

# **Modelstudie naar het effect van onbemeste stroken op de stikstofuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater**

**F.B.T. Assinck  
P. de Willigen  
C.L. van Beek**

**Alterra-rapport 510**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002**

## REFERAAT

Assink, F.B.T., P. de Willigen & C.L. van Beek, 2002. *Modelstudie naar het effect van onbemeste stroken op de stikstofuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater* Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 510. 46 blz.; 7 fig.; 18 tab.; 25 ref.

Door middel van modelberekeningen is het effect van onbemeste bufferstroken op de uitspoeling van anorganisch stikstof naar grond- en oppervlaktewater onderzocht voor onbeweide graslandpercelen. Hiervoor is het 2-dimensionale waterbewegings- en stoftransportmodel FUSSIM2 gekoppeld aan het model CNGRAS, dat de droge stofproductie van gras en de organische stofdynamiek in de bodem berekent. De resultaten bevestigden de resultaten van eerder verkennend onderzoek dat onbemeste stroken een behoorlijke reductie van de stikstofuitspoeling kunnen opleveren. De reductie is afhankelijk van de breedte van de onbemeste strook. Bij evaluatie van effecten van bufferstroken moet men ook de mogelijke opbrengstderving betrekken.

Trefwoorden: beeeerd, bufferstroken, droge stofproductie, grasland, grondwater, oppervlaktewater, organische stof, podzol, simulatiemodellen, stikstofuitspoeling

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €14,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 510. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [postkamer@alterra.wag-ur.nl](mailto:postkamer@alterra.wag-ur.nl)

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

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

# Inhoud

|  |    |
|--|----|
| Woord vooraf                                   | 7  |
| Samenvatting                                   | 9  |
| 1 Inleiding                                    | 11 |
| 2 Materiaal en methoden                        | 13 |
| 2.1 De simulatiemodellen FUSSIM2 en CNGRAS     | 13 |
| 2.1.1 FUSSIM2                                  | 13 |
| 2.1.2 CNGRAS                                   | 14 |
| 2.1.3 Koppeling van FUSSIM2 met CNGRAS         | 14 |
| 2.2 Het bodem-gewassysteem                     | 15 |
| 2.2.1 Representatieve percelen                 | 15 |
| 2.2.2 Schematisatie van het bodem-gewassysteem | 17 |
| 2.3 Modelinvoer                                | 19 |
| 2.3.1 Weer                                     | 19 |
| 2.3.2 Bodemfysische eigenschappen              | 20 |
| 2.3.3 Randfluxen en grondwaterstand            | 20 |
| 2.3.4 Minerale en organische stikstof          | 21 |
| 2.3.4.1 Begintoestand                          | 21 |
| 2.3.4.2 Bemesting                              | 21 |
| 2.3.4.3 Natte en droge depositie               | 22 |
| 2.3.5 Gras en graslandbeheer                   | 22 |
| 2.4 Scenario's                                 | 22 |
| 3 Resultaten en discussie                      | 25 |
| 3.1 Referentieberekening                       | 25 |
| 3.2 Breedte van de onbemeste strook            | 29 |
| 3.3 Nat versus een normaal weerjaar            | 34 |
| 3.4 Beekeerd                                   | 36 |
| 4 Conclusies                                   | 41 |



## **Woord vooraf**

Dit onderzoek is uitgevoerd onder het DLO-onderzoeksprogramma 317 *Dynamiek en beheer van nutriënten* (Alterra-projectnummer 10198), dat is gefinancierd door de Directie Wetenschap en Kennisoverdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Onze dank gaat uit naar Sjaak Conijn (Plant Research International) voor het beschikbaar stellen van het model CNGRAS en voor zijn kritische commentaar.



## Samenvatting

Een bufferstrook is de zone langs een watergang, welke zich onderscheidt van het aanliggende perceel in het gevoerde beheer. In dit rapport zijn door middel van modelberekeningen de effecten onderzocht van een speciaal type bufferstrook, te weten een strook waar geen bemesting wordt gegeven, maar waar het overige beheer identiek is aan die van de rest van het perceel. De bemestingsintensiteit is hierbij constant verondersteld, zodat het hele perceel bij aanwezigheid van een bufferstrook minder mest krijgt toegediend dan in het geval waarbij geen bufferstrook aanwezig is.

De berekeningen hadden betrekking op gemaaid grasland, twee bodemprofielen (Podzol en Beekeerd), en een nat en normaal weerjaar. Ze zijn uitgevoerd met de gekoppelde simulatiemodellen FUSSIM2, dat bodemprocessen als water en stoftransport in een twee-dimensionaal profiel berekent en CNGRAS, dat droge stofproductie en -verdeling, de stikstofverdeling in het gras en de dynamiek in bodemorganische stikstof berekent.

De resultaten bevestigden resultaten van eerder verkennend onderzoek (Van Beek & Heinen, 2000). Onbemeste stroken kunnen een behoorlijke reductie van stikstofuitspoeling opleveren. Met name de breedte van de bufferstrook speelt daarbij een belangrijke rol. De berekende reductie bij een bepaalde breedte van de bufferstrook was groter dan op basis van de afname in de totale bemesting verwacht mag worden. Met de gekozen omstandigheden en parameterwaarden leidde een bufferstrook van 1, 5 en 10 m (op een podzol-perceel van 50 m) tot een reductie van de totale stikstofuitspoeling met respectievelijk 8, 32 en 54% in een normaal jaar. De reductie in de bemesting bedroeg respectievelijk 2, 10 en 20%.

In een nat weerjaar is de onbemeste strook op een podzol-perceel minder effectief. Een onbemeste strook van 10 m breed reduceert de totale stikstofuitspoeling in zo'n geval met ruim 40%.

Bij een beekeerd-profiel en een onbemeste strook van 5 m breed, neemt de nitraatuitspoeling met 60% af. In deze situatie is dan wel 25% van het perceel onbemest.

Het niet bemesten van bufferstroken zal leiden tot opbrengstderving, die moet worden meegewogen bij de evaluatie van de effecten van bufferstroken.





# 1 Inleiding

Een bufferstrook is de zone langs een watergang, welke zich onderscheidt van het aanliggende perceel in het gevoerde beheer. Afwijkend beheer kan gericht zijn op aanplant en/of onderhoud van een andere vegetatie, een andere hydrologie, of een ander bemestingsbeheer eventueel gecombineerd met een ander maaibeheer. Doel van de inrichting en het onderhoud van bufferstroken is terugdringen van de verontreiniging van oppervlaktewater met nutriënten met name stikstof en fosfor.

In dit rapport wordt aandacht besteed aan de effecten van het weglaten van bemesting op een bufferstrook op grasland. Uitgangspunt hierbij is dat de bemestingsintensiteit (hoeveelheid mest per oppervlakte-eenheid) voor het bemeste deel van het perceel gelijk blijft en dat slechts de grootte van het bemeste oppervlakte varieert. Dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van modelberekeningen.

In het verleden zijn al eerder rapporten verschenen die verslag doen van literatuuronderzoek (Anoniem, 1998; Orleans *et al.*, 1994) en van experimenteel en modelonderzoek (Hendriks *et al.*, 1996; Kruijne, 1996, Van Beek & Heinen, 2000) naar bufferstroken. Hier volgt een korte, onvolledige impressie van deze onderzoeken.

Orleans *et al.* (1994) hebben gegevens uit voornamelijk Amerikaanse en Engelse literatuur met elkaar vergeleken en de relevantie hiervan voor de Nederlandse situatie nagegaan. Die bleek beperkt vanwege de afwijkende bemesting en afwijkende klimatologische omstandigheden. Uit het onderzoek in opdracht van STOWA (Anoniem, 1998) kwam naar voren dat een van de kansrijke type bufferstroken de droge strook is met een vegetatie die veel nutriënten kan opnemen.

Het onderzoek van Hendriks *et al.* (1996) en Kruijne (1996) richtte zich op het maken van een schatting van de effecten van bufferstroken op de belasting van de Mosbeek (Noordoost Twente) met stikstof en fosfor vanuit aangrenzende mais- en graslandpercelen. Met modellen zijn een aantal scenario's doorgerekend. De gebruikte modellen waren een één-dimensionaal waterstromingsmodel SWAP (Van Dam *et al.*, 1997) waarvan de resultaten gebruikt werden als hydrologische invoer voor het nutriëntenuitspoelingsmodel ANIMO (Groenendijk & Kroes, 1999). Door bewerking van de resultaten kon een quasi-tweedimensionale beschrijving van de af- en uitspoeling naar de beek toe worden verkregen. De onderzochte percelen bevonden zich echter allen op een helling en zijn zodoende niet direct vergelijkbaar met de percelen in voorliggend onderzoek.

Van Beek en Heinen (2000) gebruikten het twee-dimensionale water- en nutriënten model FUSSIM2 (Heinen en De Willigen, 1998), gekoppeld aan het grasgroeimodel CNGRAS (Conijn, 2002, *in prep.*) Door het gebruik van FUSSIM2 is de beperking om via een kunstgreep één-dimensionale stroming om te zetten in twee-dimensionale stroming, zoals in het in de vorige alinea genoemde onderzoek, opgeheven. De

gebezigde hydrologische randvoorwaarde echter was slechts representatief voor ongeveer 1% van de Nederlandse bodems. Bovendien kon met slechts één kopie van CNGRAS gerekend worden (zie ook paragraaf 2.1.3). Dit betekent dat verschillen in beheer alleen via ondergrondse processen in FUSSIM2 tot uiting komen. Daarom werd besloten een nieuwe reeks modelberekeningen te doen met randvoorwaarden die gelden voor een doorsnee van de bodems in Nederland. Dit rapport doet hier verslag van.

De modelresultaten uit dit onderzoek zijn niet gevalideerd (of gecalibreerd) op basis van veldmetingen. Met name op het gebied van mineralisatie, nitrificatie en het graslandbeheer zijn afwijkingen ten opzichte van de omstandigheden in de praktijk mogelijk.

## **2 Materiaal en methoden**

Om het effect van onbemeste stroken op de water- en stikstofhuishouding te bepalen, zijn simulatieberekeningen uitgevoerd met behulp van de gekoppelde modellen FUSSIM2 (Heinen & De Willigen, 1998, 2001) en CNGRAS (Conijn, 2002, *in prep.*). Dit hoofdstuk beschrijft de hoofdzaken van de modellen FUSSIM2 en CNGRAS, het gemodelleerde bodem-gewassysteem en de uitgevoerde simulatieberekeningen.

### **2.1 De simulatiemodellen FUSSIM2 en CNGRAS**

#### **2.1.1 FUSSIM2**

FUSSIM2 is een 2-dimensionaal simulatiemodel, waarmee waterbeweging, stoftransport en de opname van water en nutriënten door wortels in poreuze media berekend kunnen worden. De belangrijkste processen worden hier kort beschreven. Voor meer informatie wordt verwezen naar Heinen (1997) en Heinen & De Willigen (1998, 2001).

In FUSSIM2 wordt de algemene stromingsvergelijking voor water in poreuze media (Richards, 1931) numeriek opgelost voor een gegeven begintoestand en gegeven randvoorwaarden. De beweging van water in poreuze media is sterk afhankelijk van de fysische eigenschappen van het medium. Deze fysische eigenschappen worden in FUSSIM2 beschreven met behulp van de waterretentievergelijking (Van Genuchten, 1980) en de doorlatendheidsvergelijking (Mualem, 1976). Er wordt rekening gehouden met hysteresis.

Het transport van opgeloste stoffen in poreuze media wordt beschreven met behulp van de convectie-dispersie/diffusie vergelijking. In FUSSIM2 kan rekening gehouden worden met adsorptie van stoffen aan het poreuze medium. Bovendien is aan FUSSIM2 de subroutine NITDEN toegevoegd. Deze routine beschrijft twee belangrijke processen van de stikstofbalans, namelijk nitrificatie en denitrificatie. De rekenregels in deze routine zijn gebaseerd op Bril *et al.* (1994).

De vergelijkingen voor waterbeweging en stoftransport houden rekening met de opname van water en nutriënten door het wortelsysteem. Gebaseerd op de analyse van de opname door één wortel hebben De Willigen & Van Noordwijk (1987, 1994a,b) analytische oplossingen verkregen voor water- en nutriëntenopname, welke via opschaling toepasbaar zijn voor een compleet wortelstelsel. FUSSIM2 is in staat om de water- en nutriëntenopname voor meerdere planten afzonderlijk te beschouwen.

## 2.1.2 CNGRAS

CNGRAS is een dynamisch simulatiemodel, waarmee op perceelsniveau grasproductie, koolstof- en stikstofstromen en waterverbruik als functie van beheer, klimaat en de eigenschappen van plant en bodem berekend kunnen worden. Voor detail-informatie wordt verwezen naar Conijn (2002, *in prep.*).

