de 'huidige situatie' 2½ keer zoveel (= 650

kg/ha) mest door de pinken te laten uitscheiden als normaal, omdat normaal gesproken circa 40% bedekt is met mestflatten en urineplekken. Een andere manier om de volledige beweiding in te voeren is door op één dag 20 000 kg/ha mest (dit is omgerekend de hoeveelheid die per urinelozing per hectare op het land komt) op het land aan te brengen. De dagen waarop de mest toegediend wordt, zijn de eerste en de laatste dag van de twee weideperiodes. Er is dus sprake van vier scenario's.

Het blijkt dat met al deze scenario's de gemeten spreiding bijna geheel gesimuleerd wordt en dat de variabiliteit dus voor een groot deel verklaard kan worden door de variabiliteit die door beweiding wordt veroorzaakt. Uit de simulaties met de scenario's waarbij de mest in één dag op het land komt, blijkt dat het tijdstip van beweiding veel uit maakt voor de nitraatconcentraties op 1 m - mv. Laat in het seizoen beweiden betekent meer nitraatuitspoeling.

De plek waar gemeten is en waarvoor de meeste simulaties uitgevoerd zijn ligt op bodemeenheid Hn43, een veldpodzol op zwak lemig, zeer fijn en matig fijn zand. Deze bodemeenheid bevindt zich in het lager gelegen gedeelte van het perceel. Het hoger gelegen deel heeft een andere bodemeenheid: Hn51, een veldpodzol op leemarm, matig fijn zand. Voor deze bodemeenheid zijn twee scenario's doorgerekend, te weten de huidige situatie en 'geen beweiding'. De berekende nitraatconcentraties voor deze bodemeenheid zijn veel hoger (maximaal 133 mg/l tegen maximaal 61 mg/l bij de 'huidige situatie'). Om deze reden is het wellicht nodig dat op dit perceel nog een proefplek geplaatst wordt.

Naast de simulatiestudie is een onderzoek gedaan naar de ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling binnen één perceel. Op hetzelfde perceel als waarvoor de simulaties uitgevoerd zijn, zijn 99 grondwatermonsters genomen voor het bepalen van een semi-variogram. In een semi-variogram wordt zichtbaar gemaakt of metingen ruimtelijk afhankelijk zijn. Uit dit semi-variogram blijkt dat binnen vijf meter de maximale variabiliteit bereikt wordt, hetgeen wil zeggen dat waarnemingen die tenminste vijf meter uit elkaar liggen volledig onafhankelijk van elkaar zijn. Om de ruimtelijke variabiliteit op kortere afstand te bepalen zijn semi-variogrammen gemaakt op basis van de gegevens die verkregen zijn bij de bemonstering van het bodemvocht. Hiertoe zijn de gegevens van de vier percelen met in het afgelopen jaar beweid grasland bij elkaar gedaan, omdat anders de semi-variogrammen op veel te weinig waarnemingen gebaseerd zou zijn. Uit deze semi-variogrammen bleek dat tot op een meter afstand van elkaar de metingen nog afhankelijk van elkaar zijn. Voor het inrichten van een proefplek waar nitraatconcentraties gemeten worden, is het van belang dat de monsters ten minste één meter uit elkaar liggen.

# 1 INLEIDING

De laatste jaren is het onderzoek naar emissies van nutriënten, vooral stikstof en fosfaat, en bestrijdingsmiddelen sterk toegenomen, doordat steeds meer duidelijk wordt dat deze emissies problemen opleveren voor de volksgezondheid. Het gevolg van de te hoge nitraatuitspoeling heeft zich al geuit bij enkele drinkwaterwinputten, waar de nitraatconcentratie in het water te hoog was om het als drinkwater te gebruiken.

Onder zandgrond is de nitraatuitspoeling het grootst, met name bij gebruik als maïsland. Ook onder beweid grasland kan de uitspoeling aanzienlijk zijn. Door mest- en urineuitscheidingen wordt de mest niet homogeen over het land verdeeld. Op de plekken waar mest- of urinelozingen zijn gevallen is sprake van piekbelastingen. Vanwege deze piekbelastingen kan een hoge ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling onder beweid grasland verwacht worden. Met name de urineplekken zorgen voor een hoge belasting met nitraat (Spatz, 1992).

In dit onderzoek staat de variabiliteit van nitraatuitspoeling onder beweid grasland centraal. Doel van dit onderzoek is om na te gaan of met behulp van een simulatiemodel en de variatie in invoergegevens de ruimtelijke variabiliteit verklaard kan worden. Een vraag die daaraan vooraf gaat is of de ruimtelijke variabiliteit eigenlijk wel te modelleren is. De variabiliteit wordt gesimuleerd door een aantal scenario's door te rekenen. De scenario's verschillen in de mate van beweiding en de grondwaterstand. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens die op De Marke, proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu bij Hengelo (Gld) verzameld worden.

Op het proefbedrijf De Marke wordt gewerkt aan een bedrijfssysteem voor melkveehouderij, dat voldoet aan een aantal milieueisen en tegelijkertijd voldoende rendabel is. Vele aspecten van het bedrijfssysteem, variërend van de gezondheid van de koeien via de bodemgesteldheid tot het bedrijfsresultaat worden onderzocht. CABO-DLO heeft in samenwerking met SC-DLO een project opgezet dat onder andere voorziet in de monitoring van bodem, water, gewas en nutriënten op het bedrijf. In het groeiseizoen van 1991 is hiermee gestart en de waarnemingen zullen tot 1995 worden voortgezet. Het effect van de gewijzigde, milieuvriendelijke bedrijfsvoering op de nutriëntenhuishouding in bodem en gewas kan zo worden gekwantificeerd. In het kader van dit onderzoek wordt gewerkt met computermodellen voor de water- en nutriëntenhuishouding, respectievelijk SWACROP en ANIMO.

Ongeveer een derde deel van de percelen is in gebruik als permanent grasland. Verder zijn er twee verschillende rotaties van snijmaïs, gras en voederbieten. Al het grasland bestaat uit een mengsel van gras en klaver. De metingen door SC-DLO worden op 6 proefplekken uitgevoerd. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de metingen op 4 proefplekken namelijk die waar grasland aanwezig was in 1991. Twee van deze proefplekken liggen op permanent grasland. De andere twee liggen op percelen waar

een rotatie is, en waar in 1991 grasland was. De simulaties zijn uitgevoerd voor één perceel met blijvend grasland. De resultaten van de metingen van dit perceel zijn gebruikt voor de calibratie van de modellen SWACROP en ANIMO.

Naast de simulatiestudie is op hetzelfde perceel een onderzoek gedaan naar de ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling binnen dat perceel. Daartoe zijn grondwatermonsters genomen verdeeld over het gehele perceel.

Voor de bepaling van de ruimtelijke variabiliteit op zeer korte afstand, dit is een afstand van kleiner dan 1 meter, is gebruik gemaakt van de metingen van de 4 proefplekken op grasland in 1991.

## 1.1 Hoofdstukindeling

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de lokatie en de metingen die in het veld zijn gedaan. Het volgende hoofdstuk beschrijft de werkwijze van de simulatiestudie. Ook de modellen SWACROP en ANIMO komen hier aan de orde. Hoofdstuk 4 bevat de beschrijving van de modelinvoer en de calibratie. De resultaten van de simulaties worden besproken in hoofdstuk 5. De studie naar de ruimtelijke variabiliteit van één perceel wordt in hoofdstuk 6 beschreven. Tenslotte volgen in hoofstuk 7 de discussie en de conclusies.

# 2 VELDWAARNEMINGEN

## 2.1 Lokatiebeschrijving

Het proefbedrijf De Marke ligt ten zuidoosten van Hengelo (Gld) en ten noorden van Zelhem (zie fig. 1). Het gebied bestaat geologisch gezien uit pleistocene afzettingen die behoren tot de formatie van Twente (Dekkers, 1992). De ondergrond bestaat uit sterk en zeer sterk lemig zand. Aan de oppervlakte komt een laag dekzand voor van 1 à 2 m dikte.

De gronden behoren tot de zogenaamde jonge ontginningsgronden waarin veldpodzolen, gooreerdgronden en kanteerdgronden ontwikkeld zijn. De veldpodzolen beslaan het grootste gedeelte van de lokatie, terwijl de gooreerd- en de kanteerdgronden slechts een klein gedeelte van het oppervlak innemen.

De bouwvoor is 25 à 30 cm dik en heeft een organische-stofgehalte van 2,5 tot 5%. De veldpodzolen bevatten de meeste organische stof. Het leemgehalte varieert van 8 à 10% in het zuidelijke deel (dit is ten zuiden van de Roessinkweg in figuur 2) tot 10 à 17% in het noordelijke deel van de lokatie. Hier is ook het zand fijner dan in het zuidelijke deel. Het sterk tot zeer sterk lemig zand komt in het noordelijke gedeelte al op 1,20 m onder het maaiveld voor, in het zuidelijke gedeelte pas op 2 m diepte.

De gronden liggen in een wegzijgingsgebied. Volgens de veldbodemkundige kartering van Dekkers (1992) heeft het natste gedeelte (noordelijk) een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van 25 tot 40 à 80 cm - mv. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) ligt hier tussen 80 en 120 cm - mv. Het zuidelijke gedeelte heeft een GHG van 80 tot 180 cm - mv. en een GLG van 250 tot 300 cm - mv. De grondwaterstand is gedaald als gevolg van de grondwateronttrekking door de nabijgelegen waterwinning 't Klooster. De kartering is uitgevoerd op vooraf ingemeten punten die uitgezet zijn in een honingraatgridnet van 50 x 50 x 50 m. De bodemkaart van het proefbedrijf en de profielbeschrijvingen zijn opgenomen in Dekkers (1992).

## 2.2 Proefplekbeschrijving

Voor de simulaties is gebruik gemaakt van de gegevens afkomstig van perceel 17. De gegevens van de andere percelen met grasland in 1991 zijn gebruikt voor het maken van een semi-variogram voor de bepaling van de ruimtelijke variabiliteit op zeer korte afstand. Hier wordt in paragraaf 6.3.2 op ingegaan. De ligging van perceel 17 is terug te vinden in figuur 2.

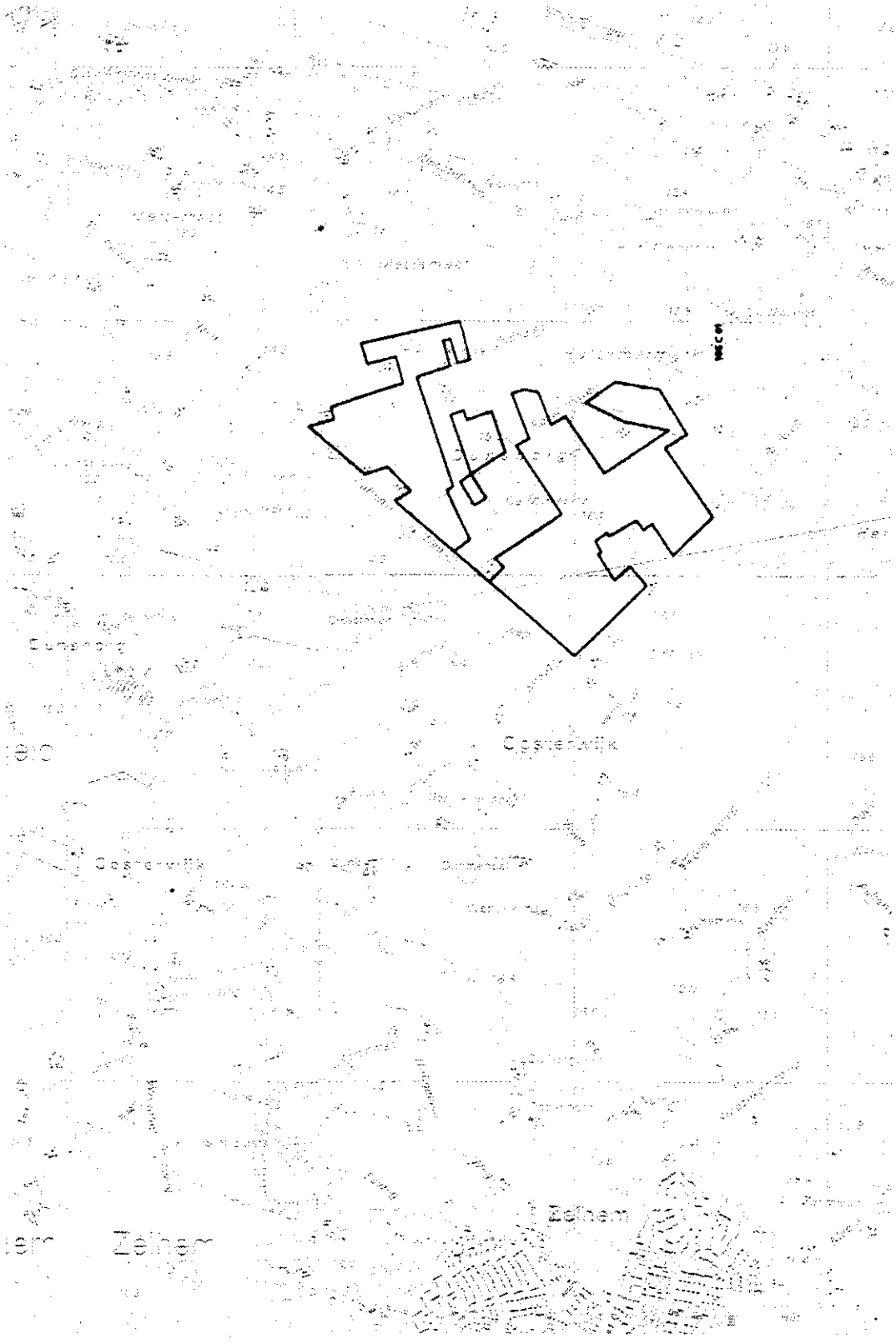



*Fig. 1 Lokatie van het proefbedrijf (Top. kaart 34C en 41A, schaal 1 : 25 000)*

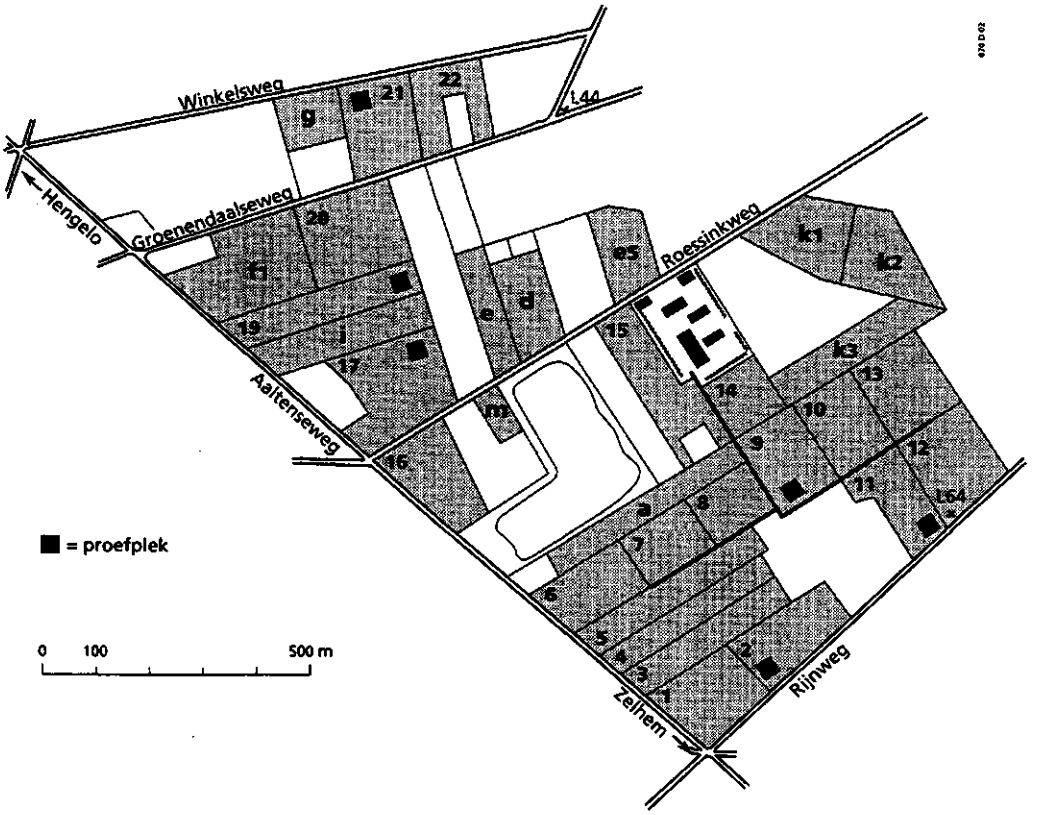



*Fig. 2 Onderverdeling percelen proefbedrijf 'de Marke' met daarin aangegeven de plaats van de proefplekken*

Perceel 17 ligt in het noordelijk, relatief natte gedeelte. Op zes percelen ligt een intensieve proefplek, die ook in figuur 2 terug te vinden is. De percelen 9, 11, 17 en 19 waren in 1991 grasland. De percelen 9 en 17 zijn permanent grasland.

Bij de plaatsbepaling van een proefplek is gezocht naar een plaats die er zo homogeen mogelijk uitziet, niet te veel aan de rand van het perceel ligt, maar wel op een zodanige plaats ligt dat deze gemakkelijk terug te vinden is. Elke proefplek heeft een oppervlak van 20 x 20 m. SC-DLO heeft een strook toegewezen gekregen, waarin vijf kuilen zijn gesitueerd waar verschillende metingen worden gedaan. Bij iedere proefplek wordt een profielbeschrijving gemaakt en worden pF- en K(h)-relaties bepaald. Figuur 3 geeft een overzicht van de inrichting van een proefplek.

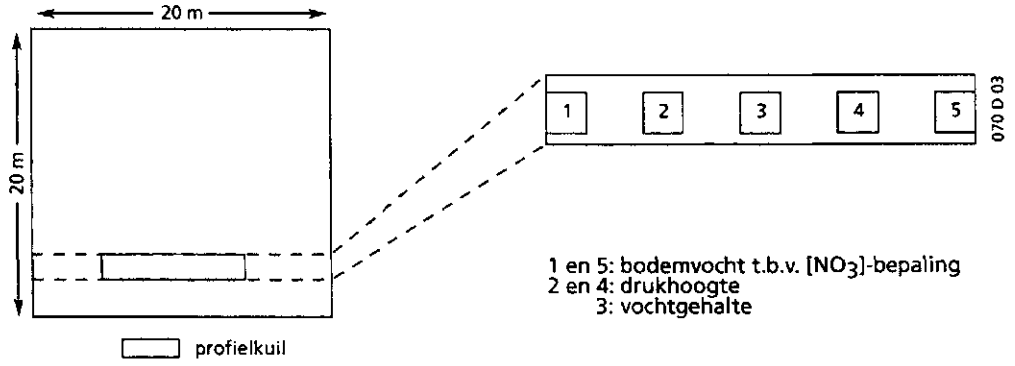



*Fig. 3 Inrichting van een proefplek*

De metingen die gedurende het gehele jaar uitgevoerd worden, zijn:

- Vochtgehalte. Het volumetrisch vochtgehalte wordt gemeten met de TDR (Time-Domain-Reflectometry)-methode op 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 en 150 cm - mv. De TDR-methode berust op het principe dat de verplaatsing van elektrische signalen beïnvloed wordt door het vochtgehalte en de elektrische geleiding. De diëlektrische constante is een goede maat voor het vochtgehalte in de bodem. Behalve met de TDR-methode wordt het vochtgehalte ook enkele malen gravimetrisch bepaald om de TDR-meter te ijken. Het vochtgehalte wordt eens in de twee weken gemeten.
- Drukhoogte. Met tensiometers wordt de drukhoogte op dezelfde dagen en op dezelfde dieptes gemeten als het vochtgehalte. In de wortelzone (0-40 cm - mv.) wordt in drievoud gemeten.
- Grondwaterstand. In een van de 5 kuilen per proefplek bevindt zich een peilbuis. De grondwaterstand wordt even vaak gemeten als de drukhoogte en het vochtgehalte.
- Bodemtemperatuur. In de meteotuin (een plaats op het proefbedrijf waar apparatuur is geplaatst om meteorologische bepalingen te doen zoals windsnelheid, straling, temperatuur en neerslag) wordt de bodemtemperatuur gemeten. Gedurende een beperkte periode is op twee plekken (proefplek 11 en 19) met thermokoppels de bodemtemperatuur gemeten.
- Nitraatconcentratie in het bodemvocht. Alleen in de winter (het uitspoelingsseizoen), ongeveer een keer in de maand of na 50 mm neerslag, worden monsters genomen van het bodemvocht op 1 m diepte met keramische cups. De nitraatbepalingen worden uitgevoerd door middel van flow-injection analyse. Aan een geringe hoeveelheid monsters worden enige reagentia toegevoegd, waarna met een spectrofotometer de lichtintensiteit van een specifieke golflengte wordt gemeten. De resultaten hiervan zijn opgenomen in aanhangsel 1. Uit vorig onderzoek blijkt dat voor een betrouwbare gemiddelde waarde onder beweid grasland 20 monsters per perceel nodig zijn. Per proefplek zijn er twee kuilen met elk tien cups, zoals aangegeven in figuur 4.

