

ST/100/126, 2<sup>e</sup> CX

# Berekening van de nitraatuitspoeling naar het grondwater met behulp van eenvoudige modellen

G. van Drecht  
F.R. Goossensen  
M.J.D. Hack-ten Broeke  
E.J. Jansen  
J.H.A.M. Steenvoorden

ST/100/126  
STARING-CENTRUM

Rapport 163

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1991



07 572 0002

lib: 553013

## REFERAAT

G. van Drecht, F.R. Goossensen, M.J.D. Hack-ten Broeke, E.J. Jansen & J.H.A.M. Steenvoorden, 1991. *Berekening van de nitraatuitspoeling naar het grondwater met behulp van eenvoudige modellen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 163. 99 blz.; 19 fig.; 42 tab.; 3 aanh.

Negen eenvoudige modellen voor berekening van nitraatuitspoeling zijn vergeleken met behulp van een aantal datasets. De modellen met de beste resultaten zijn vervolgens gebruikt voor scenario-studies om een indicatie te geven van effecten van eventuele toekomstige maatregelen in de landbouw. Bij grasland kan volgens de berekeningen de nitraatuitspoeling bij zandgronden fors worden verlaagd door vermindering van de N-gift en emissie-arme toediening ten opzichte van een gift van  $400 \text{ kg.ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  en bovengrondse toediening van mest. Vanwege de grote verschillen die blijven bestaan tussen modelberekeningen en proefveldgegevens worden een aantal voorstellen gedaan voor verder onderzoek.

Trefwoorden: nitraatuitspoeling, modelvergelijking, scenarioberekeningen

ISSN 0927-4499

Dit rapport is tevens verschenen als:

- Rapport 728472009 van het Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne te Bilthoven;
- Interne Notitie 12 van het Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, afdeling Veehouderij en Milieu te Ede.

©1991 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen  
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

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

Het DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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

# INHOUD

	blz.
VOORWOORD	11
SAMENVATTING	13
1 INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING	15
2 BESCHRIJVING VAN MODELLEN	17
2.1 Inleiding	17
2.2 Modelvergelijking per aspect	17
2.3 Modellen KOL en WAL	22
2.4 Model NITRIN	26
2.5 Model NPK	28
2.6 Model DGM	29
2.7 Modellen RUL en NLOAD	31
2.8 Model RENLEM	33
3 BESCHRIJVING DATASETS	37
3.1 Algemeen	37
3.2 Beschrijving van de datasets	37
3.3 Invloed van de grondwaterstand op de uitspoeling	46
3.4 Modelvorming op basis van het proefveldonderzoek	47
4 EVALUATIE VAN DE MODELRESULTATEN	49
4.1 Modelresultaten per dataset	49
4.1.1 Grasland op zandgrond	49
4.1.2 Grasland op kleigrond	51
4.1.3 Snijmaïs op zandgrond	51
4.2 Vergelijking van modelresultaten	51
4.2.1 Methodiek	51
4.2.2 Selectie van proefveldgegevens	54
4.2.3 Grasland op zandgrond	55
4.2.4 Snijmaïs op zandgrond	57
4.3 Conclusies	59
5 RESULTATEN VAN DE SCENARIOBEREKENINGEN	71
5.1 Selectie van modellen	71
5.2 Grasland	71
5.3 Maïsland	75
5.4 Bouwland	76
5.5 Conclusies	77
6 CONCLUSIES, DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	79
LITERATUUR	83

## AANHANGSELS

1	Lijst van begrippen	87
2	Invloed van de grondwaterstand op de nitraatuitspoeling	91
3	Gegevens van de bemesting, afvoer en uitspoeling per proefveld	97

## FIGUREN

1	Nitraatuitspoeling als functie van de toegediende minerale N bij een vrij diepe grondwaterstand (> 1 m -m.v.), (naar Kolenbrander 1981)	24
2	Nitraatuitspoeling als functie van de toegediende minerale N bij een diepe grondwaterstand (> 2 m -m.v.), (naar Walther 1989)	24
3	Gemiddelde nitraatconcentratie gedurende het uitspoelingsseizoen in het grondwater op 1,0 m -m.v. onder gemaaid grasland op zandgrond als functie van de werkzame N-gift	40
4	Gemiddelde nitraatconcentratie gedurende het uitspoelingsseizoen in het grondwater op 0,90 m -m.v. onder snijmaïs op zandgrond met Gt IV, bij drie verschillende toedienings-tijdstippen en twee niveaus van rundveedrijfmestgift met wel of niet toedienen van nitrificatieremmer	40
5	Gemiddelde nitraatconcentratie op circa 1 m -m.v. onder uitsluitend beweid grasland op zandgrond (Gt VI) en kleigrond (Gt IV), en onder uitsluitend gemaaid grasland op zandgrond (Gt VII) als functie van de bemesting met kunstmest-N	44
6	Gemiddelde nitraatconcentratie gedurende het uitspoelingsseizoen in het grondwater op 1,0 m -m.v. bij snijmaïs op zandgrond met Gt VI bij verschillende wintergewassen als functie van de bemesting met kunstmest-N	44
7	Gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater onder beweid grasland op zandgrond van 10 stikstofproef-bedrijven als functie van de grondwatertrap	46
8	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met de proefveldfunctie volgens Boumans met gemeten waarden	48
9	Enkele voorbeelden van de vergelijking van fictieve modelberekeningen met fictieve waarnemingen	54
10	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snij maïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model KOL met gemeten waarden	60
11	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model WAL met gemeten waarden	61
12	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NITRIN met gemeten waarden	62

13	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NPK-88 met gemeten waarden	63
14	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NPK-89 met gemeten waarden	64
15	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; van waarden berekend met model DGM met gemeten waarden	65
16	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model RUL met gemeten waarden	66
17	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NLOAD met gemeten waarden	67
18	Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model RENLEM met gemeten waarden	68
19	Nitraatuitspoeling op een proefveld beweid grasland (a) en snijmaïs (b) op kleigrond met Gt IV; vergelijking van waarden berekend met diverse modellen met gemeten waarden	69

#### TABELLEN

1	Bron en naam van de onderzochte modellen	17
2	Toepassingsmogelijkheden van de modellen	18
3	Stikstofbalanspost, op basis waarvan de uitspoeling van kunstmest, dierlijke mest en weidemest door de verschillende modellen wordt berekend	19
4	Wijze, waarop vervluchtiging bij aanwenden van dierlijke mest, in het model is verwerkt	21
5	Onderscheiden uitrijperioden per model	21
6	Correctiefactoren voor de uitspoeling als functie van de grondwatertrap (Gt), (Boumans et al., 1989)	22
7	Nitraatuitspoeling van een perceel beweid grasland (met 2,7 koe per ha) als functie van de oppervlakte urineplekken per koe, berekend met model KOL	25
8	Uitspoeling van kunstmest bij toediening in de winter in een lysimeter met grasland op zandgrond als fractie van de kunstmestgift (naar Kolenbrander 1981)	26
9	Stikstofwerking van dierlijke mest als functie van grondgebruik, uitrijperiode en vervluchtiging bij gebruik van rundveedrijfmest, gebruikt in model NITRIN	27
10	Extra uitspoeling van dierlijke mest als functie van grondgebruik, uitrijperiode en vervluchtiging bij gebruik van rundveedrijfmest, gebruikt in model NITRIN	28
11	Basisuitspoeling van diep ontwaterde grond per grondsoort en grondgebruik, gebruikt in model DGM	30

	blz.	
12	Uitspoeling van kunstmest bij een diep ontwaterde grond (Gt VII*) als fractie van de kunstmestgift, gebruikt in model DGM	30
13	Uitspoeling van dierlijke mest bij een diep ontwaterde grond (Gt VII*) als fractie van de toegediende stikstof, gebruikt in model DGM	31
14	Stikstofwerking van dierlijke mest als functie van grondgebruik, uitrijtijdstip en vervluchtiging, gebruikt in model RUL	32
15	Bemestingsuitspoeling bij een diep ontwaterde grond (Gt VII*) als fractie van de toegediende werkzame N, gebruikt in model RUL	32
16	Extra uitspoeling van stikstof in dierlijke mest als functie van grondgebruik en uitrijperiode en vervluchtiging, gebruikt in model RUL	32
17	Invloed van bemesting met kunstmest en dierlijke mest op de afvoer van N in het gemaaid gras en de nitraatuitspoeling op 1 m -m.v. voor gemaaid grasland op zandgrond met Gt V/VI, proefveld te Ruurlo	37
18	Invloed van het tijdstip van drijfmestinjectie op de N-afvoer in snijmaïs en de nitraatuitspoeling op 0,90 m -m.v., proefveld te Wageningen op zandgrond met Gt VI	39
19	Invloed van de kunstmestbemesting op de N-afvoer via gras en de nitraatuitspoeling op 1 meter diepte onder gemaaid grasland op een enkeerdgrond met Gt VIII; proefveld te HEINO	41
20	Invloed van beweiding op de N-afvoer en de nitraatuitspoeling op circa 1 m -m.v. onder uitsluitend beweid grasland op zandgrond (Gt VI) en kleigrond (Gt IV). Proefvelden te Wageningen en Swifterband	42
21	Invloed van de teelt van wintergewassen op de nitraatuitspoeling bij de continue teelt van snijmaïs op een veldpodzol met Gt VI. Proefveld te Heino	43
22	Gemiddelde bemesting met kunstmest, dierlijke mest, toevoer van N door beweiding, nitraatconcentratie en nitraatuitspoeling per Gt van 10 proefboerderijen in het zandgebied	45
23	Invloed van de grondwatertrap op de correctiefactor voor de nitraatuitspoeling. (Boumans et al., 1989; Steenvoorden, 1988)	46
24	Statistische criteria voor de evaluatie van modelresultaten (Loague & Green 1991)	52
25	Statistische criteria voor fictieve modelresultaten en fictieve waarnemingen, ter illustratie van de gevolgde methodiek	53
26	Schatting van de netto mineralisatie op basis van de N-balans van de onbemeste objecten voor de diverse datasets	55
27	Vergelijking van de resultaten van eenvoudige N-modellen met meetgegevens van veldonderzoek door toepassing van statistische criteria: grasland op zandgrond	56
28	Lineaire regressie analyse van de resultaten van eenvoudige N-modellen (y) tegen meetgegevens van veldonderzoek (x) voor grasland op zandgrond	57
29	Vergelijking van de resultaten van eenvoudige N-modellen met meetgegevens van veldonderzoek: snijmaïs op zandgrond	58

30	Lineaire regressie analyse van de resultaten van eenvoudige N-modellen (y) tegen meetgegevens van veldonderzoek (x) voor snijmaïs op zandgrond	58
31	Scenario's ten behoeve van berekening van de nitraatuitspoeling onder grasland op zandgrond en kleigrond	71
32	Stikstoftoevoer uit drijfmest, kunstmest en door beweiding van een graslandbedrijf op zandgrond en kleigrond bij drie beweidings-systemen en vier scenario's	72
33	Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond; Maaien	73
34	Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond; Overdag weiden	73
35	Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond; Dag en nacht weiden	73
36	Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op kleigrond; Maaien	74
37	Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op kleigrond; Overdag weiden	74
38	Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op kleigrond; Dag en nacht weiden	74
39	Scenario's ten behoeve van berekening van de nitraatuitspoeling onder snijmaïs in continueelt op zandgrond	75
40	Berekende nitraatuitspoeling bij snijmaïs op zandgrond	75
41	Berekende nitraatuitspoeling bij bouwland op zandgrond	76
42	Relatie tussen de grondwatertrap en de nitraatuitspoeling	93

## VOORWOORD

In juni 1990 is door de Ministers van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Verkeer en Waterstaat de Commissie Stikstof ingesteld om te adviseren ten aanzien van maatregelen ter vermindering van de stikstofbelasting van grond- en oppervlaktewater.

Voor de werkzaamheden van de Commissie Stikstof bestond behoefte aan een eenvoudig model voor de berekening van de nitraatuitspoeling. Dit is de reden dat medewerkers van het Rijkst Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, het Informatie en Kennis Centrum Veehouderij en van het DLO-Staring Centrum de beschikbare kennis hebben gebundeld in dit rapport.



## SAMENVATTING

In dit rapport zijn negen eenvoudige modellen, waarmee de nitraatuitspoeling op landbouwgronden kan worden berekend, getoetst met behulp van proefveldmetingen. Hiervoor is gebruik gemaakt van zeven datasets afkomstig van proefveldonderzoek van het Staring Centrum (SC-DLO), CABO-DLO en van resultaten van het onderzoek van RIVM/NMI op 10 stikstofproefbedrijven. Naast deze toetsing zijn de modellen ook beoordeeld op hun bruikbaarheid voor scenariostudies.

Kenmerk van alle modellen is de betrekkelijke eenvoud. De meeste modellen bestaan uit een beperkte set relaties voor de nitraatuitspoeling bij verschillende vormen van bodemgebruik en grondsoort. Het doel van deze modelvergelijking was te komen tot inzicht in de mogelijkheden om met behulp van eenvoudige modellen tot een goede voorspelling van de nitraatuitspoeling te komen. Vervolgens zijn de meest geschikte modellen gebruikt voor scenariostudies.

De modelresultaten zijn op de volgende manier beschouwd:

- statistische analyse van metingen op proefvelden vergeleken met de resultaten van modelberekeningen;
- visuele beoordeling van berekende - ten opzichte van gemeten nitraatuitspoeling;
- toepassingsgebied van de modellen.

Deze drie punten hebben niet allemaal hetzelfde gewicht; zo weegt de statistische analyse zwaarder dan de visuele beoordeling. Na deze toetsing viel voor grasland de helft van de in beschouwing genomen modellen af. Vijf modellen voldeden in ongeveer gelijke mate voor grasland op zandgrond aan de statistische toetsing. Dit zijn de modellen KOL (Kolenbrander, 1981), NITRIN (Hoeymakers, 1986), DGM (DGM/IPO/VNG, 1988), RUL (Dorenbosch, 1987) en NLOAD (Van Drecht, 1990). Voor grasland op kleigrond is bij gebrek aan voldoende proefveldgegevens geen statistische toetsing uitgevoerd.

Geen van de onderzochte modellen bleek in staat de uitspoeling onder proefvelden met snijmaïs goed te voorspellen. Alle modellen berekenen een te kleine uitspoeling vergeleken met de proefveldwaarnemingen. Als verklaring hiervoor is aangevoerd dat de mineralisatie op maïsland in continueelt dermate hoog is, en door de jaren heen zo sterk varieert, dat deze post de uitspoeling ten gevolge van de bemesting overheerst en minder zichtbaar maakt. Het is heel goed mogelijk dat over een aantal jaren de invloed van de mineralisatie verminderd is.

Voor bouwland (rotatieteelten) is geen toetsing uitgevoerd, eveneens door een gebrek aan toetsingsgegevens.

Vervolgens zijn verschillende bemestingsscenario's voor grasland, snijmaïs en bouwland doorgerekend. De verschillen tussen de berekeningsresultaten van de modellen voor grasland op zandgrond zijn aanzienlijk. Bij gemaaid grasland op

zandgrond met een diepe grondwaterspiegel en een stikstofniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  varieert de nitraatuitspoeling (in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N) van 53 (model DGM) tot 172 (model RUL). Bij beweid grasland op zandgrond (dag en nacht weiden) met een gemiddelde veebezetting zijn de verschillen in de berekende nitraatuitspoeling kleiner. De berekende nitraatuitspoeling (in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N) varieert van 105 (model DGM) tot 150 (model RUL). Een groot deel van de verschillen is te verklaren door verschillen in de modeleigenschappen, waardoor deze modellen zeer verschillend reageren op de overgang van maaien naar weiden. Hierdoor is het moeilijk op basis van deze berekeningen aan te geven wat de te verwachten nitraatuitspoeling is bij een bepaald stikstofniveau.

Alle modellen geven voor grasland op zandgrond een vergelijkbare daling van de uitspoeling bij verlaging van het stikstofniveau. Op gemaaid en beweid grasland neemt de nitraatuitspoeling bij verlaging van het stikstofniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  met bovengrondse mestaanwending tot  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  met emissie-arme mestaanwending af met circa 50%. Bij een verlaging van het stikstofniveau tot  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  neemt de nitraatuitspoeling af met circa 70%.

Voor maïs- en bouwland op zandgrond zijn ook enige scenarioberekeningen uitgevoerd. Maar omdat bij de modeltoetsing geen van de modellen in staat bleek de uitspoeling onder maïs- en bouwland goed te voorspellen moeten de berekeningsresultaten voor deze grondgebruiksvormen als indicatief worden beschouwd.

Om toekomstige ontwikkelingen in de nitraatuitspoeling te kunnen voorspellen is het noodzakelijk dat de modellen met nieuwe ontwikkelingen rekening kunnen houden. Voor grasland gaat het dan met name om de effecten van het uitrijverbod en de effecten van emissie-arme aanwendingstechnieken. Andere belangrijke aspecten voor grasland zijn:

- het verschil in uitspoeling bij beweiden en maaien,
- de ontwikkeling van de mestproduktie door rundvee en
- het verschil in de uitspoeling van dierlijke mest en kunstmest.

Voor maïsland en bouwland is eveneens het effect van het uitrijverbod en de onderwerkverplichting van belang. Daarnaast neemt tot 2000 de mestgift op maïsland sterk af onder invloed van de mestwetgeving (fosfaatnormering). Verder zijn van belang de teelt van winterbodembedekkers en de rijenbemesting.

Uit dit onderzoek blijkt dat het op grond van proefveldgegevens moeilijk is de nitraatuitspoeling nauwkeurig te voorspellen. Zelfs voor grasland, waar toch het meeste uitspoelingsonderzoek is verricht, is het nog zeer moeilijk nauwkeurige voorspellingen omtrent de nitraatuitspoeling te doen. Dit geeft aan dat grote behoefte bestaat aan veldonderzoek naar de gevolgen voor de stikstofhuishouding van de grond in afhankelijkheid van het stikstofniveau, de grondsoort, de grondwaterstand en het bodemgebruik. Daarbij dient de uitspoeling van dierlijke mest, kunstmest en beweiding zoveel mogelijk apart te worden gemeten.

## 1 INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

De Commissie Stikstof is belast met het adviseren van de Ministers van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Verkeer en Waterstaat over de noodzakelijke maatregelen om de stikstofbelasting van grond- en oppervlaktewater terug te dringen (Goossensen & Meeuwissen, 1990). Ten behoeve van de werkzaamheden van de Commissie was het wenselijk om de beschikking te hebben over een eenvoudig model voor de nitraatuitspoeling om hiermee relatief snel het effect van afzonderlijke maatregelen te kunnen inschatten.

Meerdere eenvoudige modellen zijn beschikbaar voor de berekening van de nitraatuitspoeling naar het grondwater. Een model wordt in deze studie als eenvoudig gekarakteriseerd als het met relatief weinig inspanning door anderen dan de modelmaker kan worden toegepast en wanneer met het model relatief snel bemestings-scenario's kunnen worden doorgerekend op hun effect op de nitraatuitspoeling.

Om tot een keuze te komen is een vergelijking uitgevoerd voor negen modellen met behulp van zeven datasets van veldonderzoek. Een algemeen kenmerk van de hier gebruikte modellen is dat de N-huishouding van de grond niet dynamisch wordt gesimuleerd. De met deze modellen berekende uitspoeling hoort daarom bij een veronderstelde evenwichtssituatie met betrekking tot de voorraad organisch gebonden stikstof in de grond. De berekeningen worden op jaarbasis uitgevoerd of hoogstens op basis van een groeiseizoen en een daarop volgend uitspoelingsseizoen.

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de bij de vergelijking betrokken modellen, waarbij allereerst voor de belangrijkste aspecten of processen wordt aangegeven op welke wijze de verschillende modellen deze behandelen. Daarna worden de modellen kort toegelicht. De datasets worden in hoofdstuk 3 beschreven aan de hand van informatie over de proefvelden, het uitgevoerde onderzoek en de resultaten. Bovendien wordt ingegaan op de invloed van de grondwaterstand op de nitraatuitspoeling. De modelresultaten en de evaluatie ervan worden behandeld in hoofdstuk 4. De beoordeling vindt plaats op basis van figuren met gemeten en berekende waarden voor de nitraatuitspoeling en met behulp van een aantal statistische berekeningen. Met een aantal van de geselecteerde modellen is de invloed van verschillende bemestings-scenario's op de nitraatuitspoeling voor gras-, maïs- en bouwland op zandgrond uitgerekend. De scenario's en de resultaten worden in hoofdstuk 5 toegelicht. In hoofdstuk 6 worden conclusies getrokken en aanbevelingen voor onderzoek geformuleerd.

Een verklarende woordenlijst is te vinden in Aanhangsel 1.

## 2 BESCHRIJVING VAN MODELLEN

### 2.1 Inleiding

Negen min of meer verschillende modellen voor de schatting van de nitraatuitspoeling van landbouwgronden zijn onderzocht op hun eigenschappen en bruikbaarheid. De keuze van de modellen is vooral bepaald door de beschikbaarheid van het model en de benodigde invoergegevens. Verder speelde de ervaring, die eerder met het gebruik van de modellen is opgedaan, een rol. De onderzochte modellen en referenties zijn gegeven in tabel 1.

*Tabel 1 Bron en naam van de onderzochte modellen*

Model	Referentie	Verder te noemen
Kolenbrander	Kolenbrander, 1981	KOL
Walther	Walther, 1989	WAL
NITRIN	Hoeymakers, 1986	NITRIN
NPK versie 1988	Van Drecht et al., 1988	NPK-88
NPK versie 1989	Van Duijvenbooden et al., 1989	NPK-89
DGM/IPO/VNG	DGM/IPO/VNG, 1988	DGM
Dorenbosch	afd. Milieubiologie, RU Leiden, 1987	RUL
NLOAD	Van Drecht, 1990	NLOAD
RENLEM	Kragt & De Vries, 1987, 1988	RENLEM

De bruikbaarheid van een model is in de eerste plaats afhankelijk van de eisen die worden gesteld. Vooral de schaal van toepassing van het model, de behoefte aan invoergegevens, de beschikbaarheid, de terreindekkendheid en de modelvalidatie zijn belangrijk bij de modelkeuze. Bij de beschrijving van de modellen zijn twee ingangen mogelijk, namelijk (1) een vergelijking van modellen per aspect of (2) een beschrijving per model. In dit hoofdstuk zijn beide ingangen gehanteerd.

### 2.2 Modelvergelijking per aspect

De volgende aspecten komen achtereenvolgens aan de orde:

- toepassingsmogelijkheden
- modeltype
- basisuitspoeling
- uitspoeling van kunstmest
- uitspoeling van dierlijke mest
- uitspoeling door beweiding
- vervluchtiging van ammoniak bij uitrijden van mest

- onderscheid in uitrijperioden van dierlijke mest
- invloed van de grondwaterstand op de nitraatuitspoeling
- invloed van de grondwatervoeding op de nitraatuitspoeling

### *Toepassingsmogelijkheden*

De meeste modellen kunnen de uitspoeling van grasland en bouwland op zandgrond berekenen. Er wordt geen rekening gehouden met verschillen tussen permanent en tijdelijk grasland. Met uitzondering van RENLEM maken de modellen ook geen onderscheid tussen maïsland (continueelt) en bouwland (rotatie-gewassen). De modellen DGM, RENLEM en NLOAD zijn voldoende breed toepasbaar (tabel 2). De modellen KOL en WAL zijn alleen toepasbaar voor zandgrond en kleigrond. De modellen NITRIN, NPK-88 en NPK-89 kunnen alleen voor zandgrond gebruikt worden. In het model RENLEM wordt nader onderscheid gemaakt tussen verschillende bodemtypen.

*Tabel 2 Toepassingsmogelijkheden van de modellen.*

model	Zandgrond		Kleigrond		Veengrond	
	gras-land	bouw-land	gras-land	bouw-land	gras-land	bouw-land
KOL	+	+	+	+	-	-
WAL	+	+	(+)	(+)	-	-
NITRIN	+	+	-	-	-	-
NPK-88	+	+	-	-	-	-
NPK-89	+	+	-	-	-	-
DGM	+	+	+	+	+	-
RUL	+	+	-	(+)	-	-
NLOAD	+	+	+	+	+	+
RENLEM	+	+	(+)	(+)	+	+

(+) toepasbaarheid onduidelijk of nog in onderzoek

### *Modeltype*

In de meeste modellen is aangenomen dat de in de organische stof van de bodem opgeslagen voorraad stikstof op jaarbasis niet (meer) verandert. Deze modellen worden daarom wel evenwichtsmodellen of statische modellen genoemd in tegenstelling tot de dynamische modellen, waarin de tijdsafhankelijkheid van de voorraad organische stikstof in de bodem beschreven wordt. Het modeltype loopt uiteen van een simpele grafiek met de uitspoeling als functie van de toegediende minerale stikstof door bemesting (KOL) tot een statische benadering van de processen in de bodem (RENLEM). Anders gezegd van een puur empirisch model tot een procesbeschrijvend model met empirisch vastgestelde parameters. De meeste modellen beschrijven naast de uitspoeling ook de ammoniakemissie bij het aanwenden van de mest. In model NPK-89 wordt de uitspoeling berekend als fractie van het overschot van de stikstofbalans van de wortelzone. Alleen in de modellen RENLEM en NPK-89 is de stikstofafvoer in het gewas gekoppeld aan de uitspoeling.

### *Basisuitspoeling*

Bij de aanname van een evenwicht in de organische stikstof in de bodem is in een situatie zonder bemesting of beweiding toch nog uitspoeling te verwachten van andere stikstofbronnen, zoals depositie uit de lucht en stikstofbinding door vlinderbloemigen. De uitspoeling in een natuurlijke onbemeste situatie kan echter niet groot zijn. Geen van de modellen is ontworpen voor de natuurlijke onbemeste evenwichtssituatie. De modellen NITRIN, NPK en RENLEM nemen geen basisuitspoeling in de berekeningen mee. Bij de andere modellen is de basisuitspoeling een expliciet onderdeel van het modelconcept.

### *Uitspoeling van kunstmest*

De uitspoeling van stikstof in kunstmest is in enkele modellen onafhankelijk van de stikstofgift uit andere bronnen (NITRIN, DGM). Veel modellen beschouwen echter de uitspoeling van kunstmest niet apart maar in samenhang met andere bronnen van stikstof (minerale stikstof in dierlijke mest, stikstoftoevoer door beweiding of via het overschot van de stikstofbalans). In tabel 3 is schematisch weergegeven of de uitspoeling van kunstmeststikstof apart of via een koppeling met andere stikstofbronnen is berekend.

*Tabel 3 Stikstofbalanspost, op basis waarvan de uitspoeling van kunstmest, dierlijke mest en weidemest door de verschillende modellen wordt berekend*

Model	Kunstmest	Dierlijke mest	Weidemest
KOL	Nmin	Nmin	Nmin
WAL	Nmin	Nmin	-
NITRIN	Nkm	Ndm	Nwei
NPK-88	Ntot	Ntot	Ntot
NPK-89	Nover	Nover	Nover
DGM	Nkm	Ndm	Nmin (Nkm + Nurine)
RUL	Neff	Neff	Nmin (Neff + Nurine)
NLOAD	Neff	Neff	Nmin (Neff + Nurine)
RENLEM	Nover	Nover	Nover

Nkm	= toegediende kunstmest stikstof
Ndm	= toegediende stikstof in dierlijke mest
Nwei	= toegevoerde stikstof door beweiding
Nurine	= toegevoerde effectieve stikstof in urineplekken (circa 50 % van Nwei)
Nmin	= toegediende minerale stikstof (in kunstmest en dierlijke mest)
Ntot	= totale stikstoftoevoer in de mest (Nkm+Ndm+Nwei)
Nover	= overschot stikstofbalans (wordt in NPK-89 en RENLEM verschillend berekend)
Neff	= werkzame stikstof (op lange termijn)
-	= niet beschouwd (en is daarom bij dierlijke mest opgeteld)

### *Uitspoeling van dierlijke mest*

De uitspoeling van stikstof in dierlijke mest is soms apart, maar meestal in samenhang met andere stikstofbronnen berekend (tabel 3). In de modellen KOL en WAL is de kunstmest en het minerale deel van de dierlijke mest bij elkaar opgeteld. Daarover

wordt de uitspoeling berekend door middel van een empirisch gevonden relatie tussen de uitspoeling en de toegediende minerale stikstof. De uitspoeling van minerale stikstof, die als gevolg van mineralisatie van organische stikstof in de mest vrijkomt, zit in de empirische relatie opgesloten (o.a. in de basisuitspoeling en het verwaarlozen van de ammoniakvervluchtiging bij het aanwenden van de mest). In het model NITRIN komt alle toegediende organische stikstof in minerale vorm vrij door mineralisatie. Van de niet vervluchtigde minerale stikstof en de door mineralisatie vrijgekomen stikstof spoelt een bepaalde fractie uit. Het model NITRIN berekent daarom ook geen basisuitspoeling. In het model NPK-88 is de uitspoeling van stikstof berekend als fractie van de totale stikstoftoevoer door bemesting en beweiding. In het model NPK-89 is de uitspoeling van stikstof een fractie van het overschot van de stikstofbalans. In het model DGM is de uitspoeling van stikstof in dierlijke mest onafhankelijk van de kunstmestgift of de beweiding. De modellen RUL en NLOAD onderscheiden extra uitspoeling en bemestingsuitspoeling van stikstof in dierlijke mest. Extra uitspoeling is de uitspoeling van de minerale stikstof in dierlijke mest, die buiten het groeiseizoen wordt uitgereden of die buiten het groeiseizoen door mineralisatie van organische stikstof vrijkomt. Bemestingsuitspoeling is de uitspoeling van minerale stikstof, die als kunstmest of uit dierlijke mest gedurende het groeiseizoen voor plantopname beschikbaar komt. Het model RENLEM berekent de uitspoeling van stikstof in dierlijke mest via de voorraad minerale stikstof in de bodemplossing gedurende het winterhalfjaar.

#### *Uitspoeling ten gevolge van beweiding*

De uitspoeling van de stikstoftoevoer door beweiding wordt soms helemaal niet beschouwd (WAL). Bij het model NITRIN is de stikstofuitspoeling door beweiding een vaste fractie van de stikstoftoevoer door beweiding (na aftrek van de ammoniakemissie). In de modellen NPK en RENLEM is de uitspoeling van stikstof door beweiding niet gescheiden van de uitspoeling van de andere stikstofbronnen. In de modellen KOL, DGM, RUL en NLOAD is de uitspoeling van de minerale stikstof in de urine apart beschouwd, gekoppeld aan de kunstmestgift en/of de werkzame stikstof in dierlijke mest.