CNGRAS bevat grofweg drie secties, die van belang zijn voor dit onderzoek. In de sectie grasgroei worden de totale grasproductie en de stikstofbehoefte als functie van de geabsorbeerde straling, temperatuur en de vocht- en nutriëntentoestand in de bodem en de plant berekend. De droge stofproductie en de gerealiseerde stikstofopname worden daarbij afhankelijk van de groeiomstandigheden en het groeistadium verdeeld over wortels, stelen en bladeren.

Daarnaast is er een modelsectie in CNGRAS, waarmee de organische stofdynamiek (C en N) in de bodem beschreven wordt als functie van bodemvocht en temperatuur. In CNGRAS worden drie organische stofpools onderscheiden. Elke pool heeft een eigen set van afbraakkarakteristieken. De hoeveelheid organische stof kan aangevuld worden door bemesting en het afsterven van plantendelen. De bij afbraak van een organische stofpool vrijkomende stikstof is onder andere beschikbaar voor opname door wortels en transport door de bodem. Voor de overige processen, die door deze sectie van CNGRAS beschouwd worden, zie Conijn (2002, *in prep.*) en Van Beek & Heinen (2000).

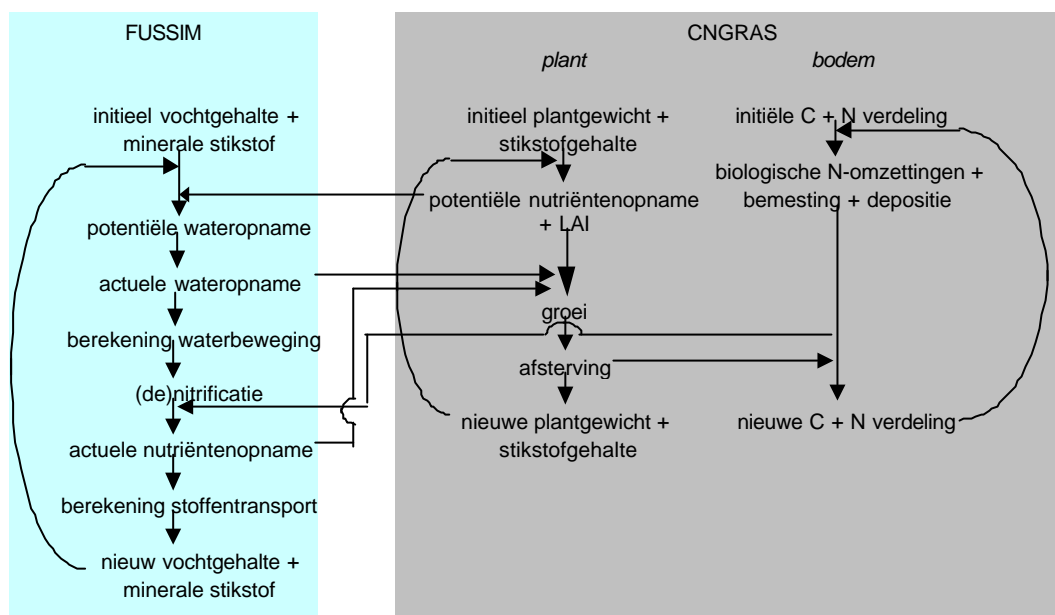
Tot slot wordt nog de managementsectie van CNGRAS genoemd. Met behulp van deze sectie kan het beheer van de graslandpercelen opgegeven worden, die van belang is voor grasgroei en organische stofdynamiek. Deze sectie regelt allerlei zaken op het gebied van oogsten (maaien en beweiden) en bemesten.

## 2.1.3 Koppeling van FUSSIM2 met CNGRAS

Om de wisselwerking tussen het gras en de omstandigheden in de bodem goed te kunnen simuleren, is een koppeling tot stand gebracht tussen FUSSIM2 en CNGRAS. Hiermee kan dus de gehele water- en nutriëntenhuishouding in het bodem-gewassysteem beschreven worden. Terugkoppelingen van bodemprocessen naar gewasprocessen en vice versa zijn daarmee mogelijk gemaakt.

In grote lijnen worden tussen FUSSIM2 en CNGRAS de volgende variabelen uitgewisseld. CNGRAS levert FUSSIM2 de informatie over de toestand van het gras, namelijk de bladindex ( $LAI$ ,  $m^2$  blad/ $m^2$  grond), de wortelbiomassa en de worteldiepte. FUSSIM2 gebruikt de  $LAI$  om de potentiële transpiratie te berekenen. Met de wortelbiomassa en de worteldiepte wordt een actuele wortellengtedichtheidsverdeling berekend, welke van belang is voor de opnameberekeningen. Op basis van de vochttoestand in de bodem en de potentiële transpiratie berekent FUSSIM2 de hoeveelheid water, die opgenomen wordt door het wortelsysteem. Deze actuele transpiratie wordt samen met de potentiële transpiratie weer teruggegeven aan CNGRAS.

CNGRAS levert FUSSIM2 ook informatie over de stikstofbehoefte van het gras en de hoeveelheid minerale stikstof, die vrijgekomen c.q. vastgelegd is bij de organische stofomzettingen in de bodem. Tevens wordt de stikstofinput door bemesting en atmosferische depositie via CNGRAS aan FUSSIM2 doorgegeven. Hiermee berekent FUSSIM2 een nieuwe verdeling van de minerale stikstof in de bodem en de actuele stikstofopname, welke doorgegeven wordt aan CNGRAS. Schematisch kan de koppeling tussen beide modellen weergegeven worden zoals in figuur 1.



Figuur 1. Vereenvoudigde weergave van de water- en stoffstromen in FUSSIM2 en CNGRAS (gebaseerd op Van Beek & Heinen, 2000)

CNGRAS is een 1-dimensionaal model. FUSSIM2 is een 2-dimensionaal model. Het bijzondere aan de gerealiseerde koppeling tussen CNGRAS en FUSSIM2 is dat het softwarematig mogelijk is gemaakt om meerdere kopieën van CNGRAS tegelijkertijd met FUSSIM2 te laten rekenen. Elke kopie van CNGRAS kan rekenen met zijn eigen begintoestand en beheer. Vooral voor dit onderzoek is deze koppeling zeer interessant omdat we nu met één kopie van CNGRAS de bemeste strook en met een andere kopie van CNGRAS de onbemeste strook door kunnen rekenen.

## 2.2 Het bodem-gewassysteem

### 2.2.1 Representatieve percelen

In het kader van het consensus-nutriëntenuitspoelingsmodel STONE is Nederland door Massop *et al.* (2000) opgedeeld in hydrotypen, landschapsregio's en grondwatertrappen. Door het combineren van deze kaartbeelden zijn er een beperkt aantal unieke combinatie's (UC's) ontstaan. Zo'n UC kan beschouwd worden als een soort representatief bodemprofiel en is voor STONE versie 1.0 gemiddeld ongeveer 5300 ha groot. Voor elke UC is een aantal eigenschappen vastgesteld, onder andere de

bodem, het gewas, de dichtheid van de waterlopen en de onderrandvoorwaarde. Elke UC van STONE versie 2.0 is door Kroes *et al.* (2001) doorgerekend met behulp van SWAP. Hierdoor is voor elke UC informatie bekend over de flux door de onderrand en over de fluxen naar de diverse drainagesystemen.

Ten behoeve van dit rapport zijn uit het totale UC-bestand alle UC's geselecteerd met als landgebruik 'grasland'. Volgens de UC-benadering (Kroes *et al.*, 2001) is 35% van het Nederlandse grondoppervlak in gebruik als grasland. Vervolgens zijn voor deze graslanden de meest voorkomende bodemprofielen geïnventariseerd. Het resultaat van deze inventarisatie staat in tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de meest voorkomende bodemprofielen met als landgebruik grasland volgens de UC-benadering.

| Bodem-profielnr. | % van het tot. grasland-areaal | Profielomschrijving (Wösten <i>et al.</i> , 1988) | Representatieve UC-plot |
|------------------|--------------------------------|---|-------------------------|
| 9                | 16                             | Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand              | 5564                    |
| 16               | 9                              | Homogene lichte kleigronden                       | 5003                    |
| 17               | 8                              | Kleigrond met een zware tussenlaag of ondergrond  | 139                     |
| 3                | 8                              | Veengronden met kleidek                           | 1310                    |
| 13               | 7                              | Beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand         | 3072                    |
| 15               | 6                              | Homogene zavelgronden                             | 5088                    |

Voor deze 6 bodemprofielen is vervolgens bepaald of over de onderrand voornamelijk kwel of wegzijging optreedt. Indien in een profiel voornamelijk kwel optreedt, zijn de UC's geselecteerd met een kwelflux. Idem dito voor profielen waarin voornamelijk wegzijging optreedt.

Voor de overblijvende UC's is vervolgens per gekozen profiel-onderrand combinatie de dominantste Gt-klasse bepaald. Uit de overblijvende UC's zijn degenen geselecteerd met deze dominante Gt.

Van de resterende UC's is gekeken naar de meest voorkomende omstandigheden betreffende drainage en beregening. Vervolgens is per profiel-onderrand-Gt combinatie één UC uitgekozen die wat betreft drainage en beregening het meest representatief was. Het uiteindelijke resultaat van deze selectieprocedure is als laatste kolom weergegeven in tabel 1. In het navolgende wordt ieder bodemprofiel kort beschreven.

### **Podzol (profiel 9)**

De podzolgronden in zwak lemig, fijn zand vertegenwoordigen zo'n 16% van het graslandoppervlak in Nederland. Deze gronden worden vooral gevonden op de Veluwe, in delen van Drenthe en in Oost-Brabant. Vreemd genoeg bleek tijdens de selectieprocedure 48% van de podzolgronden een kwelflux te kennen. Dit is in strijd met de 'definitie' van een podzolgrond. Deze verwarrende situatie is waarschijnlijk ontstaan doordat bestanden van verschillende schaalniveaus aan elkaar gekoppeld zijn (pers. comm. Kroes, 2001). Enkel de UC's met een wegzijgingsflux zijn geselecteerd. De dominante Gt is VI en er werd overwegend niet gedraineerd of beregend.

### ***Homogene, lichte kleigronden (profiel 16)***

De meeste van deze profielen worden gevonden in de Betuwe, de Flevopolder en Friesland. Dit zijn overwegend kwelgebieden (61% van het oppervlakte kent een kwelflux). De dominante Gt is V. Bijna alle kleigronden zijn gedraineerd, de gemiddelde draindiepte is 92 cm. De UC's met drainage in de bovenste 110 cm zijn geselecteerd. Er vindt overwegend geen beregening plaats.

### ***Kleigrond met een zware tussenlaag of ondergrond (profiel 17)***

De meeste van deze profielen liggen in de Betuwe, Friesland en de Flevopolder. 74% van de profielen heeft een kwelflux en 48% van het oppervlak heeft Gt V. Het grootste areaal profielen wordt gedraineerd op 110 cm -mv en wordt beregend.

### ***Veengronden met kleidek (profiel 3)***

De veengronden met kleidek liggen vooral in Zuid-Holland en Friesland. 59% van het areaal heeft een kwelflux en de dominante Gt is II. Er wordt niet gedraineerd of beregend.

### ***Beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand (profiel 13)***

Deze profielen liggen in Brabant, de Achterhoek en Twente. Het grootste areaal (57%) heeft een kwelflux en 36% heeft Gt III. De meeste profielen hebben een drainbuis op 80 cm -mv en worden niet beregend.

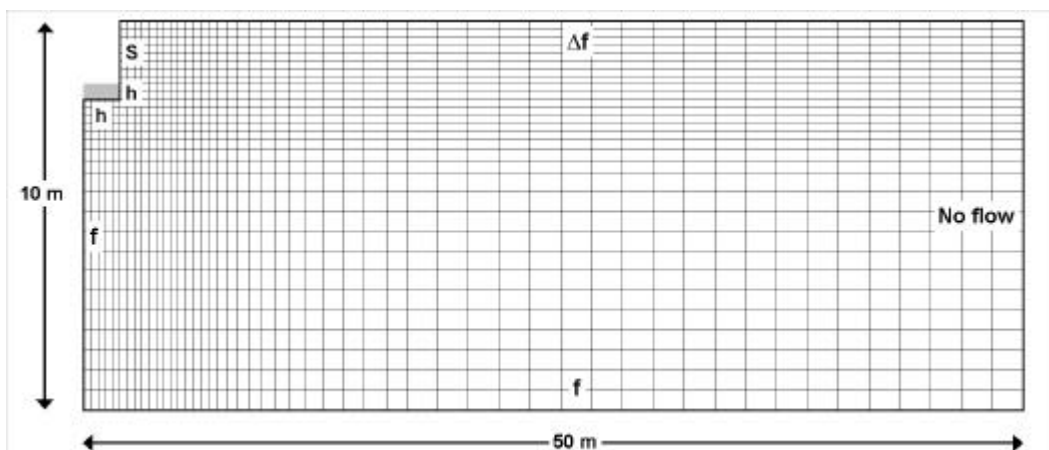
### ***Homogene zavelgronden (profiel 15)***

Deze gronden komen voor in Zeeland. 67% van het areaal kent een kwelflux. De dominante Gt is V. De meeste profielen hebben een drainbuis op 110 cm en worden niet beregend.