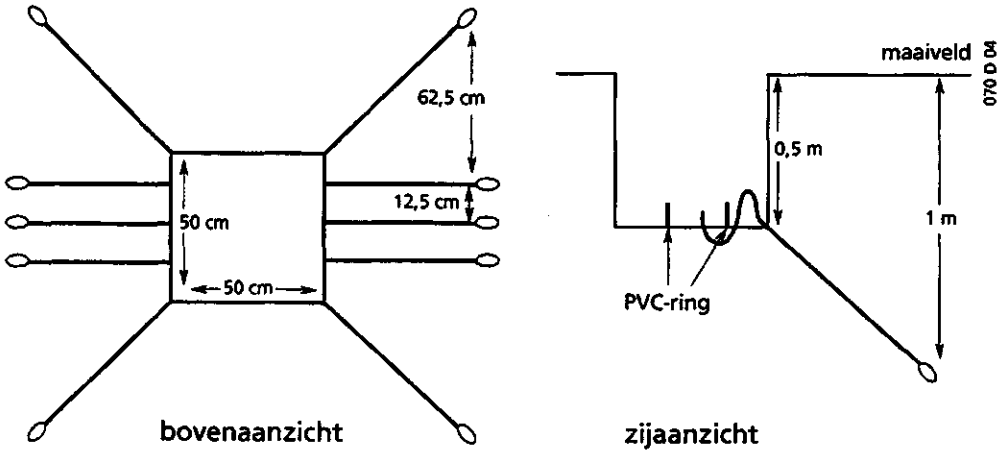



*Fig. 4 Plaatsing van de cups*

# 3 METHODE OM DE VARIABILITEIT VAN DE NITRAATCONCENTRATIE OP 1 M - MV. TE SIMULEREN

Met behulp van de modellen SWACROP en ANIMO wordt geprobeerd de invloed van beweiding op de nitraatconcentraties op 1 m - mv. te simuleren en te verklaren.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de gebruikte modellen en op de werkwijze om met de modellen (een deel van) de variabiliteit van de nitraatconcentratie op 1m - mv. te verklaren.

## 3.1 SWACROP

SWACROP is een computer-model dat de waterhuishouding in de bodem en de water-gerelateerde gewasgroei simuleert (Belmans et al., 1983 en Feddes et al., 1978). Het bestaat uit het waterstromingsmodel SWATRE voor de onverzadigde zone (Soil Water Actual Transpiration Rate Extended) en het gewasgroeimodel CROPR (CROp PRoduction).

Het model SWATRE is gebaseerd op de wet van Darcy en de continuïteitsvergelijking. Aan deze vergelijking is een sink term toegevoegd om de wateropname door plantewortels te beschrijven. De combinatie van deze vergelijkingen levert de volgende niet-lineaire partiële differentiaalvergelijking, de zgn. Richard's vergelijking, op:

$$\frac{\delta h}{\delta t} = \frac{1}{C(h)} \frac{\delta}{\delta z} \left[ K(h) \left( \frac{\delta h}{\delta z} + 1 \right) \right] - \frac{S(h)}{C(h)} \qquad (1)$$

waarin: h = drukhoogte (cm)
t = tijd (d)
C = differentiële vochtcapaciteit ($cm^{-1}$)
z = verticale afstand tot het maaiveld, positief in opwaartse richting (cm)
K = hydraulisch geleidingsvermogen ($cm.d^{-1}$)
S = de hoeveelheid bodemvocht die door de wortels per volume-eenheid van de bodem per eenheid van de tijd wordt opgenomen ($cm^3.cm^{-3}.d^{-1}$)

Deze vergelijking wordt numeriek opgelost volgens de eindige differentiemethode. Daartoe wordt de bodem verdeeld in compartimenten en de tijd in tijdstappen. De vergelijking wordt per tijdstap per compartiment opgelost.

De sink term, S(h)-functie, wordt volgens Feddes et al. (1978) gedefinieerd als:

$$S(h) = \alpha(h) S_{max} \qquad (2)$$

waarin: $\alpha(h)$ = dimensieloze functie van de drukhoogte
$S_{max}$ = maximaal mogelijke wateronttrekking door de wortels ($d^{-1}$)

Het verloop van de dimensieloze sink term variabele $\alpha$ als functie van de drukhoogte wordt weergegeven in figuur 5. De waarde van $h_3$ varieert met de verdampingsvraag van de atmosfeer. De transpiratievraag wordt gelijkmatig over de lagen in de wortelzone verdeeld. De reductie van waterontrekking is een functie van de drukhoogte. Een andere optie om de sink term te beschrijven is volgens Hoogland (Feddes et al., 1988). Daarbij wordt de sink term als volgt gedefinieerd:

$$S(h,z) = \alpha(h) S_{max}(z) \qquad (3)$$

waarin: $\alpha(h)$ = dimensieloze functie van de drukhoogte
$S_{max}(z)$ = maximaal mogelijke wateronttrekking door de wortels als functie van de diepte

Het verschil met de sink term volgens Feddes et al. (1978) is dat $S_{max}$ afhankelijk is van de diepte. $S_{max}$ neemt af met de diepte als gevolg van effecten van aëratie, bodemtemperatuur en bewortelingsdichtheid. De waarde van $h_3$ varieert niet met de verdampingsvraag.

Tussen $h_3$ en $h_4$ kan het verloop lineair of hyperbolisch worden verondersteld.

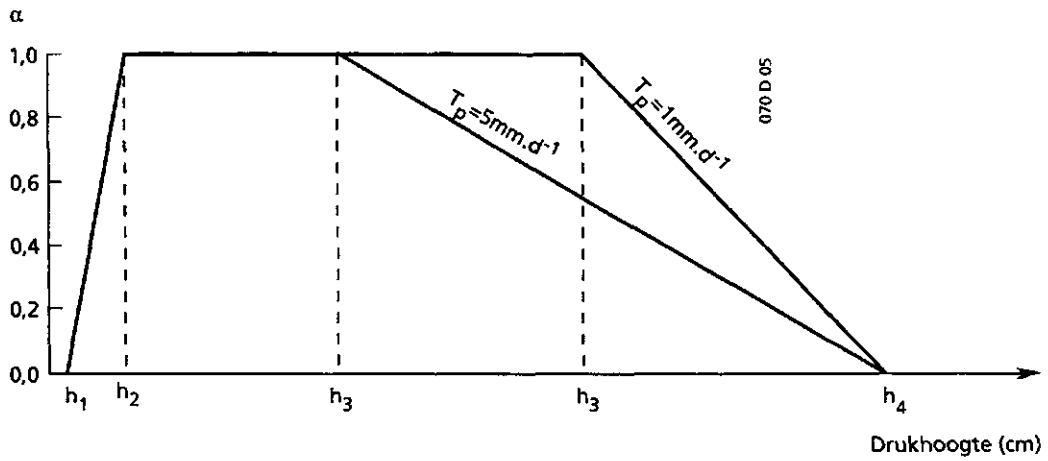



***Fig. 5 Verloop sink term variabele als functie van de drukhoogte***

Aan de onderkant van het systeem waarvoor de waterhuishoouding gesimuleerd wordt kan voor de randvoorwaarde een keuze gemaakt worden uit zeven verschillende situaties. Deze situaties zeggen iets over de toestand aan de onderkant van het profiel

(is er invloed van het grondwater of juist helemaal niet). In figuur 6 zijn de mogelijkheden voor de onderrandvoorwaarden van het systeem gegeven.

Ook aan de bovenkant van het systeem moeten randvoorwaarden ingevoerd worden. Dit betreft gegevens die de wateronttrekking door plantewortels bepalen (gewasverdamping). De evapotranspiratie kan met verschillende formules berekend worden onder andere afhankelijk van de beschikbare meteorologische gegevens.

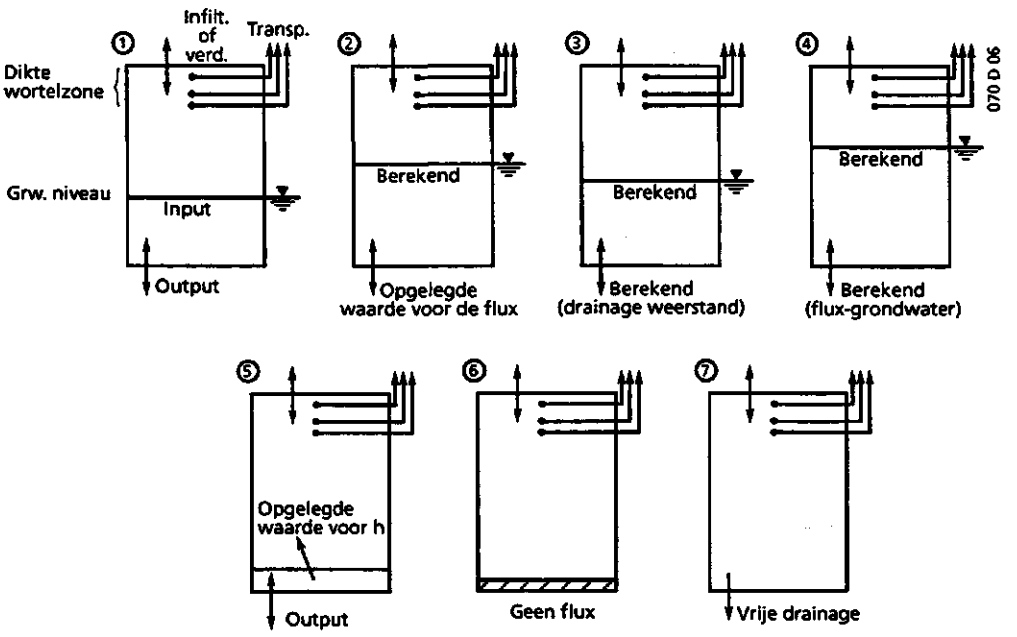



***Fig. 6 Mogelijkheden voor de onderrandvoorwaarden***

## 3.2 ANIMO

Het model ANIMO simuleert de stikstof-, koolstof- en de fosforcyclus in de bodem (Berghuis-van Dijk et al., 1985). Het model rekent ééndimensionaal. Het profiel wordt net als in SWACROP verdeeld in een aantal lagen. Per laag wordt per tijdseenheid een water- en stikstofbalans opgesteld. In iedere laag treedt volledige menging op.

Aanvoer van stikstof kan gebeuren in de vorm van kunstmest, organische mest, atmosferische depositie en door biologische N-fixatie. In het bodem-water-plant-systeem kunnen omzettingsprocessen en transportmechanismen optreden. Stikstof wordt afgevoerd via geoogst gewas, denitrificatie, vervluchtiging van ammoniak en uitspoeling van nitraat naar diepere lagen. Figuur 7 geeft de stikstofbalans van de bouwvoor schematisch weer.

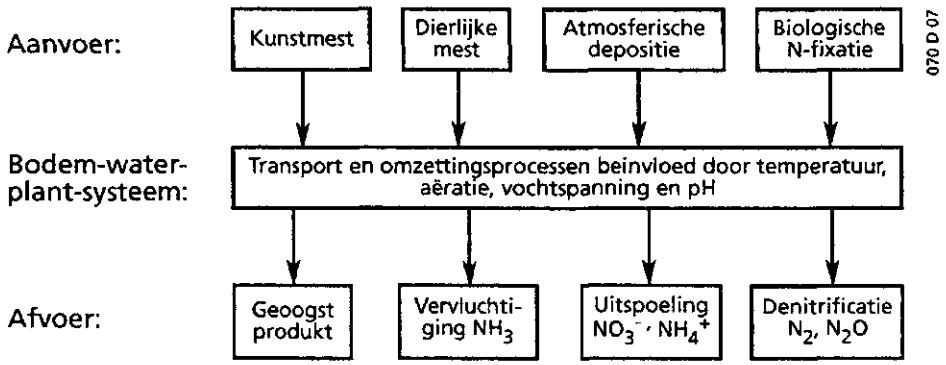



*Fig. 7 Stikstofbalans in de bouwvoor*

De N-cyclus is gebaseerd op een aantal processen, welke in ANIMO kwantitatief worden beschreven. Dit zijn:

- afbraak, omzetting van vers organisch materiaal tot humus en oplosbaar organisch materiaal;
- mineralisatie, het biologisch omzettingsproces dat organisch gebonden stikstof omzet in minerale stikstof;
- immobilisatie, het vastleggen van minerale stikstof in biomassa of organisch bodemmateriaal;
- nitrificatie, de microbiologische omzetting van ammonium in nitraat. De beperkende factor is gewoonlijk de aanwezigheid van zuurstof. De reactie verloopt alleen onder aërobe omstandigheden;
- denitrificatie, microbiologische reductie van $NO_3$ tot $N_2$- of $N_2O$-gas bij de afbraak van organische stof onder anaërobe omstandigheden. Denitrificatie is gebonden aan de afbraak van organisch materiaal: in plaats van zuurstof wordt nitraat als protonenacceptor gebruikt. De beperkende factoren zijn veelal de zuurstofhuishouding en de hoeveelheid organische stof. Denitrificatie kan tot op grote diepte voorkomen, mits organische stof aanwezig is. Ook in goed doorluchte grond kan denitrificatie optreden door partiële anaërobie, veroorzaakt door bijvoorbeeld grote zuurstofconsumptie, (tijdelijke) waterverzadiging (na een forse regenbui) of onder een urinelozing bij beweiding;
- vervluchtiging, ontsnappen van ammoniak naar de atmosfeer, afhankelijk van de weersomstandigheden, de tijdsduur dat de mest op het land ligt en de zuurgraad van de bodem;
- adsorptie/desorptie, binden dan wel vrijkomen van ammonium van het bodemcomplex afhankelijk van het concentratieverschil tussen en de samenstelling van het adsorptiecomplex en het bodemvocht, en de adsorptiecapaciteit van het bodemmateriaal;
- gewasopname, opname van ammonium en nitraat door de plantewortels. Door de lage concentratie van ammonium in het bodemvocht wordt de meeste stikstof in de vorm van nitraat opgenomen;
- transport van N-verbindingen in en over het bodemsysteem onder invloed van neerslag, verdamping, afvoer naar verschillende ontwateringssystemen (uitspoeling), oppervlakkige afvoer (afspoeling), kwel en wegzijging.

Het voorkomen van verschillende stikstofvormen ($NO_3$, $NH_4$ en organisch gebonden stikstof) hangt sterk samen met de aanwezigheid van organische stof. Door fysische en/of microbiologische processen kan de stikstof in de verschillende vormen worden omgezet. Omdat organische stof naast stikstof ook koolstof bevat, wordt in ANIMO zowel de stikstof- als de koolstofcyclus gemodelleerd. De N-cyclus komt voor een deel overeen met de C-cyclus. In figuur 8 is de koolstofcylus en in figuur 9 is de stikstofcyclus in ANIMO weergegeven.

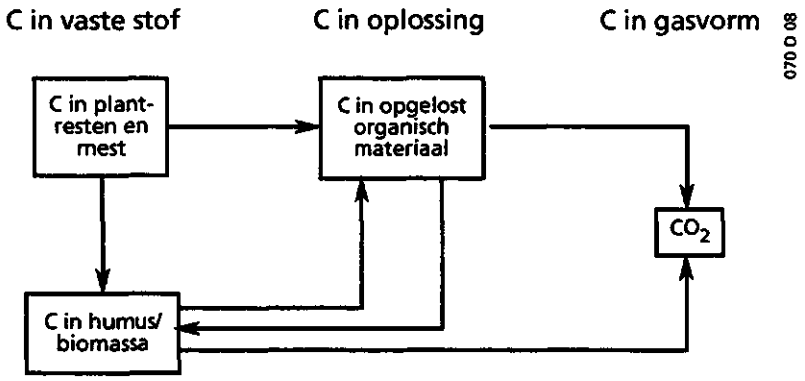



*Fig. 8 De koolstofcyclus in ANIMO*

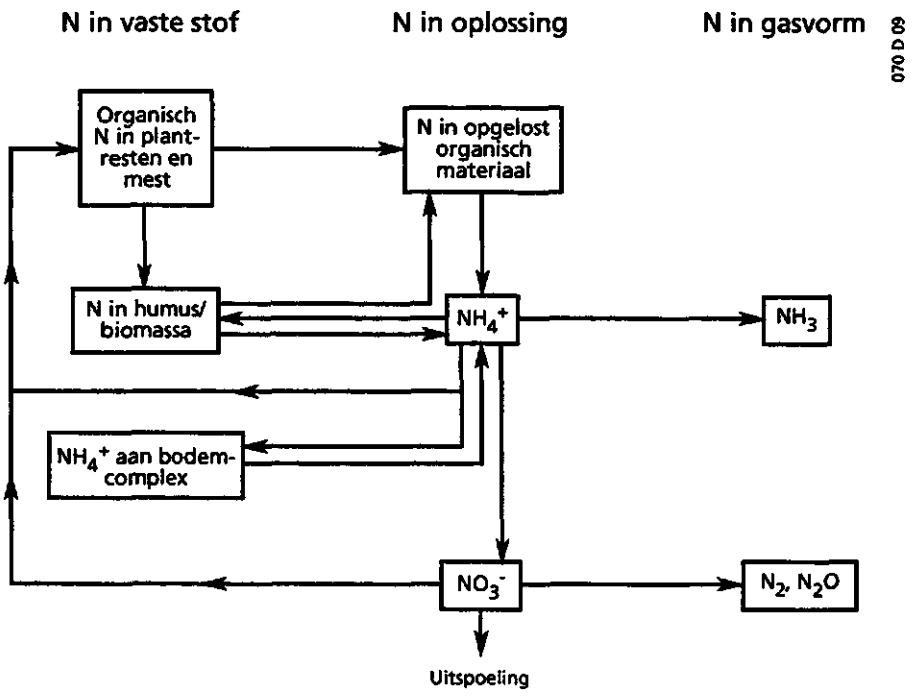



*Fig. 9 De stikstofcyclus in ANIMO*

Centraal in het model staat de transport- en conservatievergelijking die als volgt wordt beschreven:

$$\frac{d[V(n,t)C(n,t)]}{dt} + \frac{dQ_a(n,t)}{dt} = \Sigma f_i C_i - \Sigma f_o C(n,t) - f_e S C(n,t) + k_0 L + k_1 V(n,t) C(n,t) \qquad (4)$$

waarin:

| | | |
|---|---|---|
| n | =nummer compartiment (-) |
| t | =tijd (d) |
| V(n,t) | =volume vochtgehalte van compartiment n op tijdstip t (m) |
| C(n,t) | =concentratie in compartiment n op tijdstip t (kg $m^{-1}$) |
| $Q_a(n,t)$ | =stikstof geadsorbeerd aan het complex (kg $m^{-2}$) |
| $\Sigma f_i C_i$ | =totaal binnenkomende flux aan stikstof (kg $m^{-2}$ $d^{-1}$) |
| $\Sigma f_o C(n,t)$ | =totaal uitgaande flux aan stikstof (kg $m^{-2}$ $d^{-1}$) |
| $f_e$ | =transpiratieflux (m $d^{-1}$) |
| S | =selectiviteitscoëfficiënt voor gewasopname (-) |
| $k_0$ | =produktiesnelheidscoëfficiënt van nulde orde (kg $m^{-3}$ $d^{-1}$) |
| $k_1$ | =produktiesnelheidscoëfficiënt van de eerste orde ($d^{-1}$) |
| L | =dikte van een compartiment (m) |

Het model gebruikt als basis een watertransportmodel om vervolgens het transport van stikstof te beschrijven. In principe kan elk watertransportmodel hiervoor gebruikt worden. In deze studie is gebruik gemaakt van het model SWACROP zoals dat is beschreven in de vorige paragraaf. De omzettingsprocessen worden als eerste-orde reacties beschreven.