#### *Vervluchtiging van ammoniak bij het uitrijden van dierlijke mest*

De ammoniakvervluchtiging is van veel factoren afhankelijk. In de meeste modellen is geen (of slechts impliciet) rekening gehouden met de koppelingen tussen ammoniakvervluchtiging, stikstofwerking en nitraatuitspoeling. De vervluchtiging wordt soms berekend als fractie van totaal-N, maar meestal als fractie van de minerale stikstof in de mest. Met het bodemgebruik wordt altijd rekening gehouden (tabel 4). In de modellen KOL, WAL en DGM is de vervluchtiging niet of slechts impliciet beschouwd.

**Tabel 4** *Wijze, waarop vervluchtiging bij aanwenden van dierlijke mest, in het model is verwerkt. Met een "+" is aangegeven dat het betreffende model rekening houdt met vervluchtiging als fractie van het minerale deel of totale N-gehalte in de mest.*

Model	Berekend als fractie van	
	minerale-N	totaal-N
KOL	-	-
WAL	-	-
NITRIN	+	-
NPK-88	-	+
NPK-89	-	+
DGM	-	-
RUL	+	-
NLOAD	+	-
RENLEM	+	-

#### *Onderscheid tussen uitrijperioden van dierlijke mest*

In de meeste modellen is de uitrijperiode slecht gedefiniëerd (tabel 5). Het moment van uitrijden van dierlijke mest heeft vooral invloed op de stikstofwerking en de uitspoeling van de minerale stikstof fractie. In veel modellen kan het effect van de uitrijperiode worden ingevoerd bijvoorbeeld door wijziging van de parameters voor de mineralisatie van organische stikstof, de werkingscoëfficiënt en de uitspoelingscoëfficiënten.

**Tabel 5** *Onderscheiden uitrijperioden per model*

Model	Onderscheiden perioden		
KOL	geen		
WAL	geen		
NITRIN	najaar	winter	voorjaar
NPK-88 en NPK-89	geen		
DGM	oktober	februari/maart	augustus
RUL (grasland)	najaar	na 1 december	groei seizoen
RUL (maisland)	najaar (15/11)	voorjaar (1/3)	
NLOAD	najaar	voorjaar	groei seizoen
RENLEM	najaar	voorjaar	

#### *Invloed van de grondwaterstand op de uitspoeling*

Voor alle modellen, behalve RENLEM, geldt dat de uitspoeling wordt berekend voor diep ontwaterde gronden met Gt VII\*. Voor andere Gt's is gecorrigeerd voor de extra denitrificatie (tabel 6). De correctiefactoren zijn afkomstig van Boumans et al. (1989). Alleen het model RENLEM maakt gebruik van een procesmatige beschrijving van



de denitrificatie op basis van de eigenschappen van het ingevoerde bodemprofiel en de Gt. In hoofdstuk 3.3 en aanhangsel 2 wordt dieper op het effect van de diepte van de grondwaterstand ingegaan.

**Tabel 6** Correctiefactoren voor de uitspoeling als functie van de grondwatertrap (Gt), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), (Boumans et al., 1989)

Gt	GLG (cm - m.v.)	GHG (cm - m.v.)	Correctie- factor
II	50 - 80	< 25	0,05
III	80 - 120	< 25	0,08
III*	80 - 120	25 - 40	0,31
IV	80 - 120	40 - 80	0,43
V	120 - 160	< 25	0,50
V*	120 - 160	25 - 40	0,48
VI	120 - 160	40 - 80	0,65
VII	160 - 220	80 - 140	0,83
VII*	220 - 280	140 - 200	1,00

#### *Invloed van de grondwatervoeding op de uitspoeling*

Volgens Kolenbrander e.a. is er een positief verband tussen de uitspoeling en de grootte van de grondwatervoeding (Kolenbrander, 1981). Het verband is gebaseerd op lysimeteronderzoek en is verschillend voor begroeide en onbegroeide grond. Kolenbrander normaliseert mede daarom de waarnemingen van verschillende lysimeters en veldmetingen tot uitspoeling bij een gemiddelde grondwatervoeding van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$ . Het model WAL rekent op een grondwatervoeding van  $200 \text{ mm.a}^{-1}$  en komt o.a. daardoor op lagere waarden voor de uitspoeling. Alleen in het model RENLEM wordt rekening gehouden met de gecombineerde effecten van het vochtgehalte en de grondwatervoeding op denitrificatie en uitspoeling.

### 2.3 Modellen KOL en WAL

Kolenbrander verzamelde en interpreteerde de resultaten van onderzoek met lysimeters, proefvelden en stroomgebieden (Kolenbrander, 1981). Op basis van deze resultaten leidde Kolenbrander een grafiek af, waarin de nitraatuitspoeling als functie van de toegediende minerale stikstof in de mest is af te lezen. Er zijn grafieken voor grasland en bouwland op zandgrond en kleigrond (fig. 1). Het model KOL bestaat uit deze grafieken. Het model geldt voor een gemiddelde grondwatervoeding van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$  en de grondwaterstand op een diepte van  $> 1$  meter. Met de uitspoeling ten gevolge van beweiding kan rekening worden gehouden door het gewogen gemiddelde te berekenen van de uitspoeling in de urineplekken en de uitspoeling op plaatsen zonder urine.

Walther deed hetzelfde als Kolenbrander, maar vulde de beschikbare gegevens aan met de gegevens van recenter en soortgelijk onderzoek (Walther, 1989). Het model is beschikbaar in de vorm van grafieken en regressievergelijkingen voor grasland en bouwland op zandgrond en (lichte) kleigrond (fig. 2). Het model geldt voor diep ontwaterde gronden met een gemiddelde grondwatervoeding van  $200 \text{ mm.a}^{-1}$ . Met de uitspoeling als gevolg van beweiding is door Walther geen rekening gehouden. Bij de toepassing van dit model is de stikstoftoevoer door beweiding behandeld als dierlijke mest. Bij gebruik van de modellen KOL en WAL is de uitspoeling bij een ondiepe grondwaterstand gecorrigeerd voor de extra denitrificatie met behulp van de Gt.

#### *Normalisatie van de grootte van de grondwatervoeding*

Kolenbrander herleidde de gemeten nitraatconcentratie tot nitraatuitspoeling (als massaflux) door te vermenigvuldigen met de gemeten drainageflux (grondwatervoeding). In de door hem gebruikte lysimeters is de grondwatervoeding gemeten. Voor de veldwaarnemingen is een gemiddelde grondwatervoeding van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$  aangenomen. De nitraatuitspoeling blijkt gevoelig te zijn voor de grootte van de grondwatervoeding. Kolenbrander laat zien dat de uitspoeling bij een grondwatervoeding van  $400 \text{ mm.a}^{-1}$  circa twee keer zo groot is dan bij een grondwatervoeding van  $200 \text{ mm.a}^{-1}$ . Daarom normaliseert Kolenbrander de verkregen nitraatuitspoeling voor een grondwatervoeding van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$ . Walther normaliseert zijn model voor een grondwatervoeding van  $200 \text{ mm.a}^{-1}$ . Bij een grondwatervoeding van  $200 \text{ mm.a}^{-1}$  spoelt veel minder uit dan bij een grondwatervoeding van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$ . Deze normalisatie van de uitspoeling bij een standaard grondwatervoeding bemoeilijkt het gebruik van deze modellen voor situaties met een grotere of kleinere grondwatervoeding. In Nederland varieert de langjarig gemiddelde grondwatervoeding, afhankelijk van plaats, grondsoort, bodemgebruik en grondwaterstand tussen 200 en  $450 \text{ mm.a}^{-1}$ . Voor grasland op zandgrond is een gemiddelde waarde van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$  een goede schatting, maar voor bouwland op zand ligt het gemiddelde circa  $100 \text{ mm.a}^{-1}$  hoger. Daarom is te verwachten dat dit model voor bouwland op zand een onderschatting van de uitspoeling zal geven. Bij de toepassing van beide modellen in dit onderzoek zijn de modeluitkomsten niet gecorrigeerd voor de grootte van de grondwatervoeding.

#### *Minerale stikstof*

De toegediende minerale stikstof bestaat uit kunstmest en de minerale stikstof in dierlijke mest (circa 50 % van totaal-N). Kolenbrander verdedigt het verwaarlosen van de mineralisatie van de organische stikstof door te wijzen op de ammoniakvervluchtiging, die ongeveer even groot is. Dat betekent wel dat het model minder geschikt is om het effect van emissiebeperkende maatregelen te berekenen.

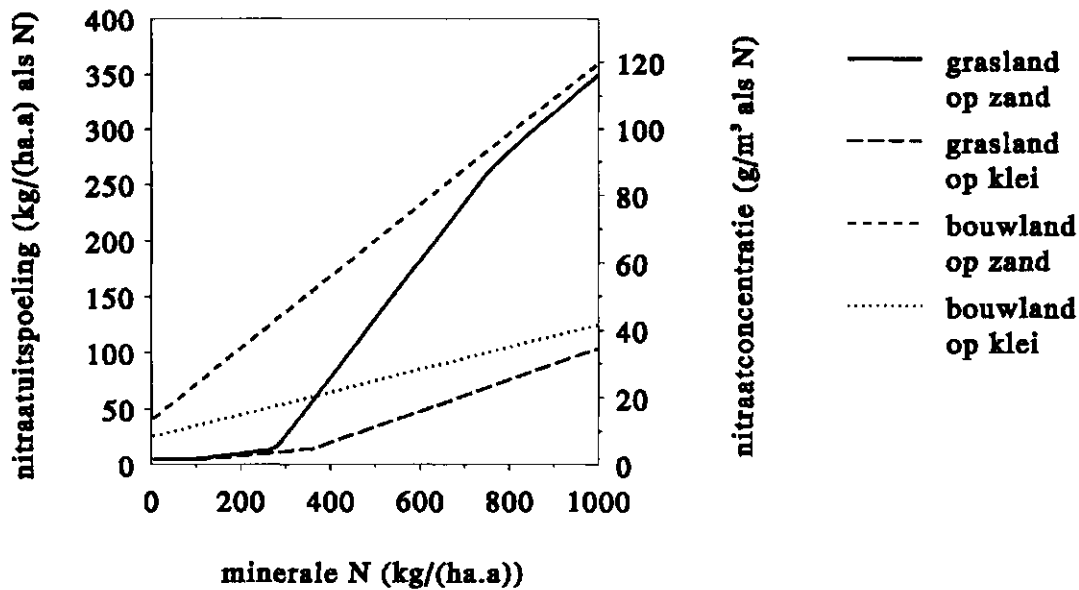


Fig. 1 Nitraatuitspoeling als functie van de toegediende minerale N bij een vrij diepe grondwaterstand (> 1 m -m.v.) en een gemiddelde grondwatervoeding van  $300 \text{ mm.a}^{-1}$ , (naar Kolenbrander, 1981)

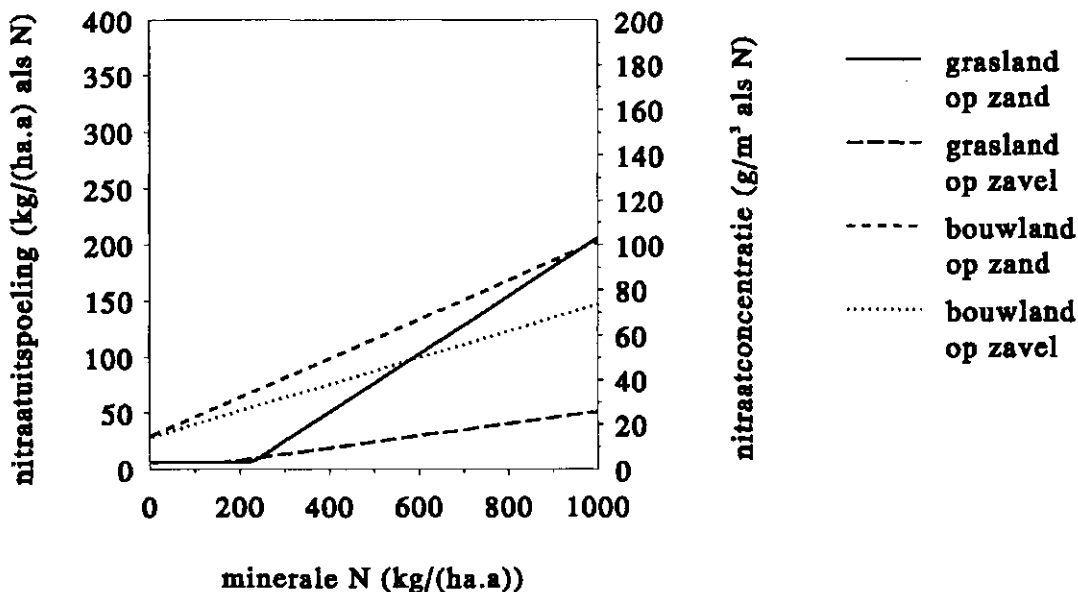


Fig. 2 Nitraatuitspoeling als functie van de toegediende minerale N bij een diepe grondwaterstand (> 2 m -m.v.) en een gemiddelde grondwatervoeding van  $200 \text{ mm.a}^{-1}$ , (naar Walther, 1989)

### *Uitspoeling door beweiding*

De uitspoeling ten gevolge van beweiding is berekend door de uitspoeling in urineplekken en de uitspoeling op plaatsen zonder urine te wegen met de bijbehorende oppervlaktefracties. Anders dan in Kolenbrander (1981) is in het hier toegepaste model ook de bijdrage van dierlijke mest en kunstmest in de urineplekken meegenomen. De bijdrage van de beweiding in de toegevoerde minerale stikstof is geschat op 50% van de stikstof in de weidemest. De fractie urineplekken op een beweide perceel is berekend uit de toegevoerde stikstof in de weidemest. Hierbij is aangenomen dat een koe 73 kg stikstof in de weideperiode in de mest produceert (Olsthoom, 1989) en 10% van de oppervlakte van het beweide perceel van urine voorziet. Het maakt voor de berekening overigens weinig uit hoe groot de oppervlakte urineplekken per koe is. Als voorbeeld zijn berekeningen uitgevoerd voor een situatie met intensief gebruikt grasland op zandgrond met een diepe grondwaterstand (tabel 6). De veebezetting is ongeveer 2,7 (melk-)koe/ha. Het grasland wordt bemest met  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  kunstmest-N en  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  totaal-N als rundveedrijfmest. De stikstoftoevoer door beweiding is  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  totaal-N. Ten behoeve van deze berekening is de grafiek van Kolenbrander (1981) benaderd door middel van het volgende lineaire verband tussen uitspoeling en toegediende minerale stikstof (zie ook fig. 1):

$$\begin{aligned} \text{uitspoeling} &= -130 + 0,52 \cdot N_{\text{min}} \quad (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1} \text{ als N}) \text{ voor } 280 < N_{\text{min}} \leq 750 \\ &= 0,35 \cdot N_{\text{min}} \quad \text{voor } 750 < N_{\text{min}} \end{aligned}$$

*Tabel 7 Nitraatuitspoeling van een perceel beweide grasland (met 2,7 koe per ha) als functie van de oppervlakte urineplekken per koe, bij in totaal gelijkblijvende toevoer van N, berekend met model KOL*

Oppervlakte % urineplekken per koe	per ha	Nitraat- uitspoeling ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ als N)	Uitspoelingsfractie van de minerale stikstof		
			buiten urine- plekken	in urine- plekken	gemiddeld
1,85	5,0	116	0,195	0,350	0,232
3,70	10,0	119	0,195	0,350	0,238
7,40	20,0	125	0,195	0,350	0,250
10,00	27,4	130	0,195	0,350	0,260
18,50	50,0	130	0,195	0,304	0,260
37,00	100,0	130	n.v.t.	0,260	0,260

Uit de berekening in tabel 7 blijkt dat het voor de nitraatuitspoeling van dit model niet uitmaakt of een koe 10% van een perceel of het hele perceel van urine voorziet. Daarmee is tevens aangetoond dat het optellen van de weidemest bij de dierlijke mest in dit model een redelijke benadering is.

### *Invloed van het tijdstip van aanwenden van de mest*

Kolenbrander laat aan de hand van een lysimeterexperiment ook zien dat de uitspoeling van kunstmest sterk afhankelijk is van de maand, waarin de kunstmest wordt toegediend. De gegeven resultaten zijn geheel te verklaren uit de grondwatervoeding

gedurende de winter. De uitspoeling is maximaal (40%) bij toediening in november en daalt daarna snel tot 20% in januari en 10% in februari (tabel 8)

**Tabel 8** *Uitspoeling van kunstmest bij toediening in de winter in een lysimeter met grasland op zandgrond als fractie van de kunstmestgift (naar Kolenbrander 1981)*

Toediening in	Uitspoelingsfractie
augustus	0,1
september	0,2
oktober	0,3
november	0,4
december	0,3
januari	0,2
februari	0,1

In het model KOL is geen rekening gehouden met het uitrijtijdstip van de dierlijke mest. Het model is afgeleid uit een veelheid van bouwstenen. De basis is gelegd met lysimeterproeven, waarin dierlijke mest in het voorjaar werd gegeven. Naderhand zijn er ook gegevens van stroomgebieden gebruikt, die er in pasten. Daarin komen allerlei situaties voor.

#### 2.4 Model NITRIN

Dit model is in 1986 ontwikkeld voor de Nederlandse zandgebieden (Hoeymakers, 1986). De basis van het model is het NIMWAG model (Nitraat Inspoelingsmodel Waterwingebieden, Werkgroep Nitraatuitspoeling Waterwingebieden, 1985). Het model NITRIN berekent per gemeente de verdeling van de dierlijke mest over de gewassen en de aanvulling met kunstmest-N op basis van een door het Landbouw Economisch Instituut uitgevoerde berekening van de mestproductie, het mestoverschot en behoefte aan werkzame stikstof per bodemgebruik (Luesink & Wijnands, 1985). Eerst wordt de nitraatuitspoeling per gewas bij een diepe grondwaterstand berekend. Daarna vindt een correctie voor extra denitrificatie bij ondiepere grondwaterstand plaats met behulp van de GHG. Bij deze modelvergelijking is het model NITRIN alleen voor de berekening van de uitspoeling bij een diepe grondwaterstand gebruikt. Bij ondiepere grondwaterstanden zijn de modeluitkomsten gecorrigeerd door middel van de Gt (Boumans et al., 1989). De uitspoeling wordt apart berekend voor kunstmest, dierlijke mest en weidemest. Zonder bemesting of beweiding is de door NITRIN berekende uitspoeling gelijk aan nul. Het model is daarom ongeschikt voor situaties zonder bemesting.

### *Uitspoeling van kunstmest*

Tot een kunstmestgift van  $270 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  berekent het model geen uitspoeling van kunstmest op grasland. Van de kunstmest, die daar bovenop wordt gegeven, spoelt 50% uit (Steenvoorden, 1983). De uitspoeling van kunstmest op bouwland is gelijk aan 25% van de kunstmestgift (Lammers et al., 1983).

### *Uitspoeling van dierlijke mest*

De uitspoeling van stikstof in dierlijke mest is gesplitst in de bemestingsuitspoeling (door Hoeymakers (1986) "basisuitspoeling" genoemd) en de extra uitspoeling. De extra uitspoeling van dierlijke mest is het gevolg van aanwending van dierlijke mest buiten het groeiseizoen en/of mineralisatie van organische stikstof in de mest op een tijdstip dat er uitspoelingsrisico bestaat. De bemestingsuitspoeling van stikstof in dierlijke mest is de uitspoeling van de werkzame stikstof in dierlijke mest en is als volgt berekend.

$$\text{uitspoeling} = (F_{\text{bemesting}} \cdot \text{wc} + F_{\text{extra}}) \cdot \text{Ndm}$$

uitspoeling = nitraatuitspoeling door toediening van dierlijke mest in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N

F-bemesting = fractie bemestingsuitspoeling (grasland: 0,15 en maïs/bouwland: 0,25)

wc = fractie werkzame stikstof in dierlijke mest (tabel 9)

F-extra = fractie extra uitspoeling dierlijke mest (tabel 10)

Ndm = toegediende dierlijke mest in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als totaal-N

De fractie van de bemestingsuitspoeling op grasland is gebaseerd op de uitspoeling van kunstmest bij een stikstofbemestingsniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (Steenvoorden, 1983). Daarom is het model minder geschikt om te worden gebruikt bij een laag bemestingsniveau. De fractie van de bemestingsuitspoeling op bouwland is eveneens gebaseerd op de uitspoeling van kunstmest (Lammers, 1983).

**Tabel 9** Stikstofwerking van dierlijke mest als functie van grondgebruik, uitrijperiode en vervluchtiging bij gebruik van rundveedrijfmest, gebruikt in het model NITRIN

Gebruik	Periode	Vervl. E	Stikstofwerking als fractie van		
			(1-E).Nm	Ne+Nr	totaal-N (wc)
grasland	najaar	0,32	0,24	0,93	0,55
	voorjaar	0,32	1,00	0,96	0,82
bouwland	najaar	0,20	0,15	0,65	0,39
	voorjaar	0,20	1,00	0,71	0,76

E = vervluchtigingsfractie van de minerale stikstof in dierlijke mest

Nm, Ne, Nr = minerale, resp. gemakkelijk- en moeilijk afbreekbare stikstof in dierlijke mest

totaal-N = Nm+Ne+Nr (samenstelling van de mest: 50 % Nm, 25% Ne en 25% Nr)

(1-E).Nm = niet vervluchtigde minerale stikstof in dierlijke mest

wc = fractie werkzame stikstof in dierlijke mest

De coëfficiënten voor de N-werking en extra uitspoeling van dierlijke mest zijn berekend uit de fracties minerale (Nm) en organische stikstof (Ne+Nr) in de mest en de vervluchtiging bij het uitrijden van de mest en gelden voor de lange termijn. De vervluchtigingsfracties in het model zijn vaste waarden, die verwerkt zijn in de N-werkingscoëfficiënten en uitspoelingscoëfficiënten. Bij de toepassing van het model is geen rekening gehouden met de verminderde vervluchtiging bij injectie. In het model wordt wel rekening gehouden met de samenstelling van de verschillende mestsoorten.

Merk op dat de som van de werkingsfractie en de extra uitspoelingsfractie van de organische stikstof in dierlijke mest op grasland in het najaar (0,93+0,19) groter is dan 1. Dat is onmogelijk, omdat dit model uitgaat van een evenwichtssituatie. De toegediende organische stikstof (Ne+Nr) is voor een deel werkzaam (tabel 9). Het niet werkzame deel van Ne+Nr spoelt gedeeltelijk uit (tabel 10). Het restant wordt afgebroken (denitrificeert). De som van de fracties werkzame stikstof en extra uitgespoelde stikstof kan dus nooit groter zijn dan 1. De met behulp van de tabellen 9 en 10 berekende uitspoelingsfracties van stikstof in dierlijke mest zijn gelijk aan die in de originele versie van het model (NITRIN).

*Tabel 10 Extra uitspoeling van dierlijke mest als functie van grondgebruik, uitrijperiode en vervluchtiging bij gebruik van rundveedrijfmest, gebruikt in het model NITRIN*

Gebruik	Periode	Vervl. E	Extra uitspoeling als fractie van		
			(1-E).Nm	Ne+Nr	totaal-N (F-extra)
grasland	najaar	0,32	0,60	0,19	0,30
	voorjaar	0,32	0,00	0,09	0,045
bouwland	najaar	0,20	0,68	0,19	0,37
	voorjaar	0,20	0,00	0,12	0,06

F-extra = fractie extra uitspoeling van stikstof in dierlijke mest

De uitspoeling door beweiding is 20% van de toegevoerde stikstof in de weidemest. Dat is vrijwel gelijk aan de door het model NITRIN gehanteerde uitspoeling van dierlijke mest bij toediening in het najaar.

## 2.5 Model NPK

Het model NPK is in 1987 ontwikkeld ten behoeve van MUL (Meststoffen Uitspoeling Landbouwgebieden, Van Drecht et al., 1988). Het is alleen toegepast op de Nederlandse zandgebieden (Van Duijvenbooden et al., 1989). Het programma berekent de productie van dierlijke mest, de toedeling van dierlijke mest en kunstmest aan de gewassen en het mestoverschot per gemeente op basis van de meetingsgegevens.

In model NPK-88 (versie 1988) is de uitspoeling van grasland bij Gt VII\* gelijk aan 25% van de netto stikstofbelasting van de grond door mest. Dit is de som van de stikstof in dierlijke mest, kunstmest en beweiding, verminderd met de ammoniakemissie. De uitspoeling van bouwland bij Gt VII\* is gelijk aan 35% van de netto stikstofbelasting. Deze uitspoelingspercentages zijn afgeleid uit de grafiek van Kolenbrander (1981) en zijn ook in overeenstemming met de resultaten van het onderzoek op de N-proefbedrijven (Boumans et al., 1989). De vervluchtiging van ammoniak bij bovengrondse aanwending van dierlijke mest op grasland en bouwland is resp. 16% en 10% van totaal-N. De vervluchtiging van kunstmest is 2% en de vervluchtiging van ammoniak in weidemest is gelijk aan 12% van totaal-N.

In model NPK-89 (versie 1989) is de uitspoeling van grasland en bouwland op zandgrond bij Gt VII\* gelijk aan 40% van het overschot van de stikstofbalans. Dit is de som van de stikstof in dierlijke mest, kunstmest, beweiding en depositie, verminderd met de ammoniakemissie en de afvoer in het gewas (incl. begrazing). Dit percentage is afgeleid uit de resultaten van het onderzoek op de N-proefbedrijven (Boumans et al., 1989). In dit model heeft de afvoer in het gewas grote invloed op de uitspoeling. Bij een gemiddelde bemesting op beweid grasland van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  werkzame stikstof heeft de stikstofafvoer in het gras (bovengrondse delen) een waarde tussen 320 en  $380 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (Steenbergen, 1977). Bij een laag bemestingsniveau kan het berekende overschot van de stikstofbalans van de wortelzone negatief worden, omdat bij de berekening van de stikstofbalans geen rekening wordt gehouden met het huidige soms hoge mineralisatieniveau.

## 2.6 Model DGM

In 1987 stelde de Werkgroep Diffuse Verontreiniging van het DGM/IPO/VNG-overleg een rapport op dat de basis moest vormen voor de mestregelgeving in grondwaterbeschermingsgebieden (DGM/IPO/VNG, 1988). In dit rapport staat een methode voor de berekening van de nitraatuitspoeling beschreven, die als een model is opgevat. De methode is eveneens toegepast door Wiggers et al. (1986).

De nitraatuitspoeling wordt apart berekend voor de verschillende soorten mest en is afhankelijk van de mestgift, het grondgebruik, de grondsoort en het tijdstip van aanwenden van de mest. Het model houdt rekening met de uitspoeling in urineplekken, in afhankelijkheid van de veebezetting en het beweidingssysteem (beperkt of onbeperkt weiden of uitsluitend maaien).

In dit model is uitgegaan van verschillende kwetsbaarheidssituaties bij drie wijzen van bodemgebruik: grasland, maïsland en bouwland (rotatieteelten) en bij drie grondsoorten: zandgrond, kleigrond en veengrond (veengrond alleen bij grasland). De nitraatuitspoeling van de bovengrond tot 1 meter beneden het maaiveld is berekend als som van:



1. de basisuitspoeling, dat wil zeggen de nitraatuitspoeling ten gevolge van atmosferische depositie en de mineralisatie organische stikstof in de humus
2. de uitspoeling ten gevolge van het gebruik van kunstmest
3. de uitspoeling ten gevolge van de beweiding met rundvee
4. de uitspoeling ten gevolge van het gebruik van dierlijke mest

In tabel 11 worden de in dit model gebruikte waarden voor de basisuitspoeling gegeven.

*Tabel 11 Basisuitspoeling van diep ontwaterde grond per grondsoort en grondgebruik, gebruikt in het model DGM*

Grondgebruik	Uitspoeling (kg.ha <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> als N)		
	zand	klei	veen
grasland	15	5	0
maïs- en bouwland	45	25	0

De uitspoeling van kunstmest in model DGM is geheel los van de andere stikstofbronnen berekend (tabel 12).

*Tabel 12 Uitspoeling van kunstmest bij een diep ontwaterde grond (Gt VII\*) als fractie van de kunstmestgift, gebruikt in model DGM*

Kunstmest-N (kg.ha <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> )	zand	Grasland		Maïs- en bouwland	
		klei	veen	zand	klei
<100	0,00	0,00	0,00	0,25	0,07
200	0,02	0,01	0,01	0,25	0,09
300	0,08	0,02	0,015	0,25	0,10
400	0,14	0,05	0,015	0,25	0,10
500	0,24	0,06	0,015	0,25	0,10
600	0,28	0,07	0,015	0,25	0,10
>700	0,29	0,07	0,015	0,25	0,10

De uitspoeling als gevolg van beweiding is als volgt beschreven (DGM/IPO/VNG, 1988): "De in urine aanwezige stikstof is gevoelig voor uitspoeling. Aangenomen mag worden dat de urine stikstof, die niet door vervluchtiging of denitrificatie in de bovengrond verloren gaat, hetzelfde uitspoelingsgedrag vertoont als kunstmeststikstof. De stikstof die zich in de faeces bevindt kan slechts na een betrekkelijk trage mineralisatie vrijkomen. De uitspoeling, die als gevolg hiervan plaatsvindt wordt geacht verdisconteerd te zijn in de basisuitspoeling"

De bijdrage in de beschikbare (voor de plant opneembare) minerale stikstof uit de urine van een melkkoe in de weideperiode is geschat op 38 kg. Dat is ongeveer 50% van de produktie van stikstof in de weidemest (dag en nacht weiden). Verder is aangenomen dat een melkkoe circa 10% van de weide met urine belast. De

uitspoeling op grasland met urineplekken wordt apart uitgerekend en daarna gewogen gemiddeld met de uitspoeling van kunstmest op grasland zonder urineplekken.

De uitspoeling van dierlijke mest is afhankelijk van het uitrijtijdstip, bodemgebruik en grondsoort (tabel 13):

**Tabel 13** Uitspoeling van dierlijke mest bij een diep ontwaterde grond (Gt VII\*) als fractie van de toegediende stikstof, gebruikt in model DGM. De fracties voor grasland gelden voor doseringen tot  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  totaal-N. De fracties voor maïs- en bouwland gelden voor doseringen tot  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  totaal-N

Uitrij- periode	Grasland			Maïs- en bouwland	
	zand	klei	veen	zand	klei
augustus	0,02	0,015	0,005	0,30	0,20
oktober	0,03	0,02	0,01	0,22	0,14
febr/maart	0,01	0,01	0,00	0,08	0,04

De uitspoeling van dierlijke mest wordt geheel onafhankelijk van de kunstmest of beweiding uitgerekend. De uitspoelingsfracties van dierlijke mest op grasland zijn zeer laag. Bij hogere mestgiften gaat de bemestingsuitspoeling een rol spelen. In het rapport wordt daarover opgemerkt dat bij veel hogere mestgiften dan  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  totaal-N de uitspoeling van bouwland op zandgrond tendeert naar 25% van de gift ongeacht het uitrijtijdstip. Gezien de vage definitie van het model op dit punt is dit niet in de berekeningen meegenomen.