## **2.2.2 Schematisatie van het bodem-gewassysteem**

In navolging van Van Beek & Heinen (2000) is aangenomen dat in een graslandgebied met bij benadering parallel lopende sloten symmetrievlakken te onderscheiden zijn. Er wordt verondersteld dat er alleen stroming mogelijk is in het vlak loodrecht op de parallelle sloten. De ruimte tussen twee symmetrievlakken, namelijk tussen het midden van een sloot en het midden van een perceel, kan dan als representatief element beschouwd worden voor een graslandperceel. In figuur 2 is zo'n representatief element schematisch weergegeven.

De afmetingen van het geschematiseerde element zijn in de lengte en diepte respectievelijk 50 meter en 10 meter. In de linker bovenhoek bevindt zich een sloot van 1 meter diep en 50 cm breed (let op: de echte slootbreedte is dus 1 meter). Het representatieve element is ten behoeve van de modelberekeningen onderverdeeld in 1500 rekenelementjes (50 kolommen en 30 rijen) met variërende grootte. Deze rekenelementjes zijn ook weergegeven in figuur 2, maar zijn niet allemaal op schaal. Met name de rekenelementjes aan de rechter- en onderzijde zijn in figuur 2 kleiner weergegeven. Het representatieve element is in principe voor alle UC's hetzelfde.



Figuur 2. Schematische voorstelling van een representatief element, namelijk de halve slootafstand. De rechterzijde komt overeen met het midden van het graslandperceel. In de linkerbovenhoek is de sloot weergegeven.

De symbolen in figuur 2 hebben betrekking op de gebruikte typen randvoorwaarden,  $f$  duidt op een flux randvoorwaarde en  $h$  op een drukrandvoorwaarde. Voor de bovenrand geldt in het algemeen een fluxrandvoorwaarde. De waterflux over die rand is gelijk aan het verschil tussen de ingaande en uitgaande stromen. Neerslag kan het systeem in en evaporatie kan het systeem uit. In extreem natte omstandigheden is het ook mogelijk dat de grondwaterspiegel boven het maaiveld uitkomt, de bovenrandvoorwaarde verandert dan van een flux- in een drukrandvoorwaarde. In dat geval is er sprake van ponding (waterlaagje op het land). Het maximaal toegestane waterlaagje bedroeg 1 cm. Het eventuele overschot aan water werd als instantane runoff beschouwd. Op de atmosferische depositie (en bemesting) na zal via de bovenrand geen opgeloste stof het systeem in- of uitstromen. Deze voorwaarde is niet helemaal correct wanneer het uitstromende water runoff betreft, want dan kunnen in werkelijkheid wel degelijk nutriënten via de bovenrand het systeem verlaten.

Over de rechterrand van het representatieve element vindt geen stroming van water en/of opgeloste stof plaats.

De onderrandvoorwaarde met het symbool  $f$  geeft aan dat er een voorgeschreven waterflux het systeem via deze rand in- of uitstroomt. Wanneer er sprake is van wegzijging, zal er wel opgeloste stof het systeem via deze rand kunnen verlaten. Aangenomen is dat via kwel in ieder geval geen opgeloste stof het systeem inkomt.

De linkerrandvoorwaarde met het symbool  $f$  geeft aan dat er een voorgeschreven waterflux het systeem via deze rand in- of uitstroomt. Wanneer er sprake is van waterstroming van het systeem naar een drainagesysteem (denk bijvoorbeeld aan een grote sloot, kanaal of rivier), zal er wel opgeloste stof het systeem via deze rand kunnen verlaten. Aangenomen is dat er bij stroming van een drainagesysteem het systeem in geen opgeloste stof meekomt.

De bovenrand- en linkerrandvoorwaarde grenzend aan de sloot met het symbool  $h$  geeft aan dat er een voorgeschreven drukhoogte geldt, namelijk het heersende



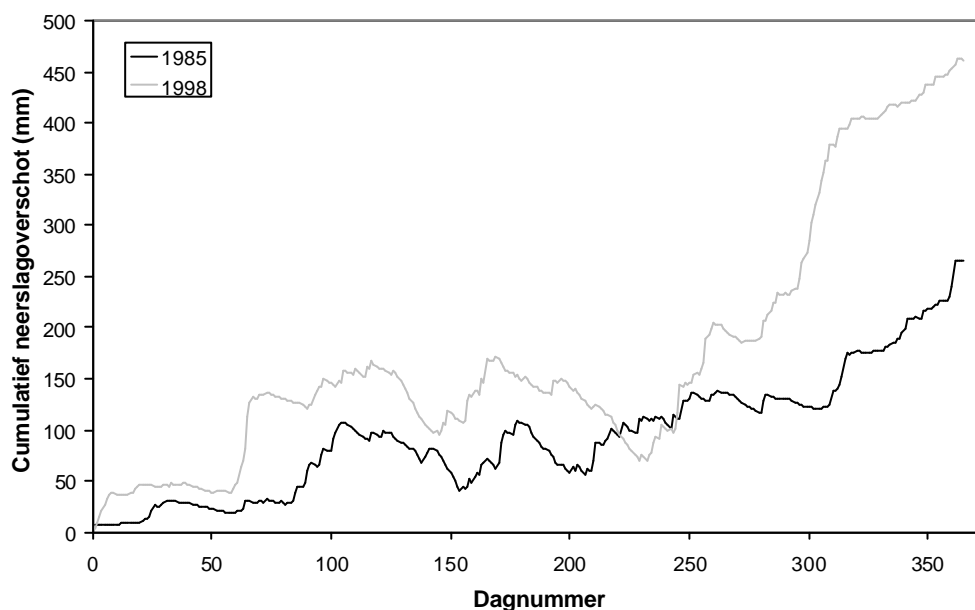
slootpeil. Bij een grotere druk in het systeem zal water en opgeloste stof de sloot instromen. Infiltratie van water vanuit de sloot is ook mogelijk, infiltratie van opgeloste stof is echter niet in de berekeningen meegenomen.

Het symbool  $s$  bij een deel van de linkerrand geeft aan dat hier sprake is van een "seepage face". Water en opgeloste stof kan via deze rand het systeem uitreden, wanneer de aangrenzende rekenelementen verzadigd zijn met water. Wanneer dat niet het geval is, zal er geen stroming plaatsvinden over deze rand.

## 2.3 Modelinvoer

### 2.3.1 Weer

Uit de weerreeks van het LUW-weerstation aan de Haarweg in Wageningen zijn een tweetal weerjaren geselecteerd, namelijk één normaal weerjaar (1985) met een gemiddeld neerslagoverschot ( $\pm 265$  mm) en één nat weerjaar (1998) met een groot neerslagoverschot ( $\pm 460$  mm). In figuur 3 is het cumulatieve neerslagoverschot als functie van de tijd weergegeven voor 1985 en 1998. Het cumulatieve neerslagoverschot is berekend op basis van de gemeten neerslag en een volgens Makkink (Van Kraalingen & Stol, 1997) berekende evapotranspiratie.



Figuur 3. Cumulatief neerslagoverschot als functie van de tijd voor 1985 en 1998 (LUW-weerstation, Haarweg Wageningen).

De weersgegevens van deze twee jaren (1985 en 1998) en dit weerstation zijn gebruikt als invoer voor de simulatieberekeningen. De gemeten straling en luchttemperatuur zijn daarbij gebruikt voor de berekening van de potentiële evapotranspiratie.

### 2.3.2 Bodemfysische eigenschappen

De profielopbouw van de in §2.2.1 gekozen bodemprofielen komt (op de ondergrens van het profiel na) overeen met de profielopbouw uit Wösten *et al.* (1988) en is weergegeven in tabel 2. De in tabel 2 gebruikte bodemfysische bouwstenen zijn nader beschreven in Wösten *et al.* (1994).

Tabel 2. Profielopbouw van de geselecteerde bodemprofielen overeenkomstig Wösten *et al.* (1988).

| Bodem-<br>Profielnr. | Diepte (cm-Mv.) | Bodemfysische bouwsteen<br>(zie Wösten <i>et al.</i> , 1994) |
|----------------------|-----------------|--|
| 9                    | 0 – 50          | B2   |
|                      | 50 – 1000       | O2   |
| 16                   | 0 – 30          | B10  |
|                      | 30 – 1000       | O10  |
| 17                   | 0 – 30          | B12  |
|                      | 30 – 1000       | O13  |
| 3                    | 0 – 40          | B11  |
|                      | 40 – 1000       | O17  |
| 13                   | 0 – 30          | B3   |
|                      | 30 – 50         | O3   |
|                      | 50 – 1000       | O2   |
| 15                   | 0 – 30          | B8   |
|                      | 30 – 1000       | O9   |

De parameters voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de gebruikte bodemfysische bouwstenen komen overeen met Wösten *et al.* (1994).

### 2.3.3 Randfluxen en grondwaterstand

Zoals eerder beschreven is elke UC doorgerekend met behulp van het simulatiemodel SWAP voor een weerreeks van ongeveer 30 jaar. De resultaten van deze berekeningen bevatten onder andere informatie over het verloop van de diverse waterfluxen. Voor de 6 bodemprofielen en de jaren 1985 en 1998 zijn de waterfluxen over de onderrand en naar de diverse drainagesystemen uit de SWAP-dataset geselecteerd.

Het verloop van de waterfluxen over de onderrand (kwel of wegzijging) is voor de diverse plots en jaren opgelegd aan de onderrand van het representatieve element.

SWAP onderscheidt vijf niveaus van drainagesystemen (tabel 3). Uit de SWAP-resultaten zijn de waterfluxen naar het eerste drainageniveau geselecteerd. Het verloop in deze waterfluxen is opgelegd aan de fluxrandvoorwaarde aan de linkerzijde van het representatieve element. Aangenomen is dat de waterfluxen naar de overige drainageniveaus uit SWAP gerepresenteerd worden door de flux naar de sloot in de berekeningen met FUSSIM2.

Het peil in de sloot is tijdens alle simulatieberekeningen constant en bevindt zich op 80 cm beneden het maaiveld. Initieel is het profiel in evenwicht met dit slootpeil.

Tabel 3. De vijf niveaus van drainagesystemen, zoals ze door SWAP zijn gehanteerd (uit Kroes et al., 2001)

| Niveau | Omschrijving   |
|--------|--|
| 1      | Primair systeem, waterlopen met breedte 3-6 m en waterlopen breder dan 6 m, volgens Top10-vector |
| 2      | Secundair systeem, waterlopen smaller dan 3 m, volgens Top10-vector                              |
| 3      | Tertiair systeem, greppels en droogvallende waterlopen, volgens Top10-vector                     |
| 4      | Buisdrainage op basis van criteria: hydrotype, Gt, bodem, landgebruik en slootdichtheid          |
| 5      | Maaiveldsdrainage in elke plot   |

## 2.3.4 Minerale en organische stikstof

### 2.3.4.1 Begintoestand

De gekozen initiële verdeling van nitraat en ammonium als functie van de diepte is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. Initiële verdeling van nitraat en ammonium als functie van de diepte in kg N/ha.

| Diepte (cm-Mv.) | Nitraat (kg N/ha) | Ammonium (kg N/ha) |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| 0 – 10          | 17,4              | 0,4                |
| 10 – 20         | 14,0              | 0,4                |
| 20 – 30         | 11,2              | 0,3                |
| 30 – 40         | 4,4               | 0,1                |
| 40 – 1000       | 0,0               | 0,0                |
| Totaal          | 47,0              | 1,2                |

Initieel is er ook stikstof aanwezig in het profiel in organische vorm. Deze organische stikstof kan voorkomen in drie verschillende organische stofpools. De eerste pool bevat initieel geen stikstof, en kan in principe voorkomen tot een diepte van 20 cm. De tweede pool bevat 100 kg N/ha verdeeld over een bodemlaag van 0-30 cm. De derde organische stofpool bevat 6500 kg N/ha verdeeld over de eerste 50 cm van het bodemprofiel.

### 2.3.4.2 Bemesting

In totaal werd per jaar met kunstmest 420 kg N/ha toegediend. Deze bemesting is verdeeld over 7 gelijke giften. De eerste gift vond plaats op 20 maart. De overige giften vonden plaats 3 dagen na een oogst. De helft van het toegediende stikstof is in de vorm van nitraat, de andere helft in de vorm van ammonium. De bemesting werd niet toegediend op de 'bufferstrook' direct naast de sloot. De grootte van deze onbemeste strook hangt af van het gekozen scenario. Bij toenemende breedte nam de totale bemesting af, maar werd de bemestingsintensiteit (de hoeveelheid mest per oppervlakte-eenheid) constant gehouden. Concreet rekent tijdens de simulatieberekeningen één kopie van CNGRAS de toestand door voor de onbemeste strook en de andere kopie de toestand voor het bemeste deel van het perceel.