## 3.3 Methode

Bij de metingen van de nitraatconcentraties wordt een bepaalde spreiding gevonden. Een van de oorzaken van die spreiding kan beweiding zijn. Niet op elke plek valt een mestflat of een urinelozing. De spreiding van de meetresultaten kan gesimuleerd worden door het model zonder beweiding te laten rekenen (hiermee wordt de laagst gemeten waarde gesimuleerd) en vervolgens met 'volledige beweiding' (hiermee wordt de hoogst gemeten waarde gesimuleerd). In totaal zijn voor de plaats van de proefplek 7 scenario's doorgerekend. Dit zijn: de huidige situatie met beweiding zoals die in 1991 plaatsgevonden heeft, 'geen beweiding' en 5 scenario's met 'volledige' beweiding. Als de spreiding niet door beweiding verklaard kan worden, zijn er andere variabelen die de spreiding veroorzaken. Andere oorzaken kunnen bijvoorbeeld gezocht worden in bodemkenmerken (zoals de grondwaterstand en organische stofgehalte). Door de 'invoer-variabele grondwaterstand' te veranderen kan nagegaan worden welke invloed de grondwaterstand heeft op de nitraatconcentratie op 1 m - mv. Voor een hoger gelegen gedeelte van het perceel (bodemeenheid Hn51) zijn enkele simulaties uitgevoerd om de invloed van de grondwaterstand op de nitraatuitspoeling na te gaan.

Beweiding in de 'huidige situatie' is ingevoerd door per dag, dat de koeien op het land staan, een bepaalde hoeveelheid mest en urine door de koeien te laten uitscheiden. De hoeveelheid uitgescheiden mest per dag is als volgt bepaald: de produktie dunne mest per koe is 11 500 kg/jaar (Menke, 1992). Per dag komt dit neer op 11 500/365 = 31,5 kg. Als er 28 koeien op het perceel staan wordt er per dag 882 kg dunne mest uitgescheiden. Het perceel is 3,4 ha groot. Per hectare wordt dan circa 260 kg/dag uitgescheiden. Deze mest wordt verdeeld over de hele oppervlakte. De situatie zonder beweiding is eenvoudig in te voeren door gewoon de beweiding weg te laten.

Bij de volledige beweiding is geprobeerd de nitraatconcentratie te simuleren onder een mestflat, door het perceel als het ware volledig te bedekken met mest van een flat. Bij beweiding met 700 koeweidedagen wordt ongeveer 40% van de bodem bedekt met koeflatten en urineplekken (Lantinga, 1988). Er is dus volledige bedekking als er 2½ keer zoveel mest en urine door de koeien wordt uitgescheiden. In dit scenario 'volledige beweiding' wordt er op dezelfde dagen dat er beweid wordt in de huidige situatie 2½ keer zoveel (650 kg/ha) uitgescheiden door de koeien. Net als in de huidige situatie wordt de mest verdeeld over de gehele oppervlakte; iedere dag een beetje mest er bij. In werkelijkheid komt de mest en/of urine in één keer op het land terecht. Daarom zijn er nog vier scenario's voor volledige beweiding bedacht. In deze scenario's wordt er van uitgegaan dat het land in een keer volledig bedekt wordt met een hoeveelheid mest die uitgerekend kan worden aan de hand van de hoeveelheid stikstof die per urinelozing wordt uitgescheiden. Per 100 g opgenomen droge stof wordt 0,8 g N uitgescheiden (Lantinga, 1988). Een koe neemt per dag ongeveer 9 kg droge stof op en scheidt dus 72 g N uit verdeeld over twaalf lozingen per dag. De oppervlakte van een urinelozing is 0,68 $m^2$. Per hectare bedraagt de stikstofuitscheiding per lozing 88 kg. Het stikstofgehalte van dunne mest bedraagt 0,44% (Consulentschap, 1987). De hoeveelheid mest die per lozing op het land komt is dus omgerekend 88/0,0044 = 20 000 kg/ha. Deze hoeveelheid is in de simulatie vier keer op een andere dag toegediend. Dit levert dus vier scenario's op. De dagen waarop toegediend is zijn gekozen aan de hand van de weideperiodes. Voor beide periodes is een toediening op de eerste en op de laatste dag van de weideperiode gesimuleerd. Zo kan gezien worden hoeveel het uitmaakt voor de nitraatconcentratie wanneer een urinelozing valt.

# 4 MODELINVOER

## 4.1 SWACROP

Om het model de juiste waarden te laten berekenen is het nodig dat het model gecalibreerd wordt. Bij de calibratie worden enkele parameters zodanig aangepast dat de berekende waarden door het model zo goed mogelijk overeen komen met de gemeten waarden in het veld. Calibreren is eigenlijk hetzelfde als ijken.

Bij de calibratie moet voorkomen worden dat de werkelijke situatie uit het oog verloren wordt. Indien teveel parameters aangepast worden bestaat het gevaar dat bepaalde parameters irreële waarden gaan aannemen (bijvoorbeeld een worteldiepte van 60 cm voor grasland). Het is daarom van belang dat weinig mogelijk parameters als calibratieparameters te gebruiken. Als calibratieparameters worden bij voorkeur alleen die gegevens gebruikt die het verloop van de sink term bepalen.

De invoer in het model kan beschreven worden in één file te weten 'swadat.inp' (Wesseling et al., 1991). Vanuit deze file wordt de invoer gestuurd. Een voorbeeld is opgenomen in aanhangsel 2.

### 4.1.1 Invoer

#### 4.1.1.1 Bodemfysische invoergegevens

Voor de invoer van bodemfysische gegevens moet natuurlijk de opbouw van de bodem bekend zijn. Een korte beschrijving van het profiel van de veldpodzol bij de proefplek op perceel 17 is weergegeven in tabel 1.

***Tabel 1 Korte beschrijving van het profiel bij proefplek 17***

| Horizont-code | horizont-diepte | % org stof | % leem | M50 | dichtheid ($g/cm^3$) | Staring-reeks |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1Ap | 0- 30 | 1,5 | 9 | 140 | 1,5 | B1 |
| 1Bhe/BCe* | 30- 40 | 4/1 | 20/17 | 125 | 1,5 | O2 |
| 1Bhe | 40- 55 | 3,0 | 14 | 135 | 1,6 | O2 |
| 1BCe | 55- 75 | 0,2 | 11 | 130 | 1,3 | O2 |
| Ce | 75-100 | 0,1 | 22 | 110 | 1,6 | O3 |

* Deze horizont is verwerkt en bestaat uit een mengsel van een oude A1- en een BCe-horizont.

Het perceel is geëgaliseerd; bovenop de oude A1 van het profiel is materiaal van een hogergelegen gedeelte geschoven. Dit opgeschoven materiaal is zeer schraal

(slechts 1,5% organische stof). De M50 neemt af met de diepte. Het sterk lemig zand begint op 75 cm - mv. Hoewel het leemgehalte in de tweede horizont hoger is kan deze horizont niet als storende laag worden beschouwd. Het is een vrij homogeen profiel dat goede waterdoorlatendheid heeft.

De bodemfysische gegevens zijn per laag in een aparte file ingevoerd. Het gaat om de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken. Omdat deze bij de start van de simulaties nog niet gemeten waren, zijn de pF- en K(h)-relaties voor de verschillende lagen uit de Staringreeks gehaald (Wösten et al., 1987). In de Staringreeks worden bouwstenen gedefiniëerd met elk een eigen pF-curve en K(h)-relatie. Het onderscheid tussen de bouwstenen wordt gemaakt door organische stof, textuur en M50. In de Staringreeks worden 16 bouwstenen voor de bovengrond en 16 voor de ondergrond onderscheiden. In de laatste kolom in tabel 1 staan de bijbehorende bouwstenen uit de Staringreeks. Voor de tweede horizont is bouwsteen O2 gekozen, omdat het materiaal van de BCe overheerst.

#### 4.1.1.2 Meteorologische invoergegevens

De meteorologische invoergegevens zijn afkomstig van verschillende bronnen. De neerslag wordt sinds juni '91 gemeten op De Marke. De temperatuurcijfers evenals de neerslaggegevens voor juni '91 t/m april '92 zijn verkregen van een weeramateur in Zelhem. De overige weersgegevens, straling, luchtvochtigheid en windsnelheid, zijn afkomstig van het station in De Bilt, omdat de neerslag- en temperatuurgegevens van De Bilt het meest bleken overeen te komen met de gemeten neerslag en temperatuur op de Marke en in Zelhem.

#### 4.1.1.3 Invoergegevens voor het gewas

Het model berekent gewasparameters als bodembedekking, LAI en gewashoogte. Het is mogelijk om deze gegevens in te voeren maar ten tijde van de simulaties waren gegevens voor de bodembedekking en gewashoogte op De Marke niet bekend. Voor de bewortelingsdiepte is 30 cm gekozen. De gegevens voor het verloop van de sink term zijn gebruikt als calibratieparameters.

#### 4.1.1.4 Overige invoergegevens

Als onderrandvoorwaarde is de invoer van de grondwaterstand genomen omdat de waterhuishouding sterk beïnvloed wordt door de grondwaterstand. Het model interpoleert de grondwaterstand lineair tussen de gemeten grondwaterstanden.

De drukhoogte op de eerste dag van de simulatie wordt uitgerekend als evenwicht met de grondwaterstand. Dit is van relatief weinig invloed op de verdere berekeningen.

### 4.1.2 Calibratie

De parameters waarmee gecalibreerd wordt, betreffen die parameters die het verloop van de sink term bepalen. Ten eerste kan gekozen worden welke sink term gehanteerd wordt, die van Feddes (Feddes et al., 1978) of die van Hoogland (Feddes et al., 1988). Uit de calibratie bleek dat de sink term volgens Hoogland in dit geval het best voldeed, waarbij het verloop tussen $h_3$ en $h_4$ hyperbolisch verondersteld wordt.

Met de drukhoogtes die het verloop van de sink term variabele $\alpha$ bepalen (zie fig. 5 in paragraaf 3.1) valt goed te calibreren. Het is te beredeneren hoe ze veranderd moeten worden. Tussen $h_2$ en $h_3$ is de wateropname maximaal. Wordt $|h_3|$ groter dan zal het gewas over een groter traject maximaal water kunnen opnemen en zal het berekende vochtgehalte lager worden. Wordt $|h_4|$ groter dan mag de bodem verder uitdrogen voordat het verwelkingspunt wordt bereikt. Ook dit levert een lager berekend vochtgehalte op. De waarden van $h_1$ en $h_2$ zijn altijd dezelfde, namelijk -10 respectievelijk -25.

De startwaarden voor de calibratie zijn overgenomen uit Peerboom (1990), waarin onder andere de calibratie wordt beschreven op de proefveldgegevens van de proeven op de proefboerderij te Heino. Bij de calibratie van Peerboom (sink term volgens Feddes) zijn $h_3l$, $h_3h$ en $h_4$ gesteld op -200, -800 en -8000 cm. Bij de calibratie voor De Marke is gekozen voor de beschrijving van de sink term volgens Hoogland en hoeft slechts één waarde voor $h_3$ genomen te worden. Als startwaarde is gekozen -800 cm. Omdat het model de vochttoestand te droog berekende zijn de drukhoogtes omhoog gebracht.

Uiteindelijk zijn de drukhoogtes $h_3$ en $h_4$ gesteld op -700 en -2000 cm. De resultaten zijn te vinden in hoofdstuk 5.

## 4.2 ANIMO

### 4.2.1 Invoer

De invoer van ANIMO heeft een andere structuur dan de invoer van SWACROP (Kroes, 1992). ANIMO vraagt tenminste zeven invoerfiles waarbij in 'general.inp' de algemene gegevens over de simulatie ingevoerd worden. De overige invoerfiles zijn: material.inp, plant.inp, area.inp, ini.inp, addit.inp en swatre.unf of watbal.unf. 'Swatre.unf' of 'watbal.unf' is een uitvoerfile van de simulatie van de waterhuishouding. In 'material.inp' en 'plant.inp' worden materialen en gewassen gedefinieerd. De gegevens in deze files zijn standaardwaarden. Met materialen wordt

bedoeld alles wat op de bodem wordt aangebracht of wat al in de bodem aanwezig is. Hieronder worden enkele invoerfiles besproken.

#### 4.2.1.1 Material.inp

Zoals gezegd bevat deze file alleen standaardwaarden. De verschillende materialen die voor de simulatie voor De Marke gebruikt zijn betreffen dierlijke mest, kunstmest en wortels van gras. Al deze materialen leveren op een of andere wijze stikstof en soms koolstof aan de bodem. Per materiaal wordt de verdeling van stikstof over organische stikstof, $NH_4$ en $NO_3$ in dat materiaal gedefinieerd. Elke vorm van stikstof wordt weer verdeeld in tien fracties die elk een andere afbraaksnelheid hebben. In figuur 10 is te zien hoe organische stof in ANIMO verdeeld wordt in materialen en fracties. De verdeling van de rundveedrijfmest in de verschillende vormen van stikstof is op het bedrijf gemeten, maar de verdeling in fracties is uitgerekend met behulp van het programma DEFINMAT (Kroes, in prep). De verdeling van de andere materialen is overgenomen uit de invoerbeschrijving, waarin een voorbeeld staat voor het proefbedrijf Cranendonck te Maarheze.

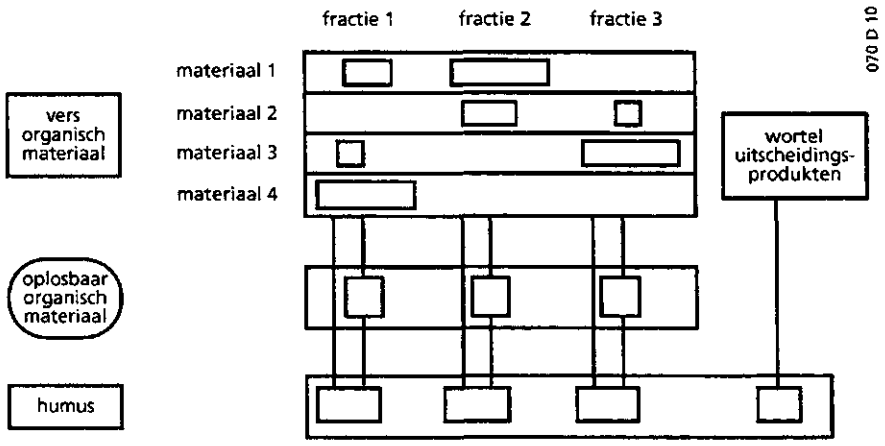



***Fig. 10 Verdeling van organisch materiaal***

#### 4.2.1.2 Ini.inp

Voordat begonnen wordt met de simulatie moet een begintoestand gedefinieerd worden, welke in 'ini.inp' wordt ingevoerd. Veelal wordt gekozen voor een toestand waarbij een evenwicht in de bodem verondersteld wordt, waarin organische stof en stikstof in verschillende vormen en fracties aanwezig zijn.

De initialisatie kan op twee manieren gebeuren. Het meest gebruikelijk is om een geschiedenis door te rekenen zoals is gedaan door Kroes et al. (1990) en Van der Bolt et al. (1990). Hierbij wordt een simulatie van de geschiedenis uitgevoerd. Aan het begin van de 'historische' berekening worden alle N-fracties, behalve de N-fractie

in humus die afkomstig is van de uitscheiding van wortels, op nul gesteld. Door met gegevens van de voorgeschiedenis van het betreffende perceel te werken (waar dus iets van bekend moet zijn) wordt een soort evenwichtstoestand bereikt die als beginsituatie fungeert voor de eigenlijke calibratie. Deze methode van initialisatie leverde voor het perceel op De Marke geen goed resultaat op, mede omdat gegevens over de geschiedenis van De Marke grotendeels ontbraken.

Een andere methode om de beginsituatie te bepalen is met behulp van het programma ORGINI (Kroes, in prep). Aan de hand van geschatte organische stofgehaltes en minerale stikstofgehaltes wordt de organische (stik)stof over het profiel verdeeld in verschillende vormen en fracties. Met het resultaat hiervan is verder gerekend.

#### 4.2.1.3 Addit.inp

In deze file wordt aangegeven welke materialen op de bodem worden aangebracht (bemesting) en welke bewerkingen er plaatsvinden. Deze gegevens zijn bekend op het bedrijf. Beweiding is ingevoerd door per beweidingsdag een bepaalde hoeveelheid rundveedrijfmest op het land aan te brengen. De berekening van de hoeveelheid mest is gegeven in paragraaf 3.3. Bij het doorrekenen van de verschillende scenario's is de invoer alleen in deze file veranderd.

#### 4.2.1.4 Overige invoerfiles

Er blijven nog twee files over die nog niet beschreven zijn, namelijk 'plant.inp' en 'area.inp'. 'Plant.inp' is in zijn geheel overgenomen uit de invoerbeschrijving (Kroes, 1992). Hier wordt dan ook naar verwezen.

'Area.inp' is de enige file waarin calibratieparameters staan. Hier wordt in de volgende paragraaf op ingegaan. Daarnaast zijn er nog gegevens gemeten. De pH is in 1990 gemeten door TAUW Infra Consult (Boland, 1990). De droge bulkdichtheid is bepaald op het SC-DLO. De bemonstering heeft plaatsgevonden tijdens de profielkuilbeschrijving. Het aantal grootvee-eenheden (gve's) is gesteld op 5 per ha. Er is beweid met 28 pinken. Een pink is een halve gve (Proefstation, 1988). Op dit perceel staan dus 14 grootvee-eenheden. Het perceel heeft een grootte van 3,4 ha. Het aantal gve's per ha is dus 14 gve/ 3,4 ha = 4,1. Omdat de pinken waarschijnlijk meer lopen op de plaats van de proefplek, is afgerond naar boven. De pinken bevinden zich vermoedelijk vaker in de buurt van de proefplek, omdat ze nieuwsgierig zijn naar de proefplek en omdat het gras er beter voor staat op dat gedeelte van het perceel dan op het hoge gedeelte van het perceel. Deze parameter wordt ingevoerd om de oogstverliezen als gevolg van beweiding mee te nemen. Het heeft geen gevolgen voor de bemesting (door uitwerpselen), die apart in 'addit.inp' wordt ingevoerd.

4.2.2 Calibratie

Omdat bijna alle parameters in ANIMO vast staan en omdat met zo weinig mogelijk parameters gecalibreerd moet worden, is alleen gecalibreerd met de constanten die de zuurstofdiffusiecoëfficiënt bepalen. De zuurstofdiffusiecoëfficiënt heeft zeer grote invloed op het model. Bakker et. al. (1987) hebben voor verschillende gronden relaties bepaald tussen volumefractie gas ($\phi_g$) en de zuurstofdiffusiecoëfficiënt. Deze relatie ziet er als volgt uit:

$$D_s = a\phi_g^b \qquad (5)$$

waarin: $D_s$ = zuurstofdiffusiecoëfficiënt ($m^2/s$)
a = constante ($m^2/s$) (voor elk bodemtype verschillend)
$\phi_g$ = volume-fractie gas ($m^3/m^3$)
b = constante (-) (voor elk bodemtype verschillend)

Afgaande op Bakker et al. (1987) zouden de constanten voor de zuurstofdiffusiecoëfficiënt a en b 51 respectievelijk 4,26 moeten zijn. Andere gronden die ongeveer dezelfde textuur hebben als de bodem van de Marke hebben constanten die variëren van 0,78 tot 49 voor a en van 1,99 tot 4,53 voor b. De mogelijkheden lopen dus zeer uiteen wat het moeilijk maakt om een redelijke startwaarde te kiezen. Daarom zijn voor de eerste berekening de waarden uit de voorbeeldbeschrijving gehaald (0,75 en 3,2) geldend voor Cranendonck. Dat deze parameters in deze orde van grootte moesten liggen bleek ook uit Van der Bolt et al. (1990), waar 0,75 en 3,0 gebruikt zijn. Van der Bolt heeft simulaties uitgevoerd voor percelen die in de buurt liggen van het grondwaterwingebied 't Klooster, waarin ook een gedeelte van De Marke ligt. Het bleek dat de waarden uit de invoerbeschrijving direct goede nitraatconcentraties opleverde.

# 5 RESULTATEN VAN DE SIMULATIES

## 5.1 SWACROP

Een aantal resultaten van de simulaties van de drukhoogtes en vochtgehaltes van perceel 17 staat in de figuren 11 en 12. De simulaties worden aangegeven met een lijn. De metingen, de drukhoogte in drievoud, worden aangeduid met de punten.

