



# Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002 - 2003



**Telen met toekomst**

J.A. de Vos & F.B.T. Assinck



# Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002 - 2003

J.A. de Vos & F.B.T. Assinck



## Telen met toekomst

### Colofon

*Uitgever:*

#### **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 47 70 00  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [post@plant.wag-ur.nl](mailto:post@plant.wag-ur.nl)  
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

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

Telen met toekomst is een van de landelijke onderzoeksprojecten die uitgevoerd worden in het kader van het Actieplan Nitraatprojecten (2000-2003). Het project wordt gefinancierd door de Ministeries van LNV en van VROM.

In 'Telen met toekomst' werken agrarische ondernemers samen met Wageningen UR (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving en Plant Research International B.V.) en DLV Adviesgroep nv aan duurzame bedrijfssystemen voor akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt, bloembollen en boomteelt.

#### **Informatie over Telen met toekomst**

DLV Adviesgroep nv  
Telefoon: (0317) 49 16 12  
Fax: (0317) 46 04 00  
Postbus 7001, 6700 CA WAGENINGEN  
E-mail: [info@telenmettoekomst.nl](mailto:info@telenmettoekomst.nl)  
Internet: [www.telenmettoekomst.nl](http://www.telenmettoekomst.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
1.1 Telen met toekomst-project	5
1.2 Nitraatuitspoeling	5
1.3 Proefbedrijf Vredepeel	6
2. Berekening van nitraatuitspoeling	9
2.1 Nitraatuitspoeling op basis van veldmetingen	9
2.1.1 Nitraatuitspoeling = nitraatconcentratie * neerslagoverschot	9
2.1.2 Nitraatuitspoeling = nitraatconcentratie * percolatie	10
2.2 Nitraatuitspoeling op basis van modelberekeningen	11
2.3 Resultaten van de berekening van de nitraatuitspoeling	12
2.4 Discussie over de berekening van de nitraatuitspoeling	18
2.5 Keuze voor een methode om nitraatuitspoeling te berekenen	26
3. Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002 – 2003	27
4. Discussie	31
5. Conclusies	33
6. Literatuur	35



# Voorwoord

In het kader van het project Telen met toekomst (Tmt) zijn op het proefbedrijf Vredepeel verschillende metingen verricht. Dit rapport beschrijft de interpretatie van (veld)metingen en modelberekeningen om tot een schatting te komen van de nitraatuitspoeling op de verschillende percelen van het proefbedrijf Vredepeel. De auteurs van dit rapport hebben niet zelf de experimenten uitgevoerd, maar hebben gebruik gemaakt van de gegevens uit de Tmt-database die wordt beheerd door Annemieke Smit. Zij is ons ook zeer behulpzaam geweest bij het maken van de keuzen voor de proefpercelen voor de voorbeeldberekeningen en bij het vinden van de gegevens in de database. Jan Willem van Groenigen heeft de contourplots in Figuren 11a t/m 11d gemaakt.





## Samenvatting

De nitraatuitspoeling op 1 m –maaiveld is geschat voor de percelen van het project Telen met toekomst (Tmt) op het proefbedrijf Vredepeel voor de periode 1 maart 2002 tot 1 maart 2003. Er is eerst een vergelijking gemaakt tussen 3 varianten om de nitraatuitspoeling te berekenen op basis van veldmetingen van nitraatconcentraties in het grondwater, gecombineerd met schattingen van het watertransport. Verschillende schattingen op basis van veldmetingen van nitraatconcentraties en neerslagoverschot in 2002-2003 leveren een cumulatieve nitraatuitspoeling van 25-41 kg N/ha voor erwt (18.2.a.2) en 61-69 kg N/ha voor aardappel (26.2.a.2), waarbij 41 kg N/ha de grens is die overeenkomt met de EU-nitraatrichtlijn. De veldgegevens bleken moeilijk te interpreteren, vooral door de onzekerheden in de hydrologische processen. Infiltrerend water uit het Peelkanaal bleek een grote invloed te hebben op de meetresultaten. Door afvoer van water en nitraat via de drains naar het oppervlaktewater bereikt een deel van de stikstof niet het grondwater. Dit maakt het schatten van de stikstofuitspoeling op 1 m –maaiveld complex. Met behulp van een gecombineerd model voor waterstroming, stoffentransport en organische stofdynamiek is de nitraatuitspoeling berekend. De berekende nitraatconcentraties in het grondwater liggen een factor 2-3 hoger dan de gemeten waarden. Uit modelberekeningen blijkt dat een aanzienlijk gedeelte van de minerale stikstof kan uitspoelen. Hierbij kunnen we geen onderscheid maken tussen uitspoeling naar het diepere grondwater en naar het oppervlaktewater via de drains. De modelresultaten kunnen, ondanks beperkingen en onzekerheden, gebruikt worden om de relatieve verschillen in stikstofuitspoeling te helpen verklaren.