## 2.7 Modellen RUL en NLOAD

Dorenbosch voerde in 1987 een onderzoek uit naar de beschikbare literatuur over nitraatuitspoeling. Hij formuleerde een model, dat voornamelijk is gebaseerd op de publicaties van Lammers en het mineralisatiemodel van Rijtema (Lammers et al., 1984). Met het model kan de nitraatuitspoeling van grasland en bouwland op zandgrond worden uitgerekend. Het model maakt onderscheid tussen basisuitspoeling, bemestingsuitspoeling en extra uitspoeling van dierlijke mest en urine. De basisuitspoeling is gelijk aan die van het model DGM (tabel 11). In de oorspronkelijke versie van het model staat voor grasland op zand  $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  genoteerd, maar daar is later gewijzigd in  $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (mond. med. Dorenbosch).

De bemestingsuitspoeling is berekend uit de som van de kunstmest en de voor plantopname beschikbare (werkzame) stikstof in dierlijke mest. De stikstofwerkingscoëfficiënten van dierlijke mest zijn berekend uit de (niet vervluchtigde) minerale stikstof (Nm) en organische stikstof (Ne+Nr) in de mest en gelden voor de lange termijn (tabel 14).

**Tabel 14** Stikstofwerking van dierlijke mest als functie van grondgebruik, uitrijtijdstip en vervluchtiging, gebruikt in model RUL. De werking van totaal-N in deze tabel is berekend uitgaande van de volgende mestsamstelling: 50% Nm; 25% Ne en 25% Nr

Grondgebruik	Periode aanwenden	Vervl. E	Werking dierlijke mest als fractie van		
			(1-E).Nm	Ne+Nr	totaal-N
grasland	najaar	0,32	0,00	0,80	0,40
	na 1 dec	0,32	0,74	0,80	0,65
	groei-eizoen	0,32	1,00	0,80	0,65
bouwland	najaar (15/11)	0,20	0,15	0,75	0,43
	voorjaar (1/3)	0,20	1,00	0,83	0,81

**Tabel 15** Bemestingsuitspoeling bij een diep ontwaterde grond (Gt VII\*) als fractie van de toegediende werkzame N, gebruikt in model RUL

Werkzame N (kg.ha <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> )	Grasland			Maïs- en bouwland	
	zand	klei	veen	zand	klei
<100	0,00	0,00	0,00	0,37	0,07
200	0,02	0,01	0,01	0,37	0,09
300	0,08	0,02	0,015	0,37	0,10
400	0,14	0,05	0,015	0,37	0,10
500	0,24	0,06	0,015	0,37	0,10
600	0,28	0,07	0,015	0,37	0,10
>700	0,29	0,07	0,015	0,37	0,10

**Tabel 16** Extra uitspoeling van stikstof in dierlijke mest als functie van grondgebruik en uitrijperiode en vervluchtiging, gebruikt in model RUL. De fractie van totaal-N in deze tabel is berekend uitgaande van de volgende mestsamstelling: 50% Nm; 25% Ne en 25% Nr

Grondgebruik	Periode aanwenden	Vervl. E	Extra uitspoeling als fractie van		
			(1-E).Nm	Ne+Nr	totaal-N
grasland	najaar	0,32	0,30	0,04	0,12
	na 1 dec	0,32	0,10	0,04	0,05
	groei-eizoen	0,50	0,00	0,04	0,02
bouwland	najaar (15/11)	0,20	0,68	0,19	0,37
	voorjaar (1/3)	0,20	0,00	0,13	0,07

Met behulp van tabel 15 is de uitspoelingsfractie van de werkzame stikstof in dierlijke mest en kunstmest bepaald. De uitspoeling van stikstof in urineplekken is berekend door aan te nemen dat de uitspoelingsfractie van de werkzame stikstof in de urine twee keer zo groot is als de fractie bemestingsuitspoeling. De fractie bemestingsuitspoeling is bepaald voor de werkzame stikstof in kunstmest en dierlijke mest. Circa 50% van de stikstof in de weidemest komt in urineplekken beschikbaar voor plantopname en is dus "werkzaam". De extra uitspoelingsfracties voor maïs- en bouwland zijn gegeven in tabel 16.

Het model NLOAD is qua methodiek een voortzetting van de lijn Lammers - NITRIN - RUL. Verder zijn ook gegevens uit het model DGM gebruikt (tabel 11 en 12). De verschillen tussen RUL en NLOAD zijn klein. Daarom kan worden volstaan met een opsomming van de verschillen.

- De basisuitspoeling van nitraat van grasland op zandgrond bedraagt:  $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N (zoals in oorspronkelijke versie van model RUL)
- De stikstofwerking van niet vervluchtigde minerale stikstof in dierlijke mest bij aanwending op grasland in het najaar bedraagt 0,25 (RUL: 0; NITRIN: 0,24)
- De fracties extra uitspoeling van organische stikstof in dierlijke mest (Ne+Nr) bij uitrijden in het najaar, voorjaar en groeiseizoen bedragen respectievelijk: 0,06, 0,02 en 0,04 (RUL: 0,04, 0,04 en 0,04)
- De fractie van de bemestingsuitspoeling voor maïsland en bouwland op zandgrond bedraagt 0,25 (RUL: 0,37; DGM: 0,25; NITRIN: 0,25)

## 2.8 Model RENLEM

RENLEM (REgional Nitrate LEaching Model) is een relatief eenvoudig simulatiemodel, waarin de verschillende stikstofprocessen in de bodem worden beschreven (Kragt & De Vries, 1987). Het model geeft resultaten voor de lange termijn, waarbij een evenwicht wordt verondersteld voor de organische stikstof in de bodem. Dat wil zeggen dat er evenveel organisch N mineraliseert in een jaar tijd als er wordt toegevoegd. De bodemvoorraad organische N blijft volgens deze aanname onveranderd. Het model is bedoeld om de effecten van verschillende bemestingsscenario's op de lange duur te berekenen.

Het model is getest voor grasland en maïsland op zandgronden. Het model is toegepast voor grondwaterbeschermingsgebieden in de provincie Overijssel (Kragt et al., 1990) en een vernieuwde versie is gebruikt voor grondwaterbeschermingsgebieden in de provincie Utrecht (De Groot et al., in prep.). Verder is het model gevalideerd met verschillende datasets (o.a. bouwland) binnen het EG-project 'nitrate in soils' (Kragt & Hack-ten Broeke, 1991). Ook hierbij was alleen sprake van zand- en zavelgronden. Voor de modelvergelijking is de oude modelversie gebruikt (Kragt & De Vries, 1987).

Het model beschouwt twee seizoenen, namelijk zomer en winter, respectievelijk groeiseizoen en uitspoelings-seizoen. Binnen elk seizoen treedt volledige nitrificatie op. Het model berekent voor elk seizoen de nitraatconcentratie van het bodemvocht op een vooraf te kiezen diepte. Deze diepte is standaard gezet op GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) maar kan worden gewijzigd in elke diepte binnen de onverzadigde zone. De bodem is verdeeld in twee lagen: de wortelzone en de ondergrond. De dikte van de wortelzone is afhankelijk van het bodemgebruik. Voor elk seizoen en elke laag wordt een stikstofbalans opgesteld. De evenwichtssituatie in de stikstofvoorraad van de bodem wordt berekend door middel van een iteratief rekenproces.

Een belangrijk invoergegeven voor RENLEM is het bodemtype en bijbehorende Gt. Voor elk bodemtype moet de dikte van de voorkomende horizonten worden opgegeven en per horizont de pH, het organische stofgehalte en de bulkdichtheid. Voor een deel van de datasets, zoals beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport, zijn de bodemtypen niet gegeven. Voor dataset 7 is gerekend met een veldpodzolgrond. Voor de profielopbouw (horizonten) en bijbehorende gegevens is uitgegaan van een standaard bodemprofiel van de legenda-eenheid Hn21 (bodemkaart 1:50000) voor de podzolgronden, van de legenda-eenheid zEZ21 voor de enkeerdgronden en van de legenda-eenheid pZn21 voor de gooreerdgronden.

Veel invoergegevens voor het model moeten per seizoen worden gegeven. Het is niet mogelijk om voor toediening van de mest andere tijdstippen te beschouwen dan voor- en/of najaar. Voor de hydrologie van het bodemsysteem worden halfjaarlijkse (seizoens-) gemiddelde vochtgehalten gebruikt per bodemlaag. Verder wordt een langjarig gemiddelde grondwatervoeding gebruikt, die in zijn geheel in de winter plaats vindt. De waarden van deze grootheden zijn afhankelijk van de grondwatertrap (Gt). Bij de datasets van het proefveldonderzoek was de grondwatervoeding steeds bekend. Voor de scenarioberekeningen van hoofdstuk 5 is echter van standaardwaarden gebruik gemaakt.

Er wordt onderscheid gemaakt in drie verschillende stikstofbronnen door bemesting: kunstmest, dierlijke mest en beweiding. Voor dierlijke mest wordt onderscheid gemaakt in vier verschillende soorten mest: rundvee-, varkens- en kippedrijfmest of droge kippemest. Van de kunstmest dient de totale N-toevoer als invoergegeven. Dierlijke mest wordt opgegeven in tonnen ( $m^3$ ), waarbij bijvoorbeeld voor rundveedrijfmest het N-gehalte gelijk is aan 0,44 gewichtsprocenten. Hiervan is de helft organisch N en de helft minerale N. Deze fracties zijn voor elke mestsoort anders. De fractie van de minerale N, die vervluchtigt, verschilt per bodemgebruik en wijze van toediening. De vervluchtigingsfractie van grasland bijvoorbeeld is bij bovengrondse toediening 0,32 en bij injectie 0,05. De totale voor gewasopname beschikbare (werkzame) N in dierlijke mest in het groeiseizoen is de minerale N minus de vervluchtiging plus het gemineraliseerde deel van de organische N (afhankelijk van toedieningswijze en mesttype). In de gebruikte versie van RENLEM wordt de N-toevoer door beweiding niet als beschikbaar voor gewasopname beschouwd. Beweidingsstikstof zal zodoende vervluchtigen, denitrificeren of uitspoelen.

Behalve door bemesting wordt er ook stikstof in de bodem gebracht door depositie en gewasresten. De stikstoftoevoer uit gewasresten is een vast percentage van de bruto stikstofopname (afhankelijk van bodemgebruik). Stikstof uit depositie wordt in deze versie van het model niet beschikbaar geacht voor gewasopname.

Per bodemgebruikstype is een maximale gewasopname gegeven als invoer voor het model. Voor gras is deze maximale opname  $689 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  en voor maïs  $218 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Als de gewasopname bekend is kan deze ook als invoergegeven dienen. Bij een onvoldoende hoeveelheid beschikbaar N wordt de gewasopname door het model aangepast. Vooral voor dataset 1 was dit laatste meer regel dan uitzondering. Als er te weinig werkzame N in de mest wordt toegediend, kan de berekende gewasopname sterk gereduceerd worden. Het model is voor dergelijke situaties eigenlijk niet bedoeld. Van de gewasopname wordt, afhankelijk van het bodemgebruik, een deel afgevoerd met de oogst en een deel komt met de gewasresten weer terug in het systeem als organische N. Deze mineraliseert weer in een jaar tijd.

RENLEM is een sterk op denitrificatie gericht model. Denitrificatie is in het model beschreven als een eerste orde proces. Denitrificatie is afhankelijk van vochtgehalte, pH, dichtheid, temperatuur en beschikbare organische koolstof (C) in de bodem. De beschikbare C is afkomstig van organische stof in de bodem, van dierlijke mest en van gewasresten. De maximale denitrificatiesnelheidsconstante is door middel van calibratie vastgesteld voor grasland en snijmaïs (Kragt & De Vries, 1988). In het model wordt de denitrificatiesnelheidsconstante gecorrigeerd voor pH, temperatuur en (water-)verzadigingsgraad van de bodem. Met de zo verkregen waarde van de snelheidsconstante, de beschikbare hoeveelheden nitraat en koolstof en het vochtgehalte wordt voor elke bodemlaag en elke periode de totale hoeveelheid gedenitrificeerd nitraat uitgerekend. Uit de stikstofbalans van de bodem wordt nu voor elke laag het nitraatoverschot berekend.

De nitraatuitspoeling gedurende het winterseizoen wordt berekend door de nitraatconcentratie in het bodemvocht te vermenigvuldigen met de grondwatervoeding. De nitraatconcentratie in het winterseizoen wordt berekend door middel van een iteratief rekenproces.

### 3 BESCHRIJVING DATASETS

#### 3.1 Algemeen

Voor de validatie van de modellen is gebruik gemaakt van zeven datasets. Van de afzonderlijke datasets zullen hierna in het kort beschrijvingen worden gegeven van de proefvelden, de proefomstandigheden en de meetresultaten. De datasets 1 tot en met 6 zijn afkomstig van onderzoek dat is uitgevoerd door het Staring Centrum (SC-DLO) in samenwerking met andere instellingen van onderzoek, zoals het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO), het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO), het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR), het Proefstation voor Akkerbouw en Groenteteelt in de Volle Grond (PAGV) en de Landbouwuniversiteit (LUW). In deze proeven is altijd op kleinere proefvelden gedurende meerdere jaren nauwkeurig gemeten wat de bemesting is, de gewasopname, de waterbalans, de grondwaterstand en de uitspoeling van nitraat op circa 1 m onder maaiveld. In de datasets 4 en 5 is de nitraatuitspoeling berekend op basis van metingen van de nitraatconcentratie in het drainwater. Dataset 7 is afkomstig van onderzoek op 10 stikstofproefbedrijven op zandgrond, uitgevoerd door het RIVM in samenwerking met het Nederlands Meststoffen Instituut (NMI) (Boumans et al., 1989). In dit laatste onderzoek is op perceelsniveau op basis van de beschikbare jaarverslagen een gemiddelde langjarige N-toediening per perceel afgeleid voor kunstmest, uitgereden dierlijke mest en weidemest. Er zijn geen metingen uitgevoerd van de samenstelling van dierlijke mest, de grondwaterstand en de grondwatervoeding. In alle datasets zijn de gemiddelde waarden van bemesting, N-afvoer in de gewassen en uitspoeling over de beschikbare meetjaren gebruikt.

#### 3.2 Beschrijving van de datasets

##### *SET 1: Injectie en bovengrondse aanwending van drijfmest op grasland*

Op een zandgrond (veldpodzolgrond) te Ruurlo met een grondwatertrap (Gt) V à VI is gedurende 5 jaar onderzoek gedaan naar de invloed van drijfmestbemesting in de periode maart tot april. De drijfmestgift op de proefveldjes varieerde van 0 tot 185  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  totaal-N bij oppervlakkige toediening en bij injectie van 0 tot 378  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  totaal-N. Elke drijfmestdosering werd gecombineerd met drie N-kunstmestniveaus, die varieerden van 0 tot 579  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ . Achttien van de proefveldjes zijn onderzocht op nitraatuitspoeling. De gegevens en resultaten zijn opgenomen in tabel 17

Het gemiddelde nitraatgehalte op 1 m -m.v. is in figuur 3 uitgezet tegen de werkzame N-gift, de som van kunstmest-N en de werkzame N uit de dierlijke mest. De werkzame N uit dierlijke mest is afgeleid uit de N-opname door het gras.

**Tabel 17** Invloed van bemesting met kunstmest en dierlijke mest op de afvoer van N in het gemaaid gras en de nitraatuitspoeling op 1 m -m.v. voor gemaaid grasland, gemiddeld over vijf uitspoelingsseizoenen (1980/81-1984/85). Alle posten zijn gegeven in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N. Het onderzoek is uitgevoerd te Ruurlo op een zandgrond met Gt V à VI. Gemiddelde neerslag: 745 mm (april-april); gemiddelde grondwatervoeding: 265 mm (april-april). De rundveedrijfmest is gegeven als totaal-N; waarvan circa 50% in minerale vorm ( $\text{NH}_4$ ). (Bron: IB-DLO, PR en SC-DLO).

Variant	Drijfmest	Kunstmest	Afvoer	Uitspoeling	(1)
kunstmest	0	0	141	11	-
	0	386	464	41	+
	0	579	542	84	+
bovengronds	100	0	166	13	-
	100	386	494	30	+
	100	579	555	78	+
bovengronds	185	0	186	9	-
	185	386	500	39	+
	185	579	557	89	+
injectie	106	0	196	8	-
	106	386	490	55	+
	106	579	560	59	-
injectie	195	0	245	15	+
	195	386	537	43	+
	195	579	582	115	-
injectie	378	0	349	21	-
	378	386	562	97	-
	378	579	572	218	-

(1) -/+ = niet/wel gebruikt bij de statistische analyse (hoofdstuk 4)

In de figuur zijn alleen de resultaten van die proefveldjes opgenomen waarvan vijf jaar gegevens beschikbaar waren. Door de resultaten van de overige veldjes, waarvan drie meetjaren beschikbaar zijn, op te nemen zou de getekende lijn slechts weinig van positie veranderen. Er blijkt bij deze benadering voor dit proefveld een duidelijk verband te zijn tussen de N-bemesting en de nitraatuitspoeling, ondanks verschillen in toedieningswijze van de dierlijke mest en de grote variatie in bemestingsniveau. Naarmate de werkzame N-gift groter wordt neemt de nitraatuitspoeling sterk toe. De maximaal toelaatbare nitraatconcentratie voor drinkwater (drinkwaternorm:  $11,3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  als N) wordt op dit perceel overschreden bij circa  $375 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  werkzame N.

#### SET 2: Drijfmestinjectie bij snijmaïs

Op Proefboerderij Droevendaal te Wageningen is gedurende vier jaar de invloed van het tijdstip van mestinjectie (oktober, december en maart) op de uitspoeling bestudeerd. Mestinjectie werd toegepast op een enkeerdgrond met Gt IV. In het onder-



zoek is nagegaan wat de invloed is van het wel of niet gebruiken van nitrificatieremmers op de nitraatuitspoeling (Jansen et al., 1990), maar voor deze modelvergelijking zullen alleen de gegevens van de veldjes zonder nitrificatieremmers worden gebruikt. De drijfmestdoseringen waren circa 200 en 400 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als totaal-N. Als vergelijkingsobject is een N-voorjaarsbemesting van 160 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> N genomen. In figuur 4 en tabel 18 zijn de resultaten van de nitraatuitspoeling weergegeven.

Uit figuur 4 blijkt dat een hogere drijfmestgift ook resulteert in hogere concentraties. De laagste concentratie wordt gevonden bij aanwending van kunstmest in het voorjaar of de lagere drijfmestgift in het voorjaar. De gemeten nitraatconcentraties zijn in alle gevallen hoger dan de waarde 11,3 g.m<sup>-3</sup> als N (drinkwaternorm voor nitraat).

**Tabel 18** Invloed van het tijdstip van drijfmestinjectie op de N-afvoer in snijmaïs en de nitraatuitspoeling op 0,90 m -m.v., gemiddeld over drie uitspoelingsseizoenen (1985/86-1988/89). Alle gegevens zijn vermeld in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. Het onderzoek is uitgevoerd te Wageningen op een zandgrond met Gt IV. Gemiddelde neerslag: 730 mm.a<sup>-1</sup> (april-april); gemiddelde grondwatervoeding: 420 mm.a<sup>-1</sup> (april-april). (bron: CABO-DLO, SC-DLO)

Variant	Drijfmest		Kunstmest	Afvoer	Uitspoeling	(1)
	N-totaal	N-mineraal				
oktober	192	95	0	122	153	-
	400	200	0	158	190	+
december	187	82	0	133	142	-
	370	160	0	159	254	+
maart	227	120	0	183	61	+
	455	240	0	205	104	+
kunstmest	0	0	160	120	70	+

(1) -/+ niet/wel gebruikt bij de statistische analyse (hoofdstuk 4)

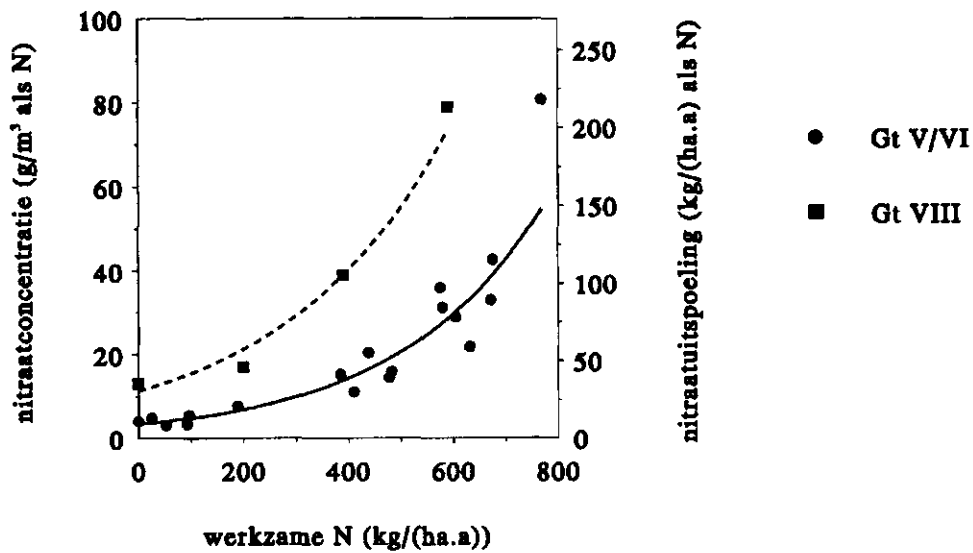


Fig. 3 Gemiddelde nitraatconcentratie gedurende het uitspoelingsseizoen in het grondwater op 1,0 m -m.v. onder gemaaid grasland op zandgrond als functie van de werkzame N-gift. De resultaten zijn van het proefveld te Ruurlo met een Gt V à VI en te Heino met een Gt VIII. (Bron: IB-DLO, PR, CABO-DLO, SC-DLO)

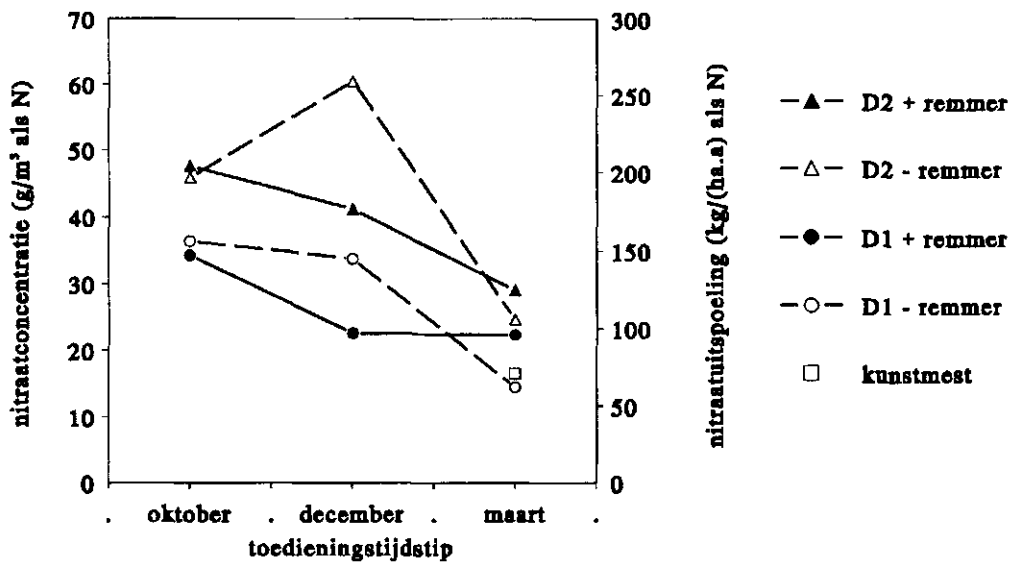


Fig. 4 Gemiddelde nitraatconcentratie gedurende het uitspoelingsseizoen in het grondwater op 0,90 m -m.v. onder snijmaais op zandgrond met Gt IV, bij drie verschillende toedieningstijdstippen en twee niveaus van drijfmestgift (D1=200 en D2=400  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als totaal-N) met wel of niet toedienen van nitrificatieremmer. Verder is ook het resultaat weergegeven van een proefveld met een bemesting van uitsluitend 160  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als kunstmest-N. (Bron: CABO-DLO, SC-DLO)

### SET 3: Kunstmest op grasland en invloed van beregening

Op het Regionaal Onderzoek Centrum te Heino is gedurende drie jaar onderzoek gedaan naar de invloed van beregening van niet beweid grasland op de nitraatuitspoeling bij verschillende N-kunstmestniveaus tussen 0 en 590 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>. Het onderzoek is uitgevoerd op een enkeerdgrond met een grondwaterstand dieper dan 2,0 m -m.v. (Gt VIII). De gemiddelde resultaten van de nitraatuitspoeling op 1 meter diepte zijn weergegeven in figuur 3. In tabel 19 worden de gegevens van de niet beregende veldjes vermeld. Uit tabel 19 blijkt dat bij een N-bemesting van circa 400 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> ongeveer 25% van de toegediende N uitspoelt. De waarde van 11,3 g.m<sup>-3</sup> wordt al overschreden zonder dat bemesting plaats vindt. Dit hangt samen met het enkeerdprofiel, waarin tot 0,80 m -m.v. hoge organische stofgehalten voorkomen. De hieruit gemineraliseerde N kan blijkbaar niet geheel worden benut door het gras.

**Tabel 19** Invloed van de kunstmestbemesting op de N-afvoer via gras en de nitraatuitspoeling op 1 meter diepte onder gemaaid grasland op een enkeerdgrond met Gt VIII. Alle gegevens zijn in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. Het onderzoek is uitgevoerd op het Regionaal Onderzoek Centrum te Heino (Overijssel) in de periode voorjaar 1982 tot voorjaar 1985. Gemiddelde neerslag: 695 mm.a<sup>-1</sup> en gemiddelde grondwatervoeding: 285 mm.a<sup>-1</sup> (Bron: CABO-DLO, PR, SC-DLO)

Kunstmest	Afvoer	Uitspoeling	(1)
0	131	36	-
200	288	45	+
390	435	106	+
590	493	212	+

(1) -/+ niet/wel gebruikt bij de statistische analyse (hoofdstuk 4)

### SET 4: Beweiding op grasland (zandgrond)

De invloed van beweiding op de nitraatuitspoeling onder grasland op zandgrond (gooreerdgrond) is onderzocht op de LUW-proefboerderij De Meenthoeve te Wageningen. De gemiddelde kunstmestbemesting varieerde van 255 tot 680 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. De beweiding werd continu uitgevoerd met ossen, waarbij de veebezetting werd aangepast aan het aanbod van gras. Er werd geen krachtvoer verstrekt. Bij beweiding met ossen is minder ruwvoer nodig dan met melkvee, omdat immers geen opname voor melkproductie nodig is. Globaal kan worden aangehouden dat uit oogpunt van ruwvoeropname 1 melkkoe equivalent is met 2 ossen. Beweiding met ossen leidt, bij een veebezetting op basis van grasaanbod, dus tot meer vertrapping. Het aantal dierweide-dagen per ha varieerde van 1380 op het laagste bemestingsniveau tot 1520 bij het hoogste niveau. De ammoniakconcentratie in de urine is hoger dan van melkvee als gevolg van een kleinere wateropname. De beweide percelen zijn gedraineerd. De gemiddeld hoogste grondwaterstand van de deze percelen ligt op 40 à 60 cm -m.v.. De gemiddeld laagste grondwaterstand ligt op circa 120 cm -m.v.. De nitraatuitspoeling van de beweide percelen is berekend op basis van gemeten nitraatconcentraties in het

drainwater. Om uitspraken te kunnen doen over het effect van beweiding zijn ook niet beweidde proefveldjes aangelegd met dezelfde kunstmestbemesting. Deze proefveldjes hebben een diepere grondwaterstand en zijn ook niet gedraineerd. De gegevens van deze proefveldjes zijn wel opgenomen in figuur 5, maar niet in tabel 20 omdat ze niet bij de modelvalidatie zijn gebruikt. De bespreking van de resultaten zal plaats vinden bij de behandeling van SET 5: beweiding op grasland (kleigrond).

**SET 5: Beweiding op grasland (kleigrond)**

Op de LUW-proefboerderij De Minderhoudhoeve te Swifterbant is voor een gedraineerde kleigrond met Gt IV nagegaan wat de invloed is van beweiding met melkvee op de nitraatuitspoeling. Het onderzoek heeft drie jaar geduurd, waarbij de resultaten van de laatste twee jaar zijn gegeven in tabel 20 en figuur 5. De gemiddelde toevoer van kunstmest-N van de percelen varieerde van 250 tot 700 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>. De input van krachtvoer bedroeg 1 kg ds (A-brok) per dier per dag. Het aantal dierweide-dagen per ha varieerde van 530 bij het laagste bemestingsniveau tot 690 bij het hoogste niveau. De hoeveelheid N die via het krachtvoer is aangevoerd varieerde van 11 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> bij de laagste bemestingstrap tot 15 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> bij de hoogste bemestingstrap.

Uit de resultaten blijkt dat de nitraatuitspoeling bij beweiding op zandgrond beduidend groter is dan op kleigrond. Bij het laagste bemestingsniveau scheelt dit een factor 6 en bij de hoogste een factor 3. Dit wordt veroorzaakt door een grotere denitrificatie van de kleigrond, enerzijds door de hogere grondwaterstand van de kleigrond en anderzijds door het hogere denitrificerende vermogen van een kleigrond bij eenzelfde grondwaterstand (aanhangel 1). Overschrijding van de nitraatconcentratiewaarde van 11,3 g.m<sup>-3</sup> als N vindt bij deze zandgrond al plaats bij een kunstmest N-gift van circa 250 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> en bij deze kleigrond bij een kunstmest N-gift van ruim 400 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>.