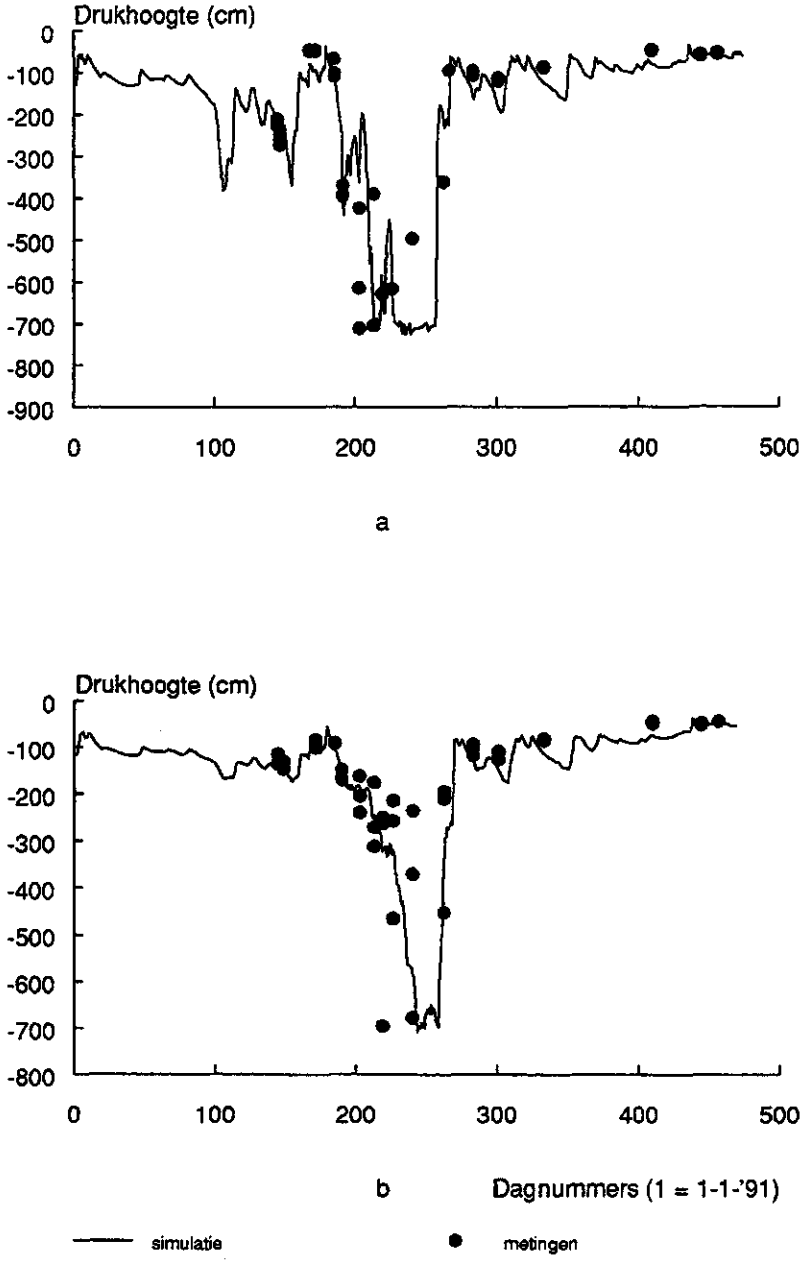



***Fig. 11 Simulatie van de drukhoogte op 20 cm - mv. (a) en 30 cm - mv. (b)***

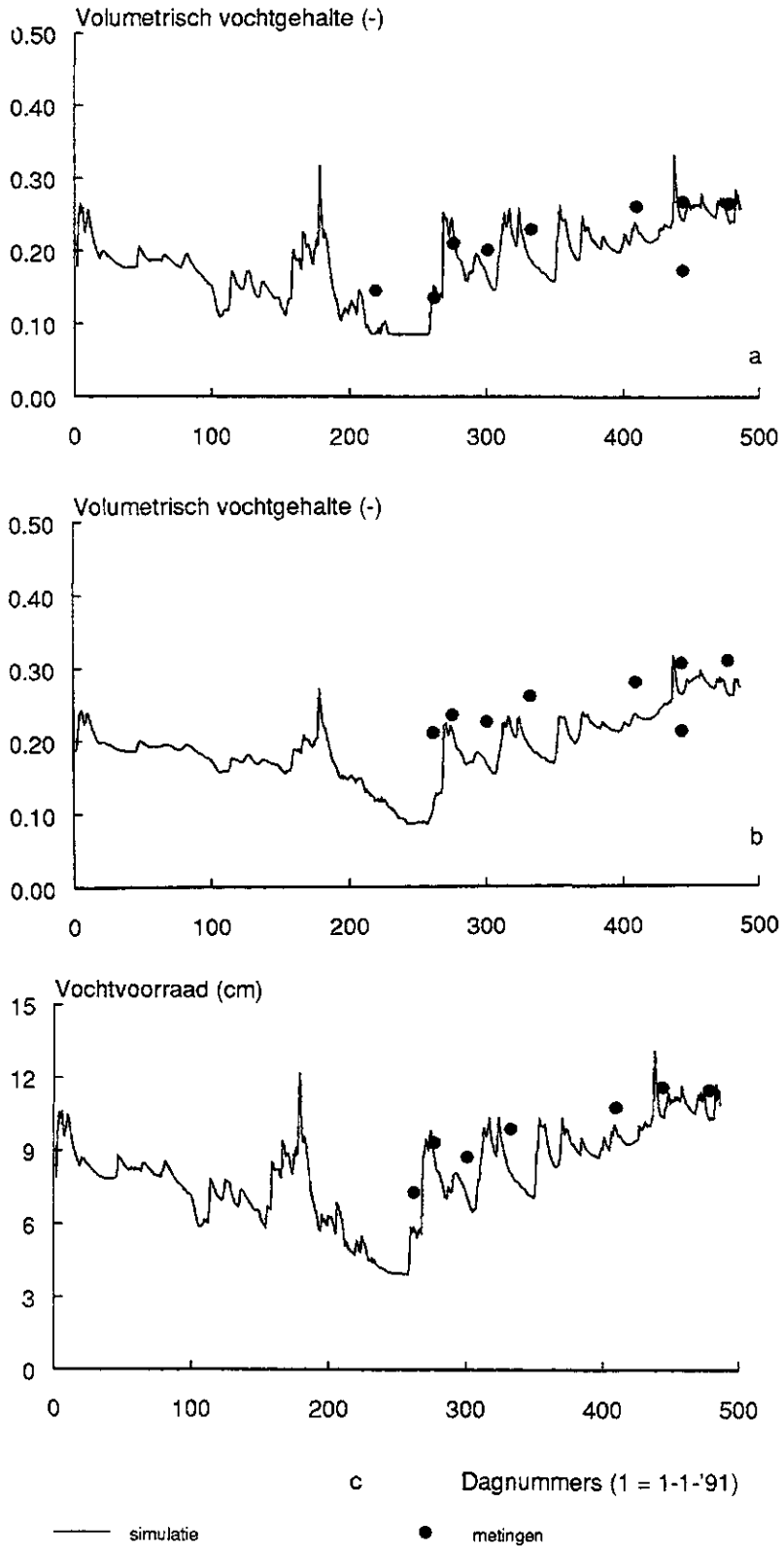



*Fig. 12 Simulatie van het vochtgehalte op 20 cm - mv. (a), 30 cm - mv. (b) en de vochtvoorraad van 0 tot 40 cm - mv (c)*

Bij de metingen van de drukhoogtes valt op dat de metingen verder uit elkaar liggen naarmate de bodem droger wordt. In het droge traject kunnen de drukhoogtes enorm variëren. Een kleine verandering van het vochtgehalte brengt een grote sprong in de drukhoogte teweeg. De pF-curve loopt bij lager wordende vochtgehaltes steil omhoog.

Het vochtgehalte en dus de vochtvoorraad van 0-40 cm - mv. worden iets te laag berekend (fig. 12). Dit komt waarschijnlijk doordat gebruik is gemaakt van de pF-curve uit de Staringreeks. De Staringreeks veronderstelt een lager vochtgehalte bij de drukhoogtes dan gemeten wordt. De pF-curve uit de Staringreeks is wel enigszins gecorrigeerd door de gemeten drukhoogtes en vochtgehaltes tegen elkaar uit te zetten. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat de TDR-apparatuur nog niet goed geijkt is, omdat daarvoor nog te weinig metingen zijn gedaan. De gravimetrisch bepaalde vochtgehaltes komen lager uit, waardoor de ijking van de TDR-apparatuur nodig kan zijn.

## 5.2 ANIMO

### 5.2.1 Huidige situatie

In figuur 13 is het resultaat van de simulatie van de huidige situatie te zien. De punten in deze figuur geven de gemeten concentraties aan, waarbij het middelste punt het gemiddelde is van de 20 cups, het bovenste de maximum gemeten en het onderste punt de minimum gemeten waarde aangeeft. Er is een groot verschil tussen de berekende nitraatconcentraties in de lagen van 90-100 cm - mv. en 100-110 cm - mv. Om de berekende waarde met de gemeten concentratie op 1 m - mv. te vergelijken is daarom het gemiddelde van de twee lagen genomen (dit is de middelste lijn in de figuur). Dit lijkt gerechtvaardigd, omdat de cup tussen de twee (fictieve) lagen is geplaatst en dus van beide lagen vocht onttrekt. Bij de calibratie is geprobeerd om de 'gemiddelde lijn' binnen de spreiding van de metingen te houden.

Zoals te zien is vertoont de simulatie nogal wat pieken en dalen. Het gesimuleerde vochtverloop in deze zandgrond reageert sterk op de neerslag. Dit is ook wel logisch, want de bodem is goed doorlatend. Als het een tijd niet regent hoopt de nitraat zich op in het bovenste gedeelte van het profiel. Tijdens een regenbui spoelt dit allemaal uit naar beneden. Om dit te illustreren is een aantal [$NO_3$-N]-profielen (fig. 14) gemaakt rond de regenbui op 12 maart 1992 (dag 437). Op deze dag viel 37 mm neerslag. De dag erna viel er nog eens 10,5 mm. Een regenbui zorgt echter niet altijd direct voor uitspoeling. Op 25 september 1991 viel er een regenbui van 31 mm, maar deze bui had minder invloed op de uitspoeling, omdat het gewas op die dag meer water verdampte en omdat de bodem op die dag nog veel droger was. Het water werd op die dag nog geborgen. In de waterbalans is dit goed terug te vinden. Ondanks de harde regenbui is er geen neerwaartse waterstroom, in tegenstelling tot dag 437.

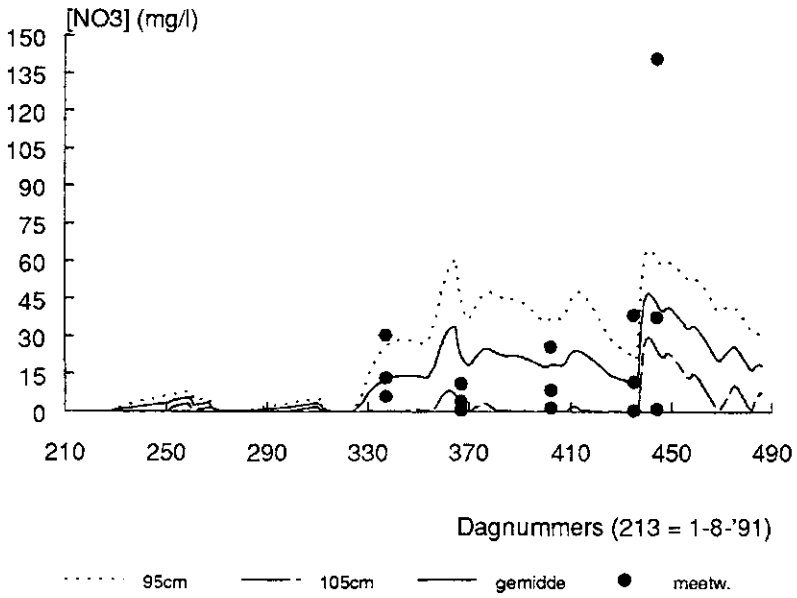
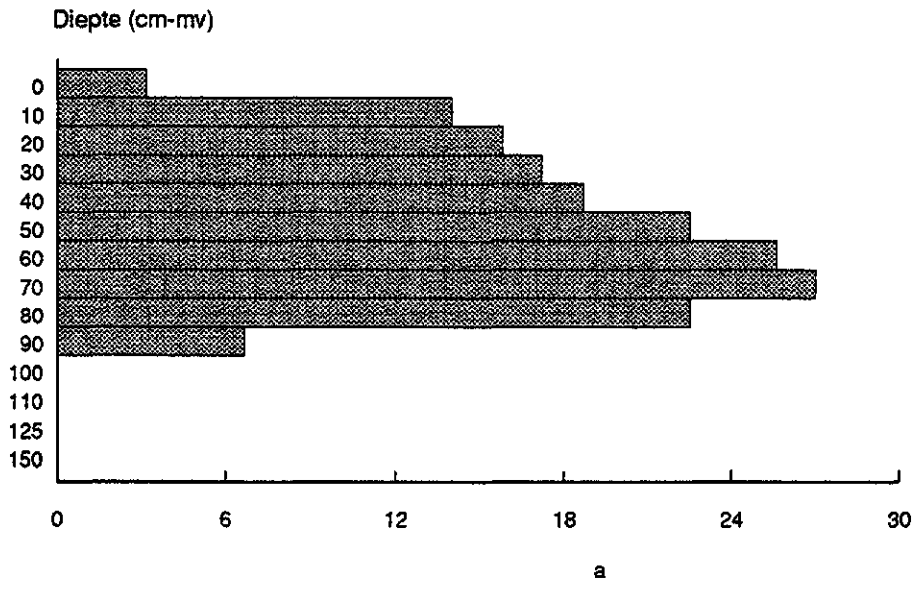


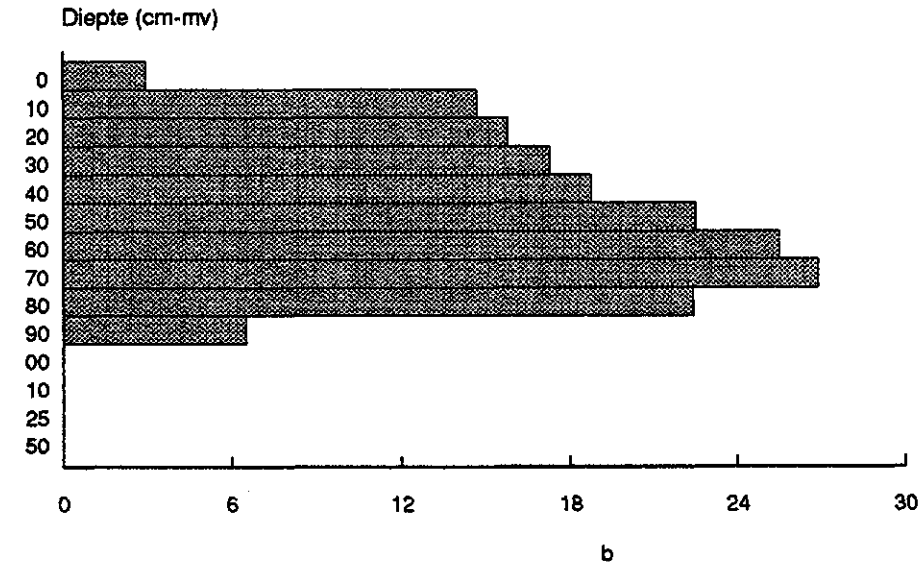

*Fig. 13 Simulatie [$NO_3^-$] op 1 m - mv., perceel 17 (huidige situatie)*

5.2.2 Simulatie van de variabiliteit van de nitraatconcentratie op 1 m - mv.

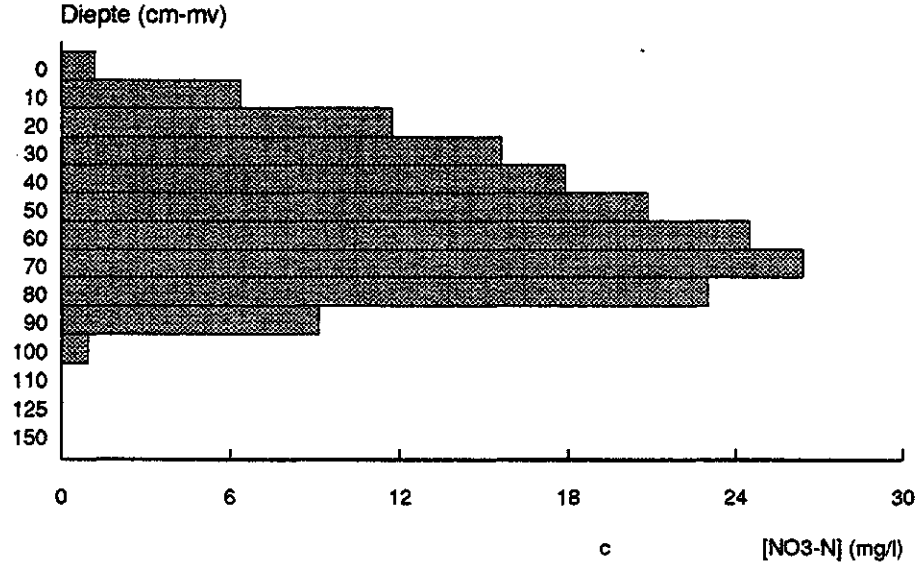
Na de calibratie zijn de verschillende scenario's zoals die genoemd zijn in paragraaf 3.3 doorgerekend. De resultaten hiervan zijn grafisch weergegeven in figuur 15 t/m 18. In tabel 2 worden de resultaten hiervan met elkaar vergeleken, op de dagen dat gemeten is. De simulaties op de plaats van de proefplek worden aangeduid met Hn43, omdat de proefplek in die bodemeenheid ligt.


Diepte (cm-mv)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
125
150
0
6
12
18
24
30

a


Diepte (cm-mv)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
00
10
25
50
0
6
12
18
24
30

b


Diepte (cm-mv)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
125
150
0
6
12
18
24
30

c [NO3-N] (mg/l)

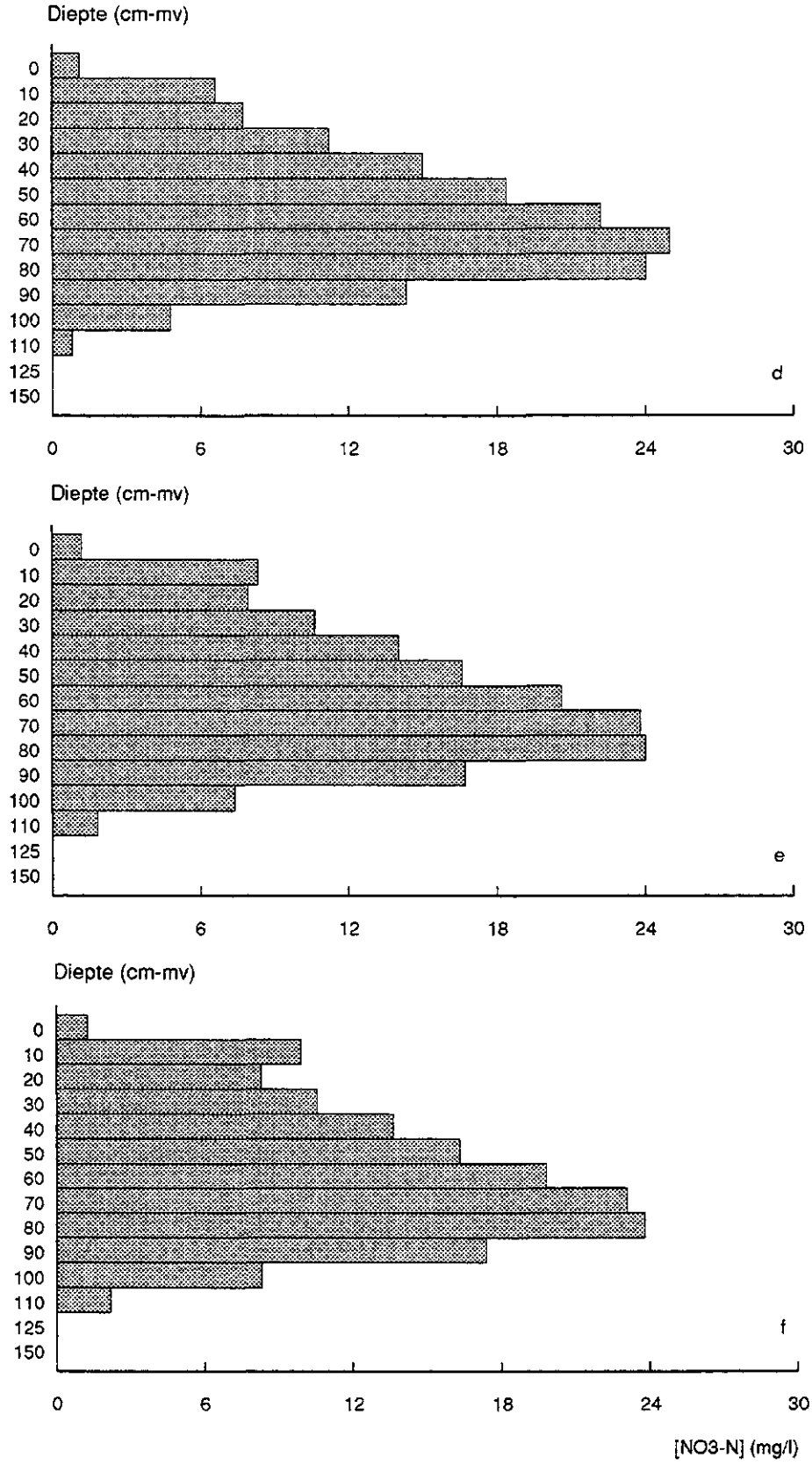



*Fig. 14 [$NO_3$-N]-profielen van dagnummers 435 (a), 436 (b), 437 (c), 438 (d), 439 (e) en 440 (f). De regenbui is op dag 437*