# 1. Inleiding

## 1.1 Telen met toekomst-project

In het project 'Telen met toekomst' (Tmt) zijn op het proefbedrijf Vredepeel voor akkerbouw- en tuinbouwgewassen experimenten uitgevoerd met verschillende vormen van bedrijfsvoering (Booij *et al.*, 2001). Het doel was om te onderzoeken of het mogelijk is aan toekomstige scherpe milieuvorwaarden te voldoen door combinaties van maatregelen, zoals gewaskeuze, bemesting, beheer van gewasresten en het gebruik van vanggewassen. Hierbij speelt het bereiken van voldoende lage nitraatconcentraties in het grond- en oppervlaktewater een centrale rol. In de EU-Nitraatrichtlijn (EU, 1980) staat voor het grondwater een norm van 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l. Voor het oppervlaktewater gelden nog geen strikte normen, maar in het NMP4 (2001) worden wel streefwaarden van maximaal 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l aangegeven. Met de introductie van de Europese Kaderrichtlijn Water (EU, 2000) zullen zeer waarschijnlijk in de toekomst voor de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit strengere normen gaan gelden. De vraag is nu of de experimenten op Vredepeel ver genoeg gaan om aan de toekomstige milieunormen te voldoen. Het streven van het Tmt-project is om zelfs aan de scherpe norm van 25 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l (streefwaarde) in het bovenste grondwater te voldoen. Dit rapport analyseert een deelaspect van deze vraag, namelijk de berekening van de nitraatuitspoeling in de experimentele periode 2002-2003.

De nitraatuitspoeling is moeilijk direct in het veld te meten en daarom zijn we mede aangewezen op berekeningen en modelsimulaties. In dit rapport worden de mogelijke benaderingen uiteengezet en komen we uiteindelijk tot een keuze voor de beste berekening van de nitraatuitspoeling voor alle Tmt-percelen op Vredepeel.

Het rapport is als volgt opgebouwd. We beginnen in het vervolg van dit hoofdstuk 1 met de definitie van nitraatuitspoeling, een algemene beschrijving van nitraatuitspoeling in relatie tot de stikstofhuishouding en waterhuishouding, en een beschrijving van proefbedrijf Vredepeel. In hoofdstuk 2 behandelen we vier methoden om de nitraatuitspoeling te berekenen en passen deze methoden toe op twee verschillende percelen. Op basis van de analyse van de resultaten kiezen we de beste methode om voor alle percelen van Vredepeel de nitraatuitspoeling te berekenen. De resultaten van deze berekeningen presenteren we in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 bediscussieren we de resultaten en trekken conclusies in hoofdstuk 5.

## 1.2 Nitraatuitspoeling

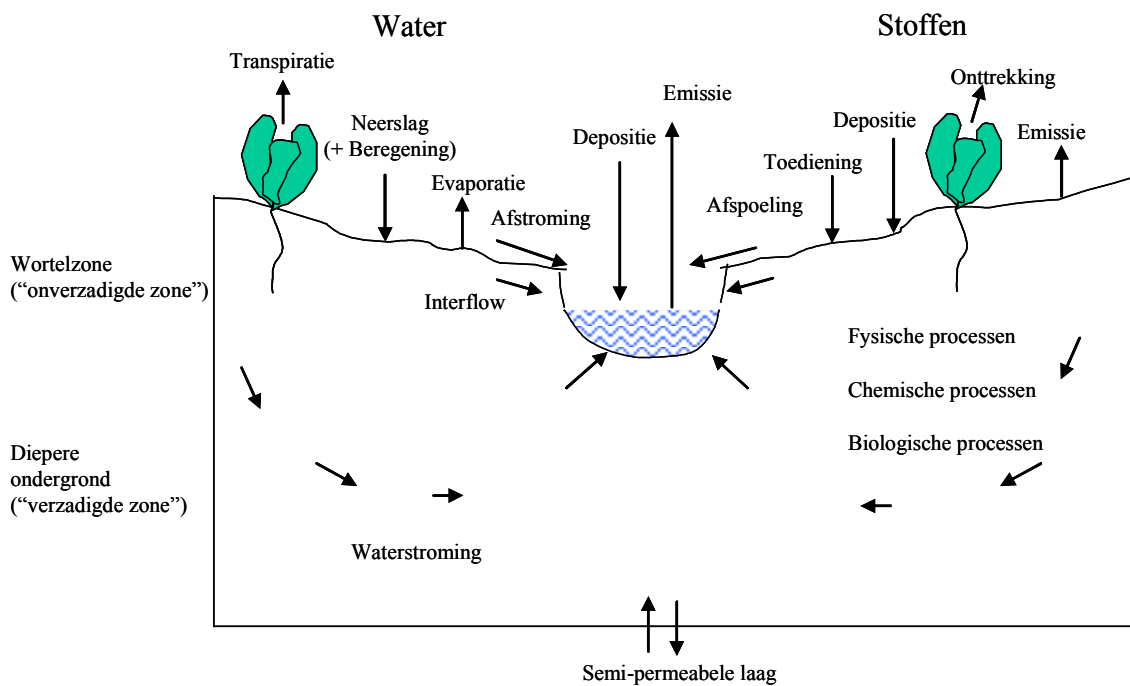
### *Definitie*

Nitraatuitspoeling definiëren wij als de nitraatflux die de denkbeeldige grens van 1 m onder het maaiveld (1m-mv.) passeert. Nederland heeft gekozen voor het bovenste grondwater (vaak overeenkomend met de bovenste meter van het grondwater) en het diepere grondwater bij de monitoring van de EU-Nitraatrichtlijn (RIVM, 2002). Wij kiezen in dit rapport voor een duidelijke, vaste grens die onder de bewortelbare zone ligt en zo dus een maat is voor de hoeveelheid nitraat die landbouwkundig gezien verloren is gegaan.