**Tabel 20** Invloed van beweiding op de N-afvoer en de nitraatuitspoeling op circa 1 m -m.v. onder uitsluitend beweid grasland op zandgrond (Gt VI) en kleigrond (Gt IV) in afhankelijkheid van de kunstmestbemesting. Drainafvoer van zowel zandgrond als kleigrond gemiddeld 320 mm.a<sup>-1</sup> (april-april). Alles in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. (Bron: CABO-DLO, LUW, SC-DLO)

Grondsoort	Kunstmest	Beweiding <sup>(a)</sup>	Afvoer <sup>(b)</sup>	Uitspoeling	(1)
zandgrond	255	336	35	48	+
	390	395	35	61	+
	520	433	40	116	-
	680	430	40	145	-
kleigrond	250	235	70	8	-
	400	300	83	29	-
	550	370	90	41	-
	700	385	93	49	-

(a) de beweidings-N is berekend uit de opname door vee verminderd met de benutting voor melk en gewichtstoename

(b) afvoer via gewichtstoename, melk en verwijdering dood gras in het voorjaar

(1) +/- niet/wel gebruikt bij de statistische analyse (hoofdstuk 4)

### SET 6: Winterbodembedekkers na snijmaïs

De functie van winterbodembedekkers (of groenbemesters) is van oudsher de verhoging van het organische stofgehalte in de bodem en mede daardoor verbetering van de bodemstructuur. Wintergewassen zijn ook te gebruiken voor de beperking van de nitraatuitspoeling, doordat ze het overschot aan minerale stikstof, dat in de bodem in het najaar aanwezig is of vrijkomt door mineralisatie, vastleggen door de extra gewasopname in najaar en winter. Vanaf 1988 wordt onderzoek verricht naar het effect op de nitraatuitspoeling van de teelt van winterbodembedekkers bij continue teelt van snijmaïs op een zandgrond (veldpodzol met Gt VI) te Heino. Hierbij wordt gewerkt met de volgende drie varianten:

- braak liggende grond in de winter,
- winterrogge, eind september gezaaid na de oogst van de maïs,
- gras, gezaaid onder de snijmaïs in juni.

Op alle veldjes, behalve het 0-veldje, wordt in het voorjaar per ha 45 m<sup>3</sup> rundveedrijfmest (220 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> totaal-N) gegeven; deze hoeveelheid komt ongeveer overeen met de eindnorm in de mestregelgeving en dekt globaal de gewasbehoefte. De kunstmestdosering, die daarnaast wordt gegeven, varieert van 20 (startgift) tot 140 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. Alleen de gegevens van het eerste meetjaar zijn beschikbaar en zijn weergegeven in figuur 6 en tabel 21 (Jansen et al., 1990).

**Tabel 21** Invloed van de teelt van wintergewassen op de nitraatuitspoeling bij de continue teelt van snijmaïs na het groeiseizoen 1988. Het onderzoek vindt plaats op een veldpodzol (Gt VI) te Heino. Alles is in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. Gemiddelde neerslag 666 mm.a<sup>-1</sup> en grondwatervoeding 233 mm.a<sup>-1</sup> (bron: CABO-DLO, PAGV, SC-DLO).

Variant	Drijfmest <sup>(a)</sup>	Kunstmest <sup>(b)</sup>		Afvoer <sup>(c)</sup>		Uitspoeling	(1)
		rij	breedw.	maïs	wintergewas		
braak	0	20	0	161	0	58	-
	220	20	0	190	0	99	+
	220	20	40	194	0	138	+
	220	20	80	194	0	198	+
	220	20	120	180	0	209	-
rogge	0	20	0	161	40	25	-
	220	20	0	190	45	89	-
	220	20	80	194	44	123	-
	220	20	120	180	41	130	-
gras	0	20	0	148	36	12	-
	220	20	0	167	42	56	-
	220	20	80	175	45	95	-
	220	20	120	187	47	116	-

(a) geïnjecteerd op 18-4-1988

(b) rijenbemesting van 20 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N bij zaaien van maïs, de rest is breedwerpig toegediend op 20-5-1988

(c) rogge gezaaid op 27-9-1988, geoogst op 20-4-1989

gras gezaaid op 15-6-1988, geoogst op 20-4-1989

(1) -/+ niet/wel gebruikt bij de statistische analyse (hoofdstuk 4)

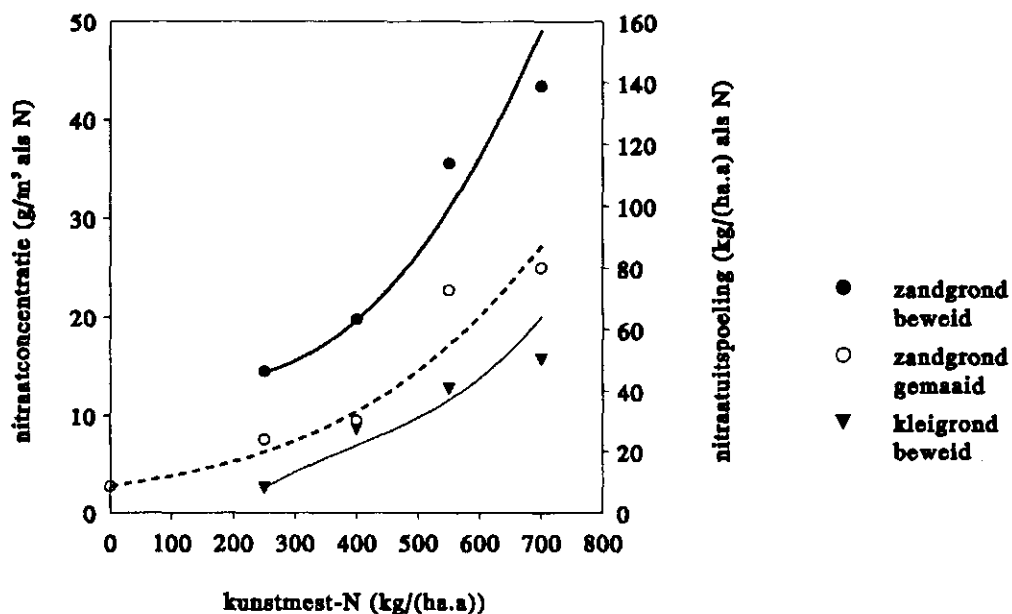


Fig. 5 Gemiddelde nitraatconcentratie op ca. 1 m -m.v. onder uitsluitend beweid grasland op zandgrond (Gt VI) en kleigrond (Gt IV), en onder uitsluitend gemaaid grasland op zandgrond (Gt VII) als functie van de bemesting met kunstmest-N. De resultaten hebben betrekking op de uitspoeling na de groeiseizoenen 1986, 1987 en 1988 voor zandgrond en 1987 en 1988 voor kleigrond. (Bron: CABO-DLO, LUW, SC-DLO)

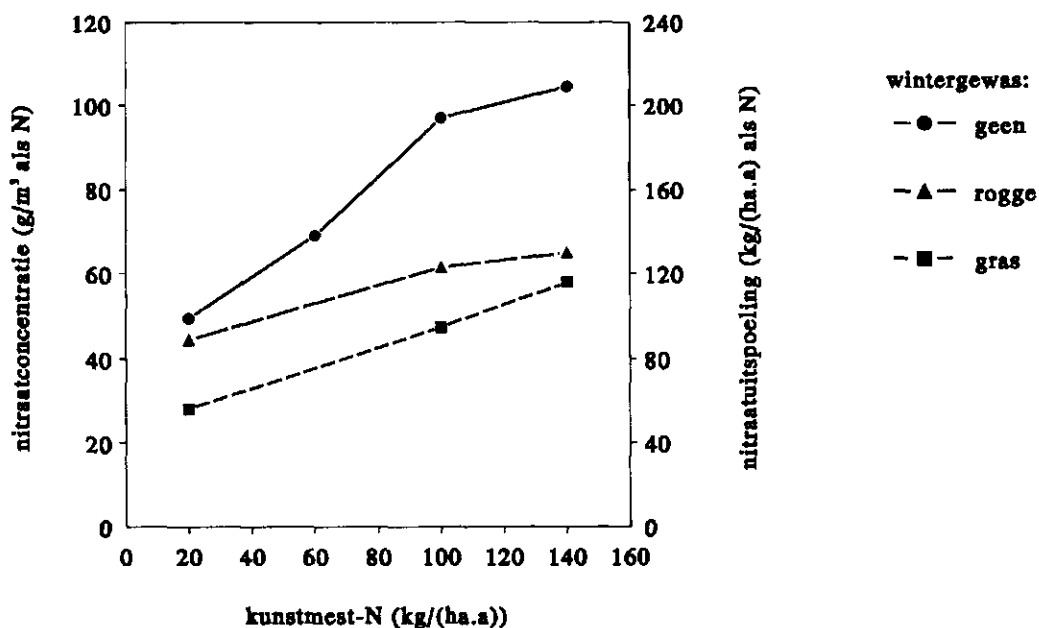


Fig. 6 Gemiddelde nitraatconcentratie gedurende het uitspoelingsseizoen in het grondwater op 1,0 m -m.v. bij snijmaïs op zandgrond met Gt VI bij verschillende wintergewassen als functie van de bemesting met kunstmest-N, waarbij alle veldjes eveneens een hoeveelheid rundveedrijfmest ( $220 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  totaal-N) hebben gekregen. (Jansen et al., 1990). (Bron: CABO-DLO, PAGV, SC-DLO)

### SET 7: Stikstofproefbedrijven voor grasland

Van 10 stikstofproefbedrijven op zandgrond is in de loop van het groeiseizoen 1987 het bovenste grondwater (0 - 1,0 m onder de grondwaterspiegel) bemonsterd via de boorgatenmethode met 4 boringen per ha. Deze boorgaten zijn eveneens gebruikt voor de bodemkartering en de vaststelling van de grondwatertrap. De grondwatertrap van de percelen varieert van Gt II tot Gt VII\*. Van de jaren, voorafgaande aan de bemonstering is de gemiddelde bemesting per perceel geschat op basis van jaarverslagen van de proefbedrijven. In tabel 22 en figuur 7 zijn de onderzoeksresultaten, gemiddeld per Gt-klasse, samengevat (naar Boumans et al., 1989). Informatie uit de bedrijfsboekhouding over het tijdstip van aanwenden van dierlijke mest is niet gebruikt. Voor de uit te voeren berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de dierlijke mest het gehele jaar door is uitgereden, ook al mag worden aangenomen dat het grootste deel in voorjaar en groeiseizoen zal zijn aangewend. De nitraatuitspoeling blijkt sterk beïnvloed te worden door de grondwatertrap. Uit alle waarnemingen (n=833) is met behulp van meervoudige regressie-analyse voor elke Gt de te verwachten nitraatconcentratie berekend bij de gemiddelde bemesting. De gemiddelde N-bemesting van de proefbedrijven is als volgt:

- kunstmest:	420	(kg.ha <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> als N)
- bovengronds uitgereden dierlijke mest:	178	"
- weidemest:	109	"
- totaal:	<u>707</u>	"

Daarbij is een nitraatconcentratie berekend van 54 g.m<sup>-3</sup> als N, hetgeen bij een gemiddelde grondwatervoeding van 270 mm.a<sup>-1</sup> overeenkomt met een nitraatuitspoeling van circa 140 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N.

**Tabel 22 Gemiddelde bemesting met kunstmest, dierlijke mest, N-toevoer door beweiding, nitraatconcentratie en nitraatuitspoeling per grondwatertrap. De bemesting is in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N. De nitraatconcentratie is in g.m<sup>-3</sup> als N. De gemiddelde nitraatuitspoeling is in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N en is berekend op basis van de gemiddelde nitraatconcentratie en de gemiddelde grondwatervoeding van 270 mm.a<sup>-1</sup>. (naar Boumans et al., 1989).**

Grondwater-trap (Gt)	Kunstmest	Drijfmest	Beweiding	Nitraat-concentratie	Nitraat-uitspoeling
II	410	163	81	3	8
III	433	180	96	5	14
III*	389	190	116	17	46
IV	400	190	98	24	65
V	420	133	101	27	73
V*	443	173	100	26	70
VI	415	164	118	32	86
VII	457	189	98	46	124
VII*	482	271	65	61	165

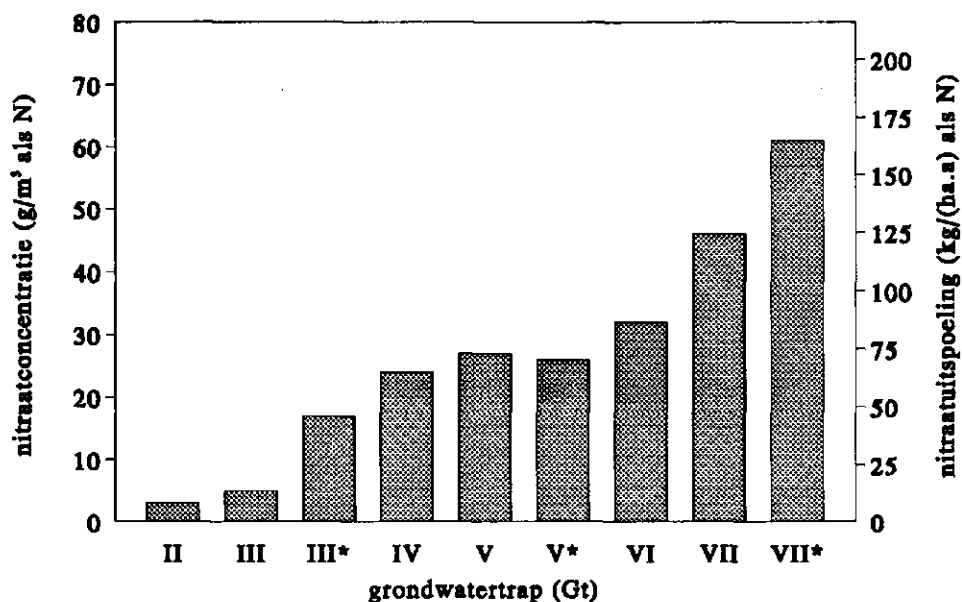


Fig. 7 Gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater onder beweide grasland op zandgrond van 10 stikstofproefbedrijven als functie van de grondwatertrap. De nitraatconcentratie is in  $\text{g.m}^{-3}$  (als N) en de nitraatuitspoeling is in  $\text{kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$  (als N). (Naar: Boumans et al., 1989)

### 3.3 Invloed van de grondwaterstand op de uitspoeling

De diepte van de grondwaterstand heeft een grote invloed op nitraatconcentratie in het bovenste grondwater bij een bepaald stikstofbemestingsniveau. Dit is bijvoorbeeld gebleken uit metingen zoals beschreven zijn in datasets 1, 3 en 7. Dit moet worden toegeschreven aan de verhoogde kans op denitrificatie bij een hogere grondwaterstand. Door Steenvoorden (1988) en Boumans et al. (1989) zijn uit deze onderzoeken correctiefactoren afgeleid die gebruikt kunnen worden voor de omrekening van de nitraatuitspoeling zoals die is gemeten bij de ene Gt naar de uitspoeling bij een andere Gt (tabel 23). Hierbij is de nitraatuitspoeling bij dezelfde bemesting voor Gt VII\* op 1,00 gesteld en wordt de uitspoeling bij een andere Gt gevonden door vermenigvuldiging met de bijbehorende correctiefactor.

Tabel 23 Invloed van de grondwatertrap (Gt) op de correctiefactor voor de nitraatuitspoeling. (Bron: Steenvoorden, 1988; Boumans et al., 1989)

Gt:	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
Boumans	0,05	0,08	0,31	0,43	0,50	0,48	0,65	0,83	1,00
Steenvoorden	0,04	0,10	0,22	0,22	0,15	0,22	0,41	0,73	1,00



De verschillen tussen de correctiefactoren, zoals die zijn afgeleid uit de beide onderzoeken, zijn soms groot. In aanhangsel 2 wordt dieper ingegaan op de wijze waarop de onderzoeken zijn uitgevoerd en de processen die van belang zijn voor de verklaring van de gevonden verschillen. Op basis van die processen moet worden aangenomen dat vooral het tijdstip van toedienen van de dierlijke mest grote invloed heeft op de denitrificatie bij de Gt's IV, V en VI. Daarom wordt met name bij deze Gt's een groot verschil gevonden tussen de correctiefactoren in de twee onderzoeken. Berekeningen, die door het DLO-Staring Centrum zijn uitgevoerd met het model ANIMO, dat de stikstof- en organische stof-huishouding op dynamische wijze simuleert en de invloed van vocht- en temperatuur-huishouding daarbij meeneemt, zijn hiermee in overeenstemming (aanslag 2).

### 3.4 Modelvorming op basis van het proefveldonderzoek

De resultaten van het proefveldonderzoek zijn eveneens gebruikt om voor grasland op zandgrond een eenvoudige relatie af te leiden tussen bemesting en nitraatuitspoeling. Als uitgangspunt is gebruik gemaakt van set 1, die betrekking heeft op gemaaid grasland dat is bemest met verschillende combinaties van dierlijke mest en kunstmest. Daarbij is de bemesting uitgedrukt in minerale stikstof, berekend door het sommeren van de kunstmest-N en het minerale deel van de dierlijke mest. Een exponentiële functie (model) voor de nitraatuitspoeling als functie van de minerale stikstof is afgeleid door middel van lineaire regressie op  $y = \ln(\text{uitspoeling})$  versus  $x = N_{\text{min}}$ . De mate van "fit" is uitgedrukt in de verklaarde variatie ("adjusted", Draper & Smith, blz. 91) en is in dit geval gelijk aan 0,9249. Daarna is deze functie, die geldt voor Gt V/VI, getransformeerd naar twee functies voor Gt VII\* met behulp van de correctiefactoren van Steenvoorden en Boumans (geschat op resp. 0,3 en 0,55).

$$\begin{aligned} \text{uitspoeling (curve-fit set 1 Gt V/VI)} &= 8,82 \cdot \text{EXP}(0,003651 \cdot N_{\text{min}}) \\ \text{uitspoeling (Boumans, Gt VII*)} &= 16 \cdot \text{EXP}(0,003651 \cdot N_{\text{min}}) \\ \text{uitspoeling (Steenvoorden, Gt VII*)} &= 29 \cdot \text{EXP}(0,003651 \cdot N_{\text{min}}) \end{aligned}$$

$N_{\text{min}}$  = toegediende minerale stikstof in kunstmest, drijfmest en door beweiding in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

Beide functies zijn toegepast voor de berekening van de uitspoeling van grasland op andere proefvelden, namelijk set 1 (gemaaid grasland, Gt V/VI), set 3 (gemaaid grasland, Gt VIII), set 4 (beweid grasland Gt VI) en set 7 (beweid grasland diverse Gt's). De bijdrage in de toegediende minerale stikstof door beweiding is berekend door 50% te nemen van de totale N-toevoer door beweiding na aftrek van 12% vervluchtiging. Voor de extra denitrificatie bij de verschillende Gt's is gecorrigeerd door middel van de correctiefactoren van tabel 23. De gemeten en berekende waarden van de nitraatuitspoeling zijn uitgezet in de figuren 8a ("model" Boumans) en 8b ("model" Steenvoorden). Bij vergelijking van de resultaten blijkt het model "Steenvoorden" het beter te doen bij set 3, terwijl het model "Boumans" doet het beter bij set 4 en 7. Beide modellen geven echter goede resultaten. Het model Boumans is in hoofdstuk 5 voor scenario-berekeningen gebruikt en wordt daar aangeduid met "VELD".

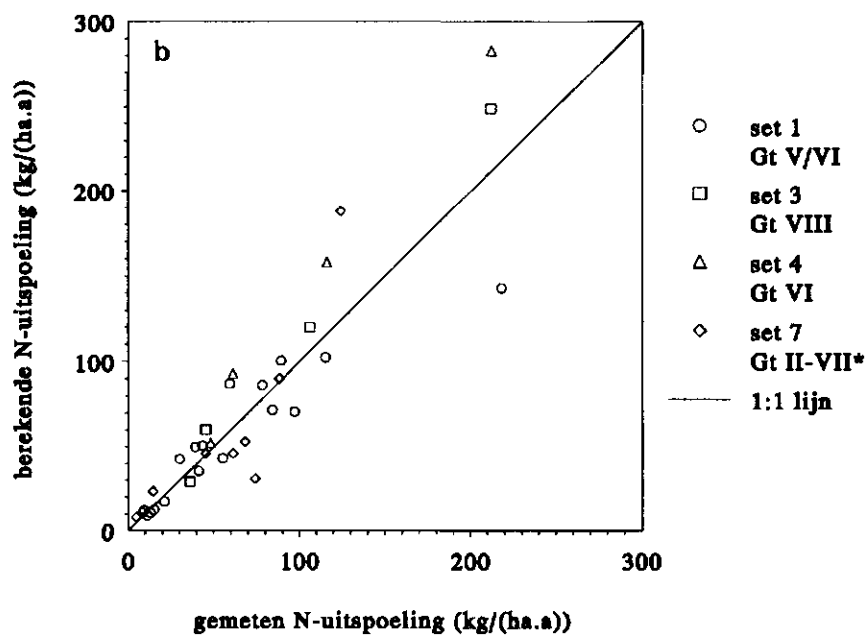
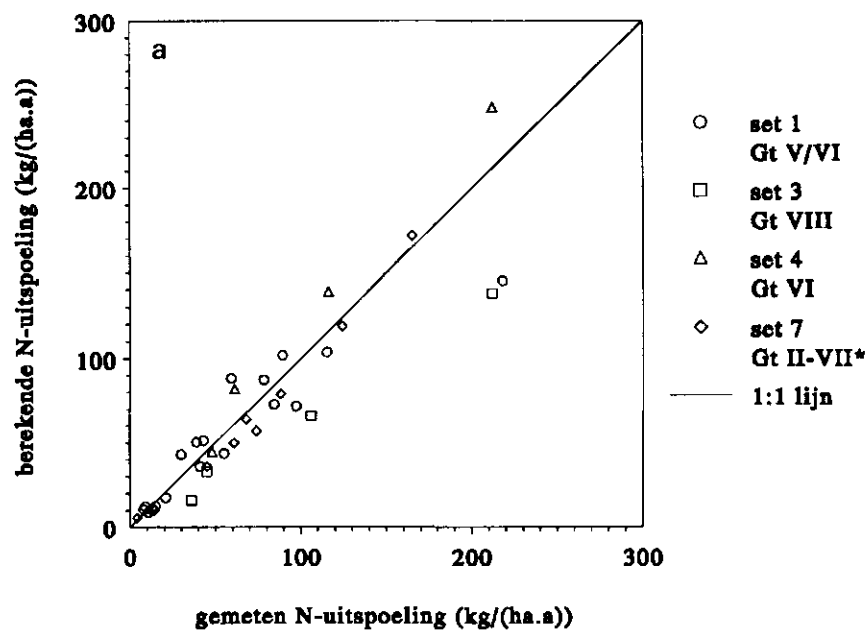


Fig. 8 Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met de proefveldfunctie volgens Boumans (a) en Steenvoorden (b) met gemeten waarden

## 4 EVALUATIE VAN DE MODELRESULTATEN

Met de in hoofdstuk 2 besproken modellen is de nitraatuitspoeling berekend voor de verschillende datasets, zoals die in hoofdstuk 3 zijn gepresenteerd. In dit hoofdstuk worden de resultaten van die modelberekeningen besproken. De afzonderlijke berekeningsresultaten en de daarvoor gebruikte invoergegevens zijn weergegeven in aanhangsel 3. De modellen NITRIN, NPK-88, NPK-89 en RENLEM zijn niet toegepast op kleigrond (dataset 5).

Eerst worden de modelresultaten per dataset besproken, waarna een vergelijking tussen de modelresultaten wordt gemaakt op basis van enkele statistische parameters. Voor de statistische analyse zijn de resultaten gegroepeerd naar bodemgebruik (grasland en snijmaïs); vanwege het geringe aantal waarnemingen is het niet zinvol per dataset een statistische analyse uit te voeren.

### 4.1 Modelresultaten per dataset

Een visuele beoordeling van de resultaten is mogelijk door middel van de figuren 10 t/m 19 waarin voor de verschillende modellen de berekende tegen de gemeten waarden van de nitraatuitspoeling zijn uitgezet. Hierbij is onderscheid gemaakt in grasland op zandgrond, grasland op kleigrond en snijmaïs op zandgrond in continueelt.

#### 4.1.1 Grasland op zandgrond

De resultaten van de verschillende modellen zijn meestal sterk verschillend voor de diverse datasets. In het algemeen kan worden gesteld dat voor dataset 4 een lichte overschatting van de uitspoeling aanvaardbaar is, aangezien de gegevens afkomstig zijn van drainwaterbemonstering. Tussen het punt waar de uitspoeling wordt berekend en het punt waar de bemonstering plaats vindt kan nog een deel van het nitraat denitrificeren.

De resultaten van het model KOL (fig. 10a) voor dataset 1 zijn redelijk. De uitspoeling van zowel dataset 4 als van dataset 7 wordt overschat, terwijl dataset 3 juist een onderschatting oplevert. Wel wordt voor de datasets 3 en 4 de goede trend berekend. Het model WAL onderschat de uitspoeling voor alle datasets (fig. 11a); alleen de onderschatting voor dataset 4 is beperkt. Zowel door model KOL als door model WAL wordt gebruik gemaakt van een genormaliseerde grondwatervoeding. In het geval van model WAL is dit  $200 \text{ mm.a}^{-1}$  en kan dit de verklaring zijn van de sterke onderschatting van de uitspoeling, aangezien de werkelijke waarde van de grondwatervoeding in alle gevallen groter is.

Met het model NITRIN worden voor de datasets 1 en 7 goede resultaten behaald. De waarnemingen van de datasets 3 en 4 worden respectievelijk onder- en overschat, waarbij echter de trend in de waarnemingen wel juist wordt berekend (fig. 12a).

Met de versie van model NPK uit 1988 worden de meeste waarnemingen overschat, behalve bij dataset 3. Wel is de trend in de berekeningen redelijk in overeenstemming met die in de waarnemingen (fig. 13a). De versie van NPK uit 1989 levert vooral voor dataset 7 een goed resultaat op, waarbij echter in aanmerking moet worden genomen dat deze gegevens zijn gebruikt voor de calibratie van het model. Voor dataset 4 treedt een overschatting op, terwijl voor de datasets 1 en 3 de uitspoeling sterk wordt onderschat (fig. 14a). Bovendien valt op dat in een aantal gevallen een uitspoeling van  $0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N wordt berekend. Dit is een gevolg van het modelconcept, waarbij uitgegaan wordt van de stikstofbalans van de bodem: geen overschot op de balans betekent geen uitspoeling.

Door het model DGM (fig. 15a) wordt de uitspoeling onderschat bij de datasets 3 en 7, terwijl bij dataset 4 deze juist wordt overschat. Zowel voor dataset 3 als voor dataset 4 wordt echter een juiste trend voorspeld. In het geval van dataset 1 lijkt er geen systematische onder- of overschatting plaats te vinden; er zijn echter duidelijk drie niveaus in de berekende uitspoeling waar te nemen. Deze stemmen overeen met de kunstmest-N niveaus, zodat hieruit blijkt dat de toediening van dierlijke mest nauwelijks effect heeft op de berekende uitspoeling. Voor de situaties in dataset 1 met alleen kunstmesttoediening wordt de uitspoeling overschat.

Het model RUL overschat de uitspoeling in de meeste gevallen (fig. 16a). Alleen bij dataset 3 wordt de uitspoeling onderschat. Wel volgt de trend in de berekeningen bij benadering die in de waarnemingen; alleen voor dataset 4 neemt de berekende uitspoeling bij hogere gemeten uitspoeling te snel toe.

De resultaten van model NLOAD (fig. 17a) zijn vrijwel gelijk aan die van model RUL, waarbij echter in alle gevallen de uitspoeling op een iets lager niveau ligt. Dit levert met name voor dataset 1 een verbetering op; voor dataset 3 echter verslechteren de resultaten.

De resultaten van model RENLEM (fig. 18a) zijn sterk verschillend voor de diverse datasets. De berekende waarden voor dataset 3 komen goed overeen met de waarnemingen, maar voor zowel dataset 1 als dataset 4 wijken de berekeningen sterk af. Opvallend is vooral dataset 1, waarbij de berekende uitspoeling voor alle situaties min of meer op hetzelfde niveau ligt en veel lager is dan de gemeten uitspoeling; dit is te wijten aan een te hoge berekende denitrificatie voornamelijk als gevolg van de toediening van dierlijke mest. De uitspoeling op een droge zandgrond met alleen de toediening van kunstmest (dataset 3) wordt wel goed berekend. Voor het beweide grasland (dataset 4) wordt bij de zeer intensief bemeste proefveldjes een te hoge uitspoeling berekend; dit is een gevolg van de aanname dat beweidings-N uitsluitend denitrificeert of uitspoelt en dus niet door het gewas kan worden opgenomen. De uitspoeling voor dataset 7 wordt ook sterk overschat.

#### 4.1.2 Grasland op kleigrond

In fig. 19 zijn de resultaten voor beweid grasland op kleigrond (dataset 5) weergegeven van vijf modellen (KOL, WAL, DGM, RUL, NLOAD). Evenals voor dataset 4 geldt voor deze dataset dat de gegevens afkomstig zijn van drainwaterbemonstering, waardoor een zekere overschatting van de uitspoeling door de modellen mogelijk is. Behalve voor het object met de laagste uitspoeling onderschatten echter alle modellen de uitspoeling. De modellen RUL en NLOAD leveren exact dezelfde resultaten op, voor twee objecten zijn deze bovendien gelijk aan de door DGM berekende uitspoeling. Model WAL onderschat de uitspoeling het meest, terwijl KOL de kleinste afwijking met de meetwaarden vertoont.

#### 4.1.3 Snijmaïs op zandgrond

Voor snijmaïs in continueelt zijn twee datasets van veldonderzoek op een zandgrond beschikbaar, één op Gt IV waar rundveedrijfmest op verschillende tijdstippen werd toegediend (dataset 2) en één op Gt VI waar naast een vaste gift rundveedrijfmest in het voorjaar het kunstmest-N niveau werd gevarieerd (dataset 6). Behalve voor model RENLEM geldt voor alle modellen dat de uitspoeling bij snijmaïs sterk wordt onderschat. Voor een aantal modellen geldt zelfs dat voor alle beschikbare situaties een min of meer gelijk uitspoelingsniveau wordt berekend: model KOL (fig. 10b), model WAL (fig. 11b), NPK-89 (fig. 14b) en DGM (fig. 15b). Bij de andere modellen is wel een lichte trend in de berekeningen te zien. Door model RUL (fig. 16b) wordt nog het dichtst de 1:1 lijn benaderd, vooral bij een N-uitspoeling van minder dan  $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . De resultaten van RENLEM zijn verschillend voor beide datasets. Vooral voor dataset 2 zijn de resultaten goed. Net als de andere modellen onderschat echter ook RENLEM (fig. 18b) de uitspoeling voor dataset 6. De onderschatting van de uitspoeling van dataset 6 door alle modellen wordt mogelijk veroorzaakt door het feit dat het gegevens betreft van het eerste meetjaar van de proef, waarbij een beperkt bemestingsniveau werd gehanteerd, zodat mineralisatie uit dierlijke mest van voorgaande jaren een belangrijke rol kan spelen. Met name voor modellen die uitgaan van een vaste (kleine) basisuitspoeling of van evenwicht in de organisch-N huishouding in de bodem levert dit problemen op.