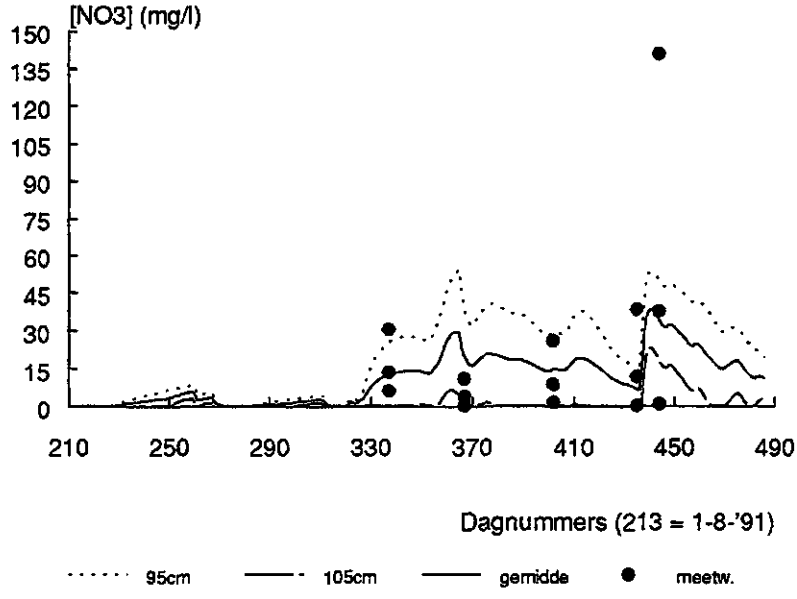



*Fig. 15 Simulatie van $[NO_3^-]$ op 1 m - mv. met het scenario 'geen beweiding'*

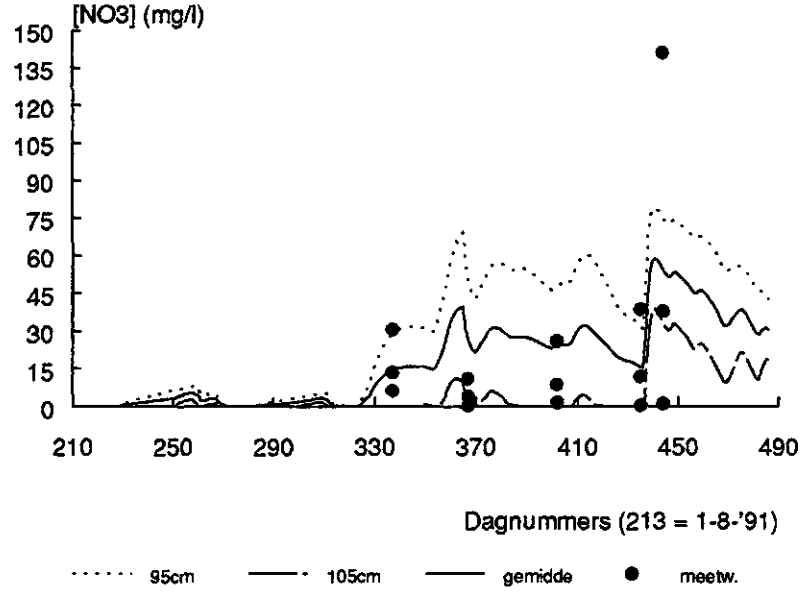
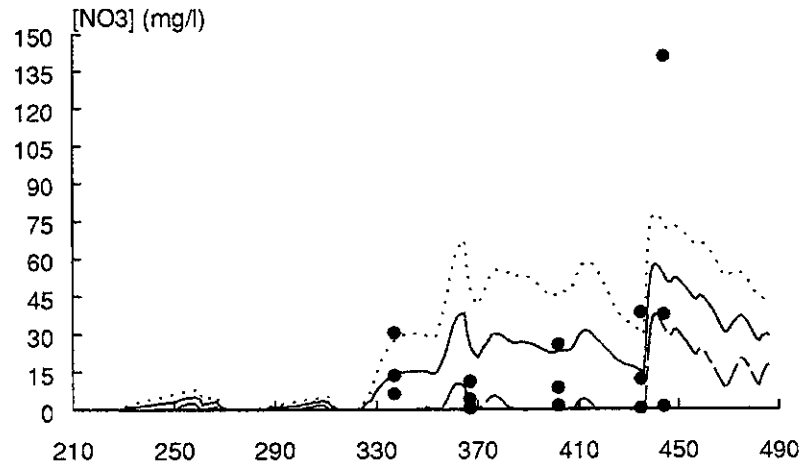
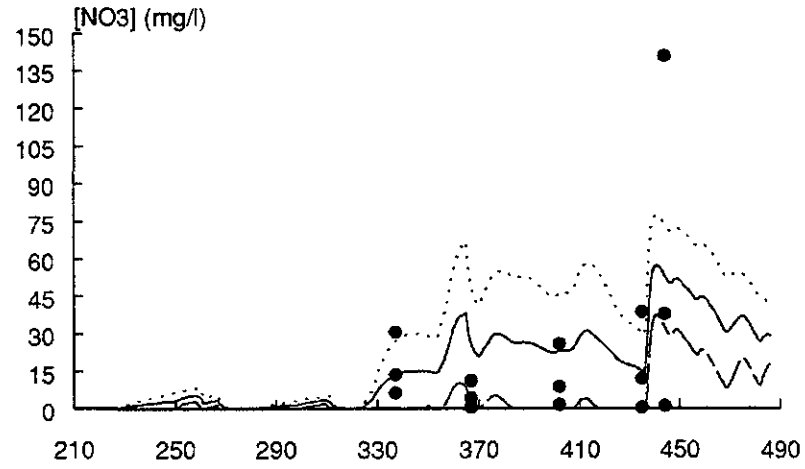


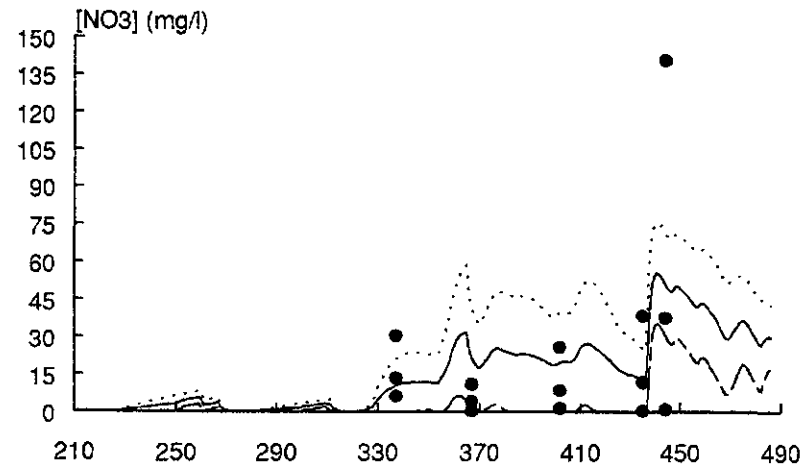

*Fig. 16 Simulatie van $[NO_3^-]$ op 1 m - mv. met het scenario 'volledige beweiding'*




a




b




c Dagnummers (213 = 1-8-'91)

95cm 105cm gemidde meetw.

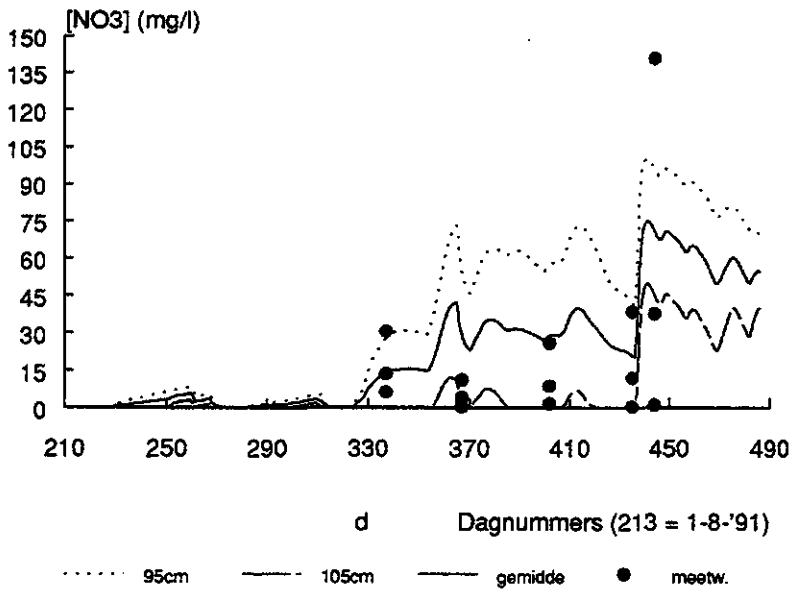



*Fig. 17 Simulaties van $[NO_3^-]$ op 1 m - mv. met de scenario's waarbij de mest in één keer op het land valt op dag 235 (a), 254 (b), 268 (c) en 274 (d)*

*Tabel 2. Gemeten en gesimuleerde nitraatconcentraties op 1 m - mv. (mg/l)*

| dag-nr | metin-gen (Hn43) | huidige situatie (Hn43) | geen bewei-ding (Hn43) | volledi-ge be-weiding (Hn43) | 1 keer mest op dag 235 (Hn43) | 1 keer mest op dag 274 (Hn43) | huidi-ge situa-tie (Hn51) | geen bewei-ding (Hn51 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 337 | 30,55* | 25,99** | 25,21 | 28,61 | 27,28 | 27,75 | 60,87 | 58,37 |
| | 6,2 | 2,49e-3 | 2,18e-3 | 2,63e-3 | 2,64e-3 | 2,73e-3 | 41,5 | 40,51 |
| | *13,55* | *13,0* | *12,61* | *14,31* | *13,64* | *13,88* | *51,19* | *49,44* |
| 367 | 11,07 | 43,64 | 38,73 | 50,32 | 49,01 | 53,69 | 110,2 | 99,88 |
| | 0,44 | 1,55 | 1,03 | 2,73 | 2,39 | 3,46 | 94,92 | 87,44 |
| | *3,94* | *22,59* | *19,88* | *26,53* | *25,7* | *28,58* | *102,5* | *93,66* |
| 402 | 25,9 | 37,21 | 28,91 | 47,99 | 46,55 | 57,37 | 131,1 | 116,3 |
| | 1,55 | 3,06e-6 | 5,71e-7 | 9,81e-6 | 1,47e-5 | 9,65e-2 | 126,5 | 112,8 |
| | *8,66* | *18,6* | *14,45* | *24,0* | *23,28* | *28,73* | *128,8* | *114,5* |
| 435 | 38,53 | 21,42 | 13,78 | 31,32 | 30,14 | 41,68 | 132,6 | 117,8 |
| | 0,44 | 6,89e-7 | 1,45e-6 | 2,12e-6 | 1,78e-6 | 8,36e-6 | 132,6 | 117,8 |
| | *11,91* | *10,71* | *6,89* | *15,66* | *15,07* | *20,84* | *132,6* | *117,8* |
| 444 | 140,83 | 60,99 | 49,91 | 75,04 | 73,89 | 96,33 | 126,1 | 112,8 |
| | 1,02 | 24,93 | 18,28 | 33,43 | 32,62 | 45,08 | 129,4 | 115,2 |
| | *37,69* | *42,96* | *34,09* | *54,24* | *53,25* | *70,7* | *127,8* | *114,3* |

* Per cel: gemeten maximum
gemeten minimum
*gemiddelde van 20 cups*

** Per cel: simulatie 90-100 cm - mv.
simulatie 100-110 cm - mv.
*gemiddelde van deze simulaties*

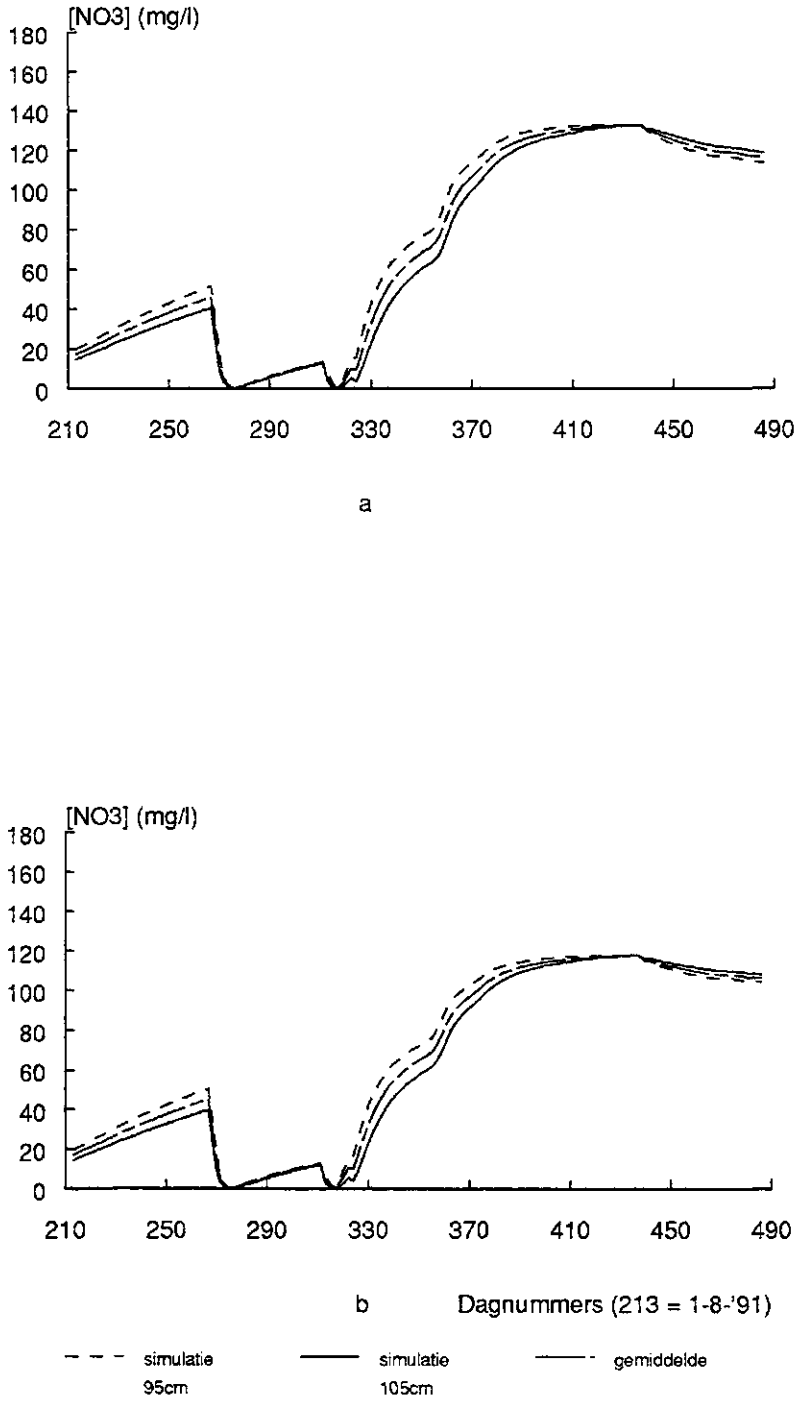



*Fig. 18 Simulaties op bodemeenheid Hn51, huidige situatie (a) en geen beweiding (b)*

Op de dagen 337, 402 en 435 wordt de variabiliteit volledig verklaard via de verschillende scenario's. Op dag 337 wordt de maximaal gemeten waarde gesimuleerd bij het scenario 'volledige beweiding' in de laag van 90-100 cm - mv. Op dag 402 wordt de spreiding gesimuleerd met het scenario 'geen beweiding'. Het scenario 'één keer mest op dag 274' verklaart de spreiding op dag 435. Voor dag 367 wordt door

alle scenario's een te hoge waarde berekend. De spreiding die gemeten is op dag 444 wordt niet verklaard met de scenario's. Wellicht spelen andere factoren dan beweiding een grotere rol.

De spreiding van de metingen neemt toe met de tijd evenals de gemiddelde concentraties. Een deel van de spreiding kan worden verklaard door de concentraties op verschillende dieptes. Volgens deze simulatie maakt het veel uit op welke diepte gemeten wordt. Als een cup iets dieper zit dan 1 m - mv., wat natuurlijk wel eens voor komt, is het mogelijk dat een (veel) lagere concentratie gemeten wordt dan in een cup die iets hoger zit. Dit speelt hier waarschijnlijk een rol, omdat de grondwaterspiegel schommelt rond 1 m - mv.

Het verschil tussen de huidige situatie en geen beweiding op Hn43 is niet zo groot. Dit komt omdat er in de huidige situatie al weinig beweid wordt. Op Hn51 is het verschil duidelijker te zien. De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk in het verschil van mineralisatie. Hn51 ligt hoger en is beter doorlucht, waardoor de mineralisatie op een hoger niveau ligt. De mineralisatie is hier bijna twee keer zo hoog, namelijk 147,2 kg/ha/j op Hn43 en 271,8 kg/ha/j op Hn51 (zie aanhangsel 3 waarin de jaarbalans van stikstof is opgenomen). De mineralisatie is een belangrijke factor, omdat er in dierlijke mest geen nitraat aanwezig is. De extra nitraat die teruggevonden wordt na beweiding is helemaal afkomstig uit de mineralisatie. Het verschil tussen Hn43 en Hn51 kan ook veroorzaakt zijn door een sterkere verdichting op Hn43 als gevolg van meer beweiding op dit gedeelte van het perceel. Als de bodem meer verdicht is, is er wellicht meer denitrificatie. Verdichting heeft waarschijnlijk een negatieve invloed op de zuurstofdiffusie.

De 'volledige beweiding' heeft iets meer invloed op de nitraatconcentratie op 1 m - mv. Omdat bij dit scenario de mest en urine verdeeld over de weideperiodes wordt toegediend speelt de mineralisatie dezelfde rol als bij de huidige situatie, alleen op een hoger niveau. De spreiding die in de metingen gevonden wordt, wordt met deze simulaties ten dele verklaard.

De 'volledige beweiding' wordt reëler gesimuleerd wanneer de oppervlakte in één keer wordt bedekt met mestflatten en urineplekken, omdat in werkelijkheid een mestflat of urinelozing ook in één keer valt. De lozing op één dag is gesimuleerd in de volgende vier scenario's, waarvan de resultaten van de twee uiterste dagen (235 en 274) vermeld staan in tabel 2. De resultaten van de andere twee dagen zijn te vinden in figuur 17. Het verschil tussen deze scenario's komt vooral tot uiting in het voorjaar van 1992. Tijdens de regenbui van 12 maart 1992 spoelt er bij het scenario '1 keer mest op dag 274' veel meer uit dan bij het scenario '1 keer mest op dag 235'. De nitraat heeft zich later opgehoopt, omdat de mest ook later gevallen is. De nitraat die is vrijgekomen uit de mest van dag 235 is deels opgenomen (er wordt bij dit scenario 4,1 kg $NO_3$-N meer opgenomen dan bij het scenario waarbij de mest valt op dag 274). Daarnaast is er al een gedeelte van de mest gemineraliseerd en genitrificeerd, waardoor er ook meer gedenitrificeerd kan worden.

# 6 ONDERZOEK NAAR DE RUIMTELIJKE VARIABILITEIT VAN NITRAATUITSPOELING OP EEN PERCEEL

## 6.1 Inleiding

Behalve de simulatiestudies is nog een extra onderzoek gedaan naar de ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling onder beweid grasland. Het was namelijk niet duidelijk of de totale spreiding over het gehele perceel gevonden wordt met de monitoring zoals die nu uitgevoerd wordt. Zoals al eerder vermeld is bestaat perceel 17 uit een hoog en een laag gedeelte. De proefplek bevindt zich op het lage gedeelte. Uit onderzoek blijkt dat nitraatuitspoeling op nattere gronden lager is. Het is dus mogelijk dat de metingen niet helemaal het juiste beeld geven van de nitraatuitspoeling op het perceel.