### 2.3.4.3 Natte en droge depositie

De depositie van stikstof is berekend door een vaste stikstofconcentratie te vermenigvuldigen met de dagelijkse neerslag. In “normale” neerslagjaren wordt hierdoor ca. 40 kg N/ha/jr in de vorm van  $\text{NH}_4$  aan het bodemprofiel toegevoegd.

### 2.3.5 Gras en graslandbeheer

De biomassa van het gras aan het begin van de modelberekeningen is 3960 kg droge stof/ha. Hiervan behoort 2750 kg/ha toe aan het wortelsysteem. Deze hoeveelheid is exponentieel verdeeld over een diepte van 60 cm. De initiële  $LAI$  is 1.5 (-).

Op vaste tijdstippen in het jaar (28 april, 19 mei, 16 juni, 15 juli, 11 augustus, 8 september en 14 oktober) wordt het gras uitsluitend via maaien geoogst.

## 2.4 Scenario's

Om het effect van een niet-bemeste strook langs de sloot op de uitspoeling te bepalen zijn diverse scenario's doorgerekend met het beschreven bodemgewassysteem en de beschreven invoer. Tijdens de scenarioberekeningen zijn een aantal aspecten beschouwd, namelijk verschillen in de breedte van de onbemeste strook, een nat en een normaal weerjaar, verschillende bodemprofielen en twee verschillende slootafstanden.

Omwille van capaciteitsproblemen zijn in deze studie alleen voor podzol en bekeerd berekeningen uitgevoerd. Daarnaast vertonen de overige grondsoorten zwel en krimp, hetgeen niet door FUSSIM2 gesimuleerd kan worden. Met de podzol en bekeerd is overigens bijna een kwart van het totale grasland-areaal vertegenwoordigd.

In tabel 5 zijn alle scenario's met de belangrijkste kenmerken vermeld. Het eerstgenoemde scenario wordt als referentie beschouwd. Alleen de verschillen ten opzichte van deze referentie zijn vermeld in de tabel.

Tabel 5. Overzicht van de scenario's inclusief de belangrijkste kenmerken. Alleen de verschillen ten opzichte van het referentiescenario (Sc5564-85-0m) zijn vermeld.

| Scenario      | Bodemprofiel (UC-plot) | Weerjaar | Breedte van de onbemeste strook (m) | Halve sloot-afstand (m) |
|---------------|------------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------|
| Sc5564-85-0m  | 5564                   | 85       | 0                                   | 50                      |
| Sc5564-85-1m  |                        |          | 1                                   |                         |
| Sc5564-85-5m  |                        |          | 5                                   |                         |
| Sc5564-85-10m |                        |          | 10                                  |                         |
| Sc5564-98-0m  |                        | 98       |                                     |                         |
| Sc5564-98-10m |                        | 98       | 10                                  |                         |
| Sc3072-85-0m  | 3072                   |          |                                     |                         |
| Sc3072-85-0mS | 3072                   |          |                                     | 20                      |
| Sc3072-85-5mS | 3072                   |          | 5                                   | 20                      |

Alvorens daadwerkelijk de scenario's door te rekenen zijn verkennende berekeningen gedaan. Een aantal van deze berekeningen hebben tot doel gehad om te achterhalen hoeveel jaar er doorgerekend moet worden alvorens er een soort evenwichtssituatie ontstaat. Uit een verkennende berekening van 18 jaar is gebleken dat na ongeveer 9 à 10 jaar de diverse fluxen en omzettingen bij benadering constant worden (zie figuur 5). Voor de referentieberekening zijn de diverse fluxen en omzettingen van het 9<sup>de</sup> en 10<sup>de</sup> jaar met elkaar vergeleken. De mineralisatie, nitrificatie, nitraatopname en ammoniumopname in het 9<sup>de</sup> en 10<sup>de</sup> jaar verschillen relatief minder dan 2% van elkaar. Het relatieve verschil tussen de denitrificatie in het 9<sup>de</sup> en 10<sup>de</sup> jaar is minder dan 4%. De uitmijning van organisch koolstof en stikstof is in het 9<sup>de</sup> jaar respectievelijk 5% en 4% groter dan in het 10<sup>de</sup> jaar. Het relatieve verschil tussen de totale uitspoeling in het 9<sup>de</sup> en 10<sup>de</sup> jaar is 14%. Dit verschil komt bijna in zijn geheel voor rekening van de uitspoeling over de onderrand. Besloten is om in hoofdstuk 3 de stikstofbalans over het 10<sup>de</sup> jaar weer te geven, tenzij anders is vermeld.

Bij elk scenario is 10 jaar achtereenvolgend doorgerekend met hetzelfde weerjaar. De simulaties zijn begonnen op 1 januari en eindigden op 31 december. De tijdstap is 1 dag, intern verdeelt FUSSIM2 deze tijdstap in kleinere eenheden afhankelijk van de situatie.

Andere verkennende berekeningen hadden tot doel om de verhouding tussen de nitrificatie en mineralisatie te verbeteren. Met de originele waarde voor de parameter, die deze verhouding bepaalt (parameter  $k_2$  uit formule 8 van Bril *et al.*, 1994), was de verhouding nitrificatie/mineralisatie 30%. Bij een verlaging van deze parameter met een factor 8 is de verhouding nitrificatie/mineralisatie 60% en ligt het daarmee veel meer in de lijn der verwachting. Alle scenarioberekeningen zijn met deze nieuwe waarde doorgerekend.

Bovenstaande aanpassing heeft echter als nadeel dat ook de nitrificatie van ammonium, die via bemesting en depositie aan het bodemprofiel wordt toegevoegd, veel sneller verloopt dan via proeven is vastgesteld.

Inmiddels zijn de oorspronkelijke vergelijkingen in NITDEN en FUSSIM2 verbeterd door verschillende snelheden te gebruiken voor de nitrificatie van recent gemineraliseerde ammonium en voor ammonium dat aan de bovenkant van het bodemprofiel wordt toegediend. Deze aanpassingen zijn beschreven in Conijn (2002, *in press*), maar waren helaas nog niet beschikbaar bij de scenarioberekeningen.

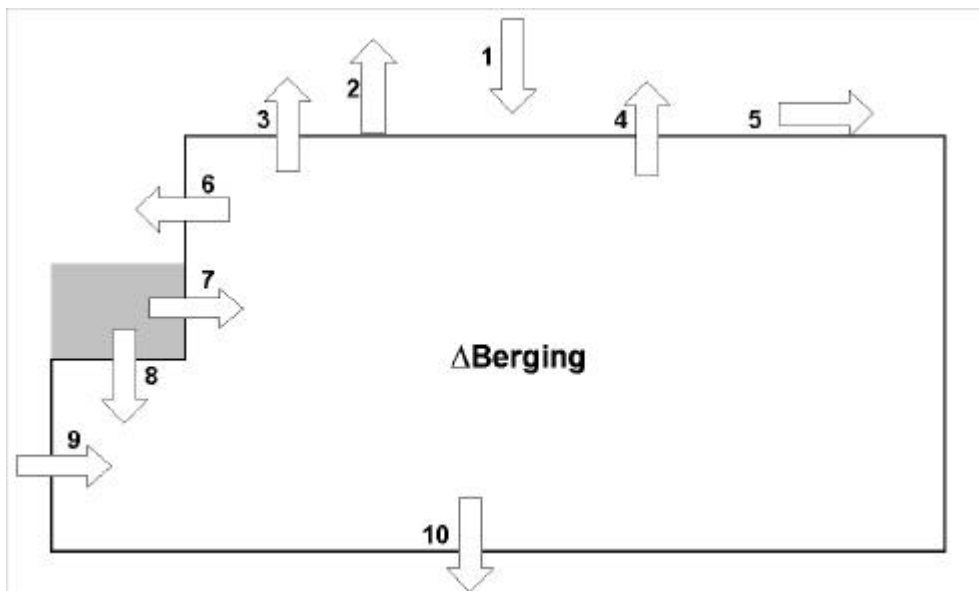


### 3 Resultaten en discussie

#### 3.1 Referentieberekening

Bij de referentieberekening is een uitspoelingsgevoelige podzolgrond doorgerekend voor een weerjaar met een normaal neerslagoverschot (1985). In deze berekening is er geen onbemeste strook langs de sloot.

Alvorens het lot van stikstof te beschrijven zal eerst de waterbalans toegelicht worden. In figuur 4 zijn schematisch alle posten van de waterbalans weergegeven. De grootte van de pijlen zegt in dit plaatje niets over de grootte van de betreffende flux. Een positieve waarde voor een bepaalde flux stroomt in de richting van de betreffende pijl.



Figuur 4. Schematische weergave van alle posten van de waterbalans. Het plaatje en de pijlen zijn niet op schaal. Een positieve waarde voor een bepaalde flux stroomt in de richting van de betreffende pijl, een negatieve flux gaat dus tegen de richting van de pijl in. Toelichting bij de nummers: 1 = neerslag; 2 = actuele evaporatie; 3 = actuele transpiratie van de onbemeste strook; 4 = actuele transpiratie van de bemeste strook; 5 = runoff; 6 = uitstroming via de seepage face; 7 = instroming via de slootwand; 8 = instroming via de slootbodem; 9 = instroming vanaf andere drainageniveaus; 10 = wegzijing over de onderrand. Deze posten samen moeten gelijk zijn aan de verandering van de waterberging in het profiel, wanneer de waterbalans precies klopt.

In tabel 6 zijn de verschillende waterbalansposten weergegeven voor de referentieberekening in mm/jaar. Aangezien bij de waterbalans de invloed van de initiële toestand relatief kort merkbaar is, zijn in tabel 6 de jaargemiddelden, berekend over de simulatieperiode van 10 jaar, weergegeven.

Tabel 6. Posten van de waterbalans voor de referentieberekening in mm/jaar.

| Symbool in figuur 4 | Waterbalanspost                              | Waarde (mm/j) |
|---------------------|--|---------------|
| 1                   | Neerslag                                     | 741           |
| 2                   | Actuele evaporatie                           | 84            |
| 3                   | Actuele transpiratie van de onbemeste strook | n.v.t.        |
| 4                   | Actuele transpiratie van de bemeste strook   | 334           |
| 5                   | Runoff                                       | 14            |
| 6                   | Uitstroming via seepage face                 | 0             |
| 7                   | Instroming via slootwand                     | 25            |
| 8                   | Instroming via slootbodem                    | -97           |
| 9                   | Instroming via andere drainageniveaus        | -3            |
| 10                  | Wegzijing over de onderrand                  | 227           |
| ?berging            | Verandering van de waterberging              | 4             |
|                     | Waterbalansfout over 10 jaar                 | 1.4%          |

In het geval van 'ponding' (waterlaagje op het land) aan de bovenrand en seepage aan de slootwand verandert de randvoorwaarde ter plekke van een flow rand in een rand met een bekende drukhoogte. Tijdens de wisselingen van deze randvoorwaarde kan water 'verloren' gaan. Hierdoor is de waterbalans niet geheel sluitend.

Er is uitstroming via de seepage face aanwezig, maar deze is afgerond in mm/jaar gelijk aan nul. Het water, dat via runoff verdwenen is, is afkomstig van de neerslag en is dus nog niet in de bodem geïnfiltrerd. Het heeft dus ook geen nutriënten op kunnen nemen vanuit de bodem, vandaar dat de concentratie in deze runoff gelijk is aan nul. In werkelijkheid zal de concentratie overeenkomen met de concentratie in regenwater. De actuele en potentiële transpiratie zijn gelijk aan elkaar, het gras heeft dus voldoende water op kunnen nemen. Het bodemprofiel is iets natter geworden.

De in tabel 6 gepresenteerde waterbalans geeft de orde van grootte van de diverse waterbalansposten weer. Dit type balans is echter niet geschikt om "met de hand" na te rekenen. Er moet namelijk rekening gehouden worden met het representatieve oppervlak van de betreffende waterbalanspost (bijvoorbeeld de breedte van de onbemeste strook in verband met de actuele transpiratie) en deze varieert per scenario.

In tabel 7 zijn de nitraat- en ammoniumbalans weergegeven voor de referentieberekening voor het 10<sup>de</sup> jaar.