### *Stikstof- en waterhuishouding*

Nitraatuitspoeling is een gevolg van het transport van nitraat met het water in de bodem. Nitraat kan afkomstig zijn uit verschillende bronnen, zoals bijvoorbeeld kunstmest, dierlijke mest, mineralisatie van organische stof en depositie uit de atmosfeer. De complexe stikstofhuishouding in de bodem heeft een grote invloed op de beschikbaarheid van nitraat. Het beschikbare nitraat kan opgenomen worden door het gewas, maar het gedeelte dat niet wordt benut door het gewas heeft de kans om uit te spoelen. Het transport van nitraat wordt in sterke mate bepaald door de waterhuishouding en dus door de bodemgesteldheid, regionale hydrologie en weersomstandigheden. Bij een neerslagoverschot is er een

neerwaartse waterbeweging, met een verhoogde kans op nitraatuitspoeling. De ontwatering van een perceel en de stroming van het grondwater in de ondergrond bepalen waar het in water opgeloste nitraat uiteindelijk terechtkomt en wat er onderweg nog met het nitraat kan gebeuren (bijv. denitrificatie). In Figuur 1 is schematisch aangegeven hoe het transport van water en stoffen, bijv. nitraat, in een perceel kan plaatsvinden (uit: de Vos *et al.*, 2003).



*Figuur 1. Schematische weergave van stromen van water en stoffen die de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater beïnvloeden; fysische, chemische en biologische processen bepalen de uiteindelijke concentraties van de stoffen die het grond- en oppervlaktewater bereiken (uit: de Vos *et al.*, 2003).*

### 1.3 Proefbedrijf Vredepeel

#### *Ligging*

Het proefbedrijf Vredepeel (PPO-AGV) ligt in Limburg aan het Peelkanaal. De percelen van het Tmt-project grenzen aan het gedeelte van het proefbedrijf waar het oppervlaktewater in het Peelkanaal hoog staat door de aanwezigheid van een stuw (Fig. 2). De kans is aanwezig dat oppervlaktewater uit het Peelkanaal via de ondergrond infiltreert onder de proefvelden. De percelen 16 t/m 19 (percelen aan de linkerzijde van Fig. 2) zijn allen gedraineerd, waarbij de afstand tussen de drain oploopt van 13 m nabij het Peelkanaal (perceel 19.2a2), tot 18 m bij het kavelpad (perceel 16.1s). De percelen 28.2a2 t/m 29.2a2 zijn gedraineerd, waarbij de afstand tussen de drain oploopt van 12,5 m nabij het Peelkanaal (perceel 29.2a2), tot 15 m bij perceel 28.2a2. De percelen 26.1s t/m 28.2a1 hebben geen drains.

#### *Bodemeigenschappen*

De zandgrond is een veldpodzol-grond en heeft een relatief laag organisch stofgehalte van 3,0 – 3,5% in de bouwvoor. De waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristieken zijn voor twee percelen van Vredepeel bepaald (de Vos *et al.*, 2002). Voor de simulatieberekeningen is gebruikt gemaakt van de gemiddelde eigenschappen van perceel 28 (Assinck & De Willigen, 2004).

Het is bekend dat de zandgrond van Vredepeel bij lage watergehalten waterafstotend kan worden (Dekker *et al.*, 1999), wat kan betekenen dat de verticale waterstroming in de onverzadigde zone van de bodem niet uniform is verdeeld gedurende een bepaalde periode na droogte. Er kan versneld transport

via de preferente stroombanen optreden. Echter, Dekker *et al.* (1999) melden dat er op Vredepeel weinig preferent transport is geconstateerd. In onze analyse gaan wij er vanuit dat er geen preferent transport optreedt.

#### Gewassen 2002

In Figuur 2 is een overzicht gegeven van de percelen en de gewassen die in 2002 werden geteeld. Voor een beschrijving van het Tmt-project verwijzen we naar het Jaaroverzicht 2002 (2003). In onze analyse beschouwen we de periode van 1 maart 2002 tot 1 maart 2003. De start van de periode in maart is gekozen om vroeg genoeg te zijn om alle gewassen te kunnen analyseren. De percelen Vredepeel 18.2a2 ((conserven)erwt) en 26.2a2 (aardappel (aa)) zijn als testpercelen gekozen voor de vergelijking van de berekeningsvarianten voor de nitraatuitspoeling. Tussen deze percelen verwachten we aanzienlijke verschillen in nitraatuitspoeling als gevolg van verschillen in teelt en bemestingniveaus.