De studie naar de ruimtelijke variabiliteit is gedaan op perceel 17 omdat het perceel redelijk vierkant is, zodat er weinig randeffect is.

Om de ruimtelijke afhankelijkheid zichtbaar te maken wordt een semi-variogram gemaakt. In een semi-variogram wordt het verschil tussen twee puntwaarnemingen uitgezet als functie van de afstand tussen de puntwaarnemingen. De verwachting is dat het verschil tussen de puntwaarnemingen groter wordt naarmate de afstand tussen de waarnemingspunten groter wordt.

## 6.2 Methode

### 6.2.1 Opzet

Over het perceel zijn honderd grondwatermonsters genomen verdeeld over het gehele perceel met een bekende afstand van elkaar. Dit aantal is tenminste nodig om een goed semi-variogram te maken (Brus, mond. med). Binnen het gridnet van 50 m dat gemaakt is ten behoeve van de kartering (paragraaf 2.1) zijn punten uitgezet die 25 m uit elkaar liggen. Omdat de ruimtelijke afhankelijkheid op korte afstand waarschijnlijk het duidelijkst naar voren komt, zijn ook punten gekozen die op kortere afstand van elkaar liggen. Daartoe zijn bij tien punten nog eens vier punten uitgezet; twee op een afstand van 1 m en twee op een afstand van 5 m van het 25 m-punt. Volgens Stein (1992) zijn voor een goed semi-variogram van elke afstand tenminste 30 puntenparen nodig. Op de manier, zoals bemonsterd is, zijn er honderd grondwatermonsters genomen met daarbinnen van elke afstand in ieder geval 30 puntenparen en is dus aan beide voorwaarden voldaan. Een overzicht van de meetpunten staat in figuur 19. De kortste afstand tussen twee punten is een meter. Er wordt hier gesproken over 'middellange afstand'.

Een voorwaarde voor het maken van een semi-variogram is dat er binnen het perceel geen trend aanwezig mag zijn. Perceel 17 heeft een hoog en een laag gedeelte, dus

er zou misschien toch een trend kunnen zijn en het perceel zou in strata verdeeld moeten worden. Voor het bepalen van relaties tussen nitraatuitspoeling en bodemfactoren kan de trend interessant zijn.

Behalve een semi-variogram van het hele perceel zijn er ook semi-variogrammen gemaakt van de twee bodemeenheden binnen het perceel. Er bestaat de mogelijkheid dat deze semi-variogrammen een verschillend beeld geven en dat er twee verschillende populaties aanwezig zijn. De bodemeenheden die in perceel 17 voorkomen zijn beide veldpodzolen, alleen de textuur (vnl. leemgehalte) is verschillend.

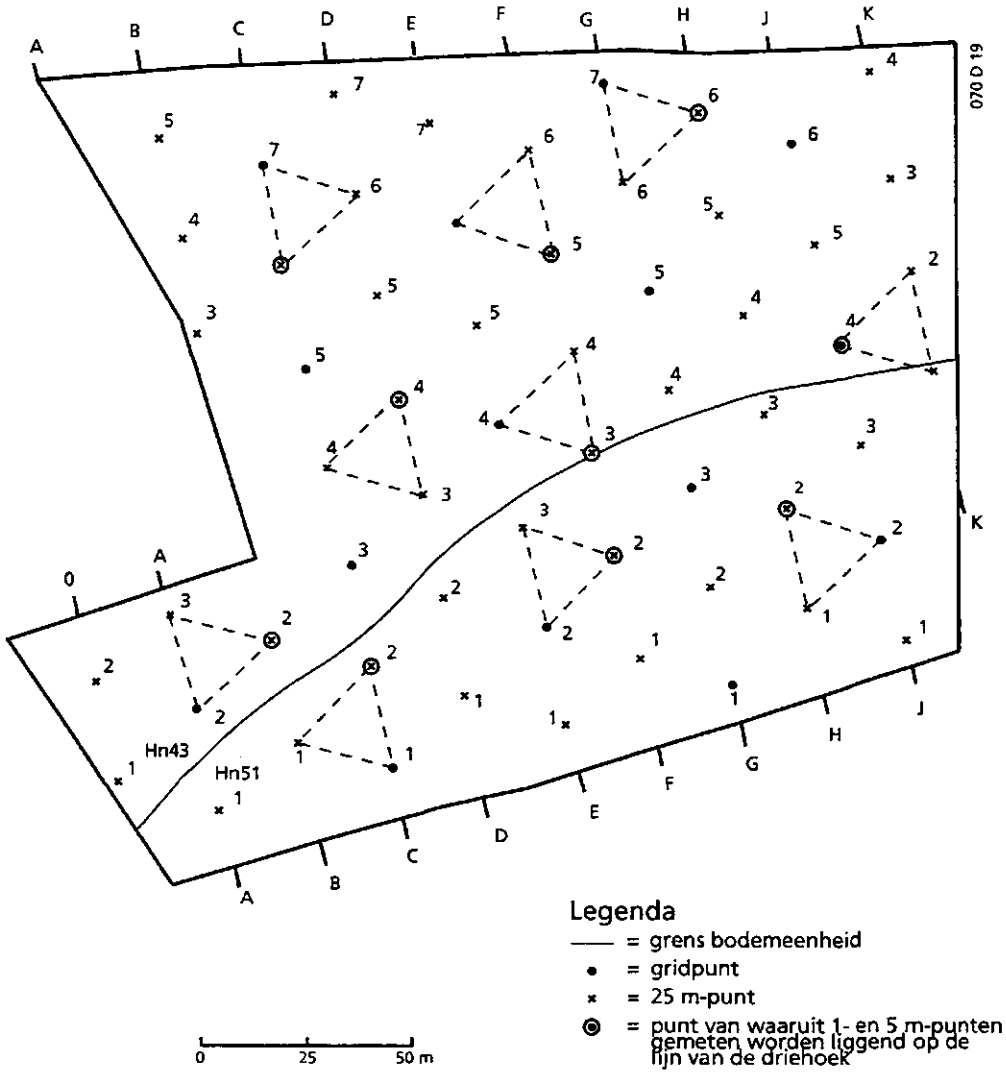



*Fig. 19 Schema grondwaterbemonstering voor semi-variogram*

Om de ruimtelijke variabiliteit op zeer korte afstand (binnen een meter) zichtbaar te maken zijn semi-variogrammen gemaakt met de gegevens die verkregen zijn met de monstername op de verschillende proefplekken. Dit zijn dus geen monsters van het bovenste grondwater, maar van het bodemvocht op 1 m - mv. Omdat er per perceel per dag maar twintig monsters worden genomen zijn voor de semi-variogrammen de waarnemingen van de vier percelen waar in 1991 grasland was bij elkaar genomen. Er zijn dan maximaal 80 waarnemingen waarop het semi-variogram bepaald wordt, wat eigenlijk nog te weinig is.

### 6.2.2 Bemonstering

Bij de bemonstering van het grondwater wordt eerst een gat van 40 à 50 cm diepte met een doorsnee van ongeveer 8 cm geboord. In dit gat wordt een PVC-buis van dezelfde lengte geplaatst, om te voorkomen dat er humusrijke bovengrond onder in het gat valt, waardoor de $NO_3$-concentratie van het grondwater beïnvloed wordt. Daarna wordt verder geboord tot in het grondwater en kan de buis worden geplaatst (fig. 20).

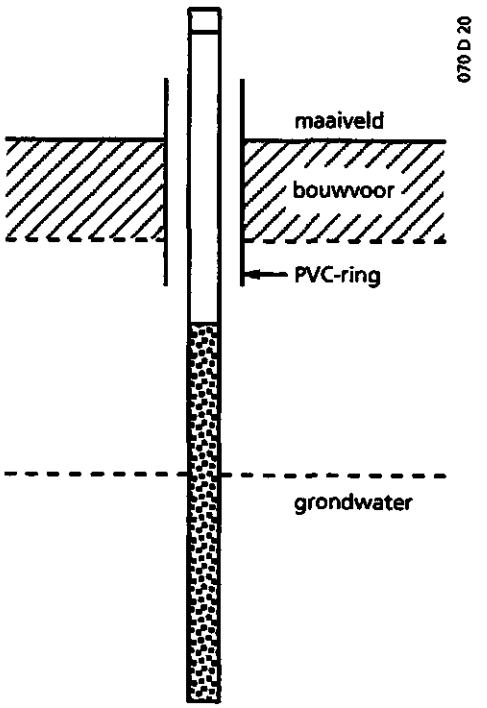



***Fig. 20 Plaatsing grondwaterbuis voor grondwaterbemonstering***

Na enige tijd is het grondwater in de buis op niveau. De buis wordt leeggepompt om vervolgens te wachten tot het water opnieuw op niveau is. Dit water wordt opgepompt en gefiltreerd. Als het filtraat helder is, is het klaar voor de analyse.

Bij deze bemonsteringsmethode is het niet mogelijk om twee punten op kortere afstand van elkaar te meten. Als de buizen te dicht bij elkaar liggen vangen ze

hetzelfde water, zodat de metingen elkaar te veel beïnvloeden. Naast de bemonstering is per boorgat een profielbeschrijving gemaakt en de grondwaterstand opgenomen, om de eventuele relaties te kunnen verklaren.

## 6.3 Ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling

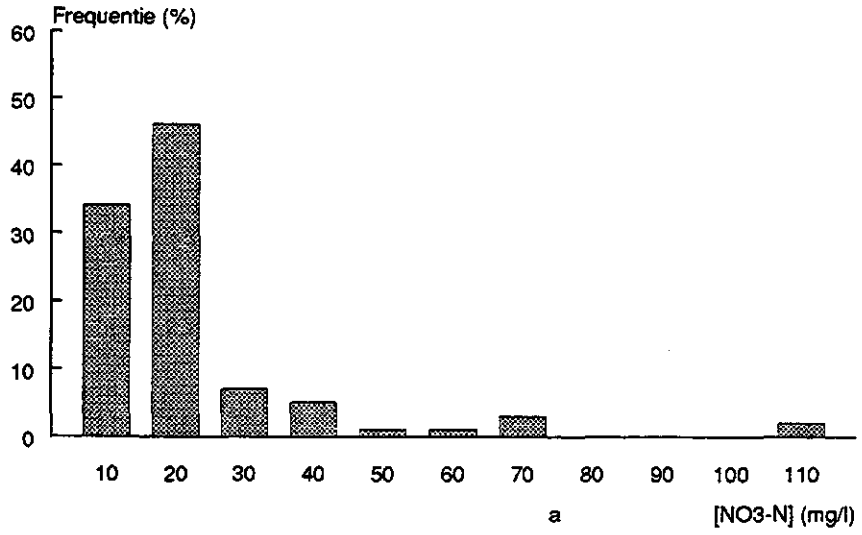
### 6.3.1 Variabiliteit op middellange afstand

In aanhangsel 4 staan de analyseresultaten van de grondwatermonsters. Er zijn 99 grondwatermonsters genomen, omdat bij het inmeten van de punten bleek dat één punt (O1 in figuur 19) buiten het perceel zou komen te liggen. Alleen het nitraatgehalte is gemeten. De spreiding loopt van 0 tot 110 mg $NO_3$-N/l. Gemiddeld over het gehele perceel is de concentratie 17,01 mg/l. Voor het maken van een semi-variogram is het nodig dat de populatie normaal verdeeld is. Ter controle is daarvoor een frequentieverdeling gemaakt. Zoals in figuur 21a te zien is, zijn de concentraties niet normaal verdeeld. Het is dan ook noodzakelijk om de logaritmische waarde te nemen van de concentraties (zoals eigenlijk gebruikelijk is bij statistische berekeningen met concentraties). Dit levert wel een normale verdeling op.

Met behulp van het programma WLSFIT (Heuvelink, 1989) zijn de semi-variogrammen gefit. Het eerste semi-variogram (van het hele perceel) heeft geen structuur. Daarom is er gestratificeerd, dat wil zeggen het perceel is op basis van bodemeenheid in twee delen verdeeld: Hn43 en Hn51. Dat levert de semi-variogrammen op zoals die zijn afgebeeld in figuur 22. In deze figuur zijn beide semi-variogrammen afgebeeld. Zo is duidelijk te zien dat er verschil is tussen beide bodemeenheden.

Op bodemeenheid Hn43 is weinig ruimtelijke afhankelijkheid terug te vinden. Een opvallend verschil is dat de semi-variantie op bodemeenheid Hn43 veel groter is dan op bodemeenheid Hn51 (2,0 tegen 0,4). Dit kan verklaard worden doordat op bodemeenheid Hn43 twee uitschieters voorkomen die bovendien naast elkaar liggen. Het verschil tussen de bodemeenheden zit voornamelijk in de textuur en het sterk lemig zand dat bij Hn43 begint op geringere diepte dan op Hn51. Ook hierin kan de verklaring gezocht worden.

Omdat er zo weinig ruimtelijke structuur in zit zou je kunnen zeggen dat al op korte afstand (binnen 5 meter) de maximale spreiding gevonden wordt. Maar omdat de bodemeenheden een verschillend semi-variogram opleveren is op dit perceel één proefplek voor het meten van nitraatconcentraties op 1 m - mv. niet voldoende.



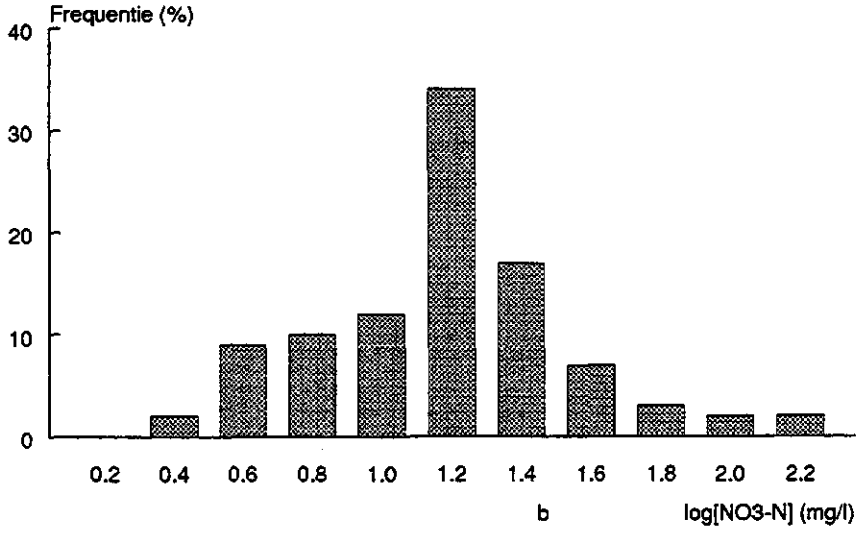




***Fig. 21 Frequentieverdeling nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (a: 'gewone' concentraties, b: log-getransformeerde waarden)***

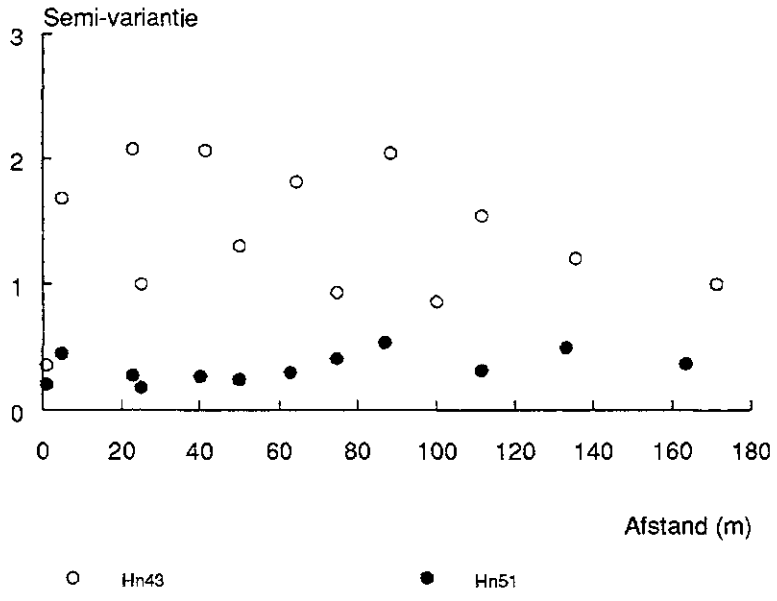



*Fig. 22 Semi-variogram perceel 17 gestratificeerd naar bodemeenheid*

### 6.3.2 Variabiliteit op zeer korte afstand

Voor de variabiliteit op zeer korte afstand is voor vier dagen een semi-variogram bepaald (fig. 23). Als de vier semi-variogrammen met elkaar vergeleken worden, valt op dat voor elke dag de ruimtelijke structuur weer anders is. Nitraatuitspoeling is een tijdsafhankelijk proces, dus het verschil in semi-variogrammen valt ook wel te verwachten.

Bij ieder semi-variogram is op de afstand binnen een meter de semi-variantie ongeveer 0,1. Binnen een afstand van een meter zijn de waarnemingen nog afhankelijk van elkaar, daarbuiten zijn de waarnemingen niet meer ruimtelijk afhankelijk. De ruimtelijke afhankelijkheid binnen een meter zou verklaard kunnen worden doordat de cups elkaar beïnvloeden. Het is mogelijk dat ze water uit elkaars omgeving onttrekken. Voor het inrichten van een proefplek kan dit betekenen dat de waarnemingen minstens een meter uit elkaar moeten liggen. De waarnemingen zijn dan echt onafhankelijk van elkaar.

Het lijkt erop dat naarmate de tijd verstrijkt de ruimtelijke structuur duidelijker zichtbaar wordt, maar echt duidelijk is dit niet. Op de eerste twee dagen is er wel een lijn gefit, maar het is de vraag of dit wel gerechtvaardigd is. De punten liggen namelijk wel erg ver uit elkaar. Vooral op de afstand binnen twee meter is de tendens van 'het minder zwabberen' goed te zien. Het is gevaarlijk om direct te concluderen dat deze tendens veroorzaakt wordt door het verlopen van de tijd. Op de laatste dagen (435 en 444) waren er nagenoeg geen gegevens van de percelen 9 en 11 omdat er

geen vocht onttrokken kon worden. De laatste twee semi-variogrammen zijn dus gebaseerd op minder gegevens, alleen van de percelen 17 en 19. Het minder 'zwabberen' kan dus ook veroorzaakt worden door het geringe aantal gegevens. Om dit te controleren is er nog een semi-variogram gemaakt van dag 402 met gegevens van alleen de percelen 17 en 19 (fig. 24). Dit semi-variogram lijkt zeer veel op dat van dag 435, hetgeen wil zeggen dat de tendens waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de verschillende populaties. De sill van het laatste semi-variogram ligt zelfs nog twee keer zo laag als die van het semi-variogram van dag 435. Ondanks dit laatste lijkt het toch zeer interessant om de variantie in de tijd te volgen. Het is dan belangrijk om meer waarnemingen te doen per perceel.