Tabel 7. Nutriëntenbalans (kg N/ha) voor de referentieberekening in het 10<sup>de</sup> jaar, uitgesplitst naar nitraat en ammonium.

| IN            | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | UIT                     | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Bemesting     | 208             | 208             | Plant opname            | 515             | 266             |
| Mineralisatie |                 | 388             | Accumulatie in de bodem | 11              | 1               |
| Depositie     |                 | 39              | Denitrificatie          | 27              | 8               |
| Nitrificatie  | 360             |                 | Nitrificatie            |                 | 360             |
|               |                 |                 | Uitspoeling             | 15              | 0               |
| <b>Totaal</b> | <b>568</b>      | <b>635</b>      | <b>Totaal</b>           | <b>568</b>      | <b>635</b>      |

In tabel 7 wordt onderscheid gemaakt tussen denitrificatie met nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) als bron en denitrificatie met ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) als bron. Deze laatste vorm van denitrificatie

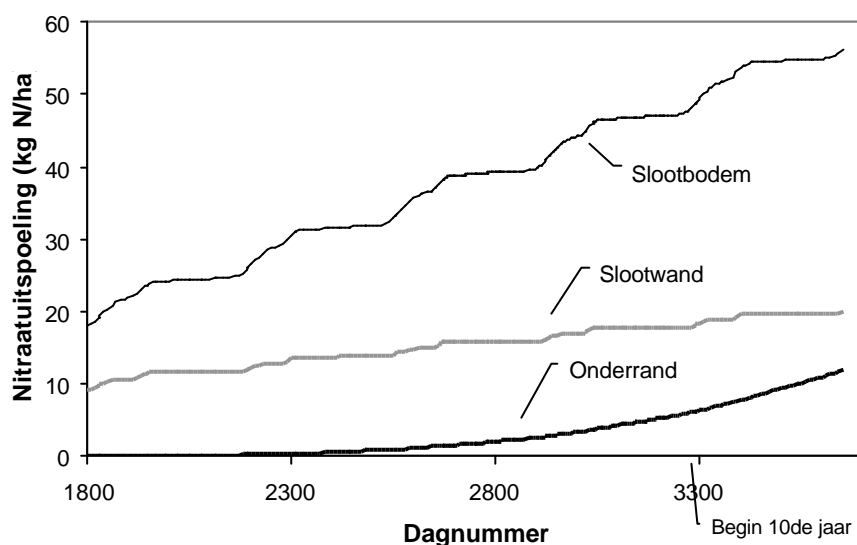


wordt ook wel “nitrifier-denitrification” genoemd (Bril *et al.*, 1994) en is een bijproduct van het nitrificatieproces.

De totale N-opname door planten was 781 kg N/ha. Hiervan is 509 kg N/ha afgevoerd via de oogst van het gras. Het restant is grotendeels via afsterving van wortels en stoppels toegevoegd aan de bodemorganische N-voorraad, van waaruit het door afbraak van organische stof weer mineraliseert. De N-opname bij de totale N-beschikbaarheid van de referentieberekening is aan de hoge kant. Het gevolg van deze hoge N-opname is dat de totale verliezen aan denitrificatie en uitspoeling aan de lage kant zijn.

De N-aanvoer via bemesting en depositie is kleiner dan de N-afvoer van het geogoste gras. Het verschil tussen aan- en afvoer gaat niet ten koste van de anorganische stikstofvoorraad in de bodem, want deze voorraad neemt toe in de loop van het jaar (tabel 7). Dus moet de organische stikstofvoorraad in de bodem afnemen. Dit werd bevestigd door de modelresultaten.

In figuur 5 is de cumulatieve nitraatuitspoeling via de slootbodembodem, slootwand en onderrand van het profiel weergegeven als functie van de tijd. Gepresenteerd zijn de laatste 5 jaar van de referentieberekening.



Figuur 5. Cumulatieve nitraatuitspoeling via de slootbodembodem, slootwand en onderrand van het profiel als functie van de tijd. Weergegeven zijn de laatste 5 jaar van de referentieberekening, de dagnummers zijn weergegeven ten opzichte van het begin van de simulatie. Het begin van het 10<sup>de</sup> jaar is gemarkeerd op de tijdas.

Uit figuur 5 blijkt dat bij benadering de trends in de nitraatuitspoeling over de diverse randen in het 10<sup>de</sup> jaar “constant” zijn geworden. Binnen een jaar is er uiteraard wel een bepaalde fluctuatie waar te nemen.

Uit tabel 7 blijkt dat de nitraat-uitspoeling in het 10<sup>de</sup> jaar 15.1 kg N/ha bedraagt. Hiervan zijn respectievelijk 7.6 en 1.8 kg N/ha via de slootbodembodem en de slootwand in de sloot gekomen. De overige 5.7 kg N/ha is via de onderrand van het profiel uitgespoeld. De uitgespoelde hoeveelheid ammonium is verwaarloosbaar ( $\pm 0.002$  kg

N/ha). In absolute zin is de uitspoeling over de randen van het beschouwde profiel niet erg groot: de post uitspoeling is slechts 3% van alle nitraat afvoerposten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de hoge N-opname.

In totaal komt 9.4 kg N/ha in de sloot. De netto waterflux naar de sloot toe is 72 mm/jr (tabel 6: instroming via slootwand en –bodem). Gemiddeld betekent dit een nitraatconcentratie van 13 mg N/l. Een bezwaar tegen deze berekening is het feit dat de waterflux naar de sloot een netto flux is. Water kan immers zowel van als naar de sloot stromen. Nitraat kan echter alleen uit het profiel naar de sloot stromen. De hierboven berekende nitraatconcentratie geeft dus zeker niet de werkelijke uitstroomconcentratie weer.

Tot nu toe is uitspoeling in de resultaten gedefinieerd als de hoeveelheid nitraat die met een waterstroom over de randen van het beschouwde systeem het betreffende systeem verlaat. Uitspoeling is ook te definiëren als de hoeveelheid nitraat die niet meer beschikbaar is voor plantopname en zich dus grofweg onder de bovenste meter van het profiel bevindt. Aan het eind van het 10<sup>de</sup> jaar bevindt zich 40 kg nitraat-N/ha in de bovenste meter van het profiel. In de 9 meter daaronder zit nog eens 319 kg nitraat-N/ha. De totale uitspoeling op deze manier gedefinieerd zal over 10 jaar 407 kg N/ha zijn. In die 10 jaar is de bemesting 4160 kg N/ha geweest. Er is dus bijna 10% van de bemesting uitgespoeld. Van Keulen *et al.* (1993) berekenden met het model GRASMOD een uitspoeling van 11% voor een bodemdpte van 1 m bij een bemestingsniveau van 250 kg ha<sup>-1</sup>, maar vermelden dat verliezen snel oplopen bij hogere bemestingsniveau's.

In het 10<sup>de</sup> jaar is 12720 kg droge stof/ha geoogst. Gezien de hoeveelheid stikstof in deze oogst van 509 kg N/ha, betekent dat dus een N-gehalte van 4%. Volgens het Handboek Melkveehouderij (Anoniem, 1997) varieert de bruto jaarproductie afhankelijk van de bemesting en de NLV-klasse voor humeuze zandgronden tussen de 10700 en 13000 kg droge stof/ha. Volgens Conijn (2001, pers. comm.) zijn de berekende oogsten aan droge stof en stikstof hoger dan in de praktijk gerealiseerd wordt in een normaal weerjaar, waarin 7 keer geoogst wordt zoals in de berekeningen. Het hoge gemiddelde N-gehalte kan verklaard worden uit het feit dat in de modelberekeningen vaak gemaaid is. Hierdoor zijn de maaisnedes aan de lichte kant ( $\pm 1800$  kg droge stof per snede) en lijken ze qua grootte op een weidesnede. Bekend is dat het N-gehalte in lichte snedes hoger is en afneemt naarmate een snede zwaarder wordt.

### 3.2 Breedte van de onbemeste strook

In tabel 8 is het effect van de breedte van de onbemeste strook weergegeven op de waterbalans voor podzol.

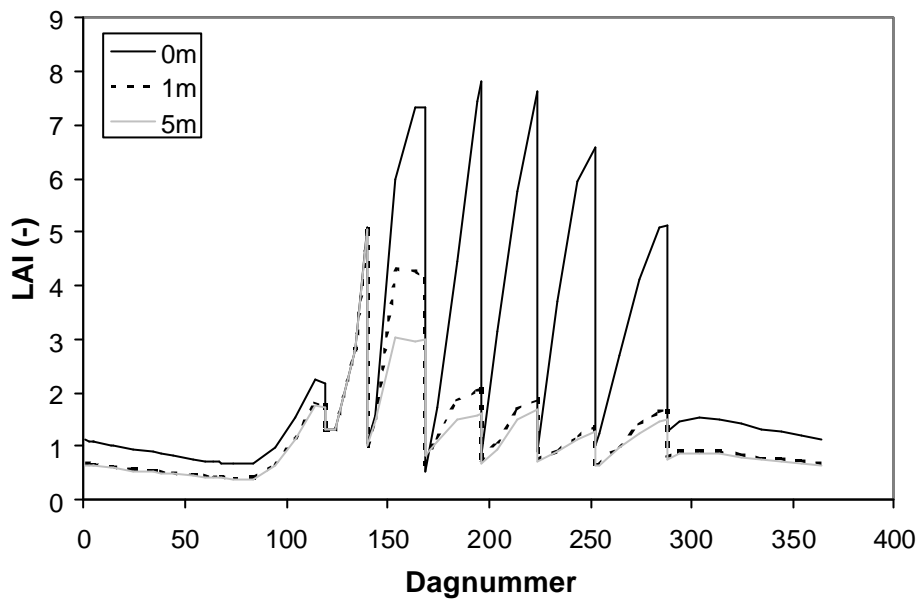
Tabel 8. Posten van de waterbalans in mm/jaar voor diverse breedtes van de onbemeste strook, namelijk 0 (referentie), 1, 5 en 10 m breedte voor podzol.

| Symbool<br>in figuur 4 | Waterbalanspost (mm/j)                       | Strookbreedte (m) |      |      |      |
|------------------------|--|-------------------|------|------|------|
|                        |  | 0m                | 1m   | 5m   | 10m  |
| 1                      | Neerslag                                     | 741               | 741  | 741  | 741  |
| 2                      | Actuele evaporatie                           | 84                | 85   | 91   | 100  |
| 3                      | Actuele transpiratie van de onbemeste strook | n.v.t.            | 243  | 229  | 227  |
| 4                      | Actuele transpiratie van de bemeste strook   | 334               | 334  | 334  | 333  |
| 5                      | Runoff                                       | 14                | 14   | 14   | 14   |
| 6                      | Uitstroming via seepage face                 | 0                 | 0    | 0    | 0    |
| 7                      | Instroming via slootwand                     | 25                | 25   | 24   | 23   |
| 8                      | Instroming via slootbodem                    | -97               | -97  | -98  | -99  |
| 9                      | Instroming via andere drainageniveaus        | -3                | -3   | -3   | -3   |
| 10                     | Wegzijging over de onderrand                 | 227               | 227  | 227  | 227  |
| ?Berging               | Verandering van de waterberging              | 4                 | 4    | 4    | 4    |
|                        | Waterbalansfout over 10 jaar                 | 1.4%              | 1.4% | 1.5% | 1.5% |

Naarmate de breedte van de onbemeste strook groter wordt, blijft de actuele transpiratie van de onbemeste strook meer achter bij de actuele transpiratie van de bemeste strook (tabel 8). Laatstgenoemde is bij benadering gelijk aan de potentiële transpiratie. De lagere actuele transpiratie in de onbemeste strook wordt indirect veroorzaakt door het stikstoftekort in die onbemeste strook, die tot een geringere *LAI*-ontwikkeling leidt (zie figuur 6). In het geval van een smalle onbemeste strook kunnen eventuele stikstoftekorten (deels) aangevuld worden door horizontale stroming van stikstof vanuit de bemeste strook. Naarmate de strookbreedte groter is, zal deze aanvulling minder toereikend zijn. Dit verklaart waarom de *LAI*-ontwikkeling verschillend is bij verschillende strookbreedte.

Naarmate de onbemeste strook breder wordt, ontwikkelt het gras zich in deze strook slechter. Uit figuur 6 blijkt dat de *LAI* van het gras in de onbemeste strook met breedte 1 m veel lager is dan de *LAI* van het gras in de bemeste strook (oftewel strookbreedte 0 m). Bij een strookbreedte van 5 m is de *LAI* zelfs nog lager. De *LAI* bij een strookbreedte van 10 m kwam vrijwel overeen met die bij een breedte van 5 m. Een lagere *LAI* betekent dat het aandeel evaporatie in de totale evapotranspiratie groter wordt. Daarnaast neemt het oppervlak waarover de meeste evaporatie optreedt (de onbemeste strook) toe. Bovenstaande verklaart waarom de actuele evaporatie toeneemt met toenemende strookbreedte (tabel 8).