### 4.2 Vergelijking van modelresultaten

#### 4.2.1 Methodiek

Evaluatie van modelresultaten is op verschillende manieren mogelijk. In deze studie is naast de visuele beoordeling in paragraaf 4.1 gekozen voor een statistische analyse, zoals beschreven door Loague & Green (1991). De vijf criteria die hierbij worden gebruikt, worden gepresenteerd in tabel 24.

Tabel 24 Statistische criteria voor de evaluatie van modelresultaten (Loague & Green, 1991)

Criterion	Symbol	Wijze van berekening	Range	Optimum
Maximum error	ME	$\text{Max }  P_i - O_i  \left  \begin{matrix} n \\ i=1 \end{matrix} \right.$	$\geq 0$	0
Root mean square error	RMSE	$100. \left( \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{1/2} / \bar{O}$	$\geq 0$	0
Coefficient of determination	CD	$\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}$	$\geq 0$	1
Modelling efficiency	EF	$\left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right) / \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right)$	$\leq 1$	1
Coefficient of residual mass	CRM	$\left( \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) / \left( \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right)$	$\leq 1$	0

$P_i$  = berekende waarde i

$O_i$  = waarneming i

$\bar{O}$  = gemiddelde van de waarnemingen ( $> 0$ )

n = aantal waarnemingen

Deze criteria worden slechts vergelijkenderwijs gebruikt, aangezien niet op een objectieve manier kan worden aangegeven welke afwijking van de optimale waarde nog aanvaardbaar is.

De in tabel 24 beschreven statistische criteria zijn als volgt te interpreteren:

- Maximum error (ME): geeft de grootst optredende absolute afwijking tussen een meetwaarde en de bijbehorende berekende waarde en dient zo klein mogelijk te zijn. Aangezien een hoge ME het gevolg kan zijn van één uitbijter, zegt deze waarde op zichzelf niet veel over de algehele modelprestatie.
- Root mean square error (RMSE): geeft de gemiddelde procentuele fout in de berekende waarden t.o.v. de gemeten waarde en nadert 0 (optimaal) bij een kleinere afwijking.
- Coefficient of determination (CD): geeft aan hoe de spreiding in de berekende waarden zich verhoudt tot de spreiding in de meetwaarden; is 1 (optimaal) bij een gelijke spreiding, groter dan 1 bij een kleinere spreiding in de berekende waarden (helling in de grafiek vlakker dan 1:1), en kleiner dan 1 bij een grotere spreiding in de berekende waarden (helling in de grafiek steiler dan 1:1).

- De hier gedefinieerde coefficient of determination, is niet dezelfde als die in sommige standaardwerken over regressieanalyse (Draper & Smith, 1981).
- Modelling efficiency (EF): is een maat voor de verhouding tussen het verschil tussen berekende waarde en meetwaarde enerzijds en de spreiding in de meetwaarden anderzijds; nadert 1 (optimaal) bij een grotere spreiding in de meetwaarden en bij een kleiner verschil tussen berekende en gemeten waarden; wanneer EF kleiner is dan 0, is het gemiddelde van de meetwaarden een betere voorspelling dan de modeluitkomst.
  - Coefficient of residual mass (CRM): is een maat voor de verhouding tussen berekende en gemeten waarden; nadert 0 (optimaal) naarmate het verschil tussen berekende en gemeten waarden kleiner is, is groter dan 0 bij een gemiddelde systematische onderschatting en kleiner dan 0 bij een gemiddelde systematische overschatting.

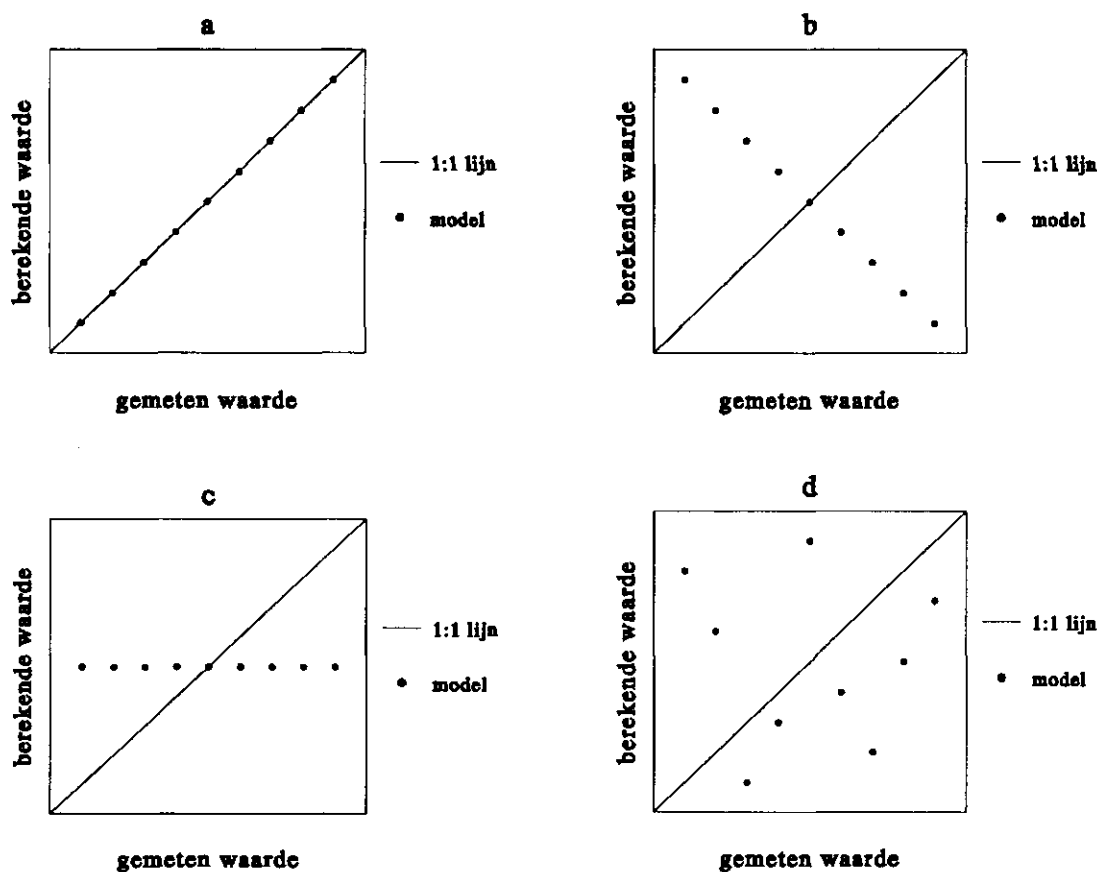
De criteria kunnen niet afzonderlijk worden gebruikt. Om dit te illustreren zijn in figuur 9 enkele voorbeelden gegeven van fictieve modelresultaten, waarbij in tabel 25 de bijbehorende waarden van de statistische criteria zijn gegeven. Alleen figuur 9a geeft de ideale situatie weer, maar ook de situaties in de andere figuren leveren voor enkele van de statistische criteria de optimale waarde op. Dit geldt met name voor CRM, omdat in geen van de gevallen in figuur 9 sprake is van een systematische onder- of overschatting. In de figuren 9b en 9d heeft bovendien ook CD de optimale waarde, omdat de spreiding in de berekeningen gelijk is aan die in de waarnemingen. In figuur 9c is voor iedere waarneming dezelfde berekende waarde weergegeven. Dit levert voor EF een waarde van 0 op: het maakt niet uit of het model wordt gebruikt of het gemiddelde van de waarnemingen.

De negatieve waarde voor EF in de gevallen van fig. 9b en 9d geven aan dat het gemiddelde van de waarnemingen een betere voorspeller is dan het model. De enige wel op zichzelf bruikbare waarde is die voor RMSE. Naast de hierboven beschreven statistische analyse is ook een lineaire regressie analyse uitgevoerd.

*Tabel 25 Statistische criteria van een vergelijking van fictieve modelberekeningen met fictieve waarnemingen, ter illustratie van de gevolgde methodiek; n = 9*

Fig. 9	RMSE	CD	EF	CRM
a	0,0	1,00	1,00	0,00
b	103,3	1,00	-3,00	0,00
c	51,6	∞	0,00	0,00
d	75,4	1,00	-1,13	0,00

- ME = maximum error
- RMSE = root mean square error (%)
- CD = coefficient of determination (-)
- EF = modelling efficiency (-)
- CRM = coefficient of residual mass (-)



**Fig. 9** Enkele voorbeelden van de vergelijking van fictieve modelberekeningen met fictieve waarnemingen

#### 4.2.2 Selectie van proefveldgegevens

Het doel van deze studie is om na te gaan welke eenvoudige stikstofmodellen bruikbaar zijn voor scenariostudies. Voor deze scenariostudies is het vooral van belang dat redelijke voorspellingen worden gedaan voor de huidige praktijksituatie en voor binnen zekere grenzen verlaagde bemestingsniveaus (hoofdstuk 5).

Bij de beoordeling van de prestaties van de modellen zijn om die reden enkele proefveldsituaties weggelaten, waar het bemestingsniveau veel hoger is dan in de praktijk gebruikelijk. Daarnaast zijn ook de proefveldsituaties in de evaluatie buiten beschouwing gebleven waar geen bemesting is toegepast en waar het bemestingsniveau zeer laag is. In een aantal gevallen is duidelijk sprake van een tekort op de N-balans: de afvoer van N via gewas is groter dan de aanvoer via mest en depositie.



Dit tekort op de N-balans wordt door de netto mineralisatie veroorzaakt en is gebruikt bij de selectie.

Uit de resultaten van de onbemeste proefvelden kan worden berekend hoe groot de bijdrage van de netto-mineralisatie (mineralisatie - immobilisatie) van organische stikstof aan de minerale-stikstofbalans is. Een schatting van de netto-mineralisatie is gemaakt door middel van de stikstofbalans en de verwaarlozing van de denitrificatie daarin, volgens:

$$\text{netto mineralisatie} = \text{gewasopname} - \text{depositie} - \text{kunstmest} + \text{uitspoeling} \\ (+ \text{denitrificatie})$$

De resultaten van deze berekening staan vermeld in tabel 26.

*Tabel 26 Schatting van de netto mineralisatie op basis van de N-balans van de onbemeste objecten voor de diverse datasets in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N; depositie als N  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$*

Dataset	Afvoer gewas	Kunstmest	Uitspoeling	Mineralisatie (netto)
1	141	0	11	102
3	131	0	36	117
4 <sup>(*)</sup>	135	0	10	95
6	161	20	58	149

<sup>\*)</sup> gebaseerd op gegevens van een object zonder beweiding

Omdat niet alle modellen geschikt zijn voor het gebruik op kleigrond en bovendien het aantal waarnemingen op kleigrond zeer beperkt is, zijn deze gegevens (dataset 5) bij de statistische evaluatie niet meegenomen. Bij de statistische evaluatie is onderscheid gemaakt tussen grasland en snijmaïs in continueelt.

#### 4.2.3 Grasland op zandgrond

De resultaten van de statistische analyse voor de graslandobjecten zijn weergegeven in tabel 27. Slechts voor één model is de waarde van EF negatief: voor model NPK-89 is het gemiddelde van de waarnemingen een betere voorspelling dan een berekening. Uit de waarden van CRM blijkt dat een aantal modellen de uitspoeling systematisch onderschatten: de modellen WAL, NPK-89 en in mindere mate RENLEM. Model NPK-88 overschat de uitspoeling licht. Voor de andere modellen ligt de waarde van CRM zeer dicht bij de optimale waarde. De waarden van CD geven aan dat met name van de modellen WAL en NPK-88 de spreiding in de berekende waarden kleiner is dan in de waarnemingen. In mindere mate is dit het geval voor de modellen NITRIN en DGM. De optimale waarden van de statistische criteria zijn verdeeld tussen de verschillende modellen. Zo liggen ME van model

RUL, RMSE en EF van model DGM, CD van de modellen KOL, RUL en NLOAD en CRM van model NLOAD het dichtst bij de optimale waarde. De verschillen zijn echter gering.

**Tabel 27** *Vergelijking van de resultaten van eenvoudige N-modellen met meetgegevens van veldonderzoek door toepassing van statistische criteria (Loague & Green, 1991): grasland op zandgrond; n = 15*

Model	ME	RMSE	CD	EF	CRM
KOL	46	36,3	1,01	0,71	-0,09
WAL	112	53,4	1,74	0,37	0,36
NITRIN	52	33,2	1,25	0,76	0,10
NPK-88	67	42,5	1,70	0,60	-0,18
NPK-89	158	83,9	0,74	-0,56	0,53
DGM	42	29,6	1,30	0,81	0,05
RUL	40	37,0	1,02	0,70	-0,09
NLOAD	46	38,3	1,02	0,67	-0,02
RENLEM	101	54,0	0,54	0,35	0,16
Range	≥0	≥0	≥0	≤1	≤1
Optimum	0	0	1	1	0

ME = maximum error in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N

RMSE = root mean square error (%)

CD = coefficient of determination (-)

EF = modelling efficiency (-)

CRM = coefficient of residual mass (-)

n = aantal waarnemingen

De resultaten van de lineaire regressie analyse voor de graslandobjecten staan vermeld in tabel 28. De kritieke waarde voor de correlatie coëfficiënt bij een éézijdige overschrijdingskans van 5% bedraagt 0,441, zodat er in alle gevallen sprake is van een significante correlatie tussen meetwaarden en berekende waarden. Voor zes modellen verschillen de helling en het intercept van de berekende regressielijn niet significant van hun optimale waarden. Dit zijn de modellen KOL, NITRIN, DGM, RUL, NLOAD en RENLEM. De hoogste verklaarde variatie (van de regressielijn) wordt bereikt door het model DGM met 79,9%. Alleen model NPK-89 scoort laag voor het percentage verklaarde variatie. De verschillen tussen de overige modellen zijn gering.

**Tabel 28** Lineaire regressie analyse van de resultaten van eenvoudige N-modellen (y) tegen meetgegevens van veldonderzoek (x) voor grasland op zandgrond; n = 15

Model	r	a	se <sub>a</sub>	b	se <sub>b</sub>	v <sup>2</sup>
KOL	0,86*	0,85*	0,14	17,3*	12,1	72,2
WAL	0,87*	0,47	0,07	12,6*	6,5	73,6
NITRIN	0,88*	0,78*	0,12	9,2*	19,1	75,9
NPK-88	0,83*	0,59	0,11	42,8	9,7	66,3
NPK-89	0,46*	0,40	0,21	5,4*	18,5	15,4
DGM	0,90*	0,79*	0,11	11,5*	9,1	79,9
RUL	0,86*	0,84*	0,14	18,3*	12,3	71,1
NLOAD	0,84*	0,83*	0,15	13,8*	13,1	67,6
RENLEM	0,82*	1,10*	0,21	-18,9*	18,4	65,1

n = aantal waarnemingen

r = correlatie coëfficiënt (-)(\* = significante correlatie)

a = helling van de regressielijn (\* = niet significant verschillend van 1)

se<sub>a</sub> = standaard fout in de helling (-)

b = intercept van de regressielijn in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N,

(\* = niet significant verschillend van 0)

se<sub>b</sub> = standaard fout in het intercept in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N

v<sup>2</sup> = percentage verklaarde variatie van het regressiemodel (-)

#### 4.2.4 Snijmaïs op zandgrond

De resultaten van de statistische analyse voor de snijmaïsobjecten zijn weergegeven in tabel 29. Geen van de modellen heeft een positieve EF, zodat de modeluitkomsten van geen enkel model een betere voorspellende waarde heeft dan het gemiddelde van de meetwaarden. Van model RENLEM liggen ME, RMSE, EF en CRM het dichtst bij de optimale waarde, alleen CD van de modellen RUL en NLOAD is iets beter. Over het geheel genomen zijn de resultaten van de modellen RUL, NLOAD en RENLEM duidelijk minder slecht dan die van de andere modellen. De resultaten van de lineaire regressie analyse voor de snijmaïsobjecten zijn vermeld in tabel 30. De kritieke waarde voor de correlatiecoëfficiënt bij een éézijdige overschrijdingskans van 5% bedraagt 0,662. Alleen de modellen KOL, WAL, NPK-88 en RENLEM zitten daaronder. Alleen voor RENLEM verschillen de helling en het intercept van de berekende regressielijn beide niet significant van hun optimale waarden. Het percentage verklaarde variatie (van de regressielijn) van model RENLEM is echter zeer laag: 25%. De hoogste verklaarde variatie wordt berekend voor de modellen RUL en NLOAD (65-70%). Negatieve waarden voor het percentage verklaarde variatie worden berekend voor de modellen KOL en WAL.

**Tabel 29** *Vergelijking van de resultaten van eenvoudige N-modellen met meetgegevens van veldonderzoek door toepassing van statistische criteria (Loague & Green, 1991): snijmaïs op zandgrond in continueelt; n = 8*

Model	ME	RMSE	CD	EF	CRM
KOL	212	76,7	0,54	-1,76	0,62
WAL	230	90,7	0,34	-2,87	0,79
NITRIN	197	78,0	0,42	-1,86	0,69
NPK-88	199	73,7	0,54	-1,56	0,62
NPK-89	210	84,6	0,37	-2,36	0,75
DGM	211	80,2	0,45	-2,03	0,68
RUL	145	49,0	1,25	-0,13	0,37
NLOAD	162	59,1	0,83	-0,64	0,48
RENLEM	121	46,5	0,72	-0,02	0,13
Range	≥0	≥0	≥0	≤1	≤1
Optimum	0	0	1	1	0

ME = maximum error in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N

EF = modelling efficiency (-)

RMSE = root mean square error (%)

CRM = coefficient of residual mass (-)

CD = coefficient of determination (-)

n = aantal waarnemingen

**Tabel 30** *Lineaire regressie analyse van de resultaten van eenvoudige N-modellen (y) tegen meetgegevens van veldonderzoek (x) voor snijmaïs op zandgrond in continueelt; n = 8*

Model	r	a	se <sub>a</sub>	b	se <sub>b</sub>	v <sup>2</sup>
KOL	0,27	0,051	0,074	45,3	11,3	< 0
WAL	0,25	0,026	0,042	26,1	6,4	< 0
NITRIN	0,76*	0,263	0,093	5,9*	14,3	50,0
NPK-88	0,58	0,144	0,083	33,4	12,7	22,7
NPK-89	0,72*	0,153	0,061	13,9*	9,3	43,4
DGM	0,67*	0,098	0,045	30,4	6,8	35,3
RUL	0,84*	0,336	0,088	41,1	13,5	65,8
NLOAD	0,86*	0,284	0,069	32,3	10,6	69,4
RENLEM	0,60	0,681*	0,373	25,9*	57,2	25,0

n = aantal waarnemingen

r = correlatie coëfficiënt (-) (\* = significante correlatie)

a = helling van de regressielijn (\* = niet significant verschillend van 1)

se<sub>a</sub> = standaard fout in de helling (-)

b = intercept van de regressielijn in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N, (\* = niet significant verschillend van 0)

se<sub>b</sub> = standaard fout van het intercept in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N

v<sup>2</sup> = percentage verklaarde variatie (van het regressiemodel) (-)

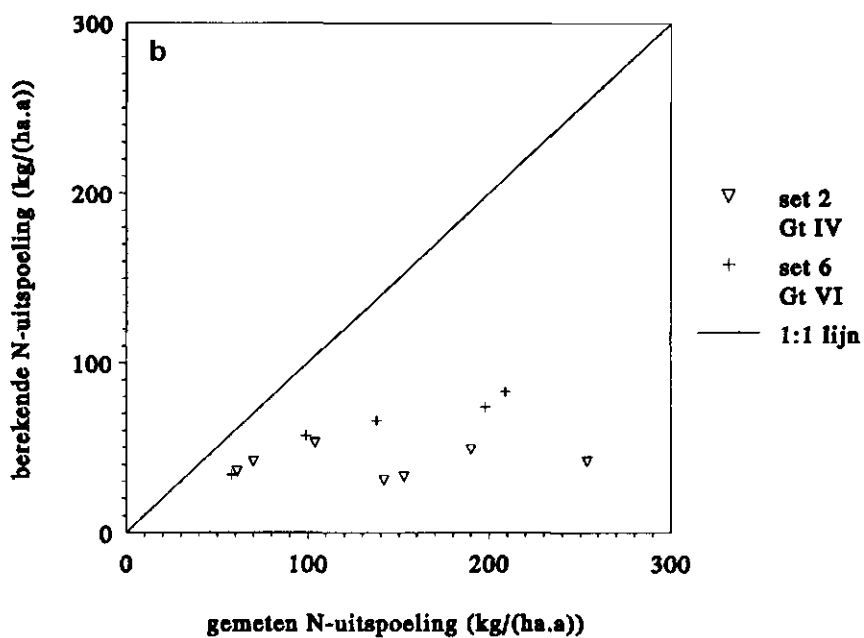
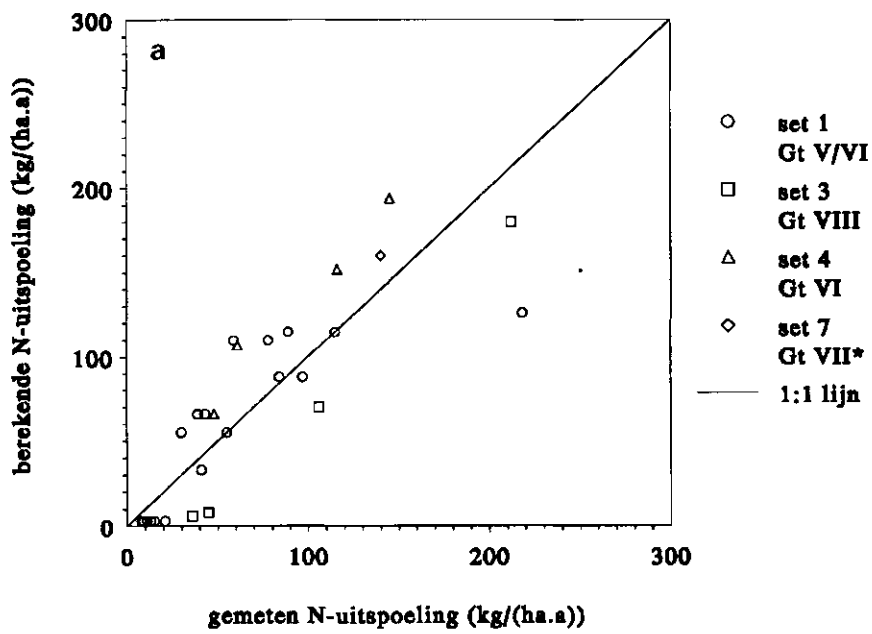
### 4.3 Conclusies

De modelresultaten, zoals beschreven in dit hoofdstuk, zijn geldig voor zandgronden met de bodemgebruiksvormen gras en snijmaïs. Op basis van deze resultaten kunnen derhalve geen uitspraken worden gedaan over de toepasbaarheid van de modellen op klei- en veengronden en op andere gewassen bijvoorbeeld in vruchtwisseling op bouwland.

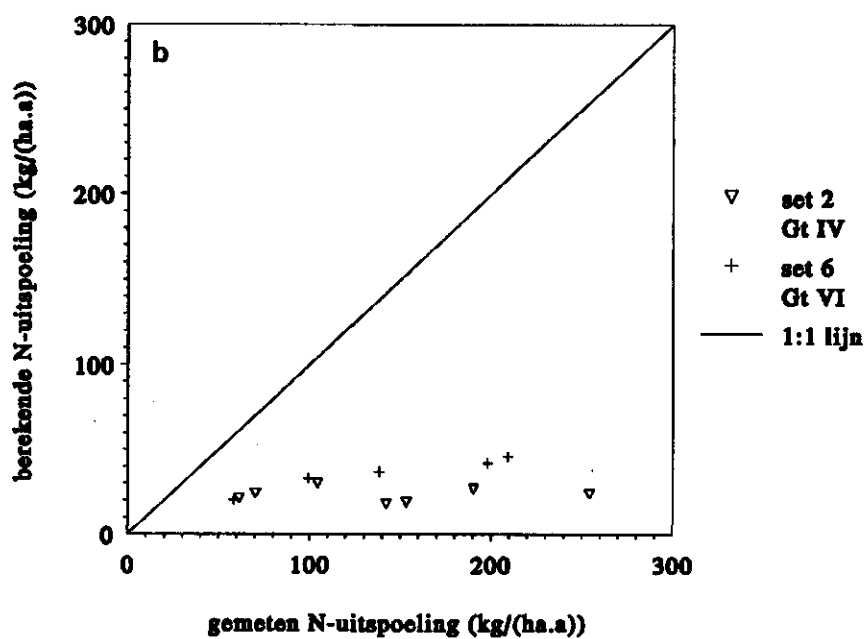
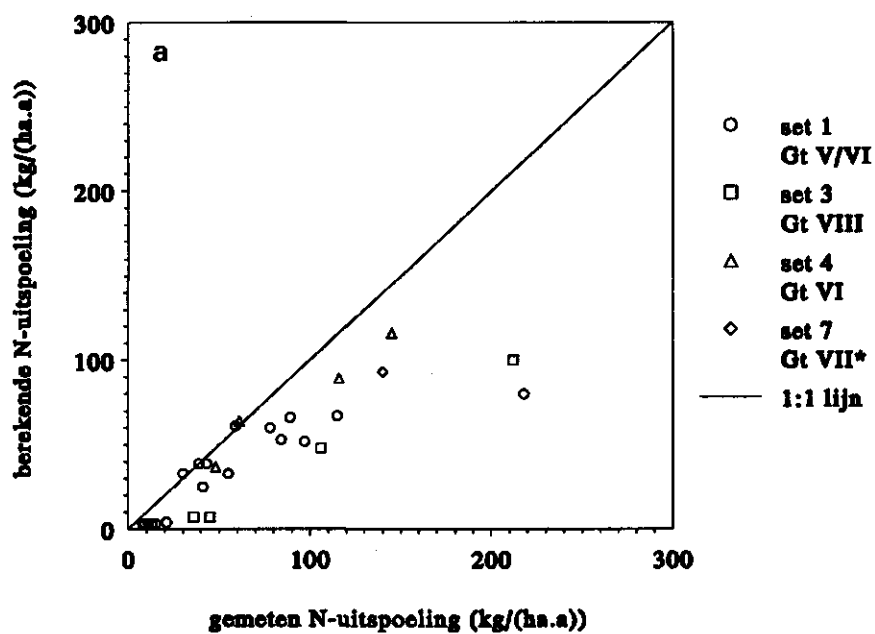
Op grond van de beoordeling van de modelresultaten per dataset en de vergelijking van de resultaten van de negen eenvoudige stikstofmodellen met behulp van een statistische analyse en een lineaire regressie analyse, komt naar voren dat de modellen KOL, NITRIN, DGM, RUL en NLOAD geschikt zijn voor de berekening van nitraatuitspoeling onder grasland op zandgrond. De gemiddelde fout in de voorspelling van de nitraatuitspoeling (RMSE) ligt bij deze modellen tussen 30% en 40% (tabel 27).

Voor snijmaïs in continueelt komt geen van de gebruikte modellen duidelijk als bruikbaar naar voren. Wel kan worden geconcludeerd dat zowel op basis van de statistische analyse als van de regressieanalyse de modellen RUL, NLOAD en RENLEM als de minst slechte modellen naar voren komen. De gemiddelde fout in de voorspelling van de nitraatuitspoeling (RMSE) ligt bij deze modellen tussen 45% en 60% (tabel 29).

Uit de resultaten per dataset blijkt dat model RENLEM in ieder geval voor één van beide beschikbare datasets voldoet, terwijl de afwijkingen voor de andere dataset verklaarbaar zijn. Verder voldoet model RUL bij relatief lage uitspoelingsniveaus ( $< 120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N) voor beide datasets beter dan model NLOAD en voor dataset 5 ook beter dan model RENLEM.