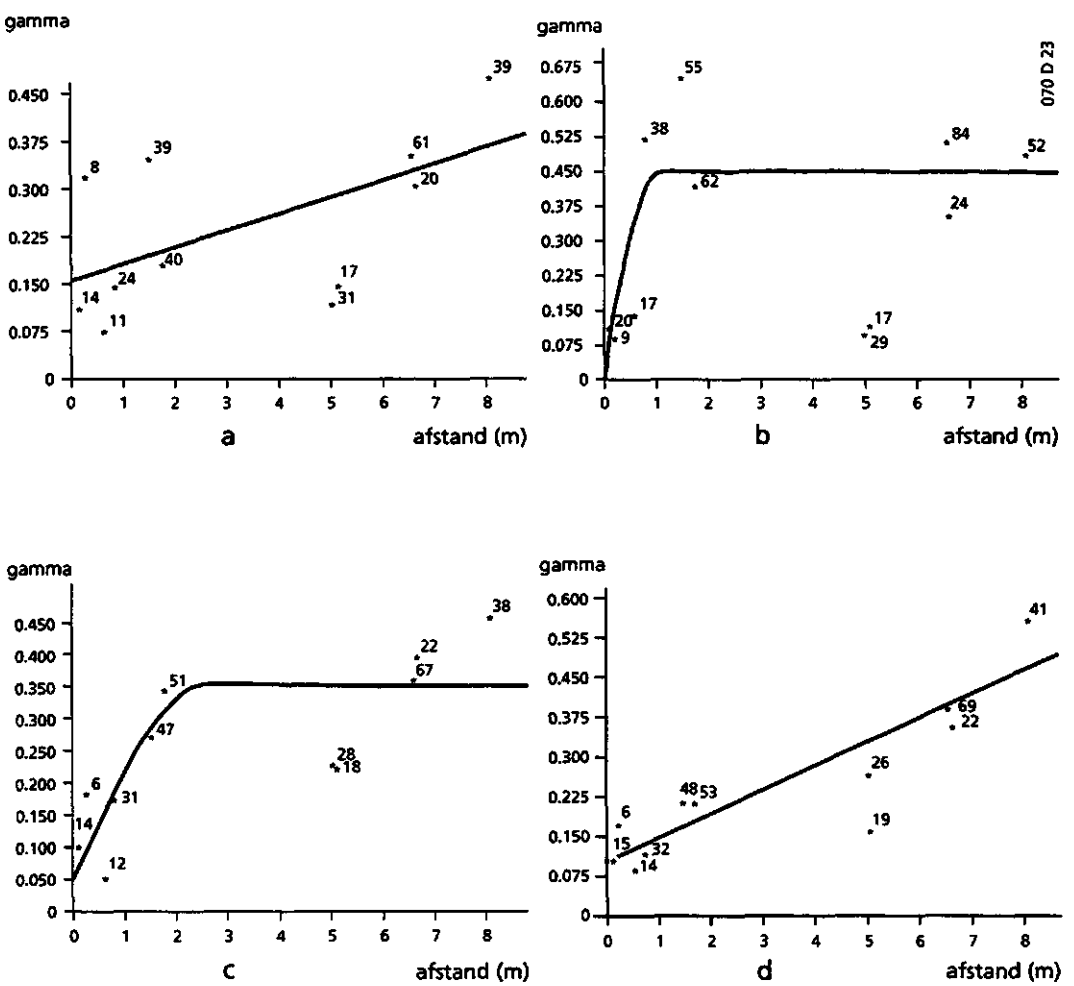



*Fig. 23 Semi-variogrammen t.b.v de bepaling van de ruimtelijke variabiliteit op zeer korte afstand (a: dag 367, b: dag 402, c: dag 435, d: dag 444)*

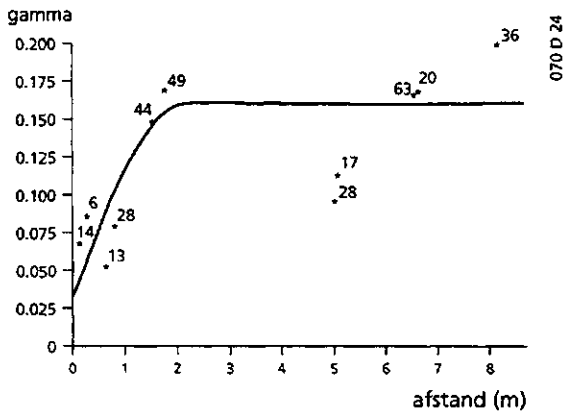



*Fig. 24 Semi-variogram van dag 402*

# 7 CONCLUSIES EN DISCUSSIE

## 7.1 Conclusies

De variabiliteit van nitraatuitspoeling onder beweid grasland is ten dele te simuleren. Met de simulaties wordt de spreiding die gevonden is bij de metingen niet helemaal gesimuleerd. Vooral de laagste gemeten waarden worden niet bereikt met de simulaties. Dit is waarschijnlijk een kwestie van initialisatie. De nitraatuitspoeling wordt voor een groot deel bepaald door de, helaas vaak onbekende, geschiedenis van het perceel.

De maximaal gemeten waarden worden wel bereikt met enkele scenario's. Het doorrekenen van verschillende scenario's lijkt een goede methode om de variabiliteit te verklaren.

Een deel van de variabiliteit wordt verklaard door beweiding. Geen beweiding levert lagere nitraatconcentraties op dan de 'normale beweiding'. 'Volledige beweiding', waarbij volledige bedekking met koeieflatten en/of urineplekken wordt verondersteld, levert juist hogere concentraties op.

De spreiding van de nitraatuitspoeling onder beweid grasland neemt toe in het uitspoelingsseizoen. Dit wordt goed gesimuleerd, want de verschillen tussen de scenario's nemen in het uitspoelingsseizoen ook toe.

Het maakt nogal uit wanneer de koeieflatten en urinelozingen vallen. Vallen ze vroeg in het seizoen dan kan een deel van de nitraat nog worden opgenomen door het gras. Wil men de nitraatuitspoeling omlaag brengen en toch nog beweiden, dan zal dat beweiden zo vroeg mogelijk in het jaar moeten gebeuren. Indien een bedrijf hooggelegen en laaggelegen percelen heeft, zal de eerste weideperiode op het hooggelegen gedeelte geplaatst moeten worden, omdat daar de beweiding de meeste invloed heeft.

Volgens de simulatie zijn de nitraatconcentraties op 1 m - mv. op een hoger gelegen deel veel groter. Er zou om die reden op perceel 17 eigenlijk nog een proefplek bij geplaatst moeten worden.

Uit de studie naar de ruimtelijke variabiliteit blijkt dat bij een afstand tussen een en vijf meter de maximale variabiliteit gevonden kan worden. Dit betekent dat als waarnemingen op minder dan een meter uit elkaar liggen de waarnemingen afhankelijk van elkaar zijn. Bij een betere opstelling voor de metingen van nitraatconcentraties liggen de cups tenminste een meter uit elkaar.

## 7.2 Discussie

### 7.2.1 SWACROP

De simulaties met SWACROP voor de waterhuishouding hebben goede resultaten opgeleverd. Het bleek dat de Staringreeks in dit geval voldoet. Het vermoeden bestaat dat de TDR-apparatuur nog niet voldoende geijkt is, gezien het verschil met de gravimetrisch gemeten vochtgehaltes. Het is dus mogelijk dat de vochtgehaltemetingen nog gecorrigeerd moeten worden.

De gewasgroei wordt twee keer gesimuleerd, omdat de grasmodule in SWACROP grote invloed heeft op de berekende waterbalans. De waterbalans is niet voldoende te simuleren met SWACROP zonder gewassimulatie. Bij andere gewassen is de invloed van de gewasmodule waarschijnlijk minder groot. In SWACROP wordt er bij de berekening van de gewasopbrengst uitgegaan van optimale nutriëntenvoorraad. De gewasopbrengst is slechts waterafhankelijk. Dit geeft misschien te hoge gewasopbrengsten. Aan de andere kant stopt de groei op bewolkte dagen. Het model veronderstelt dat een regenbui over de hele dag verdeeld wordt. Dit betekent dat er dan ook gedurende de hele dag te weinig straling is. Hierdoor zou er wel eens een te lage opbrengst berekend kunnen worden. In deze studie is niet gekeken naar de gewasopbrengst die door SWACROP is berekend.

### 7.2.2 ANIMO

ANIMO is een model dat veel ingewikkelde processen beschrijft en daarom zelf ook nogal omvangrijk is. Het model vraagt veel invoergegevens, maar het blijkt dat veel van deze gegevens standaard zijn. Dit is echter niet duidelijk aangegeven.

Het creëren van een goede initiële toestand heeft veel tijd gekost. Omdat de beginsituatie veel invloed heeft op de berekeningen is het belangrijk dat de beginsituatie redelijk in de buurt komt van de werkelijkheid. Dit is een groot nadeel van het model, temeer omdat vaak niet bekend is hoe de bodem er uit zag op de dag dat de simulaties beginnen. Het zou voor de gebruiker eenvoudiger zijn als de beginsituatie sneller uitgemiddeld wordt (net als in SWACROP). Dit is waarschijnlijk niet mogelijk vanwege de complexiteit van de processen die het model beschrijft. Het is wellicht mogelijk om een aantal standaardbeginsituaties te maken en die de gebruiker aanbieden, zodat deze uit kan zoeken welke situatie het best bij zijn bodem past.

De calibratie wordt alleen gedaan met de zuurstofdiffusiecoëfficiënt. Deze parameter heeft zeer veel invloed op de berekeningen. Waarden voor de diffusiecoëfficiënt die uit de literatuur te halen zijn komen vaak niet overeen met de gevonden waarde na de calibratie. Dit hoeft niet te betekenen dat dit een calibratiefout is; de waarden uit de literatuur zijn namelijk zeer divers.

### 7.2.3 Ruimtelijke variabiliteit

De stratificatie die is toegepast levert twee verschillende semi-variogrammen op, maar die zijn wel gebaseerd op (te) weinig waarnemingen. Was op voorhand al uitgegaan van stratificatie dan hadden binnen elke bodemeenheid honderd waarnemingen gedaan moeten worden.

Om een goede studie te doen naar de ruimtelijke variabiliteit van nitraatuitspoeling op zeer korte afstand zullen per perceel meer waarnemingen gedaan moeten worden. Nu zijn de waarnemingen van de cups als het ware allemaal op een hoop gegooid en zijn er eigenlijk nog te weinig waarnemingen voor het bepalen van een semi-variogram.

# LITERATUUR


BAKKER, J.W., F.R. BOONE EN P. BOEKEL, 1987. *Diffusie van gassen in grond en zuurstofdiffusie-coëfficiënten in Nederlandse akkerbouwgronden.* Wageningen, ICW. Rapport 20.

BELMANS, C., J.G. WESSELING AND R.A. FEDDES, 1983. 'Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE'. *Journal of Hydrology*, 63 (1983) 3/4: 271-286.

BOLAND, J., 1990. *Een verkenning van bodemeigenschappen en gewasproduktie op de lokatie voor het proefbedrijf melkveehouderij en milieu.* Wageningen, CABO.

BOLT, F.J.E. VAN DER, J. PANKOW, CWJ. ROEST EN A. VAN DEN TOORN, 1990. *De invloed van de stikstofhuishouding in de bodem op de grondwaterkwaliteit in waterwingebied 't Klooster.* Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 31.

CONSULENTSCHAP VOOR BODEM-, WATER- EN BEMESTINGSZAKEN IN DE VEEHOUDERIJ, 1987. *Bemesting van grasland.* Wageningen, Vlugschrift voor de landbouw nr. 406.

DEKKERS, J.M.J., 1992. *De bodemgesteldheid van het proefbedrijf 'melkveehouderij en milieu' te Hengelo (Gld.).* Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 66.

FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK AND H. ZARADNY, 1978. *Simulation of field water use and crop yield.* Wageningen, PUDOC, Simulation Monographs.

FEDDES, R.A., P. KABAT, P.J.T VAN BAKEL J.J.B. BRONSWIJK AND J. HALBERTSMA, 1988. 'Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone - state of the art'. *Journal of hydrology*, 100 (1988): 69-111.

HEUVELINK, G., 1989. *WLSFIT, Weighted Least Squares FITting of semivariograms, version 1.21.* Rijksuniversiteit Utrecht, Vakgroep fysische geografie.

KROES, J.G., C.W.J. ROEST, P.E. RIJTEMA EN L.J. LOCHT, 1990. *De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater in Nederland.* Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 55.

LANTINGA, E.A., 1988. 'De invloed van weidend vee op de stikstofhuishouding van grasland'. *Meststoffen* (1988) 3: 16-20.

MENKE, M.A., 1992. *Belasting van de Nederlandse bodem met meststoffen.* Delft, Waterloopkundig laboratorium.

PEERBOOM, J.M.P.M., 1990. *Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland.* Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 43.

PROEFSTATION VOOR DE RUNDVEEHOUDERIJ, SCHAPENHOUDERIJ EN PAARDENHOUDERIJ (PR), 1988. *Handboek voor de rundveehouderij.* Lelystad.

SPATZ, G., 1992. *Nitrate leaching under pastures.* Lathi, Finland. Proceedings 14th General meeting of the European Grassland Federation, 1992.

WÖSTEN, J.H.M., M.H. BANNINK EN J. BEUVING, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks.* Wageningen, STIBOKA, Rapport 1932.

## NIET GEPUBLICEERDE BRONNEN

BERGHUIS-VAN DIJK, J.T., P.E. RIJTEMA EN C.W.J. ROEST, 1985. *ANIMO, agricultural nitrogen model.* Wageningen, ICW. Nota 1671.

BRUS, D.J., 1992, DLO-Staring Centrum, Wageningen. Mondelinge mededeling.

KROES, J.G., 1992. *ANIMO, version 3.2, Users guide.* Wageningen, DLO-Staring Centrum, Interne mededeling 102.

KROES, J.G., in prep.. *ANIMO, version 3.3, Users guide.* Wageningen, DLO-Staring Centrum, Interne mededeling in prep.

STEIN, A., 1992. *Introduction to geostatistics.* Wageningen, Landbouwuniversiteit, Collegedictaat.

WESSELING, J.G., J.A. ELBERS, P. KABAT AND B.J. VAN DEN BROEK, 1991. *SWATRE, instructions for input.* Wageningen, DLO-Staring Centrum.

# AANHANGSEL 1 GEMETEN NITRAATCONCENTRATIES OP DE PROEFPLEKKEN 9, 11, 17 EN 19

Bemonsteringsmethode: ceramische cups op 1 m-mv
Toelichting codes: SMMD = Sampling Method (2 betekent 'cups')
UPDP = Upper Depth (van de bemonstering)
LODP = Lower Depth (idem)
YR = year, MH = month, DA = day
DANU = Daynumber
LL1 t/m RR5 = codering voor de 20 cups

Algemeen: dagnummers beginnen op 2-1-1992
Per veld zijn twee kuilen aanwezig waarin elk tien ceramische cups zijn geplaatst. Er zijn dus twintig waarnemingen per veld. De waarnemingen zijn genummerd volgens voorbeeld: LL1 betekent linker kuil, linker kant van de kuil, eerste cup en RL4 betekent rechter kuil, linker kant van de kuil, vierde cup.
Ontbrekende waarden worden aangegeven met -1.

Gemeten Nitraat-N-concentraties (mg/l) proefplek 9

| SMMD | UPDP | LODP |
|---|---|---|
| 2 | 0.95 | 1.05 |

| YR | MH | DA | DANU | LL1 | LL2 | LL3 | LL4 | LL5 | LR1 | LR2 | LR3 | LR4 | LR5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | RL1 | RL2 | RL3 | RL4 | RL5 | RR1 | RR2 | RR3 | RR4 | RR5 |
| 1992 | 1 | 2 | 367 | 11.9 | -1. | 2.3 | -1. | -1. | 2.3 | 22.5 | -1. | -1. | -1. |
| | | | | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. |
| 1992 | 2 | 6 | 402 | 28.0 | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | 68.0 | 14.5 | 33.2 |
| | | | | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | 33.2 |
| 1992 | 3 | 10 | 435 | 19.8 | -1. | 26.0 | 14.2 | -1. | -1. | 81.3 | -1. | -1. | -1. |
| | | | | -1. | -1. | -1. | -1. | 16.1 | -1. | -1. | -1. | -1. | 23.5 |
| 1992 | 3 | 19 | 444 | 16.9 | -1. | 36.3 | 12.1 | -1. | -1. | 76.0 | -1. | -1. | -1. |
| | | | | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. |

Gemeten Nitraat-N-concentraties (mg/l) proefplek 11

| YR | MH | DA | DANU | LL1 | LL2 | LL3 | LL4 | LL5 | LR1 | LR2 | LR3 | LR4 | LR5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | RL1 | RL2 | RL3 | RL4 | RL5 | RR1 | RR2 | RR3 | RR4 | RR5 |
| 1992 | 2 | 6 | 402 | -1. | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 72.3 | 42.2 | 7.8 | 54.9 | 11.8 | 3.1 |
| | | | | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 3.5 |
| 1992 | 3 | 10 | 435 | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. |
| | | | | -1. | -1. | -1. | 4.38 | -1. | 0.1 | -1. | -1. | -1. | -1. |
| 1992 | 3 | 19 | 444 | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | 13.3 | -1. |
| | | | | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. |

Gemeten Nitraat-N-concentraties (mg/l) proefplek 17

| YR | MH | DA | DANU | LL1 | LL2 | LL3 | LL4 | LL5 | LR1 | LR2 | LR3 | LR4 | LR5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | RL1 | RL2 | RL3 | RL4 | RL5 | RR1 | RR2 | RR3 | RR4 | RR5 |
| 1991 | 12 | 3 | 337 | -1. | -1. | -1. | 6.9 | 2.9 | -1. | -1. | 1.4 | -1. | -1. |
| | | | | 1.7 | -1. | 3.2 | 1.5 | 3.8 | -1. | -1. | -1. | -1. | -1. |
| 1992 | 1 | 2 | 367 | 2.4 | -1. | 0.1 | 2.3 | 0.9 | -1. | 0.9 | 1.1 | 0.8 | 2.5 |
| | | | | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.1 | -1. | 0.3 | -1. | 0.3 | -1. | 0.1 |
| 1992 | 2 | 6 | 402 | 5.6 | -1. | 1.3 | 5.8 | 2.0 | 1.2 | 1.5 | 2.7 | 1.3 | -1. |
| | | | | 0.5 | 0.7 | 1.9 | 4.7 | 3.7 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 1.0 |
| 1992 | 3 | 10 | 435 | 7.2 | -1. | 1.4 | 8.7 | 3.7 | 2.0 | 2.5 | 5.4 | 1.3 | -1. |
| | | | | 0.1 | 0.3 | 2.5 | 5.8 | 6.6 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| 1992 | 3 | 19 | 444 | 16.3 | 31.8 | 3.5 | 23.6 | 8.3 | 11.2 | 18.9 | 14.4 | 8.3 | 3.6 |
| | | | | 1.0 | 0.8 | 4.0 | 9.2 | 11.5 | 0.8 | 0.2 | 0.8 | 0.9 | 1.1 |
| 1992 | 5 | 26 | 512 | 7.2 | 10.4 | 5.5 | 11.7 | 2.5 | 21.4 | 23.4 | 12.6 | 5.1 | 0.5 |
| | | | | 0.5 | -1. | -1. | 4.3 | 9.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.8 |

Gemeten Nitraat-N-concentraties (mg/l) proefplek 19

| YR | MH | DA | DANU | LL1 | LL2 | LL3 | LL4 | LL5 | LR1 | LR2 | LR3 | LR4 | LR5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | RL1 | RL2 | RL3 | RL4 | RL5 | RR1 | RR2 | RR3 | RR4 | RR5 |
| 1991 | 11 | 12 | 316 | -1. | 10.7 | 6.0 | -1. | 1.5 | 19.9 | 11.2 | 6.0 | 3.4 | 7.5 |
| | | | | -1. | -1. | 7.8 | 2.9 | 7.8 | -1. | 3.2 | 4.0 | -1. | 1.6 |
| 1991 | 12 | 3 | 337 | -1. | 11.2 | 9.6 | 1.9 | 5.6 | -1. | 11.9 | 15.6 | 10.3 | 79.7 |
| | | | | -1. | 7.5 | 12.5 | -1. | 14.1 | 5.7 | 3.9 | 5.4 | -1. | 2.8 |
| 1992 | 1 | 2 | 367 | -1. | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 1.6 | 10.2 | 5.8 | 4.5 | 10.2 | -1. |
| | | | | 3.7 | 6.2 | 4.3 | 1.6 | 8.5 | 2.1 | 2.4 | 5.5 | -1. | 2.7 |
| 1992 | 2 | 6 | 402 | 5.4 | 3.4 | 4.6 | 1.6 | 1.4 | 7.4 | 3.9 | 5.1 | 4.7 | 16.8 |
| | | | | 8.2 | 11.4 | 27.1 | 5.1 | 29.6 | 2.8 | 3.5 | 4.0 | -1. | 3.9 |
| 1992 | 3 | 10 | 435 | 5.4 | 3.2 | 4.6 | 1.4 | 1.3 | 6.4 | 4.9 | 4.3 | 4.3 | 20.6 |
| | | | | 13.0 | 19.2 | 21.9 | 10.2 | 28.7 | 2.7 | 3.3 | 3.5 | -1. | 3.3 |
| 1992 | 3 | 19 | 444 | 5.6 | 5.9 | 7.5 | 18.7 | 1.8 | 8.9 | -1. | 4.8 | 4.6 | 20.7 |
| | | | | 39.9 | 28.4 | 30.6 | 11.5 | 19.1 | 3.6 | 4.2 | 3.7 | -1. | 5.7 |