Peelkanaal			Stuw	
	<b>Aardappel</b> <i>Bladrammenas</i>	19.2a2	<b>Suikerbiet</b> <i>Zomergerst</i>	29.2a2
	<b>Aardappel</b>	19.2a1	<b>Suikerbiet</b>	29.1a1
	<b>Aardappel</b>	19.1s	<b>Suikerbiet</b>	29.1s
	<b>Conservenerwt</b> <i>Bladrammenas</i>	18.2a2	<b>Suikerbiet</b>	28.2a2
	<b>Conservenerwt</b> <b>Stamslaboon</b>	18.2a1	<b>Suikerbiet</b>	28.2a1
	<b>Conservenerwt</b> <b>Stamslaboon</b>	18.1s	<b>Suikerbiet</b>	28.1s
	<b>Zomergerst</b>	17.2a2	<b>Snijmaïs</b> <i>Zomergerst</i>	27.2a2
	<b>Zomergerst</b>	17.2a1	<b>Snijmaïs</b>	27.2a1
	<b>Triticale</b>	17.1s	<b>Snijmaïs</b>	27.1s
	<b>Waspeen</b>	16.2a2	<b>Aardappel</b> <i>(Stro ingewerkt)</i>	26.2a2
	<b>Waspeen</b>	16.2a1	<b>Aardappel</b>	26.2a1
	<b>Waspeen</b>	16.1s	<b>Aardappel</b>	26.1s
			kavelpad	

Figuur 2. Overzicht van de proefvelden op Vredepeel, de hoofdgewassen (vet gedrukt) in 2002 (inclusief de groenbemesters; cursief gedrukt) en de ligging ten opzichte van het Peelkanaal (niet op schaal). De gedraineerde percelen hebben een blauwe achtergrond.



## 2. Berekening van nitraatuitspoeling

In de percelen van Vredepeel zijn grondwaterstandsbuizen geplaatst om nitraatconcentraties te kunnen meten. Het bemonsterde water uit de grondwaterbuizen is afkomstig uit de diepte-intervallen 50-100 cm-mv., 100-150 cm-mv. of 150-200 cm-mv. De meetmethoden staan uitgebreider beschreven in Smit *et al.*(2003). Uit meteorologische metingen en metingen van de bodemfysische toestanden kunnen waterfluxen worden afgeleid. Door waterfluxen en nitraatconcentraties te combineren kunnen nitraatfluxen worden berekend. Dit kan op verschillende manieren plaatsvinden, zoals in paragraaf 2.1 wordt beschreven. Met behulp van de gekoppelde simulatiemodellen FUSSIM2 (Heinen & De Willigen, 1998; 2001) voor waterstroming en stoffentransport, en MOTOR (Assinck & Rappoldt, 2004) voor organische stofdynamiek kunnen alle relevante processen in relatie tot stikstofdynamiek worden gesimuleerd en dus de stikstofuitspoeling worden berekend. Het is ook mogelijk de jaarlijkse stikstofbalans (N-balans) van een perceel te berekenen, waarbij alle aanvoer- en afvoerposten worden vastgesteld. We zullen de N-balans van de modelsimulaties benutten om de nitraatuitspoeling te kunnen vergelijken met andere stikstofstromen. De ondergenoemde methoden (par. 2.1) worden toegepast voor de percelen 18.2a2 en 26.2a2. Op basis van de vergelijking van deze methoden zal een keus worden gemaakt voor een methode om de nitraatuitspoeling voor alle Tmt-percelen van Vredepeel te berekenen.

### 2.1 Nitraatuitspoeling op basis van veldmetingen

De nitraatuitspoeling kan worden berekend uit het product van nitraatconcentratie en waterflux. We nemen dan aan dat de gemeten nitraatconcentratie werkelijk representatief is voor de waterhoeveelheid die wordt getransporteerd. Wij veronderstellen dus dat we te maken hebben met een uniforme waterstroming en dat de gemiddelde gemeten nitraatconcentraties van een perceel representatief zijn voor de nitraatuitspoeling. De waterflux en de nitraatuitspoeling op 1 m-mv. kan dan op verschillende manieren worden berekend.

#### 2.1.1 Nitraatuitspoeling = nitraatconcentratie \* neerslagoverschot

##### *Variant 1*

In deze variant 1 wordt de dagelijkse waterflux op 1 m-mv. ( $q$ ) gelijkgesteld aan het neerslagoverschot. Dit houdt in dat er geen rekening wordt gehouden met het waterbergend vermogen van de bodem. Het neerslagoverschot ( $P_{\text{aces}}$ ) wordt berekend op basis van de lokaal gemeten neerslag op Vredepeel ( $P$ ), inclusief de beregening ( $I$ ) en de actuele evapotranspiratie ( $ET_{\text{act}}$ ) van bodem en gewas (alles in: mm/d)

$$q = P_{\text{aces}} = P + I - ET_{\text{act}} \quad (1)$$

De actuele evapotranspiratie wordt berekend met behulp van de referentieverdamping ( $ET_{\text{ref}}$ ) van het nabij gelegen KNMI-weerstation Eindhoven. Met behulp van gewasfactor ( $f$ ) wordt de referentieverdamping vertaald naar de actuele evapotranspiratie voor een specifiek gewas (mm/d):

$$ET_{\text{act}} = f \cdot ET_{\text{ref}} \quad (2)$$

De berekening van de waterflux vindt op dagbasis plaats. De nitraatconcentraties zijn echter maar op enkele tijdstippen gedurende het jaar gemeten en niet altijd op 1 m-mv. Uit de meetgegevens moeten we dus een schatting maken van de gemiddelde nitraatconcentratie op 1 m-mv. en de corresponderende totale waterflux  $Q$  voor de periode waarvoor de nitraatconcentratie representatief is. In variant 1 is gekozen voor de volgende benadering, waarin capillaire opstijging niet wordt meegenomen:

- a) De gemeten nitraatconcentratie wordt representatief geacht voor gehele periode voorafgaand aan de meting.
- b) De nitraatconcentratie op 1 m-mv. wordt berekend uit het gemiddelde van metingen op 50-100 cm-mv. als deze aanwezig zijn.
- c) Als deze metingen (ad b.) ontbreken, maar wel op andere diepten gemeten is, dan wordt de nitraatconcentratie berekend op basis van de metingen in het grondwater van 100-150 cm; ontbreekt deze ook dan nemen we de meting in het grondwater van 150-200 cm diepte (zie Tabel 1 en 2; en Figuren 4 en 5).
- d) Het cumulatieve neerslagoverschot wordt berekend voor perioden van ad a.
- e) De nitraatuitspoeling  $N_{leached}$  (kg N/ha) wordt per periode berekend:

$$N_{leached} = \langle c_{NO_3} \rangle \cdot Q \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \quad (3)$$

waarin:

- $\langle c_{NO_3} \rangle$  = gemiddelde nitraatconcentratie op 1 m-mv. (mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l)  
 $Q$  = totale waterstroming in periode (mm)  
 $c_1$  = conversiefactor van NO<sub>3</sub><sup>-</sup> naar N = 14/62  
 $c_2$  = conversiefactor van mm water naar l/ha = 10<sup>4</sup>  
 $c_3$  = conversiefactor van mg naar kg = 10<sup>-6</sup>

- f) De cumulatieve nitraatuitspoeling op jaarbasis (kg N/ha) is de som van de uitspoeling in alle perioden.

#### Variant 2

In variant 2 wordt dezelfde procedure gevolgd als in variant 1, alleen wordt de nitraatconcentratie op 1 m-mv. berekend als het gemiddelde van alle metingen in het grondwater, wat dus wil zeggen dat het grondwater tussen 150 en 200 cm-mv. zwaarder wordt meegewogen ten opzichte van variant 1 (zie Tabellen 1 en 2, en Figuren 4 en 5).

### 2.1.2 Nitraatuitspoeling = nitraatconcentratie \* percolatie

#### Variant 3

In deze benadering berekenen we de percolatie van water op 1 m-mv. met behulp van een evenwichtsbenadering van de waterbalans ('tipping bucket'-principe). We nemen aan dat op 1 maart 2002 het bodemwater in hydrostatisch evenwicht is met de heersende grondwaterstand. Water kan alleen op 1 m-mv. het bodemprofiel verlaten als de totale hoeveelheid aanwezig water en de netto-infiltratie de hoeveelheid water bij hydrostatisch evenwicht overschrijdt. Er vindt dan percolatie plaats. Capillaire opstijging wordt niet meegenomen. Deze benadering houdt dus op vereenvoudigde wijze rekening met het waterbergend vermogen van de bodem. In variant 3 wordt de nitraatuitspoeling als volgt berekend:

- a) Met behulp van het 'tipping bucket'-principe wordt op dagbasis berekend of er op een diepte van 1 m-mv. percolatie optreedt. Er wordt gebruik gemaakt van dezelfde randvoorwaarden ( $P, I, ET_{act}$ ) als in de varianten 1 en 2 (Figuren 8 en 9).
- b) De nitraatconcentraties van variant 1 worden gebruikt, maar door lineaire interpolatie tussen de meettijdstippen wordt op dagbasis een nitraatconcentratie verkregen (Figuren 4 en 5)
- c) Op dagbasis wordt nu de stikstofflux  $N_{flux}$  (kg N /ha/d) op 1 m-mv. berekend:

$$N_{flux} = c_{NO_3} \cdot q \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \quad (4)$$

waarin:

- $c_{NO_3}$  = nitraatconcentratie op 1 m-mv. (mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l)  
 $q$  = percolatie (mm/d)  
 $c_1$  = conversiefactor van NO<sub>3</sub><sup>-</sup> naar N = 14/62