Ten opzichte van de bemeste strook is de afname van de actuele transpiratie in de onbemeste strook groter dan de toename van de actuele evaporatie. Dit resulteert bij de onbemeste strook in een iets natter profiel. En dit verklaart waarom er iets minder water via de slootwand het profiel intreedt en iets meer water via de slootbodem het profiel uittreedt bij toenemende strookbreedte (tabel 8).



Figuur 6. LAI (-) van het gras in een bemeste strook (0m) en van het gras in onbemeste stroken van respectievelijk 1 m en 5 m breed als functie van de tijd.

In tabel 9 zijn de nitraat- en ammoniumbalans weergegeven voor de diverse breedtes van de onbemeste strook voor het 10<sup>de</sup> jaar voor podzol.

De mineralisatie neemt af bij een toenemende strookbreedte (tabel 9). Zoals uit figuur 6 ook al blijkt ontwikkelt het gras in de onbemeste strook zich veel slechter dan in de bemeste strook. De grasopbrengst bij een strookbreedte van 10 m is in de onbemeste strook 4941 kg droge stof/ha en daarbuiten 12700 kg droge stof/ha (tabel 11). Minder groei betekent dat er ook minder afsterft tijdens het seizoen en ook minder verloren kan gaan via oogstverliezen. De aanvoer van dood gras naar de bodem is dus veel lager. Daarnaast is de kwaliteit van het gras in de onbemeste strook anders dan daarbuiten. Het N-gehalte in de grasopbrengst van de onbemeste strook bij een strookbreedte van 10 m is 3% tegen 4% in de bemeste strook. Het dode gras dat als gevolg van afsterven of oogstverliezen de bodem ingaat, zal ook een lager N-gehalte hebben. Kortom, de mineralisatie zal afnemen bij een toename van de onbemeste strookbreedte omdat er minder aanvoer is van dood organisch materiaal met een lager N-gehalte.

Naarmate de onbemeste strook breder is, zal er minder nitrificatie plaatsvinden. In de onbemeste strook vindt namelijk geen aanvoer van ammonium plaats via bemesting. Daarnaast komt er minder ammonium beschikbaar in de onbemeste strook omdat er minder organisch materiaal afbreekt. Daarnaast zal de lichte toename van het vochtgehalte in het profiel een negatief effect hebben op de nitrificatie, maar dit effect zal van ondergeschikt belang zijn.

Tabel 9. Nutriëntenbalans (kg N/ha) van het totale perceel voor de diverse breedtes van de onbemeste strook, namelijk 0 (referentie), 1, 5 en 10 m breedte, en uitgesplitst naar nitraat en ammonium voor podzol. Als gevolg van afrondingen is een klein verschil ontstaan in de nitraatbalans met een strookbreedte van 1 en 5 m (\*).

| IN (kg N/ha)  | Strookbreedte (m) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|               | 0 m               |                 | 1 m             |                 | 5 m             |                 | 10 m            |                 |
|               | NO <sub>3</sub>   | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> |
| Bemesting     | 208               | 208             | 204             | 204             | 187             | 187             | 166             | 166             |
| Mineralisatie |                   | 388             |                 | 387             |                 | 380             |                 | 371             |
| Depositie     |                   | 39              |                 | 39              |                 | 39              |                 | 39              |
| Nitrificatie  | 360               |                 | 355             |                 | 333             |                 | 307             |                 |
| <b>Totaal</b> | <b>568</b>        | <b>635</b>      | <b>559</b>      | <b>630</b>      | <b>520</b>      | <b>606</b>      | <b>473</b>      | <b>576</b>      |

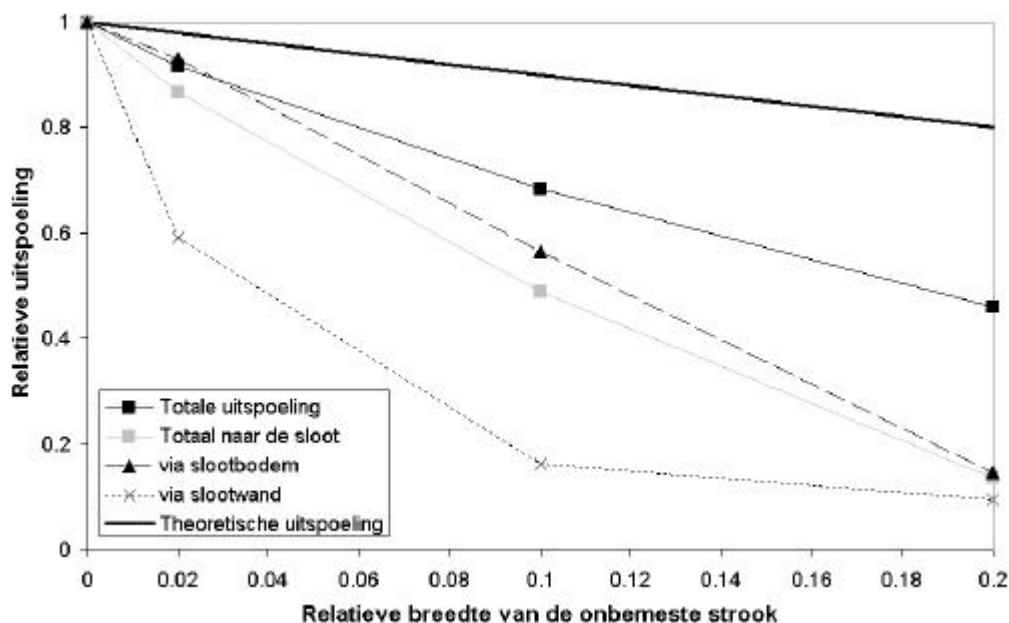
| UIT (kg N/ha)           | Strookbreedte (m) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                         | 0 m               |                 | 1 m             |                 | 5 m             |                 | 10 m            |                 |
|                         | NO <sub>3</sub>   | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> |
| Plant opname            | 515               | 266             | 507             | 266             | 472             | 264             | 429             | 262             |
| Accumulatie in de bodem | 11                | 1               | 11              | 1               | 12              | 1               | 13              | 0               |
| Denitrificatie          | 27                | 8               | 26              | 8               | 25              | 8               | 24              | 7               |
| Nitrificatie            |                   | 360             |                 | 355             |                 | 333             |                 | 307             |
| Uitspoeling             | 15                | 0               | 14              | 0               | 10              | 0               | 7               | 0               |
| <b>Totaal</b>           | <b>568</b>        | <b>635</b>      | <b>558*</b>     | <b>630</b>      | <b>519*</b>     | <b>606</b>      | <b>473</b>      | <b>576</b>      |

Met name de totale nitraatopname neemt sterk af bij een toename van de onbemeste strookbreedte. Dit wordt in zijn geheel veroorzaakt door de afname van de nitraatopname in de onbemeste strook. De opname in het bemeste deel van het perceel wordt niet beïnvloed. De opname van nitraat in de onbemeste strook van 1 m en 10 m is respectievelijk 139 kg N/ha en 101 kg N/ha. Dit suggereert dat bij de smalle strook de afname in de nitraatopname mogelijk deels gecompenseerd wordt door laterale aanvoer vanuit het bemeste deel.

In absolute zin neemt de totale nitraatuitspoeling niet veel af bij een toenemende breedte van de onbemeste strook. In relatieve zin, ten opzichte van de referentiesituatie, neemt de totale uitspoeling af met meer dan 50% bij een strookbreedte van 10 m. Een groot deel van de totale uitspoeling gaat via de onderrand. Deze hoeveelheid wordt nauwelijks beïnvloed door de breedte van de onbemeste strook. Het effect van de strookbreedte op de uitspoeling naar de sloot is dus nog groter dan 50%. Bij een strookbreedte van 1, 5 en 10 m komt respectievelijk 8,2, 4,6 en 1,3 kg N/ha in de sloot. Rekening houdend met de bijbehorende netto waterflux naar de sloot, betekent dit gemiddeld een nitraatconcentratie van respectievelijk 11, 6,2 en 1,7 mg N/l. De nitraatconcentratie in de situatie zonder onbemeste strook was 13 mg N/l.

In figuur 7 is de totale uitspoeling per strookbreedte uitgesplitst naar de verschillende randen. In de figuur is de relatieve uitspoeling uitgezet tegen de relatieve strookbreedte. Het perceel is 50 m breed (eigenlijk is het perceel 100 m breed, maar vanwege symmetrie hoeft slechts de helft beschouwd te worden (§2.2.2)). De grootste onbemeste strook in deze studie is 10 m, oftewel een relatieve breedte van 0,2. De uitspoeling over de verschillende randen bij de diverse strookbreedtes is uitgezet ten opzichte van de uitspoeling over dezelfde rand voor de berekening zonder

onbemeste strook. Een voor de hand liggende reden voor de geringere uitspoeling bij gebruik van bufferstroken is de afname van de totale bemesting als gevolg van een kleiner bemest oppervlak. De relatieve afname van de bemesting ten opzichte van een volledig bemest perceel is gelijk aan de relatieve breedte van de bufferstrook. De dikke zwarte lijn in figuur 7 geeft de (referentie-)uitspoeling van een inerte stof in een stationaire situatie weer als functie van de relatieve strookbreedte. Wanneer de afname van de totale bemesting het enige effect van de onbemeste strook zou zijn, dan geeft deze lijn de bijbehorende relatieve uitspoeling weer. Wanneer de onbemeste strook bijvoorbeeld een kwart van de perceelsbreedte is, zal de relatieve uitspoeling 25% minder oftewel 0.75 zijn.



Figuur 7. De relatieve nitraat-uitspoeling als functie van de relatieve breedte van de onbemeste strook. Uitgezet zijn de totale uitspoeling over alle randen van het beschouwde profiel, de totale uitspoeling naar de sloot, de uitspoeling via de slootwand, de uitspoeling via de slootbodern en de referentie-uitspoeling ("theoretische uitspoeling") van een inerte stof in een stationaire situatie

Uit figuur 7 blijkt dat het effect van een onbemeste strook op de (relatieve) uitspoeling van nitraat zeer groot is. De reductie van de uitspoeling is bij een bepaalde breedte van de onbemeste strook veel groter dan op basis van de referentie verwacht mag worden. Oftewel er zijn meer effecten dan alleen de afname van de bemesting. Het toepassen van een onbemeste strook beïnvloedt de processen in de bodem op een zodanige wijze, dat er minder nitraat beschikbaar is voor uitspoeling. Het toepassen van een onbemeste strook in deze zin is dan ook een effectieve maatregel om nitraat-uitspoeling tegen te gaan. Het toepassen van een onbemeste strook langs de sloot van 5 m zal volgens de modelberekeningen in deze situatie de uitspoeling naar de sloot doen afnemen met 50%.

Gezien het feit dat de lijn voor de totale relatieve uitspoeling naar de sloot dicht bij de lijn voor de uitspoeling via de slootbodern ligt, duidt er op dat de bijdrage aan de uitspoeling via de slootbodern in deze situatie veel groter is dan de bijdrage via de slootwand.

De effectiviteit van een bufferstrook wordt ook wel eens op de volgende twee manieren gedefinieerd (Orleans *et al.*, 1994), ten eerste als:

$$E_1 = \frac{(U_B - U_S)}{U_B},$$

waarin:

$U_B$  = de totale uitspoeling is bij volledige bemesting

$U_S$  = de totale uitspoeling is bij aanwezigheid van een bufferstrook. De effectiviteit  $E_1$  is het complement van de relatieve uitspoeling getoond in figuur 7. Een tweede manier om de effectiviteit te definiëren is als de relatieve vermindering ten opzichte van de stroom  $I$  vanuit het bemeste gedeelte naar de bufferstrook:

$$E_2 = \frac{I - U_S}{I}$$

Deze grootheid geeft dus het gedeelte van de stikstof weer, die instroomt in de bufferstrook en in de bufferstrook wordt afgevoerd door middel van gewasopname en denitrificatie. De instroom  $I$  kan in principe berekend worden uit een balans over het bemeste gedeelte. Omdat het voor sommige posten niet mogelijk is deze uit te splitsen over het bemeste en onbemeste gedeelte, moesten schattingen gemaakt worden. De resultaten voor effectiviteit  $E_2$  zijn daarom nogal onzeker. In tabel 10 worden beide grootheden getoond als functie van de strookbreedte. De analyse door Orleans *et al.* (1994) van Amerikaanse en Engelse resultaten leverde overeenkomstige hoge waarden.

Tabel 10. Effectiviteit van de bufferstrook als functie van de strookbreedte.

| Strookbreedte | Effectiviteit $E_1$ (%) | Effectiviteit $E_2$ (%) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 m           | 8                       | 97                      |
| 5 m           | 32                      | 91                      |
| 10 m          | 54                      | 94                      |

Voor de volledigheid zijn in tabel 11 de berekende droge stof- en N-grasopbrengsten voor het onbemeste en bemeste deel van het perceel en voor het totale perceel weergegeven als functie van de breedte van de onbemeste strook.