## AANHANGSEL 2 INVOERFILE 'SWADAT.INP'

```
GENERAL ------------------------------------------------------------

>genhdr:
 ' De Marke 1991/92, veld 17, Gras. huidige situatie'

>output:
 2 1 0  'marke17.bal'
 'marke17.bal'

>exfile:
 1
 'ma17nu.ex'
 'marke17.out'
 1 1 0 1 0 0

>anafil:
 0

>timeva:
 1991  1992  1  121  0.2   5.0

>redeva:
 1
 0.35

>irriva:
 0

>solute:
 0

>methdr:
 'meteo 1991/92'

>topbnd:
 4  1

>metfil:
 1991  'marke91.cli'
 1992  'marke92.cli'

>crphdr:
 'gras De Marke 1991/92'

>sinkva:
 1   1   0

>rootac:
 0.      485.    486.
```

```
>excons:
 65.     500.

>crpfil:
 1991  'swadat.inp'
 1992  'swadat.inp'

>crppro:
 2
 'marke17.crp'

>profil:
 5   19   3 4 5 7
 10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0
 10.0  10.0  15.0  15.0  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0

>soilfl:
 'ma171.fie'
 'ma172acorr.fie'
 'ma172bcorr.fie'
 'ma172ccorr.fie'
 'ma173corr.fie'

>pondmx:
 0.0

>incond:
 2
 -142.

>bbdfil:
 'swadat.inp'

>drains:
 0

TOP BOUNDARY ----------

CROP PARAMETERS ----------

>sink91:
  -10.    -25.    -25.   -300.   -700.   -700.   -2000.

>root91:
 1
 1  20.0   365 30./

>chwi91:
 1
 0.370E-07  0.283  0.164E-07  0.590  0.130E-06  20.

>lasc91:
 2.6     1.5      0.9
```

```
>prin91:
 0

>crhe91:
 1
 1.  10.0   365.  10.0/

>grow91:
 0.  365.  0.

>grfu91:
 0.00    0.28    0.71   1.00    1.00    1.00
 0.00    0.96    0.96   0.10    0.10    0.10
 0.00    0.10    0.20   0.34    0.50    1.00
 0.00    0.00    0.34   0.81    1.00    1.00

>grco91:
 0.01  2   120   215   3000  1500
 3  141 172 199

>sink92:
  -10.    -25.    -25.   -300.   -700.   -700.   -2000.

>root92:
 1
 366 20.0  365 30./

>chwi92:
 1
 0.370E-07  0.283  0.164E-07  0.590  0.130E-06  20.

>lasc92:
 2.6     1.5      0.9

>prin92:
 0

>crhe92:
 1
 366.  10.0   485.  10.0/

>grow92:
 0.  365.  0.

>grfu92:
 0.00    0.28    0.71   1.00    1.00    1.00
 0.00    0.96    0.96   0.10    0.10    0.10
 0.00    0.10    0.20   0.34    0.50    1.00
 0.00    0.00    0.34   0.81    1.00    1.00

>grco92:
 0.01  2   120   215   3000  1500
 0
```

SOIL CHARACTERISTICS ----------

BOTTOM BOUNDARY ----------

>bothdr:
'grondwaterstand (cm) is input'

>swbotb:
0

>dagw91:
2
1 142. 144 132. 171 146. 185 136. 190 140. 203 153. 213 161. 219 172./
226 173. 240 186. 262 207. 276 202. 283 201. 301 196. 333 165. 337 162./

>dagw92:
1
37 116. 45 110. 79 82. 91 72. 113 82./

DRAINAGE DATA ----------

# AANHANGSEL 3 JAARBALANSEN VAN STIKSTOF VOOR DE SCENARIO'S

Perceel 17, huidige situatie (Hn43)

```
**************************************************************************
*******    ANIMO: results of simulation 29-JUN-92, 15:34 hr          *******
*******           balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)    *******
*******           balance period    0-1991/ 365-1991                 *******
**************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 97.9 |
| | | Evaporation | 38.1 |
| | | Transpiration | 390.3 |
| Upward flux | 88.0 | Downward flux | 213.2 |
| Total | 745.6 | Total | 739.5 |
| Storage (+ = increase) | | | 6.0 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 83.5 |
| Potential transpiration | | | 461.2 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 4.1 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 51.3 | 132.8 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 54.5 | 0.0 | 0.5 | Crop uptake | | 10.2 | 253.8 |
| Exudates | 9.9 | | | | | | |
| Mineralization | | 147.2 | | Mineralization | 147.2 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 298.4 | Nitrification | | 298.4 | |
| | | | | Denitrification | | | 105.6 |
| Upward flux | 0.0 | 0.2 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.4 | 2.0 |
| Total | 115.8 | 300.6 | 368.5 | Total | 147.4 | 313.0 | 361.4 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.1 | -1.0 | 25.3 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | -22.0 | -11.5 | |
| Balance deviation | | | | | -9.6 | 0.0 | -0.2 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N: 0.07 g.m-3
NH4-N : 0.15 g.m-3
NO3-N : 1.57 g.m-3

Geen beweiding (Hn43)

```
*******************************************************************************
*******     ANIMO: results of simulation 30-JUN-92, 09:07 hr          *******
*******            balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)    *******
*******            balance period    0-1991/ 365-1991                *******
*******************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 97.9 |
| | | Evaporation | 38.1 |
| | | Transpiration | 390.3 |
| Upward flux | 88.0 | Downward flux | 213.2 |
| Total | 745.6 | Total | 739.5 |
| Storage (+ = increase) | | | 6.0 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 83.5 |
| Potential transpiration | | | 461.2 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 2.2 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 38.7 | 118.5 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 54.5 | 0.0 | 0.6 | Crop uptake | | 9.9 | 244.1 |
| Exudates | 11.4 | | | | | | |
| Mineralization | | 137.1 | | Mineralization | 137.1 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 276.6 | Nitrification | | 276.6 | |
| | | | | Denitrification | | | 99.5 |
| Upward flux | 0.0 | 0.2 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.4 | 2.0 |
| Total | 104.8 | 276.2 | 364.8 | Total | 137.3 | 289.1 | 345.6 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.3 | -1.0 | 19.5 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | -22.9 | -11.9 | |
| Balance deviation | | | | | -9.9 | 0.0 | -0.2 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N:  0.07 g.m-3
NH4-N  :  0.15 g.m-3
NO3-N  :  1.57 g.m-3

'Volledige beweiding' (Hn43)

```
**************************************************************************
*******     ANIMO: results of simulation 30-JUN-92, 09:16 hr         *******
*******            balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)   *******
*******            balance period    0-1991/ 365-1991                *******
**************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 97.9 |
| | | Evaporation | 38.1 |
| | | Transpiration | 390.3 |
| Upward flux | 88.0 | Downward flux | 213.2 |
| Total | 745.6 | Total | 739.5 |
| Storage (+ = increase) | | | 6.0 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 83.5 |
| Potential transpiration | | | 461.2 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 6.8 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 70.2 | 154.2 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 56.2 | 0.0 | 0.5 | Crop uptake | | 10.6 | 264.3 |
| Exudates | 10.5 | | | | | | |
| Mineralization | | 153.0 | | Mineralization | 153.0 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 322.0 | Nitrification | | 322.0 | |
| | | | | Denitrification | | | 111.4 |
| Upward flux | 0.0 | 0.2 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.4 | 2.0 |
| Total | 137.0 | 327.8 | 410.1 | Total | 153.1 | 339.8 | 377.7 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.2 | -1.0 | 32.6 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | -5.4 | -11.1 | |
| Balance deviation | | | | | -10.9 | 0.0 | -0.2 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N:  0.07 g.m-3
NH4-N  :  0.15 g.m-3
NO3-N  :  1.57 g.m-3

1 keer mest op dag 235 (Hn43)

```
**************************************************************************
*******    ANIMO: results of simulation 30-JUN-92, 09:22 hr         *******
*******           balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)   *******
*******           balance period    0-1991/ 365-1991                *******
**************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 97.9 |
| | | Evaporation | 38.1 |
| | | Transpiration | 390.3 |
| Upward flux | 88.0 | Downward flux | 213.2 |
| Total | 745.6 | Total | 739.5 |
| Storage (+ = increase) | | | 6.0 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 83.5 |
| Potential transpiration | | | 461.2 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 7.9 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 77.5 | 162.5 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 56.9 | 0.0 | 0.5 | Crop uptake | | 10.7 | 268.6 |
| Exudates | 10.7 | | | | | | |
| Mineralization | | 156.2 | | Mineralization | 156.2 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 332.3 | Nitrification | | 332.3 | |
| | | | | Denitrification | | | 118.1 |
| Upward flux | 0.0 | 0.2 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.4 | 2.0 |
| Total | 145.2 | 339.3 | 420.4 | Total | 156.4 | 351.3 | 388.7 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.2 | -1.0 | 31.9 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | -1.5 | -11.1 | |
| Balance deviation | | | | | -9.9 | 0.0 | -0.2 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N:  0.07 g.m-3
NH4-N  :  0.15 g.m-3
NO3-N  :  1.57 g.m-3

1 keer mest op dag 274 (Hn43)

```
**************************************************************************
*******     ANIMO: results of simulation 30-JUN-92, 09:25 hr         *******
*******            balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)   *******
*******            balance period    0-1991/ 365-1991                *******
**************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 97.9 |
| | | Evaporation | 38.1 |
| | | Transpiration | 390.3 |
| Upward flux | 88.0 | Downward flux | 213.2 |
| Total | 745.6 | Total | 739.5 |
| Storage (+ = increase) | | | 6.0 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 83.5 |
| Potential transpiration | | | 461.2 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 7.9 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 77.5 | 162.5 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 55.7 | 0.0 | 0.5 | Crop uptake | | 10.7 | 264.5 |
| Exudates | 10.5 | | | | | | |
| Mineralization | | 153.0 | | Mineralization | 153.0 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 327.4 | Nitrification | | 327.4 | |
| | | | | Denitrification | | | 102.9 |
| Upward flux | 0.0 | 0.2 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.4 | 2.0 |
| Total | 143.7 | 336.1 | 415.5 | Total | 153.1 | 346.5 | 369.4 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.3 | -0.9 | 46.3 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | 0.8 | -9.5 | |
| Balance deviation | | | | | -10.5 | 0.0 | -0.2 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N:  0.07 g.m-3
NH4-N  :  0.15 g.m-3
NO3-N  :  1.57 g.m-3

Huidige situatie (Hn51)

```
*******************************************************************************
*******     ANIMO: results of simulation 29-JUN-92, 17:41 hr          *******
*******            balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)    *******
*******            balance period    0-1991/ 365-1991                *******
*******************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 95.8 |
| | | Evaporation | 42.0 |
| | | Transpiration | 314.0 |
| Upward flux | 0.7 | Downward flux | 134.9 |
| Total | 658.3 | Total | 586.6 |
| Storage (+ = increase) | | | 71.7 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 92.1 |
| Potential transpiration | | | 445.4 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 4.1 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 51.3 | 132.8 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 39.1 | 0.0 | 0.4 | Crop uptake | | 9.2 | 266.7 |
| Exudates | 34.9 | | | | | | |
| Mineralization | | 271.8 | | Mineralization | 271.8 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 442.7 | Nitrification | | 442.7 | |
| | | | | Denitrification | | | 221.1 |
| Upward flux | 0.0 | 0.0 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.0 | 4.5 |
| Total | 125.3 | 424.9 | 530.8 | Total | 271.9 | 456.0 | 492.3 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.2 | -0.5 | 39.3 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | -100.3 | -30.6 | |
| Balance deviation | | | | | -46.5 | 0.0 | -0.9 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N:  0.11 g.m-3
NH4-N  :  0.03 g.m-3
NO3-N  :  3.33 g.m-3

Geen beweiding (Hn51)

```
**************************************************************************
*******    ANIMO: results of simulation 30-JUN-92, 08:34 hr         *******
*******           balance profile  0.00- 1.20 m-ss (layers  0-12)   *******
*******           balance period    0-1991/ 365-1991               *******
**************************************************************************
```

Water balance (balance terms in mm)

| INPUT: | | OUTPUT: | |
|---|---|---|---|
| Precipitation | 657.6 | Runoff | 0.0 |
| | | Interception | 95.8 |
| | | Evaporation | 42.0 |
| | | Transpiration | 314.0 |
| Upward flux | 0.7 | Downward flux | 134.9 |
| Total | 658.3 | Total | 586.6 |
| Storage (+ = increase) | | | 71.7 |
| Balance deviation | | | 0.0 |
| Potential evaporation | | | 92.1 |
| Potential transpiration | | | 445.4 |

Nitrogen balance (balance terms in kg.ha-1 N)

| INPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N | OUTPUT: | ORG-N | NH4-N | NO3-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deposition | | | | Runoff | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| - wet | 0.0 | 8.3 | 5.1 | Volatilization | | 2.2 | |
| - dry | | 12.0 | 8.0 | | | | |
| Additions | 38.7 | 118.5 | 74.5 | | | | |
| Crop residues | 39.5 | 0.0 | 0.5 | Crop uptake | | 9.0 | 262.9 |
| Exudates | 38.4 | | | | | | |
| Mineralization | | 265.0 | | Mineralization | 265.0 | | |
| Immobilization | 0.0 | | | Immobilization | | 0.0 | |
| Nitrification | | | 425.2 | Nitrification | | 425.2 | |
| | | | | Denitrification | | | 213.1 |
| Upward flux | 0.0 | 0.0 | 0.0 | Downward flux | 0.1 | 0.0 | 4.4 |
| Total | 116.6 | 403.9 | 513.4 | Total | 265.2 | 436.5 | 480.4 |
| Storage in solution (+ = increase) | | | | | 0.3 | -0.6 | 33.9 |
| Storage as solid or at complex (+ = increase) | | | | | -102.0 | -32.0 | |
| Balance deviation | | | | | -46.8 | 0.0 | -0.9 |

Average concentration in the water flux through the bottom of the profile:
Organic N:  0.11 g.m-3
NH4-N  :  0.03 g.m-3
NO3-N  :  3.24 g.m-3

## AANHANGSEL 4 ANALYSERESULTATEN VAN DE GRONDWATERMONSTERS

| Boorpunt | x | y | [NO3-N] (mg/l) |
|---|---|---|---|
| A1 | 220362.479 | 450259.004 | 12.57 |
| A2 | 220350.064 | 450280.977 | 13.82 |
| A3 | 220337.624 | 450303.530 | 103.62 |
| B1 | 220375.059 | 450281.003 | 11.57 |
| B2 | 220362.562 | 450302.991 | 16.83 |
| B2.1-A2 | 220362.062 | 450302.111 | 17.9 |
| B2.5-A2 | 220360.062 | 450298.589 | 17.36 |
| B2.1-A3 | 220361.564 | 450303.012 | 65.34 |
| B2.5-A3 | 220357.574 | 450303.099 | 11.26 |
| B3 | 220324.998 | 450368.017 | 36.67 |
| B4 | 220314.996 | 450389.508 | 16.26 |
| B5 | 220302.510 | 450410.975 | 2.55 |
| C1 | 220400.054 | 450281.030 | 35.92 |
| C2 | 220387.557 | 450303.018 | 7.86 |
| C2.1-B1 | 220387.057 | 450302.137 | 12.23 |
| C2.5-B1 | 220385.057 | 450298.615 | 11.51 |
| C2.1-C1 | 220388.007 | 450302.138 | 24.8 |
| C2.5-C1 | 220390.007 | 450298.620 | 49.26 |
| C3 | 220375.060 | 450325.006 | 29.26 |
| C4 | 220362.526 | 450346.511 | 6.56 |
| C5 | 220349.993 | 450368.017 | 11.87 |
| C6 | 220337.506 | 450389.484 | 10.65 |
| C6.1-C7 | 220337.006 | 450390.343 | 11.9 |
| C6.5-C7 | 220335.006 | 450393.777 | 2.72 |
| C6.1-D6 | 220338.006 | 450390.342 | 4.01 |
| C6.5-D6 | 220340.006 | 450393.775 | 4.93 |
| C7 | 220325.020 | 450410.951 | 3.02 |
| D1 | 220412.531 | 450303.043 | 18.62 |
| D2 | 220400.034 | 450325.031 | 13.41 |
| D3 | 220387.522 | 450346.456 | 12.76 |
| D4 | 220374.988 | 450367.962 | 17.24 |
| D4.1-C4 | 220374.488 | 450367.104 | 16.86 |
| D4.5-C4 | 220372.488 | 450363.672 | 11.31 |
| D4.1-D3 | 220375.488 | 450367.102 | 6.84 |
| D4.5-D3 | 220377.488 | 450363.661 | 36.49 |
| D5 | 220362.500 | 450389.472 | 5.0 |
| D6 | 220350.013 | 450410.939 | 2.5 |
| D7 | 220339.995 | 450432.436 | 8.76 |
| E1 | 220437.611 | 450303.056 | 12.89 |
| E2 | 220425.008 | 450325.057 | 13.58 |
| E3 | 220412.496 | 450346.482 | 15.53 |
| E4 | 220399.984 | 450367.907 | 61.13 |
| E5 | 220387.495 | 450389.417 | 12.5 |
| E6 | 220375.007 | 450410.927 | 17.92 |
| E7 | 220362.505 | 450432.411 | 4.59 |
| F1 | 220450.088 | 450325.069 | 11.66 |
| F2 | 220437.504 | 450346.532 | 7.24 |
| F2.1-E2 | 220437.004 | 450345.673 | 11.61 |
| F2.5-E2 | 220435.004 | 450342.237 | 10.16 |
| F2.1-E3 | 220436.504 | 450346.530 | 11.2 |

| Boorpunt | x | y | [NO3-N] (mg/l) |
|---|---|---|---|
| F2.5-E3 | 220432.502 | 450346.522 | 21.61 |
| F3 | 220424.992 | 450367.957 | 8.22 |
| F3.1-E4 | 220423.992 | 450367.955 | 15.6 |
| F3.5-E4 | 220419.993 | 450367.947 | 7.0 |
| F3.1-F4 | 220424.492 | 450368.815 | 6.07 |
| F3.5-F4 | 220422.492 | 450372.246 | 4.54 |
| F4 | 220412.479 | 450389.405 | 9.11 |
| F5 | 220399.991 | 450410.915 | 2.74 |
| F5.1-E6 | 220398.991 | 450410.915 | 2.36 |
| F5.5-E6 | 220394.994 | 450410.917 | 2.56 |
| F5.1-F6 | 220399.491 | 450411.774 | 5.04 |
| F5.5-F6 | 220397.492 | 450415.212 | 0.01 |
| F6 | 220387.498 | 450432.399 | 5.2 |
| G1 | 220475.168 | 450325.082 | 13.14 |
| G2 | 220462.584 | 450346.544 | 14.4 |
| G3 | 220450.001 | 450368.007 | 16.29 |
| G4 | 220437.488 | 450389.455 | 9.41 |
| G5 | 220424.975 | 450410.904 | 69.43 |
| G6 | 220412.482 | 450432.388 | 56.73 |
| G7 | 220399.990 | 450453.872 | 3.92 |
| H1 | 220487.600 | 450346.545 | 36.67 |
| H2 | 220475.016 | 450368.008 | 27.79 |
| H2.1-H1 | 220475.519 | 450367.149 | 13.83 |
| H2.5-H1 | 220477.533 | 450363.715 | 7.82 |
| H2.1-J2 | 220476.016 | 450368.008 | 13.49 |
| H2.5-J2 | 220480.019 | 450368.008 | 18.0 |
| H3 | 220462.504 | 450389.511 | 11.92 |
| H4 | 220449.991 | 450410.959 | 13.7 |
| H5 | 220437.479 | 450432.315 | 3.57 |
| H6 | 220424.987 | 450453.915 | 14.41 |
| H6.1-G6 | 220424.486 | 450453.054 | 12.96 |
| H6.5-G6 | 220422.485 | 450449.609 | 8.78 |
| H6.1-G7 | 220423.986 | 450453.913 | 4.39 |
| H6.5-G7 | 220419.987 | 450453.907 | 10.31 |
| J1 | 220512.725 | 450347.108 | 109.74 |
| J2 | 220500.032 | 450368.009 | 16.59 |
| J3 | 220487.519 | 450389.512 | 10.99 |
| J4 | 220475.007 | 450411.015 | 23.5 |
| J4.1-K1 | 220476.007 | 450411.019 | 12.98 |
| J4.5-K1 | 220480.010 | 450411.037 | 14.56 |
| J4.1-K2 | 220475.507 | 450411.875 | 38.18 |
| J4.5-K2 | 220477.507 | 450415.316 | 21.69 |
| J5 | 220462.495 | 450432.487 | 3.1 |
| J6 | 220449.983 | 450453.959 | 3.25 |
| K1 | 220500.023 | 450411.126 | 19.92 |
| K2 | 220487.510 | 450432.519 | 4.26 |
| K3 | 220474.980 | 450454.003 | 9.04 |
| K4 | 220462.487 | 450475.603 | 23.44 |
| O1 | 220325.069 | 450280.951 | 10.17 |