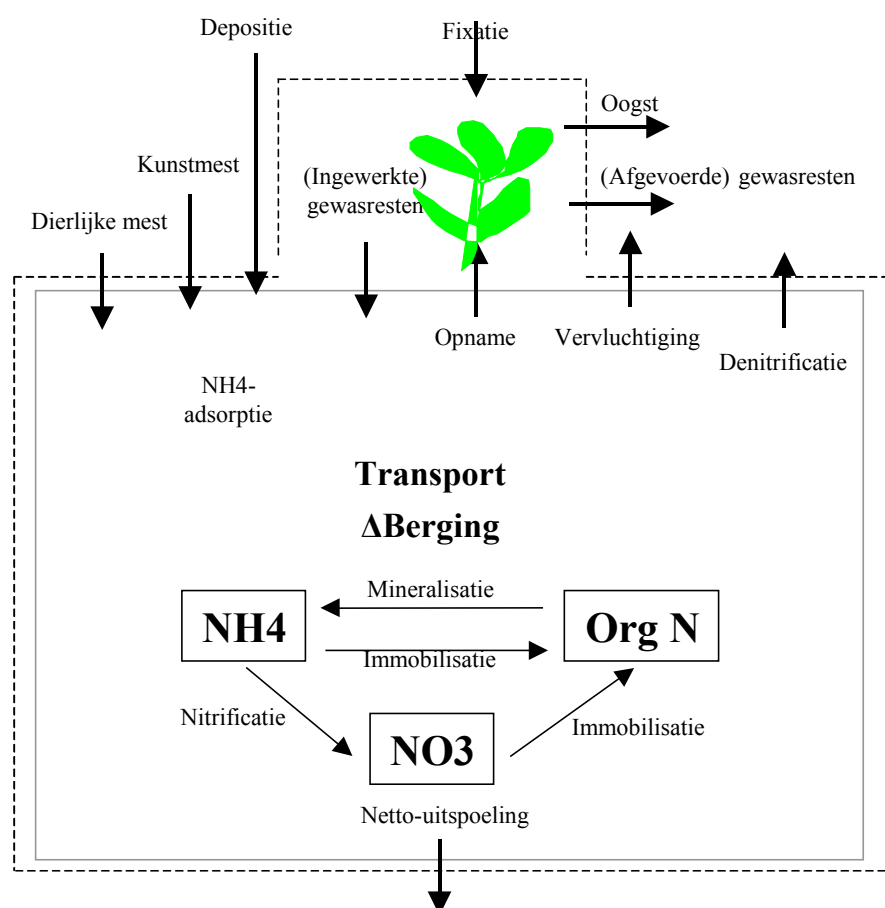


- $c_2$  = conversiefactor van mm water naar l/ha =  $10^4$   
 $c_3$  = conversiefactor van mg naar kg =  $10^{-6}$

- d) Door integratie (=sommatie op dagbasis) wordt de cumulatieve N-uitspoeling (kg N/ha) berekend.

## 2.2 Nitraatuitspoeling op basis van modelberekeningen

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met een gekoppelde versie van de modellen FUSSIM2 en MOTOR. FUSSIM2 (Heinen & De Willigen, 1998; 2001) beschrijft de waterbeweging en stoffentransport, in dit geval voor een eendimensionale bodemkolom tot een diepte van 200 cm. MOTOR (Assinck & Rappoldt, 2004) beschrijft de organische stofdynamiek en de stikstoftransformaties. Het nutriëntenopnamepatroon van het gewas is vastgelegd op basis van de eind oogst en een groeicurve, waarbij de totale stikstofopname als gegeven wordt gebruikt (Assinck & De Willigen, 2004). Voor een uitgebreide beschrijving van de toepassing van deze gekoppelde modellen voor de situatie op Vredepeel wordt verwezen naar Assinck & De Willigen (2004). De essentie is dat de modellen worden gebruikt om de water- en stikstofhuishouding in de bodem te beschrijven en zo de veldexperimenten te helpen interpreteren. In Figuur 3 staan de bij de modelberekening beschouwde processen.



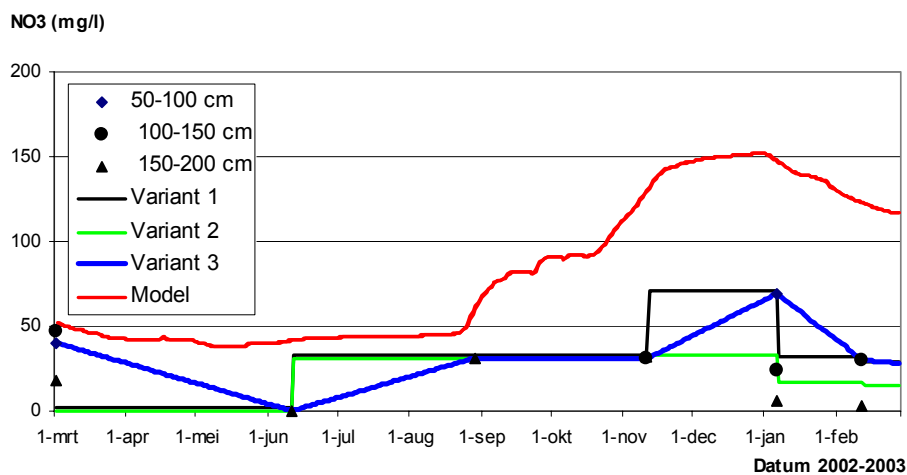
Figuur 3. Stikstofkringloop inclusief de in het modelonderzoek beschouwde processen. Stikstofstromen die de getrokken lijnen kruisen, horen bij de bodembalans. Stikstofstromen die de gestreepte lijnen kruisen, horen bij de perceelsbalans (uit Assinck & De Willigen, 2004).