Tabel 11. Grasopbrengsten (in kg droge stof/ha en kg N/ha) voor het onbemeste en bemeste deel van het perceel als functie van de breedte van de onbemeste strook.

| Oogstopbrengst (kg/ha)  | Strookbreedte (m) |       |       |       |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
|                         | 0 m               | 1 m   | 5 m   | 10 m  |
| <b>Onbemeste strook</b> |                   |       |       |       |
| Droge stof              | nvt               | 5985  | 5060  | 4941  |
| Stikstof                | nvt               | 175   | 150   | 147   |
| <b>Bemeste strook</b>   |                   |       |       |       |
| Droge stof              | 12700             | 12700 | 12700 | 12700 |
| Stikstof                | 509               | 509   | 509   | 508   |
| <b>Totale perceel</b>   |                   |       |       |       |
| Droge stof              | 12700             | 12600 | 12000 | 11200 |
| Stikstof                | 509               | 502   | 473   | 437   |

### 3.3 Nat versus een normaal weerjaar

Het neerslagoverschot van het natte weerjaar (1998) is bijna 200 mm meer (§2.3.1) dan het neerslagoverschot van het normale weerjaar (1985). In tabel 12 is het effect van dit natte weerjaar bij verschillende strookbreedtes weergegeven op de waterbalans.

Tabel 12. Posten van de waterbalans in mm/jaar voor een nat weerjaar (1998) en een normaal weerjaar (1985). De breedtes van de onbemeste strook zijn 0 en 10 m. De resultaten van het normale weerjaar (zie tabel 8) zijn ter vergelijking weergegeven.

| Symbool<br>in figuur 4 | Waterbalanspost (mm/j)                       | 1998   |      | 1985   |      |
|------------------------|--|--------|------|--------|------|
|                        |  | 0m     | 10m  | 0m     | 10m  |
| 1                      | Neerslag                                     | 966    | 966  | 741    | 741  |
| 2                      | Actuele evaporatie                           | 80     | 98   | 84     | 100  |
| 3                      | Actuele transpiratie van de onbemeste strook | n.v.t. | 228  | n.v.t. | 227  |
| 4                      | Actuele transpiratie van de bemeste strook   | 354    | 342  | 334    | 333  |
| 5                      | Runoff                                       | 147    | 148  | 14     | 14   |
| 6                      | Uitstroming via seepage face                 | 1      | 1    | 0      | 0    |
| 7                      | Instroming via slootwand                     | -4     | -11  | 25     | 23   |
| 8                      | Instroming via slootbodem                    | -143   | -152 | -97    | -99  |
| 9                      | Instroming via andere drainageniveaus        | 0      | 0    | -3     | -3   |
| 10                     | Wegzijging over de onderrand                 | 227    | 227  | 227    | 227  |
| ?Berging               | Verandering van de waterberging              | 4      | 3    | 4      | 4    |
|                        | Waterbalansfout over 10 jaar                 | 2.0%   | 2.3% | 1.4%   | 1.5% |

Via de slootwand stroomde in 1985 nog netto water vanuit de sloot het bodemprofiel in. In 1998 stroomt er via de slootwand juist water vanuit het profiel de sloot in. De uitstroming via de slootbodem is in 1998 toegenomen ten opzichte van 1985. De actuele transpiratie van de bemeste strook is in 1998 iets groter dan in 1985. De berekende runoff in 1998 is hoog en duidelijk toegenomen ten opzichte van 1985.

Ook in 1998 blijft de actuele transpiratie van de onbemeste strook achter bij de actuele transpiratie van de bemeste strook. De actuele evaporatie neemt wel toe, maar kan de afname in de actuele transpiratie niet volledig compenseren. Het profiel wordt echter niet veel natter. De uitstroming naar de sloot neemt namelijk toe bij het gebruik van een 10 m brede, onbemeste strook.



In tabel 13 zijn de nitraat- en ammoniumbalans weergegeven voor 1998 en 1985.

Tabel 13. Nutriëntenbalans (kg N/ha) voor een nat (1998) en normaal (1985) weerjaar uitgesplitst naar nitraat en ammonium. De breedtes van de onbemeste strook zijn 0 en 10 m. De resultaten van het normale weerjaar (zie tabel 9) zijn ter vergelijking weergegeven. Kleine verschillen in de ammoniumbalans als gevolg van afronding zijn weergegeven met een (\*).

| IN (kg N/ha)  | 1998            |                 |                 |                 | 1985            |                 |                 |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|               | 0 m             |                 | 10 m            |                 | 0 m             |                 | 10 m            |                 |
|               | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> |
| Bemesting     | 208             | 208             | 166             | 166             | 208             | 208             | 166             | 166             |
| Mineralisatie |                 | 394             |                 | 369             |                 | 388             |                 | 371             |
| Depositie     |                 | 50              |                 | 50              |                 | 39              |                 | 39              |
| Nitrificatie  | 345             |                 | 303             |                 | 360             |                 | 307             |                 |
| <b>Totaal</b> | <b>553</b>      | <b>652</b>      | <b>469</b>      | <b>585</b>      | <b>568</b>      | <b>635</b>      | <b>473</b>      | <b>576</b>      |

| UIT (kg N/ha)           | 1998            |                 |                 |                 | 1985            |                 |                 |                 |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                         | 0 m             |                 | 10 m            |                 | 0 m             |                 | 10 m            |                 |
|                         | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> |
| Plant opname            | 505             | 300             | 423             | 275             | 515             | 266             | 429             | 262             |
| Accumulatie in de bodem | 6               | -2              | 9               | -2              | 11              | 1               | 13              | 0               |
| Denitrificatie          | 29              | 10              | 29              | 9               | 27              | 8               | 24              | 7               |
| Nitrificatie            |                 | 345             |                 | 303             |                 | 360             |                 | 307             |
| Uitspoeling             | 13              | 0               | 8               | 0               | 15              | 0               | 7               | 0               |
| <b>Totaal</b>           | <b>553</b>      | <b>653*</b>     | <b>469</b>      | <b>585</b>      | <b>568</b>      | <b>635</b>      | <b>473</b>      | <b>576</b>      |

In tabel 14 zijn de berekende grasopbrengsten (droge stof en stikstof) voor 1998 weergegeven als functie van de breedte van de onbemeste strook.

Tabel 14. Grasopbrengsten (in kg droge stof/ha en kg N/ha) voor het onbemeste en bemeste deel van het perceel als functie van de breedte van de onbemeste strook voor 1998.

| Oogstopbrengst (kg/ha)  | 1998  |       |
|-------------------------|-------|-------|
|                         | 0 m   | 10 m  |
| <b>Onbemeste strook</b> |       |       |
| Droge stof              | Nvt   | 5679  |
| Stikstof                | Nvt   | 153   |
| <b>Bemeste strook</b>   |       |       |
| Droge stof              | 13926 | 13628 |
| Stikstof                | 527   | 519   |

De depositie in 1998 is hoger dan in 1985 (tabel 13), omdat deze berekend is met behulp van een vaste fractie per eenheid neerslag (zie paragraaf 2.3.4.3).

De nitrificatie is onder andere afhankelijk van het aanbod aan ammonium, maar ook van het vochtgehalte. Helaas kan aan de hand van de resultaten in tabel 13 niet met zekerheid verklaard worden, waardoor de nitrificatie in 1998 iets is afgenomen ten opzichte van 1985. Wel kan opgemerkt worden dat er 17 kg/ha ammonium meer in het profiel beschikbaar is. De ammonium-opname is ten opzichte van 1985 gestegen met 34 kg/ha. Dit betekent grofweg dat er 17 kg/ha minder beschikbaar was om te nitrificeren. De denitrificatie is in het natte jaar overeenkomstig de verwachting hoger dan in het normale weerjaar.

De stikstofopname door het gras is in 1998 hoger dan in 1985. De relatieve bijdrage van ammonium aan deze opname is daarbij iets groter geworden (tabel 13). De geoogste hoeveelheid stikstof en droge stof zijn in het natte jaar (tabel 14) hoger dan in het normale weerjaar (tabel 11) bij gelijke breedte voor de onbemeste strook.

De voorraad nitraat in de bodem neemt in het natte weerjaar minder toe dan in het normale weerjaar. De voorraad ammonium in de bodem neemt zelfs licht af in het natte jaar, terwijl in het normale weerjaar nog een minimale voorraadstijging geconstateerd werd.

In 1998 worden dezelfde effecten op de stikstofbalans waargenomen als in 1985 (zie §3.2) bij het gebruik van een onbemeste strook. Ook de orde van grootte van de effecten zijn in grote lijnen vergelijkbaar. Uitzondering is de ammoniumopname. Deze is bij gebruik van een 10 m brede onbemeste strook in 1998 veel sterker afgenomen dan in 1985 bij gebruik van dezelfde strook.

De totale nitraatuitspoeling in 1998 is voor de situatie met en zonder onbemeste strook uitgesplitst naar de diverse randen. In tabel 15 is de relatieve nitraatuitspoeling over de verschillende randen weergegeven als gevolg van de aanwezigheid van de 10 m brede onbemeste strook.

*Tabel 15. Relatieve nitraatuitspoeling (%) voor de situatie met een 10 m brede onbemeste strook ten opzichte van de situatie zonder onbemeste strook van hetzelfde jaar. De gegevens van 1985 zijn reeds grafisch weergegeven in figuur 7. Voor uitleg over de relatieve en referentie-uitspoeling zie §3.2.*

|                        | <b>1998 (nat jaar)</b> | <b>1985 (normaal jaar)</b> |
|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Totale uitspoeling     | 58                     | 46                         |
| Totaal naar de sloot   | 37                     | 14                         |
| Via slootbodem         | 42                     | 15                         |
| Via slootwand          | 25                     | 9                          |
| Referentie-uitspoeling | 80                     | 80                         |

Uit tabel 15 blijkt dat de (relatieve) afname van de nitraatuitspoeling van de 10 m brede onbemeste strook in het natte jaar (1998) duidelijk lager is dan in het normale jaar (1985). Met andere woorden: in een nat jaar is het effect van een onbemeste strook op de nitraatuitspoeling veel minder. Wel is de (relatieve) afname van de nitraatuitspoeling ook in het natte jaar nog steeds gunstiger dan op basis van de referentie-uitspoeling verwacht mag worden.

### **3.4 Beekeerd**

Via de onderrand van het podzol-profiel (UC-plot 5564) uit de voorgaande paragrafen vindt wegzijging van water plaats naar de ondergrond. De beekeerdgrond (UC-plot 3072) heeft in tegenstelling tot de podzol juist een kwelflux via de onderrand. Met deze grond, de bijbehorende bodemfysische eigenschappen en de door SWAP berekende fluxen over de onderrand en linkerrand is een berekening uitgevoerd, die voor het overige vergelijkbaar is met de referentieberekening. Tijdens het uitvoeren van deze berekening ontstond een situatie, die hydrologische gezien

niet reëel was. De gekozen drainagesituatie sloot in geen geval aan bij de opgelegde fluxen over de onderrand en de linkerrand. Op de hellende percelen van de Mosbeek werd namelijk een verhouding gevonden van 0 – 13% afspoeling en 87-100% uitspoeling (Hendriks *et al.*, 1996). De verhouding afstroming en uitspoeling was voor onze “vlakke” beekerdgrond in een normaal weerjaar respectievelijk 53% en 47%.

Gekozen is om de horizontale dimensies van het representatieve element bij het doorrekenen van de beekerdgrond aan te passen. In plaats van 50 m is een breedte gekozen van 20 m, of anders gezegd in plaats van een slootafstand van 100 m één van 40, wat leidt tot een betere afwatering. Daarmee zijn vervolgens voor een normaal weerjaar een situatie zonder en met een 5 m brede onbemeste strook doorgerekend. In tabel 16 zijn de resulterende waterbalansen van deze twee situaties weergegeven.

Tabel 16. Posten van de waterbalans in mm/jaar voor de beekerdgrond in een normaal weerjaar (1985). De breedtes van de onbemeste strook zijn 0 en 5 m.

| Symbool<br>in figuur 4 | Waterbalanspost (mm/j)                       | 1985   |      |
|------------------------|--|--------|------|
|                        |  | 0m     | 5m   |
| 1                      | Neerslag                                     | 741    | 741  |
| 2                      | Actuele evaporatie                           | 132    | 153  |
| 3                      | Actuele transpiratie van de onbemeste strook | n.v.t. | 228  |
| 4                      | Actuele transpiratie van de bemeste strook   | 331    | 331  |
| 5                      | Runoff                                       | 41     | 39   |
| 6                      | Uitstroming via seepage face                 | 2      | 2    |
| 7                      | Instroming via slootwand                     | -147   | -151 |
| 8                      | Instroming via slootbodem                    | -493   | -494 |
| 9                      | Instroming via andere drainageniveaus        | -3     | -3   |
| 10                     | Wegzijing over de onderrand                  | -420   | -420 |
| ?Berging               | Verandering van de waterberging              | 3      | 3    |
|                        | Waterbalansfout over 10 jaar                 | 2.5%   | 2.4% |

De opgegeven neerslag was bij deze grond hetzelfde als bij de podzolgrond uit §3.1 tot en met §3.3. De runoff en actuele evaporatie zijn duidelijk hoger dan bij de podzol (referentieberekening; tabel 6).