**Fig. 10** *Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model KOL (Kolenbrander, 1981) met gemeten waarden*



**Fig. 11** *Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model WAL (Walther, 1989) met gemeten waarden*

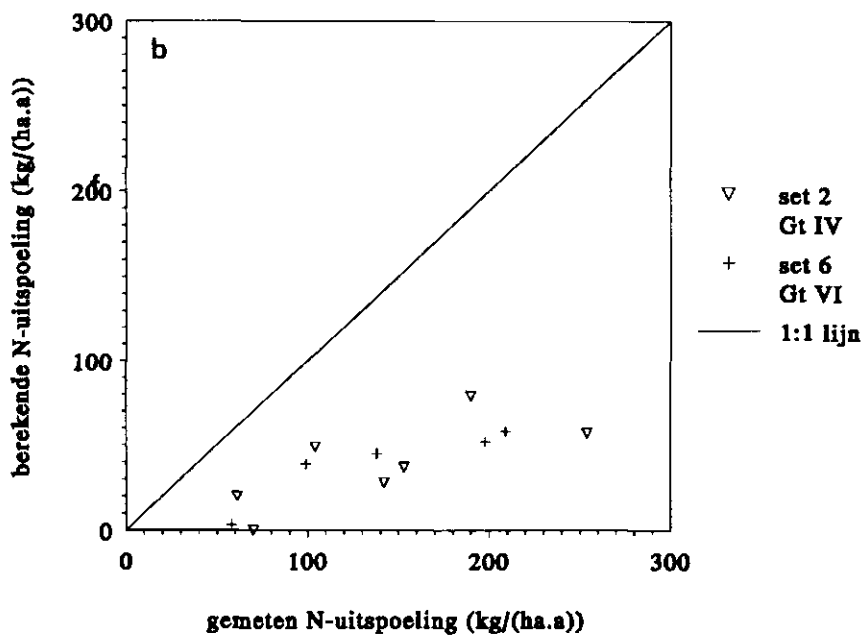
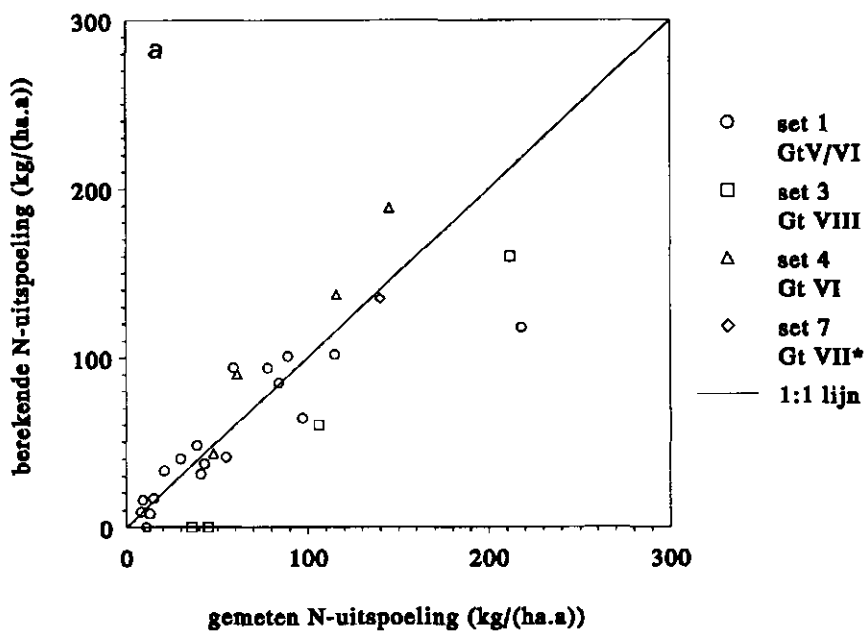
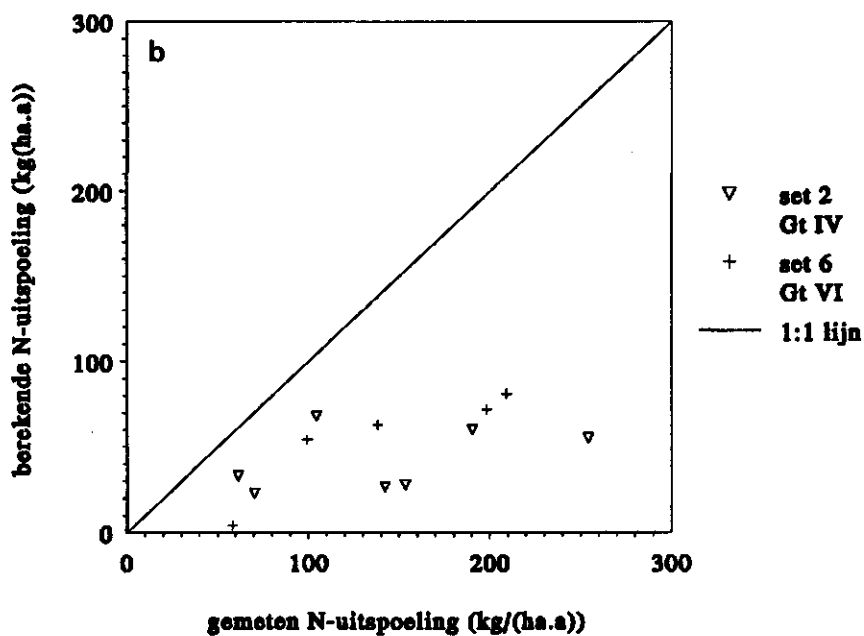
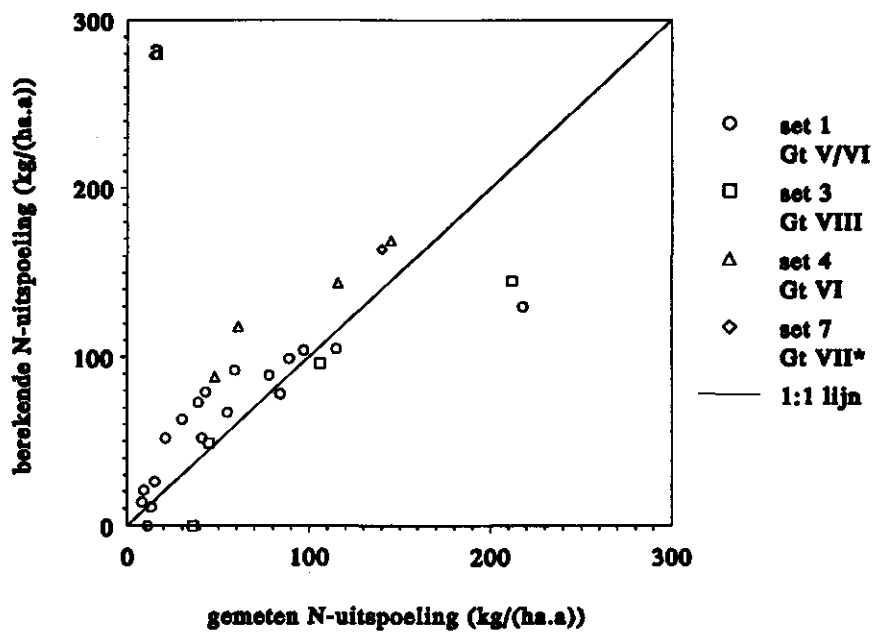


Fig. 12 Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NITRIN (Hoeymakers, 1986) met gemeten waarden





**Fig. 13** *Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NPK-88 (Van Drecht et al., 1988) met gemeten waarden*

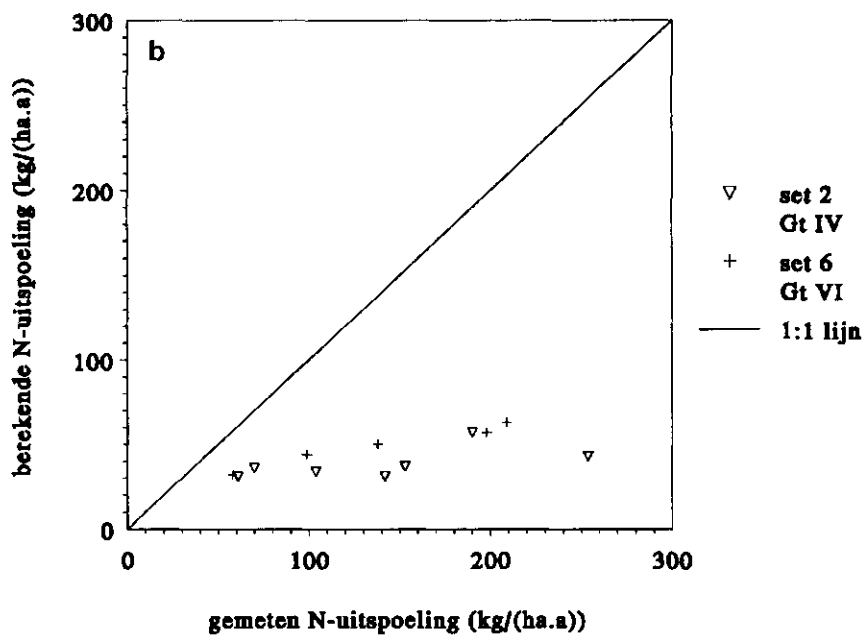
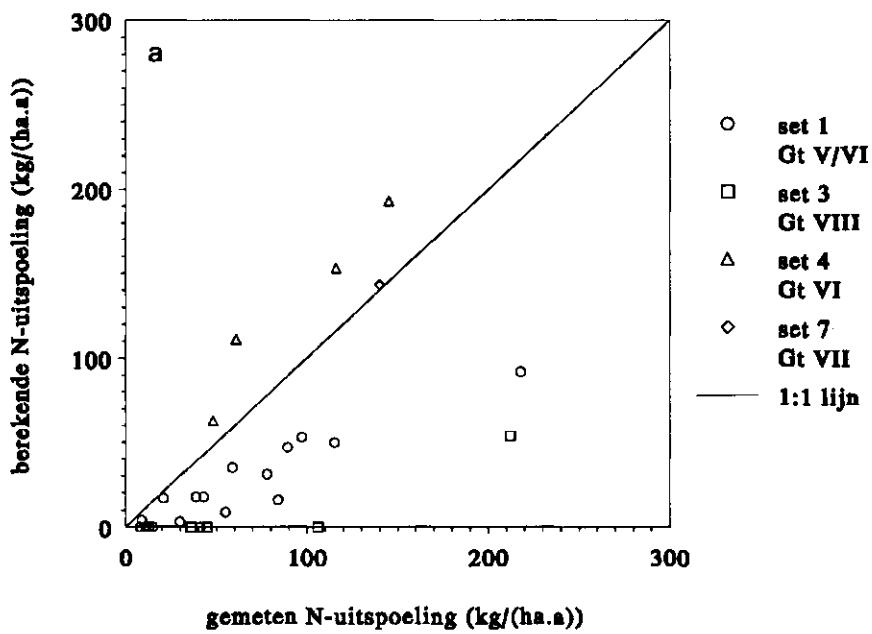
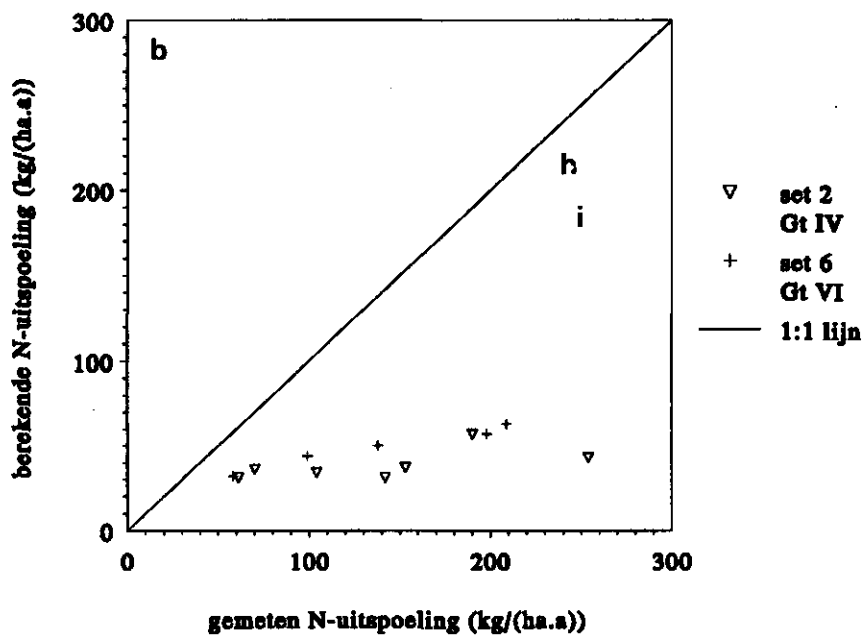
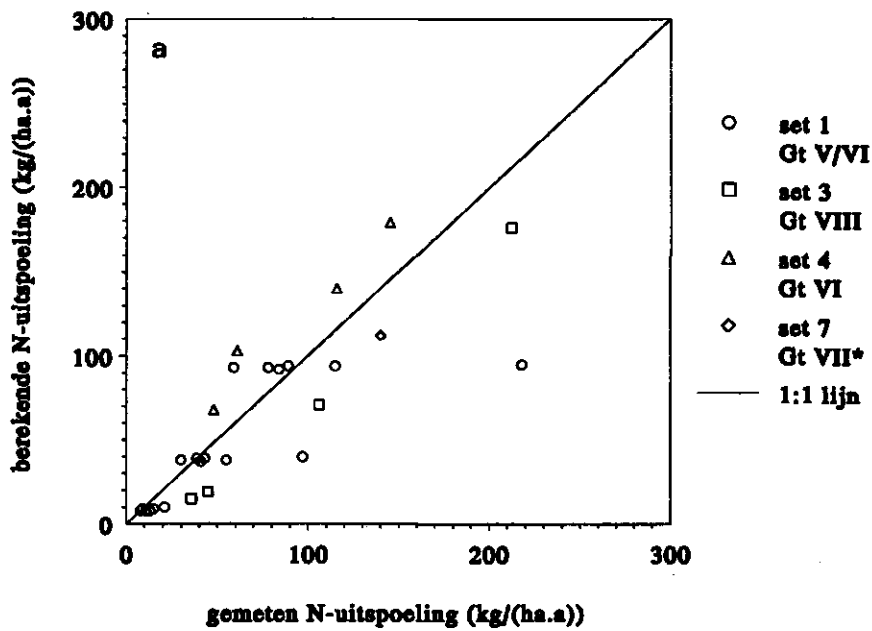
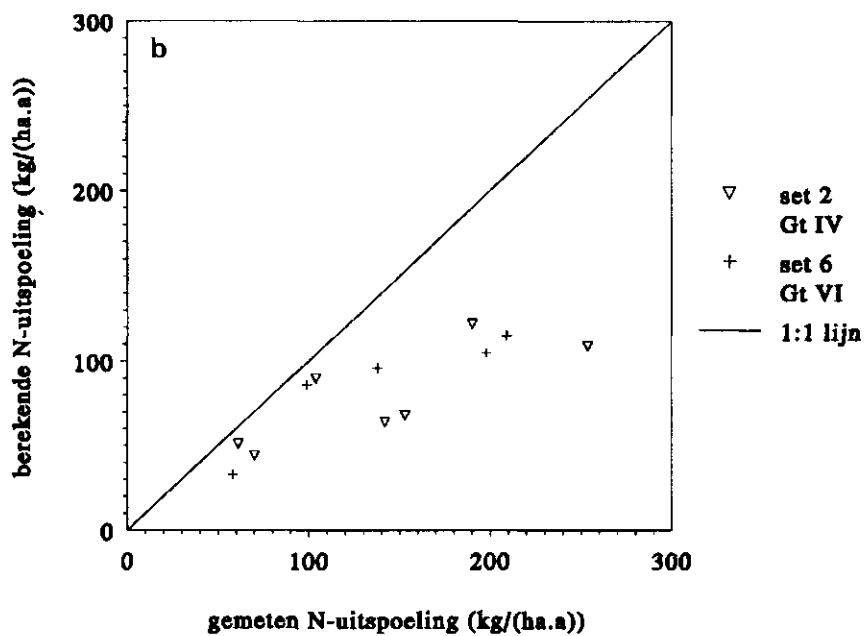
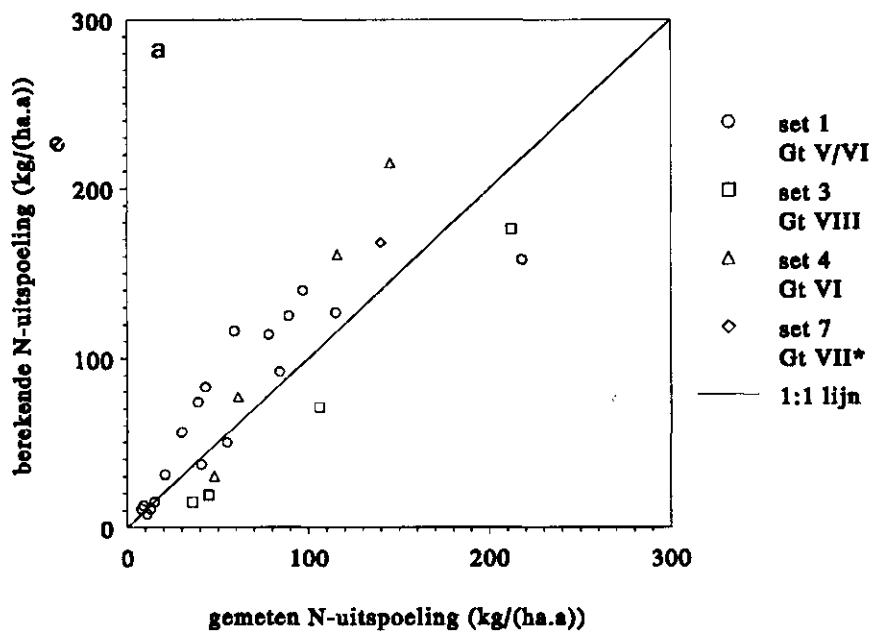


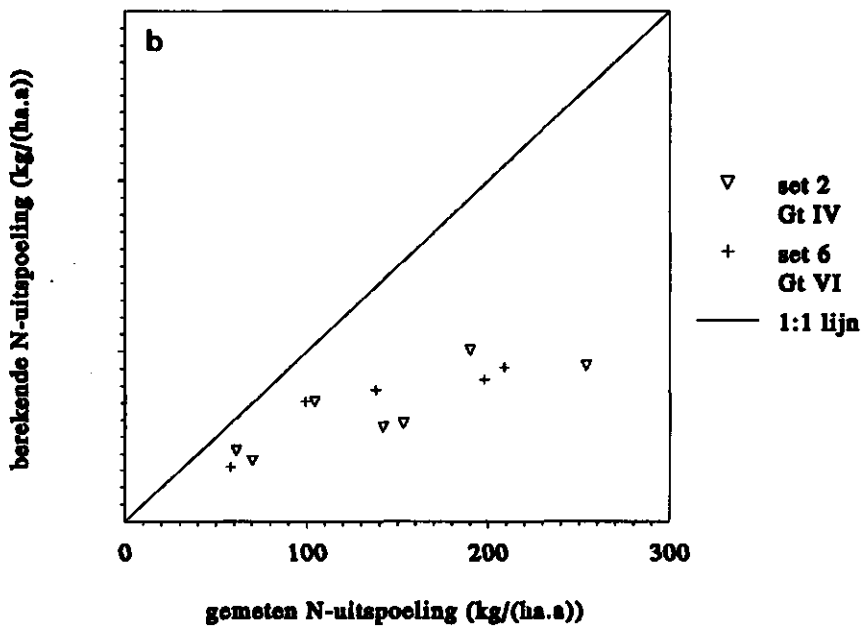
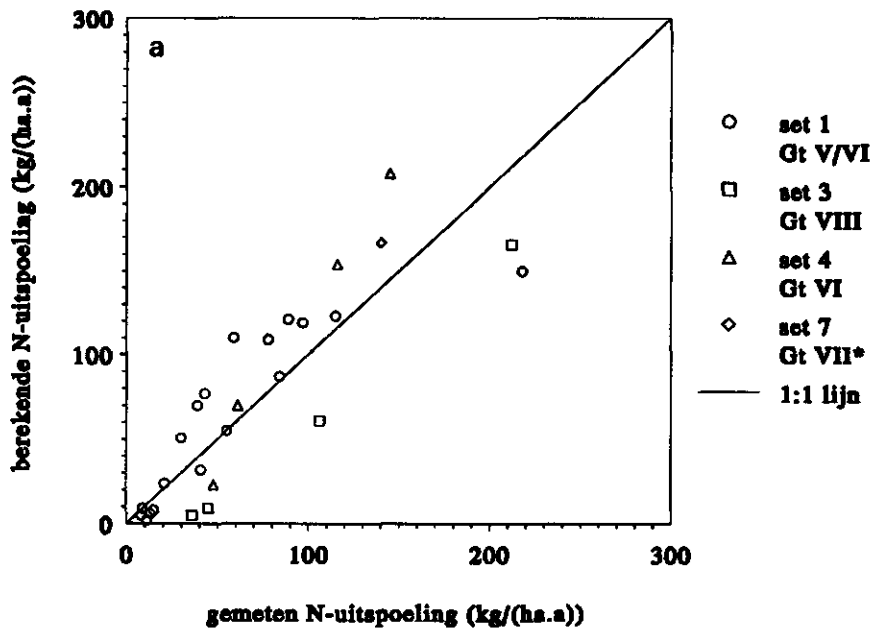
Fig. 14 Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NPK-89 (Van Duijvenbooden et al., 1989) met gemeten waarden



**Fig. 15** Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model DGM (DGM/IPO/VNG, 1988) met gemeten waarden



**Fig. 16** *Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model RUL (Dorenbosch, 1987) met gemeten waarden*



**Fig. 17** Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model NLOAD (Van Drecht, 1990) met gemeten waarden

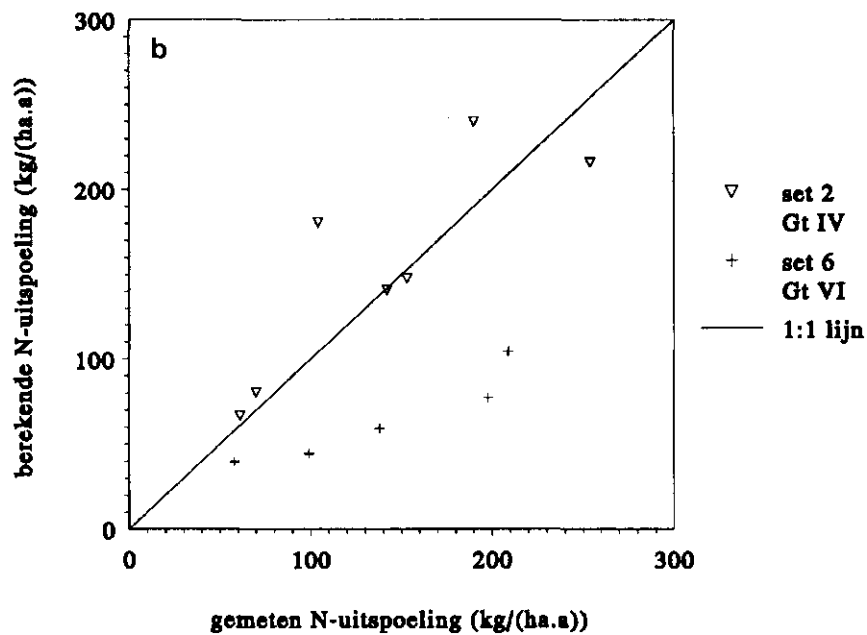
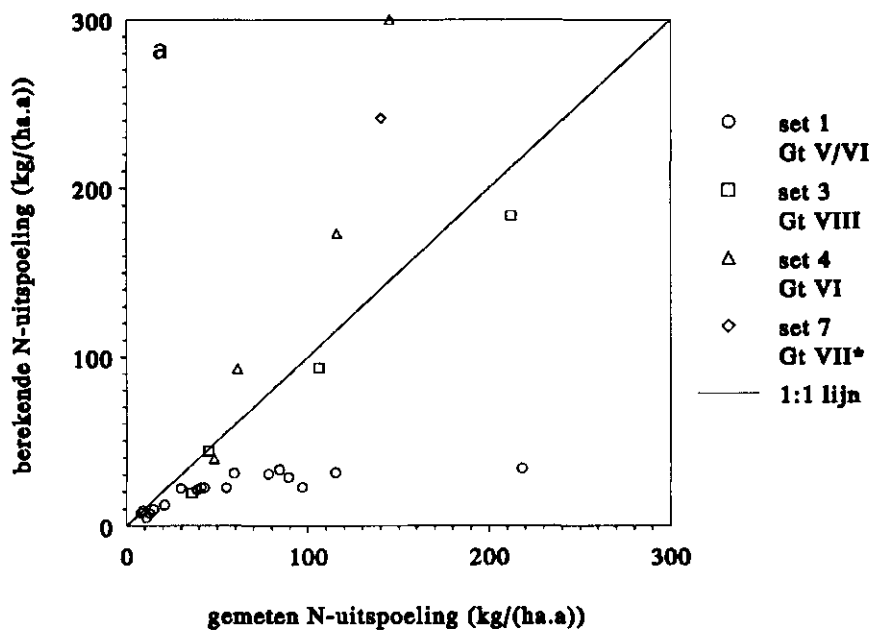
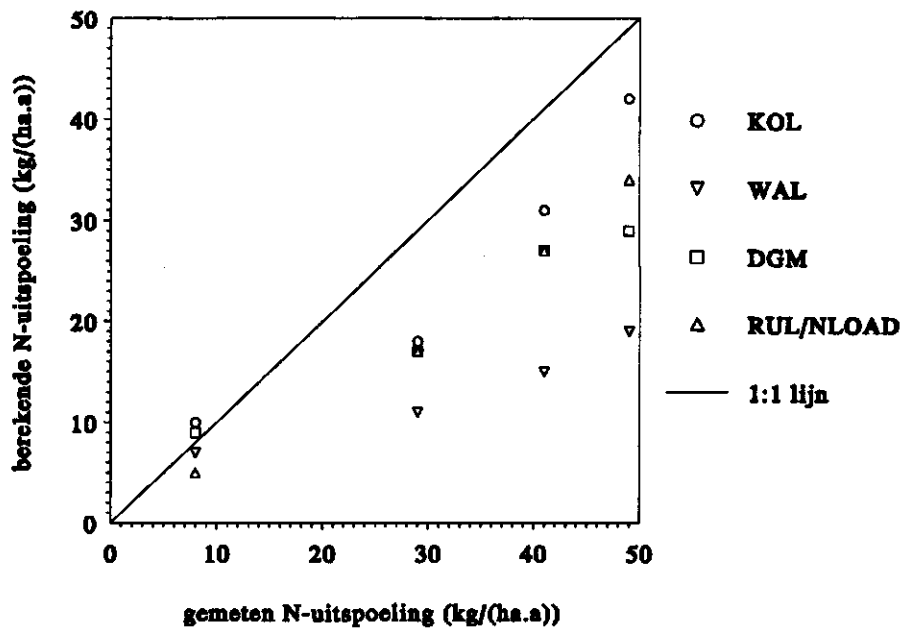


Fig. 18 Nitraatuitspoeling op diverse proefvelden grasland (a) en snijmaïs (b) op zandgrond; vergelijking van waarden berekend met model RENLEM (Kragt & De Vries, 1987, 1988) met gemeten waarden



**Fig. 19** *Nitraatuitspoeling op een proefveld beweid grasland op kleigrond met Gt IV; vergelijking van waarden berekend met verschillende modellen met gemeten waarden*

## 5 RESULTATEN VAN SCENARIOBEREKENINGEN

### 5.1 Selectie van modellen

Om inzicht te verkrijgen in de effecten van de bemesting op de nitraatuitspoeling zijn enkele bemestingsscenario's doorgerekend met een aantal van de in de voorgaande hoofdstukken beschreven modellen. Voor grasland zijn de modellen KOL, DGM, RUL en NLOAD gebruikt. Deze vier modellen bleken, naast het model NITRIN, in de toetsing uit hoofdstuk 4 in ongeveer gelijke mate te voldoen. Met het model NITRIN zijn geen scenarioberekeningen uitgevoerd omdat dit model alleen kan worden toegepast op zandgrond.

Voor maïsland bleek op grond van de statistische analyse geen van de gebruikte modellen in staat de nitraatuitspoeling beter te voorspellen dan het gemiddelde van de proefveldwaarnemingen. Om toch een idee te geven van de ontwikkeling van de nitraatuitspoeling onder maïsland zijn met de twee minst slechte modellen (RENLEM en RUL) een aantal scenario's doorgerekend. Voor bouwland is alleen met het model RENLEM een drietal scenario's doorgerekend. In dit hoofdstuk worden de scenario's en de resultaten van de berekeningen gegeven.

### 5.2 Grasland

In tabel 31 zijn de uitgangspunten van de scenario's voor grasland gegeven.

*Tabel 31 Scenario's ten behoeve van berekening van de nitraatuitspoeling onder grasland op zandgrond en kleigrond*

Scenario	N-niveau (kg.ha <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> )	Aanwending dierlijke mest		
		tijdstip	wijze	werkingscoëfficiënt
1	400	hele jaar	bovengronds	0,2
2	400	voorjaar	emissie-arm	0,5
3	300	voorjaar	emissie-arm	0,5
4	200	voorjaar	emissie-arm	0,5

Het stikstofniveau is de som van kunstmestgift en werkzame stikstof uit dierlijke mest. De werkzame stikstof uit dierlijke mest is berekend door de hoeveelheid stikstof uit de dierlijke mest (als totaal-N) te vermenigvuldigen met de werkingscoëfficiënt (wc). Deze werkingscoëfficiënt geldt alleen voor de uitgereden dierlijke mest. Aan de mest, die in de weide wordt geproduceerd, is geen werking toegekend. De kunstmest-N gift is als volgt berekend:



kunstmest = stikstofniveau - wc . dierlijke mest (kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>)

Voor alle graslandscenario's is gerekend met een veebezetting van 2,4 melkkoeien met het daarbij behorende jongvee. Dit is een redelijk intensief bedrijf, min of meer representatief voor de huidige situatie in de zandgebieden van Nederland. Er is vanuit gegaan dat alle geproduceerde rundveemest op grasland wordt aangewend. Dit betekent een fosfaatgift van circa 120 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dit is iets meer dan de voorlopige fosfaateindnorm van 110 kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (VROM, 1989).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor maaien, overdag weiden en dag en nacht weiden. In geval van maaien wordt alle dierlijke mest uitgereden. Wanneer wordt geweid komt een deel van de mest als urine en mestflatten op het land (weidemest). Het resterende deel wordt uitgereden. Wanneer dag en nacht wordt geweid komt circa 50% van de gedurende een jaar geproduceerde dierlijke mest als urine op het land, bij alleen overdag weiden is dit circa 25%.

In tabel 32 is een overzicht gegeven van de stikstoftoevoer uit verschillende bronnen.

*Tabel 32 Stikstoftoevoer uit drijfmest, kunstmest en door beweiding van een graslandbedrijf op zandgrond en kleigrond bij drie beweidingssystemen en vier scenario's in kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N*

Beweidingssysteem	Drijfmest	Beweiding	Kunstmestgift per scenario			
			N-totaal	1	2	3
maaien	358	0	326	220	120	20
overdag weiden	263	103	346	268	168	68
dag en nacht weiden	162	206	366	318	218	118

De berekeningen zijn uitgevoerd voor zandgrond en kleigrond. Voor grasland op veengrond zijn geen berekeningen uitgevoerd, omdat op veengrond de grondwaterbelasting met nitraat zeer gering is. Er zijn alleen berekeningen uitgevoerd voor diep ontwaterde gronden (Gt VII\*). De nitraatuitspoeling bij hogere grondwaterstanden (Gt I-VI) kan worden berekend met behulp van Gt-correctiefactoren (paragraaf 3.3).

In de tabellen 33 tot en met 38 zijn voor de vier scenario's de door elk model berekende waarden gegeven. In paragraaf 3.4 is uit de proefveldgegevens voor grasland op zandgrond een exponentiële functie afgeleid tussen de toegediende hoeveelheid minerale stikstof en de nitraatuitspoeling (proefveldfunctie "Boumans", paragraaf 3.4). Ter vergelijking met de modeluitkomsten zijn ook de berekende waarden volgens deze functie opgenomen (verder te noemen model "VELD" in de tabellen 33 - 35).