## 2.3 Resultaten van de berekening van de nitraatuitspoeling

In deze paragraaf presenteren we de nitraatuitspoeling berekend volgens de verschillende berekeningswijzen voor de percelen 18.2a2 (erwt) en 26.2a2 (aardappel). Tabellen 1 en 2 geven aan hoe voor de varianten 1, 2 en 3 tot een schatting van waarde van de nitraatconcentratie op 1 m-mv. wordt gekomen. Figuren 4 en 5 geven dezelfde meetwaarden als de Tabellen 1 en 2, maar laten bovendien het geschatte tijdsverloop van de nitraatconcentratie op 1 m-mv. voor de drie varianten en de modelberekening zien.

Tabel 1. *Schatting van de nitraatconcentratie op 1 m-mv. ( $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ ) voor Vredepeel-perceel 18.2a2 (erwt) op basis van metingen in het grondwater (50-100, 100-150 en 150-200 cm-mv.). De metingen op een bepaalde diepte zijn gemiddelden van alle buizen op deze diepte in het perceel.*

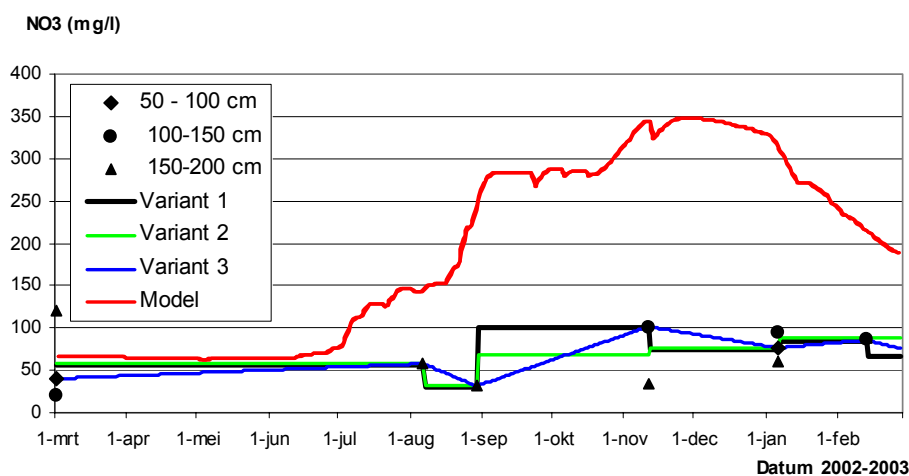
Datum	Diepte meting			Schatting nitraatconcentratie op 1 m-mv. ( $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ )	
	50 - 100 cm	100 - 150 cm	150 - 200 cm	Variant 1	Variant 2
27-2-2002	40	47	18	40	35
11-6-2002	-	-	0,16	0,16	0,16
29-8-2002	-	-	31	31	31
11-11-2002	-	31	32	31	32
6-1-2003	69	24	6	69	33
12-2-2003	-	30	3	30	17
11-3-2003	-	27	4	27	16



Figuur 4. *Gemeten nitraatconcentraties in grondwaterstandbuisen (50-100, 100-150, en 150-200 cm-mv.) en de nitraatconcentraties zoals gebruikt in de berekeningen van de nitraatuitspoeling voor varianten 1, 2 en 3; en de modelresultaten (100 cm-mv.) voor Vredepeel-perceel 18.2a2 (erwt).*