Bij de beekerdgrond vindt over de onderrand een kwelflux plaats in tegenstelling tot de wegzijgingsflux bij de podzol. Dit heeft tot gevolg dat bij de beekerd zeer veel water via de slootwand en –bodem het profiel verlaat. In de situatie zonder onbemeste strook 640 mm/jr.

De effecten op de waterbalans als gevolg van de aanwezigheid van de onbemeste strook zijn vergelijkbaar met de effecten uit de voorgaande paragrafen. Bij aanwezigheid van de onbemeste strook neemt de totale actuele transpiratie af. De actuele evaporatie neemt toe. Daarnaast neemt de uitstroming naar de sloot toe.

Aangezien de berekening met de beekerdgrond en een onbemeste strook van 5 m breedte tijdens het 10<sup>de</sup> jaar crashte, worden in tabel 17 en 18 respectievelijk de nitraat- en ammoniumbalans weergegeven voor het 9<sup>de</sup> jaar.

Tabel 17. Nitraatbalans (kg N/ha) voor het 9<sup>de</sup> jaar en voor diverse breedtes van de onbemeste strook, namelijk 0 en 5 m. Het betreft hier de beekerdgrond. De met (\*) gemarkeerde waarden zijn het resultaat van afronding.

| <b>IN (NO<sub>3</sub>)</b> | <b>0 m</b> | <b>5 m</b> | <b>UIT (NO<sub>3</sub>)</b> | <b>0 m</b> | <b>5 m</b>  |
|----------------------------|------------|------------|-----------------------------|------------|-------------|
| Bemesting                  | 205        | 152        | Plant opname                | 371        | 287         |
| Mineralisatie              |            |            | Accumulatie in de bodem     | 0*         | 0*          |
| Depositie                  |            |            | Denitrificatie              | 53         | 43          |
| Nitrificatie               | 224        | 179        | Nitrificatie                |            |             |
|                            |            |            | Uitspoeling                 | 5          | 2           |
| <b>Totaal</b>              | <b>429</b> | <b>331</b> | <b>Totaal</b>               | <b>429</b> | <b>332*</b> |

Tabel 18. Ammoniumbalans (kg N/ha) voor het 9<sup>de</sup> jaar en voor diverse breedtes van de onbemeste strook, namelijk 0 en 5 m. Het betreft hier de beekerdgrond. De met (\*) gemarkeerde waarden zijn het resultaat van afronding.

| <b>IN (NH<sub>4</sub>)</b> | <b>0 m</b> | <b>5 m</b> | <b>UIT (NH<sub>4</sub>)</b> | <b>0 m</b> | <b>5 m</b> |
|----------------------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|
| Bemesting                  | 205        | 152        | Plant opname                | 391        | 366        |
| Mineralisatie              | 384        | 365        | Accumulatie in de bodem     | -3         | -2         |
| Depositie                  | 38         | 38         | Denitrificatie              | 15         | 12         |
| Nitrificatie               |            |            | Nitrificatie                | 224        | 179        |
|                            |            |            | Uitspoeling                 | 0*         | 0*         |
| <b>Totaal</b>              | <b>627</b> | <b>555</b> | <b>Totaal</b>               | <b>627</b> | <b>555</b> |

Bij vergelijking van de nutriëntenbalansen (tabel 17 en 18) van de beekerd-situatie zonder onbemeste strook met de referentieberekening (tabel 7) valt op dat de nitrificatie veel minder is in de beekerd-situatie (- 136 kg/ha), terwijl de mineralisatie wel vergelijkbaar is. Een groot deel van deze afname kan waarschijnlijk verklaard worden uit de toename van de ammonium-opname (+ 125 kg/ha). Wellicht is de beschikbaarheid van ammonium in de beekerd-situatie veel beter door de nattere omstandigheden. De hogere denitrificatie bij de beekerdgrond bevestigt eveneens de nattere omstandigheden.

Ten opzichte van de podzol (tabel 7) wordt bij de beekerd relatief meer stikstof door de plant opgenomen in de vorm van ammonium. De totale N-opname ligt bij de beekerd-situatie in dezelfde orde van grootte als bij de podzol. De geoogste hoeveelheid stikstof en droge stof wijken bij de beekerd-situatie zonder onbemeste strook met waarden van respectievelijk 503 kg N/ha en 12658 kg droge stof/ha nauwelijks af van de podzol-situatie zonder onbemeste strook.

In het beekerd-profiel vindt slechts een zeer kleine accumulatie van nitraat en zelfs een uitmijning van ammonium plaats. De uitgespoelde vracht naar de sloot is met 5 kg N/ha heel laag (tabel 17) en ligt 4.4 kg/ha lager dan in de situatie van het podzol-profiel. De nitraat-uitspoeling neemt met ±60% af wanneer een onbemeste strook van 5 m breed gebruikt wordt.

Andere effecten op de nutriëntenbalans, die optreden als gevolg van de aanwezigheid van de onbemeste strook, komen overeen met de effecten zoals beschreven in §3.2 en §3.3.

De gerealiseerde N- en droge stofopbrengst zijn in de onbemeste strook met waarden van respectievelijk 153 kg N/ha en 5121 kg droge stof/ha van dezelfde orde als bij de podzol-situatie met een strookbreedte van 5 m (tabel 11). De grasopbrengsten in het bemeste deel van het bekeerd-perceel wijken nauwelijks af van de opbrengsten in de bekeerd-situatie zonder onbemeste strook (namelijk 501 kg N/ha en 12610 kg droge stof/ha).



## 4 Conclusies

Dit rapport kan beschouwd worden als een vervolg op de studie van Van Beek & Heinen (2000). De belangrijkste verschillen hebben betrekking op de hydrologische randvoorwaarden en op het graslandbeheer. De gebezigde hydrologische randvoorwaarde in de studie van Van Beek & Heinen (2000) was slechts representatief voor een klein deel van de Nederlandse bodems. De hydrologische randvoorwaarde in de huidige studie is representatief voor een groter deel van het totale grasland-areaal. Daarnaast is het in de huidige studie mogelijk om de effecten van het beheer op de grasgroei in de onbemeste strook en in het bemeste deel van het perceel te onderscheiden.

Ook hier geldt de conclusie, zoals blijkt uit de modelberekeningen, dat een onbemeste bufferstrook leidt tot een behoorlijke reductie van uitspoelingsverliezen van stikstof. In een normaal jaar reduceert een onbemeste strook van 5 m (op een podzol-perceel van 50 m breed) de totale nitraatuitspoeling met 1/3 ten opzichte van de situatie zonder onbemeste strook. Bij een onbemeste strook van 10 m worden de totale uitspoelingsverliezen gereduceerd met ruim 50%. Naast reductie in de uitspoeling leidt een onbemeste strook ook tot opbrengstderving. Bij een 1 en 10 m brede onbemeste strook (op een podzol-perceel van 50 m) is deze opbrengstderving respectievelijk 1 en 12%. Deze derving moet worden meegewogen bij de evaluatie van effecten van bufferstroken.

In een nat weerjaar is de onbemeste strook op een podzol-perceel minder effectief. Een onbemeste strook van 10 m breed reduceert de totale nitraatuitspoeling in zo'n geval met ruim 40%.

Bij een bekeerd-profiel en een onbemeste strook van 5 m breed, nam de nitraatuitspoeling met 60% af. In deze situatie was dan wel 25% van het perceel onbemest.

In dit onderzoek is niet alleen het positieve effect van onbemeste stroken op de stikstof-uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater aangetoond. Tevens zijn op basis van modelberekeningen kwantitatieve uitspraken gedaan over de effectiviteit van de onbemeste stroken. Hierbij is (deels) tegemoet gekomen aan een aantal aanbevelingen van onder andere Van Beek & Heinen (2000) en Orleans *et al.* (1994).

Wel adviseren wij om in toekomstig (model)onderzoek aandacht te besteden aan onder andere de volgende punten:

- een validatie (en eventueel calibratie) van de modelresultaten op basis van veldmetingen onder praktijkomstandigheden. Met name op het gebied van mineralisatie, nitrificatie en het graslandbeheer (oogstmomenten) zijn verbeteringen van de modelresultaten mogelijk.
- onderzoek naar het effect van onbemeste stroken bij beweiding. In het huidige onderzoek is alleen geoogst via maaien. In de praktijk wordt ook beweid. Dit heeft effect op de stikstofinput en -omzettingen.
- onderzoek naar het effect van bufferstroken op de uitspoelings- en vooral afspoelingsverliezen van fosfaat.



## Referenties

Anoniem, 1997. Handboek Melkveehouderij. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.

Anoniem, 1998. Ecologisch onderzoek naar de effecten van bufferstroken langs watergangen. Een literatuuronderzoek naar werking, rendement en kansrijkdom. STOWA-rapport 98-26, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek en IWACO.

Beek, C.L. van & M. Heinen, 2000. Strategieën voor vermindering van N-belasting door grasland van het oppervlaktewater. Een verkennende studie naar de mogelijkheden van een gecombineerd gebruik van de simulatiemodellen FUSSIM en CNGRAS. Alterra rapport 20, Alterra, Wageningen.

Bril, J., H.G. van Faassen & H. Klein Gunnewiek, 1994. Modeling N<sub>2</sub>O emission from grazed grassland. Rapport 24, DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility, Haren.

Conijn, J.G., 2002. Improvements of nitrification and denitrification module NITDEN. Rapport ??, Plant Research International, Wageningen (*in press*).

Conijn, J.G., 2002. Description of a grassland management model for C and N flows at field scale. Wageningen (*in prep.*).

Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk & C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Technical document 45, DLO-Staring Centre en Wageningen Agricultural University, Wageningen.

Genuchten, M.T. van, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44:892-898.

Groenendijk, P. & J.G. Kroes, 1999. Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water with ANIMO 3.5. Report 144, DLO-Staring Centre, Wageningen.

Heinen, M., 1997. Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.

Heinen, M. & P. de Willigen, 1998. FUSSIM2. A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport, and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, DLO Research Institute for Agrobiological Sciences and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen.

Heinen, M. & P. de Willigen, 2001. FUSSIM2 version 5. New features and updated user guide. Alterra rapport 363, Alterra, Wageningen.

Hendriks, R.F.A., G.J. Leene, H.T.L. Massop & R. Kruijne, 1996. Perceelonderzoek naar het effect van beekbegeleidende bufferstroken op de stikstof- en fosforbelasting van de Mosbeek. Gebiedsbeschrijving, veldonderzoek en modelmatige analyse van de hydrologie. Rapport 420.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Keulen, H. van, H.G. van der Meer & I. de Boer, (1996) Nutrient balances of livestock production systems in the Netherlands In *Utilization of local feed resources by dairy cattle: perspectives of environmentally balanced production systems*. (Groen, A. & Van Bruchem, J. eds.) Wageningen.

Kraalingen, D.W.G. van & W. Stol, 1997. Evapotranspiration modules for crop growth simulation. Implementation of the algorithms from Penman, Makkink and Priestley-Taylor. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 11, DLO Research Institute for Agrobiological Sciences and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen.

Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon & R. Pastoors, 2001. Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0. Alterra rapport 298, Reeks Milieuplanbureau 16, Alterra, Wageningen.

Massop, H.T.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors & J. Huygen, 2000. Hydrologie voor STONE. Schematisatie en parametrisatie. Alterra rapport 38, Reeks Milieuplanbureau 9, Alterra, Wageningen.

Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research* 12:513-522.

Orleans A.B.M., F.L.T. Mugge, T. van der Meij, P. Vos & W.J. ter Keurs, 1994. Minder nutriënten in het oppervlakte water door bufferstroken? Een literatuuranalyse. *Milieubiologie*, Rijks Universiteit Leiden.

Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1:318-333.

Willigen, P. de & M. van Noordwijk, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen.

Willigen, P. de & M. van Noordwijk, 1994a. Mass flow and diffusion of nutrients to a root with constant or zero-sink uptake I. Constant uptake. *Soil Science* 157: 162-170.

Willigen, P. de & M. van Noordwijk, 1994b. Mass flow and diffusion of nutrients to a root with constant or zero-sink uptake II. Zero-sink uptake. *Soil Science* 157: 171-175.

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

Wösten J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom & A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250000, ten behoeve van de PAWN-studie. Rapport 2055, Stiboka, Wageningen.