**Tabel 33** *Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond (kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N); Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*); VELD = model, afgeleid uit proefveldgegevens; Maaien*

Scenario	KOL	DGM	RUL	NLOAD	VELD
1	133	53	172	167	101
2	77	25	155	145	69
3	25	20	92	82	48
4	10	18	60	50	33

**Tabel 34** *Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond (kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N). Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*); VELD = model, afgeleid uit proefveldgegevens; Overdag weiden*

Scenario	KOL	DGM	RUL	NLOAD	VELD
1	143	80	173	167	110
2	105	56	152	142	83
3	53	37	89	79	58
4	32	27	54	44	40

**Tabel 35** *Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond (kg.ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup> als N). Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*); VELD = model, afgeleid uit proefveldgegevens; Dag en nacht weiden*

Scenario	KOL	DGM	RUL	NLOAD	VELD
1	154	105	156	150	119
2	131	91	142	132	100
3	79	64	82	72	69
4	53	44	45	35	48

Uit de tabellen 33 t/m 35 blijkt dat tussen de modellen aanzienlijke verschillen in nitraatuitspoeling voorkomen. Het model DGM berekent voor bijna alle situaties de laagste uitspoeling, het model RUL berekent bijna altijd de hoogste uitspoeling. Verder berekenen de modellen RUL en NLOAD bij minder weiden en meer drijfmest een toename van de uitspoeling, terwijl de modellen KOL en DGM net andersom reageren. In de modellen RUL en NLOAD spoelt de stikstof in drijfmest dus meer uit dan de stikstof in weidemest. Alle modellen berekenen bij een afname van het bemestingsniveau ook een afname van de nitraatuitspoeling. De overgang van bovengronds aanwenden van de dierlijke mest naar emissie-arme mestaanwending geeft volgens alle modellen eveneens een afname van de uitspoeling. Dit komt doordat de kunstmest-N gift afneemt.

In de tabellen 36 t/m 38 wordt de berekende nitraatuitspoeling voor grasland op kleigrond gegeven. In dit geval is model NLOAD gelijk aan model RUL.

**Tabel 36** *Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op kleigrond (kg.ha-1.a-1 als N). Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*); Maaien*

Scenario	KOL	DGM	RUL/NLOAD
1	35	19	60
2	20	11	50
3	12	10	46
4	8	8	32

**Tabel 37** *Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op kleigrond (kg.ha-1.a-1 als N). Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*); Overdag weiden*

Scenario	KOL	DGM	RUL/NLOAD
1	38	25	56
2	27	17	53
3	18	14	40
4	43	10	27

**Tabel 38** *Berekende nitraatuitspoeling bij grasland op kleigrond (kg.ha-1.a-1 als N). Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*); Dag en nacht weiden*

Scenario	KOL	DGM	RUL/NLOAD
1	41	32	51
2	34	25	50
3	25	19	33
4	18	15	21

Bij vergelijking van de resultaten in de tabellen 36 t/m 38 met die in de tabellen 33 t/m 35 blijkt dat de berekende nitraatuitspoeling van grasland op kleigrond aanzienlijk kleiner is dan van grasland op zandgrond. Wel zijn op kleigrond dezelfde trends zichtbaar als op zandgrond. De (absolute) verschillen tussen de modellen zijn op kleigrond minder groot dan op zandgrond.

### 5.3 Maïsland

Voor snijmaïs (in continueelt) op zandgrond is de nitraatuitspoeling alleen met de modellen RENLEM en RUL berekend. Om een indicatie te krijgen van het effect van vermindering van de mestgift op de uitspoeling zijn voor snijmaïs vijf scenario's doorgerekend. Voor alle scenario's is uitgegaan van toediening van rundveedrijfmest in het voorjaar. In tabel 39 zijn de uitgangspunten van de scenario's gegeven.

**Tabel 39** Scenario's ten behoeve van berekening van de nitraatuitspoeling onder snijmaïs in continueelt op zandgrond. Alle stikstofgiften zijn in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N. De fosfaatgift is  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als  $\text{P}_2\text{O}_5$

Scenario	N-niveau	Dierlijke mest (drijfmest)			Kunstmest-N	Fosfaatgift dierlijke mest
		aanwending	N-totaal	wc		
1	150	bovengronds	350	0,35	30	144
2	150	emissie-arm	200	0,60	30	81
3	150	emissie-arm	176	0,60	45	72
4	100	emissie-arm	176	0,60	0	72
5	75	emissie-arm	123	0,60	0	50

Het stikstofniveau is gelijk aan de som van de kunstmestgift en de werkzame stikstof in dierlijke mest. Dit is in de eerste drie scenario's gelijk aan  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ . Daarna daalt het N-niveau tot waarden (ver) onder de gewasbehoefte aan werkzame stikstof. De berekende nitraatuitspoeling is gegeven in tabel 40.

**Tabel 40** Berekende nitraatuitspoeling bij snijmaïs in continueelt op zandgrond ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N). Situatie met diepe grondwaterstand (Gt=VII\*)

Scenario	RENLEM	RUL
1	204	184
2	84	137
3	77	133
4	72	116
5	65	95

Volgens de berekening van model RENLEM neemt de nitraatuitspoeling sterk af als van bovengrondse mestaanwending wordt overgegaan op emissie-arme mestaanwending (van scenario 1 naar scenario 2). De daling hangt samen met de verhoogde werkingscoëfficiënt van de rundveedrijfmest, waardoor in scenario 2 met veel minder drijfmest kan worden voorzien in de gewasbehoefte. In het model RENLEM is aangenomen dat alle organische N in de mest binnen één jaar mineraliseert en zal het N overschot voor een groot deel uitspoelen. In scenario 1 is de toegediende hoeveelheid organische N bijna twee keer zo groot als in scenario 2.

verlaging van het N-niveau in hoofdzaak een daling van de berekende gewasopname tot gevolg. Daardoor blijft de daling van de uitspoeling beperkt. Opvallend is dat de berekende uitspoeling volgens het model RUL in de scenario's 2 t/m 5 veel groter is dan de uitspoeling volgens het model RENLEM. Voor een belangrijk deel moet dit worden toegeschreven aan de basisuitspoeling die in model RUL, ongeacht het N-niveau, op  $45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N gehandhaafd blijft.

#### 5.4 Bouwland

Voor bouwland is uitgegaan van een bouwplan bestaande uit aardappelen, wintertarwe, suikerbieten en zomergerst op zandgrond. Bouwland komt voor een groot deel voor op kleigrond. De modellen zijn echter alleen toepasbaar op zandgrond. Omdat op zandgrond de nitraatuitspoeling het grootst is, geven deze berekeningen een indruk van de maximaal te verwachten nitraatuitspoeling. Bij een 4-jarige rotatie van deze gewassen is de gemiddelde adviesbemesting voor N van circa  $155 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . De dierlijke mest wordt toegediend na de teelt van granen. De bouwlandscenario's zijn alleen met het model RENLEM doorgerekend.

De volgende scenario's zijn opgesteld (berekeningsresultaten in tabel 41):

1. gemiddeld N-niveau 155, dierlijke mest emissie-arm in najaar, aanvullend kunstmest-N in voorjaar. Maximaal  $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  in de vorm van dierlijke mest. Eén keer wordt varkensdrijfmest en één keer wordt droge kippemest gegeven. De mest wordt emissie-arm aangewend in het najaar. De werkingscoëfficiënt bedraagt dan 25%;
2. gemiddeld N-niveau 140, dierlijke mest emissie-arm in voorjaar, advies aardappelen -25%, aanvullend kunstmest-N. Maximale fosfaatbemesting van  $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  in de vorm van dierlijke mest. Eén keer wordt varkensdrijfmest en één keer wordt droge kippemest gegeven. De mest wordt emissie-arm aangewend in het voorjaar. De werkingscoëfficiënt bedraagt dan 60%;
3. gemiddeld N-niveau 155, toediening in kunstmestvorm, geen gebruik van dierlijke mest.

Uit tabel 41 blijkt dat de uitspoeling volgens de berekeningen met RENLEM slechts in geringe mate afneemt. De oorzaak hiervan is reeds bij snijmaïs besproken.

**Tabel 41** Berekende nitraatuitspoeling voor bouwland op zandgrond ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N). Situatie met diepe grondwaterstand ( $Gt=VII^*$ )

Scenario	RENLEM
1	72
2	61
3	61

## 5.5 Conclusies

### *Scenarioberekeningen voor grasland op zandgrond*

De verschillen tussen de berekeningsresultaten van de modellen voor grasland op zandgrond met een diepe grondwaterspiegel zijn aanzienlijk. Bij gemaaid grasland met een stikstofniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  varieert de nitraatuitspoeling van 53 tot  $172 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N. Bij beweid grasland op zandgrond (dag en nacht weiden) met een gemiddelde veebezetting zijn de berekende verschillen in de nitraatuitspoeling kleiner, namelijk 105 tot  $156 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N. Een deel van de variatie is te verklaren door verschillen in de modeleigenschappen. De modellen reageren bijvoorbeeld zeer verschillend op de overgang van maaien naar weiden. Hierdoor is het moeilijk op basis van deze berekeningen aan te geven wat de te verwachten nitraatuitspoeling is bij een bepaald stikstofniveau.

De met het model KOL berekende uitspoeling komt het meest overeen met die van het model VELD, dat op basis van het proefveldonderzoek voor grasland werd afgeleid. De berekeningen met dit model geven zowel een verschil in uitspoeling bij de overgang van bovengrondse mestaanwending naar emissie-arme mestaanwending als een verschil tussen beweiden en maaien van grasland. Het model DGM berekent voor de scenario's vaak de kleinste uitspoeling. Vergeleken met de meetresultaten, zoals beschreven door model VELD, zijn deze waarden waarschijnlijk te laag. Een mogelijke oorzaak hiervoor is de geringe uitspoeling van de stikstof uit dierlijke mest, die in dit model wordt verondersteld. Als de beweiding toeneemt wordt het verschil met de andere modellen kleiner en komen de uitkomsten dichterbij de waarden, die op basis van de proefveldgegevens zijn berekend. De modellen RUL en NLOAD lijken sterk op elkaar. Van de vier modellen, waarmee scenarioberekeningen zijn uitgevoerd, geven deze twee de grootste uitspoeling. Vooral bij de hogere N-niveau's wordt door deze modellen een zeer grote nitraatuitspoeling berekend.

Het model VELD berekent een uitspoeling die ongeveer het midden houdt tussen de berekende uitspoeling van de vier modellen. Een nadeel van dit model is dat het effect van de periode van aanwenden van dierlijke mest (uitrijverbod) en de aanwendingsmethodiek niet op een directe manier kunnen worden meegenomen.

De relatieve afname van de uitspoeling, die bij verlaging van het stikstofniveau door de modellen wordt berekend, is bij alle modellen ongeveer even groot. Uit de scenarioberekeningen volgt dat verlaging van het stikstofniveau op dag en nacht beweid grasland op zandgrond van 400 naar  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  een afname van de uitspoeling geeft van ongeveer 35%. Afname van het stikstofniveau van 400 tot  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  geeft een afname van de uitspoeling van ongeveer 50%. De referentie hierbij is een situatie met een stikstofniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  en waarbij de mest bovengronds wordt uitgereden (situatie in de tachtiger jaren). Bij een stikstofniveau van 300 en  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  wordt de mest emissie-arm in het voorjaar toegediend. Emissie-arme mestaanwending bij een stikstofniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  geeft ook al een afname van de uitspoeling van ruim 10% in een situatie van dag en nacht weiden. Bij gemaaid grasland op zandgrond is de afname van de uitspoeling bij

verlaging van het stikstofniveau tot  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  ongeveer 55%, en bij verlaging tot  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  ongeveer 70% ten opzichte van de referentiesituatie. Overgang naar emissie-arme mestaanwending bij een stikstofniveau van  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  en uitsluitend maaien resulteert in een reductie van de uitspoeling van ongeveer 30%.

#### *Scenarioberekeningen voor grasland op kleigrond*

Op kleigrond ligt de uitspoeling op een veel lager niveau dan op zandgrond. Op kleigrond zijn ook de absolute verschillen tussen de modellen minder groot. Afname van het stikstofniveau van 400 (bij bovengrondse mestaanwending) tot aan 300 respectievelijk  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (bij emissiearme mestaanwending) reduceert de uitspoeling volgens de berekeningen met ongeveer 40% respectievelijk 50%. De overgang naar emissie-arme mestaanwending geeft ook hier al een duidelijke afname van de uitspoeling ten opzichte van de referentiesituatie.

#### *Scenarioberekeningen voor snijmaïs en bouwland*

Voor snijmaïs in continueelt zijn vijf scenario's met twee modellen (RENLEM en RUL) en voor bouwland met slechts één model (RENLEM) doorerekend. De verschillen tussen de berekende uitspoeling voor snijmaïs zijn groot. Alle berekeningsresultaten voor snijmaïs en bouwland moeten als indicatief worden beschouwd.

Voor snijmaïs bleek de uitspoeling volgens RENLEM bij overgang naar emissie-arme mestaanwending, bij een stikstofniveau van circa  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , te halveren. Verlaging van het stikstofniveau van 150 tot  $75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  gaf vervolgens slechts een afname van de uitspoeling van ongeveer 20%. Bij model RUL is de daling van de uitspoeling minder spectaculair, maar toch nog aanzienlijk.

Voor bouwland werd alleen met het model RENLEM gerekend. De verschillen in de nitraatuitspoeling van de verschillende scenario's blijken klein te zijn. Voor bouwland op zandgrond wordt ook bij verlaging van het advies voor aardappelen, het meest uitspoelingsgevoelige akkerbouwgewas, een nitraatuitspoeling berekend van circa  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N.

## 6 CONCLUSIES, DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Op grond van de beoordeling van de modelresultaten per dataset en de vergelijking van de resultaten van de negen eenvoudige stikstofmodellen met behulp van een statistische analyse en een lineaire regressie analyse, komt naar voren dat de modellen KOL, NITRIN, DGM, RUL en NLOAD geschikt zijn voor de berekening van nitraatuitspoeling onder grasland op zandgrond. De gemiddelde fout in de voorspelling van de nitraatuitspoeling (RMSE) ligt bij deze modellen tussen 30% en 40% (tabel 27).

Voor snijmaïs in continueelt komt geen van de gebruikte modellen duidelijk als bruikbaar naar voren. Wel kan worden geconcludeerd dat zowel op basis van de statistische analyse als van de regressieanalyse de modellen RUL, NLOAD en RENLEM als de minst slechte modellen naar voren komen. De gemiddelde fout in de voorspelling van de nitraatuitspoeling (RMSE) ligt bij deze modellen tussen 45% en 60% (tabel 29). Alle modellen berekenen een te kleine uitspoeling vergeleken met de proefveldwaarnemingen. Een verklaring hiervoor is dat de mineralisatie op maïsland in continueelt dermate hoog is, en door de jaren heen zo sterk varieert, dat deze post de uitspoeling ten gevolge van de bemesting overheerst en minder zichtbaar maakt. Het is heel goed mogelijk dat over een aantal jaren de invloed van de mineralisatie verminderd is. Ook zullen strengere normen voor de bemesting van maïsland van kracht worden, waardoor de mineralisatie (na enige jaren) zal afnemen. In die nieuwe situatie zullen de modellen het wellicht beter doen.

Met vier modellen zijn scenarioberekeningen voor grasland uitgevoerd. Met twee modellen zijn scenarioberekeningen voor snijmaïs uitgevoerd en met één model zijn scenarioberekeningen voor bouwland uitgevoerd. De scenarioberekeningen voor grasland laten een forse spreiding in de berekende nitraatuitspoeling zien. Vergeleken met de gemiddelde uitspoeling berekenen de modellen RUL en NLOAD daarbij een hogere uitspoeling, terwijl het model DGM een lagere uitspoeling berekent. Deze grote verschillen in de berekende uitspoeling zijn opvallend, aangezien deze modellen in de modeltoetsing tot redelijke voorspellingen van de nitraatuitspoeling kwamen. De meeste verschillen tussen de modellen zijn terug te voeren op verschillen in de procesbeschrijving van de modellen (mineralisatie van dierlijke mest, uitspoelingscoëfficiënten van dierlijke mest). Een andere oorzaak voor de spreiding is dat de datasets die voor de toetsing zijn gebruikt niet alle variatie tussen de modellen aan het licht kunnen brengen. Overigens moet hieruit niet de verkeerde conclusie getrokken worden dat de werkelijk in de praktijk optredende variatie in nitraatconcentratie bij vergelijkbare stikstofniveaus en beweidingssystemen kleiner zou zijn dan de variatie in de modeluitkomsten.

Op basis van de proefveldgegevens werd een exponentiële functie voor de uitspoeling afgeleid. Deze functie blijkt een bruikbaar model te zijn voor de nitraatuitspoeling als functie van de minerale stikstofgift, maar is alleen toepasbaar voor grasland op zandgrond.



Verschillen in de berekende nitraatuitspoeling voor grasland treden met name op bij verandering van:

- weiden naar maaien;
- overgang van bovengrondse mestaanwending gedurende het hele jaar naar emissie-arme mestaanwending in het groeiseizoen;
- het stikstofniveau.

Het gedrag van de modellen bij deze veranderingen is een middel om de geschiktheid van de modellen te testen. De toename van de uitspoeling bij de overgang van weiden naar maaien van grasland bij de modellen RUL en NLOAD wordt veroorzaakt door de hoge werking van stikstof in dierlijke mest in het groeiseizoen. De modellen KOL en DGM berekenen een afname van de uitspoeling bij overgang van weiden naar maaien.

Alle modellen berekenen een afname van de uitspoeling als wordt overgegaan van bovengrondse aanwending van dierlijke mest gedurende het hele jaar naar emissie-arme mestaanwending gedurende het groeiseizoen. Dit wordt veroorzaakt door de betere werking van de dierlijke mest, waardoor het kunstmestverbruik (en daarmee de totale stikstofaanvoer) kan worden verminderd. Deze gesimuleerde afname van de nitraatuitspoeling zal in de praktijk alleen plaatsvinden als de boeren ook rekening houden met de hogere stikstofwerking van dierlijke mest die emissie-arm in het groeiseizoen wordt toegediend.

Voor maïs- en bouwland op zandgrond zijn ook enige scenarioberekeningen uitgevoerd. Maar omdat bij de modeltoetsing geen van de modellen in staat bleek de uitspoeling onder maïs- en bouwland goed te voorspellen moeten de berekeningsresultaten voor deze grondgebruiksvormen als indicatief worden beschouwd.

#### *Aanbevelingen*

Het verdient aanbeveling een model te ontwikkelen dat de nitraatuitspoeling, gemeten op proefvelden en in de praktijk, voldoende nauwkeurig berekent en bovendien:

- toepasbaar is op zand en klei (in mindere mate op veen);
- in staat is berekeningen te maken voor gemaaid en beweid grasland;
- effecten van verschillende methodieken voor de mestaanwending kan berekenen;
- periode van toedienen van dierlijke mest kan meenemen;
- toepasbaar is voor grasland, maïsland, bouwland (gewasrotatie) en vollegrondsgroenteteelt;
- rekening kan houden met te verwachten ontwikkelingen in de bedrijfsvoering.

De hier onderzochte modellen zijn maar ten dele in staat aan deze voorwaarden te voldoen. Voor alle modellen geldt dat één of meer onderdelen moeten worden aangepast. Als voorbeelden daarvan worden enkele voor de hand liggende aanpassingen van de modellen DGM en RUL/NLOAD genoemd. De uitspoeling van dierlijke mest in het model DGM dient aangepast te worden. De werkzame stikstof in dierlijke mest zou in dat model een gelijke uitspoeling kunnen krijgen als de uitspoeling van kunst-

mest. De beschrijving van de mineralisatie van de organisch gebonden stikstof en het effect van beweiden in de modellen NLOAD en RUL dienen eveneens te worden aangepast.

In verband met de te verwachten ontwikkelingen in de bedrijfsvoering wordt als voorbeeld genoemd het effect van een lager stikstof bemestingsniveau op de stikstofbelasting in urineplekken. Immers, bij een lager stikstof bemestingsniveau neemt het stikstofgehalte in het gras, en daarmee in de urine, af. Andere aspecten zijn het effect van een hogere melkproductie per koe en het bijvoeren van maïs gedurende de zomerperiode op de stikstofbelasting op urineplekken

Om de nitraatuitspoeling onder maïsland en bouwland beter te kunnen voorspellen is het gewenst inzicht te krijgen in de verandering in het mineralisatieniveau als het bemestingsniveau daalt. Waarschijnlijk is dit de oorzaak van de slechte voorspellende waarde van de modellen voor maïsland. Daarnaast dient, met het oog op toekomstige ontwikkelingen, het effect van rijenbemesting van kunstmest en dierlijke mest en het effect van het telen van een nagewas in de modellen voor maïs- en bouwland te worden meegenomen. Omdat het grootste deel van het bouwland op de kleigronden voorkomt is het gewenst dat voor deze situatie modellen worden ontwikkeld cq. getoetst.

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat het op grond van proefveldgegevens moeilijk is de nitraatuitspoeling nauwkeurig te voorspellen. Zelfs voor grasland, waar toch het meeste uitspoelingsonderzoek is verricht, is het nog zeer moeilijk nauwkeurige voorspellingen omtrent de nitraatuitspoeling te doen. Dit geeft aan dat grote behoefte bestaat aan veldonderzoek naar de gevolgen voor de stikstofhuishouding van de grond in afhankelijkheid van het stikstofniveau, de grondsoort, de grondwaterstand en het bodemgebruik. Daarbij dienen zowel de uitspoeling van dierlijke mest als van kunstmest als van de beweiding te worden gemeten.

## LITERATUUR

BOUMANS, L.J.M., C.R. MEINARDI en G.J.W. KRAJENBRINK, 1989. *Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden*. Bilthoven. RIVM, Rapport 728472013.

BOUMANS, L.J.M., 1990. *Variatie in ruimte en tijd van de nitraatconcentratie in het verzadigde grondwater van 10 graslandbedrijven in de zandgebieden van Nederland*. Bilthoven. RIVM, Rapport 724903002.

BREEUWSMA, A., J.P. CHARDON, J.F. KRAGT and W. DE VRIES, 1991. "Pedotransfer functions for denitrification". In: *CEC, in press Proceedings of the final workshop on 'Nitrate in Soils'* held in Wageningen, 17-19 December 1990.

DGM/IPO/VNG, 1988. *Basis voor mestregelgeving in grondwaterbeschermingsgebieden*. Werkgroep Diffuse Verontreiniging van het DGM/IPO/VNG overleg. Leidschendam. VROM.

DRAPER, N.R. and H. SMITH, 1981. *Applied Regression Analysis*. 2<sup>nd</sup> edition, Wiley New York.

DORENBOSCH, M.M., 1987. *Dosering en uitspoeling van stikstofmeststoffen, een onderzoeksanalyse*. Leiden. Afdeling Milieubiologie, Rijks Universiteit.

DRECHT, G. VAN, 1986. *Effect van beperking van het gebruik van dierlijke mest op de nitraatuitspoeling in het bovenste grondwater in de zandgebieden*. Bilthoven. RIVM, Rapport 728472001.

DRECHT, G. VAN, 1987. "Modeling of nitrate leaching in the dutch sandy areas". Proc. Int. Conf. on: *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*, Noordwijk aan Zee, The Netherlands.

DRECHT, G. VAN, F.R. GOOSSENSSEN en A. BERENDS, 1988. *Meststoffen Uitspoeling Landbouwgebieden (MUL)*. Bilthoven. RIVM, Rapport 728472014.

DUIJVENBOODEN, W. et al., 1989. *De kwaliteit van het grondwater in Nederland*. Bilthoven. RIVM, Rapport 728820001.

GENSTAT-5 COMMITTEE, 1988. *Reference manual GENSTAT-5*. Statistics Department Rothamsted Experimental Station, Harpenden, England.

GOOSSENSSEN, F.R. en P.C. MEEUWISSEN (eds), 1990. *Advies van de Commissie Stikstof*. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 9. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen.

HOEYMAKERS, T.J., 1986. *Berekening van de nitraatinspoeling naar het bovenste grondwater met het computerprogramma NITRIN*. Bilthoven. RIVM, Rapport 840252002.

JANSEN, E.J., W.A. DE BOER en J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1990. Vermindering van de nitraatuitspoeling uit landbouwgronden. In: A. Breeuwsma en H.A.C. Verkerk (samenstellers). *Milieu-effecten van nitraat en fosfaat uit dierlijke mest: problemen en oplossingen*: 35-50. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 7. Wageningen. Dienst Landbouwkundig Onderzoek.

KOLENBRANDER, G.J., 1981. "Leaching of Nitrogen in Agriculture". In: *Nitrogen Losses and Surface Runoff from Landspreading of Manures*. Developments in Plant and Soil Sciences, Vol. 2 (Ed. J.C. Brogan). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk publ., The Hague, p. 199-266.

KRAGT, J.F. and M.J.D. HACK-TEN BROEKE, 1991. Performance of the model RENLEM. In: CEC, 1991. *Nitrate in Soils*. Soil and Groundwater Research Report II. CEC, Luxembourg.

KRAGT, J.F. en W. DE VRIES, 1987. *Onderzoek naar de effecten van mestbeperking op de nitraatuitspoeling in waterwingebieden in Overijssel; 1. RENLEM: een nitraatuitspoelingsmodel voor toepassing op regionale schaal*. Wageningen. Stichting voor Bodemkartering, Rapport 1935.

KRAGT, J.F. en W. DE VRIES, 1988. *Onderzoek naar de effecten van mestbeperking op de nitraatuitspoeling in waterwingebieden in Overijssel; 2. Gevoeligheidsanalyse en toetsing van het model RENLEM*. Wageningen. Stichting voor Bodemkartering, Rapport 2073.

KRAGT, J.F., W. DE VRIES en R. VISSCHERS, 1990. *Onderzoek naar de effecten van mestbeperking op de nitraatuitspoeling in waterwingebieden in Overijssel; 3. Toepassing van RENLEM op zeven kwetsbaar geachte grondwaterbeschermingsgebieden*. Wageningen. Staring Centrum, Rapport 38.

KROES, J.G., C.W.J. ROEST en H.P. OOSTEROM, 1991. *Toepassing van ANIMO in het kader van Commissie Stikstof*.

LAMMERS, H.W. et al., 1983. *Gevolgen van het gebruik van organische mest op bouwland*. Wageningen. CAD voor bodemaangelegenheden in de landbouw.

LAMMERS, H.W., 1984a. "Een berekende N-werkingscoëfficiënt van diverse dierlijke organische meststoffen". *De Buffer* 30, nr 5, p. 169-186.

LAMMERS, H.W., 1984b. *De relatie tussen rundveebezetting per ha grasland, de mestproductie en de gevolgen van het gebruik van deze mest*. Wageningen. CAD voor bodemaangelegenheden in de landbouw.

LAMMERS, H.W., 1986. *Stikstofbalans van een graslandbedrijf*. Wageningen. CAD voor bodemaangelegenheden in de landbouw, De Buffer 32, nr 2, p. 56-61.

LOAGUE, K. and R.E. GREEN, 1991. "Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application". *J. Contaminant Hydrology* 7, p. 51-73.

LUESINK, H.H. en J.H.M. WIJNANDS, 1985. *Mestoverschotten en -verwerking bij beperking van organische bemesting in drinkwaterbeschermingsgebieden*. Landbouw Economisch Instituut, Mededeling 320, 31 pp.

MEER, H.G. VAN DER, 1991. *Stikstofbenutting en -verliezen van gras en maïsland. Stand van zaken in het onderzoek naar de Stikstofproblematiek van gras- en maïsland. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij* 10. Wageningen. Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO), 134 pp.

MEER, H.G. VAN DER en P.C. MEEUWISSEN, 1989. "Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering". *Landschap* 6, nr. 1, p. 19-32.

MINISTERIE VAN VOLKSHUISVESTING RUIMTELIJKE ORDENING EN MILIEUBEHEER. *Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen* (BGDM). Den Haag. Staatsuitgeverij, Staatsblad (1987) 114,

OLSTHOORN, C.S.M., 1989. *Productie van dierlijke mest 1988*. Den Haag. CBS, Kwartaalbericht Milieustatistieken 89/4, p. 29-34.

STEENBERGEN, T. VAN, 1977. "Invloed van grondsoort en jaar op het effect van stikstofbemesting op de graslandopbrengst". *Stikstof* 85, p. 9-15.

STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1985. Nutrient leaching losses following application of farm slurry and water quality considerations in the Netherlands. In: *Efficient Land Use of Sludge and Manure* (Eds. Dam Kofoed, Williams and L'Hermite), London. Elsevier Applied Science, p. 168-177.

STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1988. *Vermindering van stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen. ICW, nota 1849

VROM, 1989. *Het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP)*.

WALTHER, W., 1989. The Nitrate Leaching out of Soils and their Significance for Groundwater, Results of Long-term Tests. In: *A.A. Hansen Jens and Kaj Henriksen* (eds). *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Academic Press.

WERKGROEP NITRAATUITSPOELING WATERWINGEBIEDEN (WNW), 1985. *Nitraatuitspoeling bij grondwaterwinning in Nederland, Onderzoek naar alternatieve maatregelen*. Wageningen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Rapport 12.

WIGGERS, A.J., C.H.E. WERKHOVEN, en J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1986. *Advies beperking uitrijperiode dierlijke meststoffen*. Wageningen.

#### NIET GEPUBLICEEERDE BRONNEN

DRECHT, G. VAN, 1990. *Vergelijking van modellen voor de berekening van de nitraatuitspoeling onder beweide grasland in het zandgebied*. Interne notitie RIVM (ingebracht in de Commissie Stikstof 1990).

GROOT, W.J.M. DE, M.J.D. HACK-TEN BROEKE en W.J.M. VAN DER VOORT (in prep.). *Effecten van milieumaatregelen op de nitraatuitspoeling in grondwaterbeschermingsgebieden in Utrecht*. Wageningen. Staring Centrum, Rapport 128.

KROES, J.G. en H.P. OOSTEROM, 1991. *Evaluatie van effecten van bemestingsmaatregelen op de belasting van grond- en oppervlaktewater*. Wageningen. Staring Centrum rapport in prep.

OOSTEROM, H.P., 1984. *Invloed van diverse factoren op de nitraatuitspoeling en -verplaatsing in het grondwater bij zandgronden (experiment met diepe lysimeters)*. Wageningen. ICW, nota 1490, 53 pp.

STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1983. *Nitraatbelasting van het grondwater in zandgebieden; denitrificatie in de ondergrond*. Wageningen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), nota 1435, 32 pp.

## AANHANGSEL 1

### Lijst van begrippen

**Basisuitspoeling**, (blz. 3, 10, e.v.):

Uitspoeling in een onbemeste situatie.

**Bemestingsuitspoeling**, (blz. 5, 11, e.v.):

Uitspoeling van minerale stikstof, die als kunstmest of uit dierlijke mest gedurende het groeiseizoen voor plantopname beschikbaar komt. (Dus niet door beweiding).

**Boorgatenmethode**, (blz. 27, e.v.):

Bemonstering van het bovenste grondwater door middel van de boorgatenmethode wil zeggen, dat met een avegaar of edelmanboor een gat tot in het grondwater wordt geboord, waarna een grondwatermonster wordt genomen.

**Continueelt van snijmaïs**, (blz. 3, 24, 25, 31, e.v.):

Elk jaar terugkerende teelt van snijmaïs. In tegenstelling tot rotatieteelt.

**Denitrificatie**, (blz. 6, e.v.):

Afbraakproces in de grond, waarbij nitraat in de bodemoplossing omgezet wordt in vrije luchtstikstof ( $N_2$ ) en gedeeltelijk  $N_2O$ .

**Depositie of N-depositie**:

Droge en natte stikstofdepositie uit de atmosfeer.

**Evenwichtssituatie**, evenwichtsmodellen (blz. 1, 3):

Modelbenadering, waarbij aangenomen wordt dat de voorraad organisch gebonden stikstof in de grond op jaarbasis niet verandert. Wordt ook wel een statische modelbenadering genoemd.

**Empirisch model** (blz. 3, 4):

Model gebaseerd op waarnemingen. Wordt hier gebruikt in tegenstelling tot een procesbeschrijvend model, waarvan alleen de procesparameters door middel van empirie zijn vastgesteld. In deze tegenstelling is een empirisch model dus niet op een volwaardige procesbeschrijving gebaseerd.

**Extra uitspoeling**, (blz. 5, 11, e.v.):

Uitspoeling van minerale stikstof in dierlijke mest, die buiten het groeiseizoen wordt uitgereden of die buiten het groeiseizoen door mineralisatie van organische stikstof in dierlijke mest vrijkomt.

**Gevalideerd model** (blz. 17):

Getoetst en geschikt bevonden model.

**Grondwatertrap (Gt), (blz. 6, 28):**

Klasse gedefinieerd door een zeker GHG- en GLG-traject.

**GHG (gemiddeld hoogste wintergrondwaterstand), (blz. 6, e.v.):**

Het gemiddelde van de HG3 over ongeveer acht jaar. Komt overeen met de waarde van de grondwaterstand, afgelezen bij de top van de grondwaterstandscurve.

De HG3 is het gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden die in een winterperiode (1 oktober - 1 april) zijn gemeten. Hierbij wordt uitgegaan van metingen op of omstreeks de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> van elke maand in geperforeerde buizen van 2-3 m lengte.

**GLG (gemiddeld laagste zomergrondwaterstand), (blz. 6, e.v.):**

Het gemiddelde van de LG3 over ongeveer acht jaar. Komt overeen met de waarde van de grondwaterstand, afgelezen bij de top van de grondwaterstandscurve.

De LG3 is het gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden, die in een zomerperiode (1 april - 1 oktober) zijn gemeten. Hierbij wordt uitgegaan van metingen op of omstreeks de 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> van elke maand in geperforeerde buizen van 2-3 m lengte.

**Grondwatervoeding, neerslagoverschot, drainageflux (blz. 2, e.v.):**

jaargemiddelde en plaatsgemiddelde voedingsflux van het grondwater. Uitgedrukt in millimeter waterlaag per jaar. In Nederland gemiddeld 300 mm/jaar.

**Mineralisatie van organisch gebonden stikstof (blz. 4, e.v.):**

Afbraak van organische stof, waaruit stikstof in minerale vorm vrijkomt.

**Minerale stikstof, afgekort: N<sub>min</sub>, (blz. 4, e.v.):**

Toegediende minerale stikstof in kunstmest en dierlijke mest.

Term wordt ook in engere zin gebruikt voor de minerale stikstoffractie in dierlijke mest gebruikt, afgekort N<sub>m</sub>.

**Nagewas, zie winterbodembedekker.**

**Netto mineralisatie (blz. 36):**

Jaargemiddelde mineralisatie - immobilisatie. Termen kunnen niet apart gemeten worden, maar verschil kan uit N balans van de grond worden afgeleid. Bij een evenwichtssituatie is de netto mineralisatie gelijk aan 0.

**N-niveau of stikstofbemestingsniveau (blz. 51, e.v.):**

Toegediende hoeveelheid werkzame stikstof in de vorm van kunstmest en dierlijke mest.

**Nitrificatie, (blz. 17):**

De omzetting van ammonium in nitriet en nitraat.



**0-veldje**, (blz. 24):

Niet bemest controle proefveld.

**Rotatie (-teelten, -gewassen)**, (blz. 3, 13, 55, 59):

Bouwland in de zin van bouwplan met vruchtwisseling van gewassen in een bepaalde volgorde.

**Stikstofoverschot stikstofbalans**, afgekort: Nover (blz. 11):

Overschot stikstofbalans van de bodem. Wordt op verschillende manieren berekend.

**Urine-N** of urine stikstof, afgekort: Nurine, (blz. 4, 14):

Toegevoerde effectieve stikstof in urineplekken. In sommige modellen wordt aangenomen wordt dat circa 50 % van de stikstoftoevoer door beweiding (Nwei) in minerale vorm beschikbaar komt. Bij het bepalen van de gewasbehoefte aan werkzame stikstof wordt deze minerale stikstof altijd verwaarloosd.

**Werkzame stikstof**, effectieve stikstof, afgekort: Neff (blz. 4, 5, e.v.):

Deel van de organisch gebonden en minerale stikstof in organische mest, dat een vergelijkbare werking (of effect) heeft voor de plantopname als kunstmest stikstof. Wordt ook wel beschikbare stikstof genoemd. De effectieve minerale stikstof, die in urineplekken van weidend rundvee beschikbaar komt, is wel beschikbaar voor plantopname, maar wordt nooit bij de werkzame stikstof in de zin van bemestingsniveau geteld.

**Werkingscoëfficiënt** of N-werkingscoëfficiënt, afgekort als wc (blz.11, e.v.):

De werkingscoëfficiënt geeft aan de fractie van de totale hoeveelheid stikstof in organische mest die een gelijke werking heeft als kunstmest-N.

**Winterbodembedekker**, (blz. 24):

Gewas dat als ondergewas of nagewas wordt gezaaid, teneinde het verlies van minerale stikstof na de oogst van het hoofdgewas te beperken.

## AANHANGSEL 2

### Invloed van de grondwaterstand op de nitraatuitspoeling

#### 1. Inleiding

De nitraatuitspoeling is in belangrijke mate afhankelijk van de grondwaterstand. Zowel ten behoeve van emissieberekeningen als voor een mogelijke mestregelgeving is het noodzakelijk om inzicht te hebben in de relatie tussen nitraatuitspoeling en grondwaterstand. Enkele onderzoeken zijn uitgevoerd in het veld en met lysimeters waaruit informatie kan worden geput over deze kwantitatieve relatie. In deze notitie zullen deze onderzoeksresultaten in het kort worden besproken en geëvalueerd. Recent zijn door het SC een aantal berekeningen uitgevoerd met het dynamische model ANIMO ten behoeve van de Commissie Stikstof. De resultaten hiervan zullen eveneens in beschouwing worden genomen.

#### 2. Onderzoeksresultaten

##### *Lysimeters:*

In een lysimeterexperiment (Steenvoorden, 1983) werd gedurende 6 jaren in november circa 300 ton varkensdrijfmest direct ondergewerkt bij een zandgrond met drie verschillende grondwaterregimes: hoogste grondwaterstanden van resp. 0,50, 1,00 en 1,50 m -m.v. in het voorjaar en laagste grondwaterstanden in de zomer dieper dan 1,50 m -m.v. als gevolg van verdampingsoverschotten. In het voorjaar werd omstreeks half april gras ingezaaid dat vier maal per jaar werd gemaaid. Er werd geen kunstmest toegediend. De jaarlijkse nitraatuitspoeling is berekend op basis van gemeten nitraatconcentraties op een diepte van 1 m -m.v. en de gemeten grondwatervoeding. Uit deze resultaten is een relatie afgeleid tussen de gemiddelde nitraatbelasting van het bovenste grondwater en de grondwatertrap (Steenvoorden, 1988). Een bijzonderheid bij deze proef is, dat een overloopsysteem ervoor zorgde dat de grondwaterstand niet de genoemde hoogste grondwaterstand overschreed. Uit het grondwaterstandsverloop is een grondwatertrap afgeleid. De resultaten zijn vermeld in tabel 1.

##### *Proefvelden gemaaid grasland te Ruurlo en Heino:*

Twee verschillende bemestingsproeven voor grasland vonden plaats op zandgrond met resp. Gt V à VI en Gt VII\*, waarbij de Gt is vastgesteld op basis van tijdens het onderzoek gemeten grondwaterstanden. De eerste proef is uitgevoerd te Ruurlo in de periode 1980-1984, waarbij drijfmest in het voorjaar bovengronds of d.m.v. injectie werd toegediend in combinatie met verschillende niveaus kunstmest-N (zie hoofdstuk 3.2, set 1). De tweede proef is uitgevoerd op een enkeerdgrond te Heino waarbij alleen kunstmest werd gegeven en meerdere berekeningsscenario's werden toegepast. De onderzoeksperiode was 1982-1984 (zie hoofdstuk 3.2, set 3). Bij geen van beide experimenten vond beweiding plaats. De nitraatuitspoeling is berekend met behulp van gemeten concentraties op 1 m -m.v. en berekende waarden van de grondwatervoeding. De resultaten van het jaar 1982/'83 zijn weergegeven in Steenvoorden (1987). De gemiddelde resultaten over alle onderzoeksjaren zijn

opgenomen in het rapport "Stikstofbenutting en -verliezen van gras- en maïsland" van de Werkgroep N-problematiek Gras- en Maïsland van NRLO (Van de Meer et al., 1990) en zijn weergegeven in figuur 3.1 van hoofdstuk 3. De reductiefactor voor de nitraatuitspoeling,  $R_n$ , die hieruit kan worden afgeleid voor het perceel met Gt V à VI ten opzichte van het perceel met Gt VII\* varieert van 0,55 bij een kunstmest-N bemesting van  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  tot 0,47 bij een kunstmest-N bemesting van  $500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (tabel 1). In dit bemestingstraject daalt de waarde van  $R_n$  geleidelijk.

#### *Veldonderzoek van RIVM/NMI op stikstofproefbedrijven*

Door Boumans et al. (1989) is in het voorjaar van 1987 een onderzoek uitgevoerd op 10 rundveehouderijbedrijven op zandgrond (zie hoofdstuk 3, dataset 7). Het betreft beweid en intensief bemest grasland. Informatie over de nitraatuitspoeling is verkregen door bemonstering van de bovenste meter van het grondwater via 4 ondiepe boringen per ha. Uit deze gegevens is met behulp van meervoudige parallelle regressie een relatie afgeleid tussen de grondwatertrap, de N-bemesting en de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (tabel 1). De waarnemingen zijn verspreid over de grondwatertrappen II tot VII\*. De grondwatertrap is afgeleid uit profielkenmerken en op basis van een éénmalige opname van de grondwaterstand in de boorgaten in het voorjaar. De N-bemesting is een gemiddelde langjarige waarde afgeleid per perceel uit jaarverslagen.

#### *Veldonderzoek op 17 proef- en praktijkbedrijven*

Breeuwsma et al. (1991) onderzochten de invloed van bodemeigenschappen op de nitraatuitspoeling bij 10 proefboerderijen en 7 praktijkbedrijven in 1989 en 1990, waarvan er 10 op zandgrond waren gelegen. Het betreft voor een deel dezelfde bedrijven als in het onderzoek van Boumans et al. (1989). Het bodemgebruik van de bedrijven op zandgrond was grasland (beweide en gemaaide percelen) en op een bedrijf kwam eveneens snijmaïs voor. De nitraatconcentratie van het bovenste grondwater is bepaald door bemonstering van een peilbuis met een filter van circa 0,5 m lengte in de bovenste laag van het grondwater. In de benadering van Breeuwsma et al. (1991) wordt er vanuit gegaan dat de N-huishouding van landbouwgronden in evenwicht is, zodat op jaarbasis veranderingen in de accumulatie van organisch N in de bodem geen rol meer spelen. Verschillen in nitraatuitspoeling bij eenzelfde bodemgebruik kunnen dan worden toegeschreven aan verschillen in denitrificatie onder invloed van verschillen in de waterhuishouding. Een denitrificatiefactor, ( $f(\text{den})$ ), wordt afgeleid uit de verhouding tussen de (als restpost) berekende gedenitrificeerde stikstof en de netto N-belasting (bemestings-N verminderd met vervluchtiging en N-afvoer). Voor bijv. zandgrond leidt dit tot een zogenaamde (klasse-)vertaalfunctie. De relatie tussen  $f(\text{den})$  en grondwatertrap is per grondsoort vastgesteld op basis van gemiddelde waarden van N-bemesting en nitraatconcentratie. De grondwatertrap is afgeleid uit profielkenmerken en uit een éénmalige opname van de grondwaterstand in de boorgaten bij de bemonstering in het voorjaar. Hieruit is de reductiefactor voor de nitraatuitspoeling,  $R_n$ , afgeleid volgens:  $R_n = 1 - f(\text{den})$ . In tabel 1 zijn de  $R_n$ -factoren vermeld. Op grond van het voorgaande moge duidelijk zijn dat de grondslag van  $R_n$  in dit onderzoek een andere is dan in de andere studies.

In die andere studies geeft Rn de verhouding tussen de bij een bepaalde Gt gemeten uitspoeling ten opzichte van die bij Gt VII\*. Als geen meetgegevens van de gewasonttrekking voorhanden zijn, wordt in de huidige benadering uitgegaan van een vaste waarde ongeacht het bemestingsniveau, tenzij de hoeveelheid stikstof niet toereikend is voor de gestelde onttrekking. In dat geval wordt de N-afvoer verminderd. Momenteel wordt gewerkt aan een verbetering van de berekeningswijze op dit punt.

### Modelberekeningen ANIMO

Met het dynamische simulatiemodel ANIMO zijn een aantal berekeningen uitgevoerd ten behoeve van de Commissie Stikstof (Kroes et al., 1991). In dit model wordt rekening gehouden met omzettingen van koolstof en stikstof en de invloed van de waterhuishouding. De berekeningen hebben betrekking op een melkveehouderijbedrijf op zandgrond bij de Gt's III, V, VI en VII\*. Simulaties zijn uitgevoerd voor een bedrijfssituatie waarbij de som van de werkzame N uit emissie-arm toegediende dierlijke mest en de kunstmest-N steeds  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  bedraagt. De beweidings-N is niet verrekend met de kunstmestbemesting, maar is wel toegevoegd aan de bodem. Voor elke Gt zijn acht bemestingsvarianten doorgerekend, die verschillen in het tijdstip waarop een deel van de stalmest (30% van de stalproductie) in de periode tussen september en maart emissie-arm wordt toegediend. De nitraatuitspoeling is berekend als gemiddelde van de 15-jarige periode 1970-1985 voor twee niveaus in de bodem: 1 m -m.v. en 1 m onder de grondwaterspiegel. In tabel 42 zijn per Gt de gemiddelde Rn-factoren van de acht bemestingsvarianten vermeld voor het uitspoelingsniveau van 1 m -m.v.

**Tabel 42** Relatie tussen de grondwatertrap (Gt) en de nitraatuitspoeling. De nitraatuitspoeling is uitgedrukt als fractie van de uitspoeling bij Gt VII\*. Behalve de modelberekeningen van ANIMO zijn alle gegevens afgeleid uit lysimeter- en veldonderzoek

Gt	Steenvoorden (1988)	Boumans et al.(1989)	Van der Meer et al.(1990)	Breeuwsma et al.(1991)	ANIMO (berekening)
II	0,04	0,05	-	-	-
III	0,10	0,08	-	0,15	0,01
III*	0,22	0,31	-	0,18	-
IV	0,22	0,43	-	0,31	-
V	0,15	0,50	-	-	0,36
V*	0,22	0,48	} 0,47-0,55	0,09	-
VI	0,41	0,65		0,39	0,57
VII	0,73	0,83	-	0,60	-
VII*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

- = geen gegevens beschikbaar

*Handwritten note:*  
 ↳  
 was g...  
 van steenvoorden

### 3. Bespreking van onderzoeksresultaten

Uit de resultaten van alle vier veldonderzoeken blijkt dat de grondwatertrap een zeer grote invloed heeft op de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater. Bij Gt VII\* worden relatief de hoogste concentraties gevonden en bij Gt II de laagste. Eenzelfde

bemesting leidt op een grond bij Gt VII\* of VII tot een nitraatconcentratie die een factor 20 resp. 15 hoger ligt dan bij Gt II. De verschillen tussen de correctiefactoren voor de nitraatuitspoeling bij dezelfde Gt zijn bij de Gt's III, IV en V aanzienlijk, namelijk respectievelijk een factor 2, 2 en 3 bij vergelijking van de hoogste met de laagste waarde. De keuze van een van de sets correctiefactoren kan dus een aanzienlijke invloed hebben op de berekende nitraatbelasting van het grondwater. Hierna zal nader op enkele processen en omstandigheden worden ingegaan die een rol spelen bij de bepaling van de correctiefactor voor de nitraatuitspoeling, namelijk: de meetjaren, bemestingsomstandigheden en de bepalingswijze voor de grondwatertrap.

Het aantal meetjaren en de representativiteit van het weerjaar zijn van belang, omdat gezocht wordt naar een gemiddelde correctiefactor. Vervluchting, gewasopname en denitrificatie worden allen beïnvloed door het weer en dus ook de nitraatuitspoeling. Naarmate het aantal meetjaren groter is, neemt de betrouwbaarheid van de daaruit afgeleide correctiefactor toe. Het aantal meetjaren bedraagt een in het onderzoek van Boumans et al. (1989), 1 à 2 in dat van Breeuwsma et al. (1991) en 5 resp. 6 meetjaren in de onderzoeken van de Werkgroep (Van der Meer et al., 1991) en Steenvoorden (1988). De berekening van ANIMO is gedaan voor een periode van 15 jaar.

De bemestingsomstandigheden verschillen aanzienlijk tussen de onderzoeken van enerzijds Steenvoorden (1988) en anderzijds Boumans et al. (1989) en Breeuwsma et al. (1991), met name ten aanzien van de hoeveelheid dierlijke mest en de wijze en het tijdstip van toedienen. In het eerstgenoemde onderzoek werd 300 ton/ha varkensdrijfmest in november samen met de graszode ondergewerkt, zodat gunstige condities werden gecreëerd voor denitrificatie. Bij de Werkgroep (Van der Meer et al., 1991) werd alleen te Ruurlo dierlijke mest toegediend, namelijk veelal in april. Van de andere twee onderzoeken is niet onderzocht wanneer de dierlijke mest werd toegediend. Aangezien het onderzoeken betreft op zuivere rundveebedrijven kan worden verwacht dat slechts beperkte hoeveelheden dierlijke mest in het najaar zijn toegediend en bovendien bovengronds, zodat relatief minder gunstige condities voor denitrificatie voorkwamen. In de modelberekeningen met ANIMO werd 14 m<sup>3</sup> dierlijke mest in één van de maanden van het winterhalfjaar toegediend en de rest in het voorjaar. De invloed van de drijfmesttoediening in het najaar op de nitraatuitspoeling zal verschillen in afhankelijkheid van de vochtuithouding, omdat deze van invloed is op aëratie, nitrificatie en beschikbaarheid van organische stof voor denitrificatie en dus ook voor de nitraatuitspoelingsfactor. Dierlijke mest is niet alleen een potentiële bron van nitraatuitspoeling, maar eveneens voor denitrificatie als gevolg van de toevoer van gemakkelijk afbreekbare organische stof, met name in natte perioden. Voor de zeer natte gronden en de zeer droge gronden is de mesttoediening waarschijnlijk van weinig belang voor de omvang van het denitrificatieproces. Op zeer natte gronden is de beschikbaarheid van organische stof ook zonder drijfmesttoediening in het najaar vermoedelijk geen beperkende factor voor denitrificatie. Bij diepe grondwaterstanden van omstreeks 1 m -m.v. of dieper wordt een zeer groot deel van de uit de dierlijke mest afkomstige organische stof

in de bovenste meter van de bodem aëroob afgebroken. Dit laatste is o.a. gebleken uit metingen om de 20 cm van in het bodemvocht aanwezige organische koolstof (TOC) in het lysimeterexperiment (Oosterom, 1984). De op grotere diepten in het bodemvocht nog resterende organische koolstof is bovendien resistenter en is dus minder geschikt voor denitrificatie. Voor de natte en de droge gronden is dus te verwachten dat er minder snel verschillen optreden tussen de onderzoeken. Verschillen kunnen met name worden verwacht bij de Gt's III, IV en V, zoals blijkt uit de meetresultaten. Uit de ANIMO-berekeningen blijkt dat toediening van de (beperkte hoeveelheid) mest in november tot lagere correctiefactoren leidt dan bij toediening in het voorjaar. Bij Gt V is  $R_n=0,32$  bij toediening in november ten opzichte van 0,38 bij toediening in maart. Bij Gt VI zijn de waarden respectievelijk 0,46 en 0,57. Verwacht mag worden dat bij nog grotere hoeveelheden dierlijke mest in november, zoals in de lysimeterproef plaats vond, de waarde van  $R_n$  nog verder kan dalen.

Alle onderzoeken maken gebruik van de grondwatertrap ter karakterisering van de dynamische waterhuishouding. De grondwatertrap is slechts één van de mogelijkheden om de verschillen in waterhuishouding in beeld te brengen. De wijze waarop de grondwatertrap is bepaald, verschilt voor enerzijds Steenvoorden (1988) en Werkgroep (Van de Meer et al., 1991) en anderzijds Boumans et al. (1989) en Breeuwsma et al. (1991). In de eerstgenoemde twee onderzoeken is de grondwatertrap geschat op basis van gemeten grondwaterstanden, in de twee andere onderzoeken is deze afgeleid uit een bodemkartering en een éénmalige opname van de grondwaterstand in de boorgaten. De karteringsmethode leidt tot een karakterisering van de gemiddelde waterhuishouding, terwijl nitraatuitspoeling en -omzettingen vooral zullen reageren op de in een bepaald jaar werkelijk voorkomende waterhuishoudkundige situatie. Bovendien heeft elke grondwatertrap een behoorlijke range waarbinnen de gemiddeld hoogste grondwaterstand mag vallen. Op basis van alleen al deze laatste overweging moet een behoorlijke spreiding in de  $R_n$ -factor binnen één grondwatertrap worden verwacht.

Samenvattend kan worden gesteld dat op basis van het aantal meetjaren, de bepalingswijze van de grondwatertrap en de kwantificering van hoeveelheid dierlijke mest de onderzoeken van Steenvoorden (1988) en Van der Meer (1991) goed scoren. Het onderzoek van Steenvoorden (1988) is ten aanzien van de hoeveelheid van de toegediende dierlijke mest en het tijdstip van toediening echter niet representatief voor toekomstige situaties, waarbij bemesting in najaar en winter verboden zal zijn. De met ANIMO uitgevoerde simulaties en Werkgroep (Van de Meer et al., 1991) laten eveneens zien dat het tijdstip van toedienen van dierlijke mest een belangrijke invloed heeft.

#### 4. Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- de grondwaterstand bij zandgronden heeft een belangrijke invloed op de denitrificatie in de onverzadigde zône en daardoor eveneens op de nitraatuitspoeling;

- het tijdstip van toediening van dierlijke mest heeft een geringe invloed op de correctiefactor van zeer natte zandgronden (Gt's II en III) en zeer droge gronden (Gt's VII en VII\*), maar is van groot belang voor de gronden met Gt's IV, V en VI;
- voor de berekening van nitraatmissies naar het grondwater met eenvoudige modellen is het wenselijk om rekening te houden met de grondwaterstand en het tijdstip van toediening van dierlijke mest;
- voortgezette aandacht voor de invloed van de grondwaterstand op de nitraatuitspoeling is gewenst, zowel voor zandgrond alsook voor andere grondsoorten. Berekeningen met een dynamisch model zoals ANIMO kunnen daarbij een nuttige functie vervullen om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de reductiefactor voor verschillende variabelen.

### AANHANGSEL 3

#### Gegevens van de bemesting, afvoer en uitspoeling per proefveld

##### Toelichting:

(i) = injectie (drijfmest)

RDM = rundveedrijfmestgift in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  totaal-N

KM = kunstmest-N  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$

Nmin = minerale N in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ , berekend als:  $\text{KM} + 50\% \text{RDM} + 50\% \text{Nwei}$

Nwei = beweidings-N in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  totaal-N

gewas = netto stikstofafvoer in het gewas in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$

uitsp. = nitraatuitspoeling, gecorrigeerd voor Gt in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  als N

*Dataset 1: gemaaid grasland op zandgrond met Gt VIVI (Gt correctie: 0,55)*

<	proefveld resultaten				berekende uitspoeling per model									>
	RDM	KM	Nmin	GEWAS	UITSP.	KOL	WAL	NITRIN	NPK88	NPK89	DGH	RUL	NLOAD	
	0	0	0	141	11	3	3	0	0	0	8	8	2	5
	0	386	386	464	41	33	25	31	52	0	37	37	32	23
	0	579	579	542	84	88	53	85	78	16	92	92	87	33
100	0	50	166	13	3	3	8	11	0	8	11	6	7	
100	386	436	494	30	55	33	40	63	3	38	56	51	22	
100	579	629	555	78	110	60	94	89	31	93	114	109	31	
185	0	92	186	9	3	3	16	21	4	9	13	9	9	
185	386	478	500	39	66	39	48	73	18	39	74	70	21	
185	579	671	557	89	115	66	101	99	47	94	125	121	29	
106(i)	0	53	196	8	3	3	9	14	0	8	11	5	8	
106(i)	386	439	490	55	55	33	41	67	9	38	50	55	22	
106(i)	579	632	560	59	110	61	94	92	35	93	116	110	31	
195(i)	0	97	245	15	3	3	17	26	0	9	15	8	10	
195(i)	386	483	537	43	66	39	37	79	18	39	83	77	23	
195(i)	579	676	582	115	115	67	102	105	50	94	127	123	31	
378(i)	0	189	349	21	3	4	33	52	17	10	31	24	12	
378(i)	386	575	562	97	88	52	64	104	53	40	140	119	23	
378(i)	579	768	572	218	149	80	118	130	92	95	158	150	34	



**Dataset 2: snijmaïs op zandgrond met Gt IV (Gt correctie: 0,43)**

**Toelichting: Nmin = gegeven minerale deel RDM + KM**

< Proefveld resultaten >					< Berekende uitspoeling per model >								
RDM	KM	Nmin	GEWAS	UITSP.	KOL	WAL	NITRIN	NPK88	NPK89	DGM	RUL	NLOAD	RENLEM
192(i)	0	95	122	153	33	19	37	28	20	37	68	58	148
400(i)	0	200	158	190	49	27	79	60	50	57	122	101	240
187(i)	0	82	133	142	31	18	28	27	18	31	64	56	141
370(i)	0	160	159	254	42	24	57	55	44	43	109	92	216
227(i)	0	120	183	61	36	21	20	33	16	31	51	42	67
455(i)	0	240	205	104	53	30	49	68	51	34	90	71	181
0	160	160	120	70	42	24	0	23	15	36	44	36	81

**Dataset 3: gemaaid grasland op zandgrond (enkeerdgrond), Gt=VIII**

< Proefveld resultaten >					< Berekende uitspoeling per model >								
RDM	KM	Nmin	GEWAS	UITSP.	KOL	WAL	NITRIN	NPK88	NPK89	DGM	RUL	NLOAD	RENLEM
0	0	0	131	36	6	7	0	0	0	15	15	5	19
0	200	200	288	45	8	7	0	49	0	19	19	9	44
0	390	390	435	106	70	48	60	96	0	71	71	61	94
0	590	590	493	212	180	100	160	145	54	176	176	166	184

**Dataset 4: beweid grasland op zandgrond met Gt VI (Gt correctie: 0,65) N-toevoer door beweiding inclusief circa 12% emissie NH<sub>3</sub>, GEWAS = N-afvoer door beweiding en melk en vlees en bosmatten, (in model NPK89 is GEWAS = 350 kg/ha ingevoerd)**

< Proefveld resultaten >					< Berekende uitspoeling per model >								
Nwel	KM	Nmin	GEWAS	UITSP.	KOL	WAL	NITRIN	NPK88	NPK89	DGM	RUL	NLOAD	RENLEM
336	255	423	371	48	66	37	43	88	63	68	30	23	40
395	390	587	430	61	107	64	90	118	111	103	77	70	93
433	520	736	473	116	152	89	137	144	153	140	161	154	173
430	680	895	470	145	194	116	189	169	193	179	215	208	306

**Dataset 5: beweid grasland op kleigrond met Gt IV (Gt correctie: 0,43) N-toevoer door beweiding inclusief circa 12 % emissie NH<sub>3</sub>, GEWAS = N-afvoer door beweiding en melk en vlees en bosmatten**

< Proefveld resultaten >					< Berekende uitspoeling per model >								
Nwel	KM	Nmin	GEWAS	UITSP.	KOL	WAL	NITRIN	NPK88	NPK89	DGM	RUL	NLOAD	RENLEM
235	250	367	305	8	10	7	-	-	-	9	5	5	-
300	400	550	383	29	18	11	-	-	-	17	17	17	-
370	550	735	460	41	31	15	-	-	-	27	27	27	-
385	700	892	478	49	42	19	-	-	-	29	34	34	-

**Dataset 6: snijmaïs op zandgrond met Gt VI (Gt correctie: 0.65)**

< RDM	proefveld resultaten					> KOL	berekende uitspoeling per model							>
	KM	Nmin	GEWAS	UITSP.	WAL		NITRIN	NPK88	NPK89	DGM	RUL	NLOAD	RENLEM	
0	20	20	161	58	34	20	3	4	0	32	33	32	40	
220(i)	20	130	190	99	57	33	39	54	26	44	86	71	45	
220(i)	60	170	194	138	66	37	45	63	35	50	96	78	60	
220(i)	100	210	194	198	74	42	52	72	45	57	105	84	77	
220(i)	140	250	180	209	83	46	58	81	59	63	115	91	105	

**Dataset 7: beweide grasland op zandgrond met Gt VII\*, gemiddelde situatie op 10 N-proefbedrijven (Boumans et al., 1989) N-toevoer door beweiding exclusief 12% emissie NH3  
GEWAS = is geschat op 350 (NPK89) en 365 (RENLEM)**

< RDM	Proefveld resultaten				> KOL	Berekende uitspoeling per model								>
	KM	Nwel	Nmin	UITSP.		WAL	NITRIN	NPK88	NPK89	DGM	RUL	NLOAD	RENLEM	
178	420	109	563	140	160	93	135	164	143	112	168	167	241	