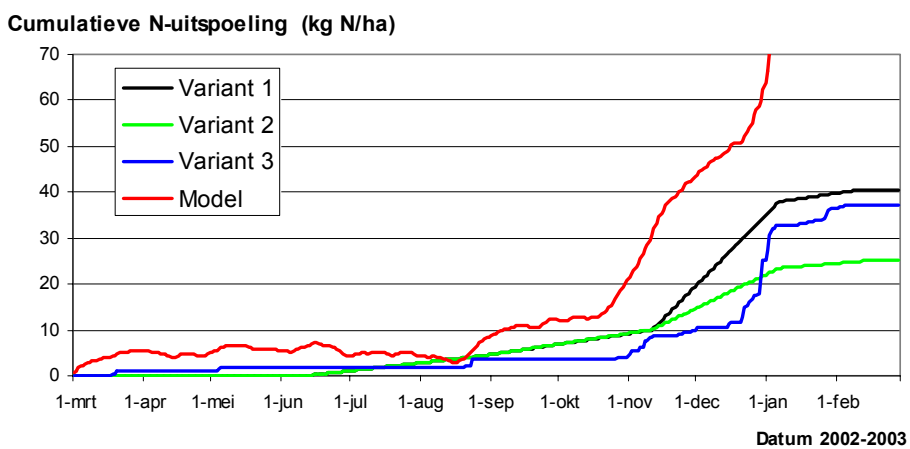
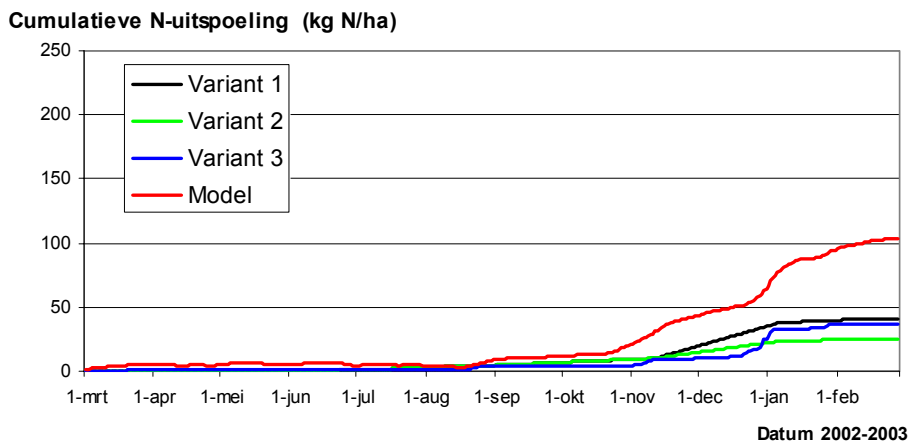
Tabel 2. *Schatting van de nitraatconcentratie op 1 m-mv. ( $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ ) voor Vredepeel-perceel 26.2a2 (aa) op basis van metingen in het grondwater (50-100, 100-150 en 150-200 cm-mv.). De metingen op een bepaalde diepte zijn gemiddelden van alle buizen op deze diepte in het perceel.*

Datum	Diepte meting			Schatting nitraatconcentratie op 1 m-mv. ( $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ )	
	50 - 100 cm	100 - 150 cm	150 - 200 cm	Variant 1	Variant 2
27-2-2002	40	21	122	40	61
6-8-2002	-	-	58	58	58
29-8-2002	-	-	31	31	31
10-11-2002	-	101	34	101	68
6-1-2003	77	94	59	77	77
13-2-2003	-	85	89	85	87
11-3-2003	-	68	107	68	88

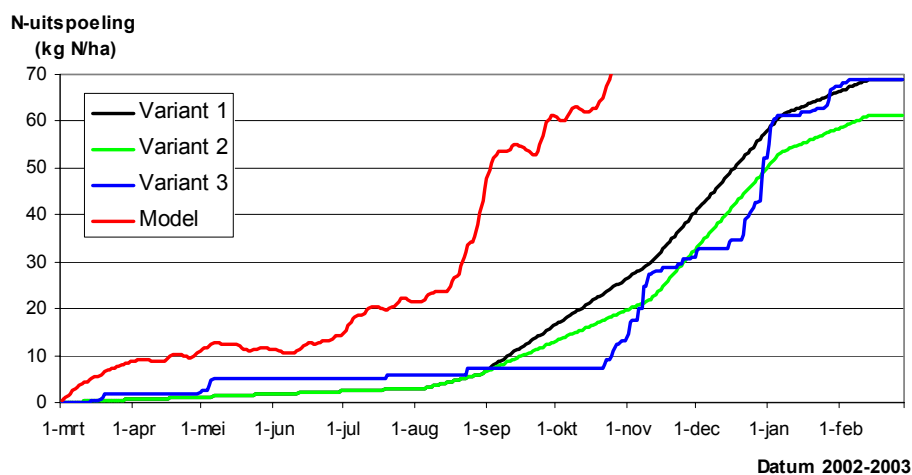
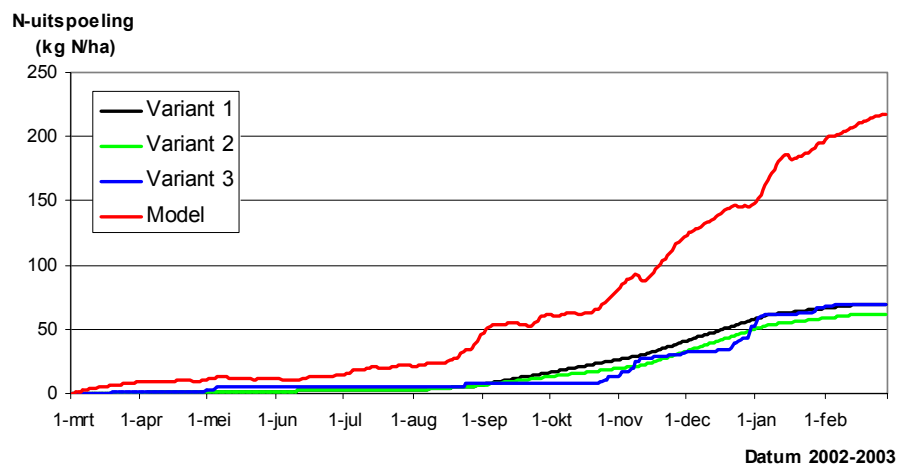


Figuur 5. *Gemeten nitraatconcentraties in grondwaterstandbuisen (50-100, 100-150, en 150-200 cm-mv.) en de nitraatconcentraties zoals gebruikt in de berekeningen van de nitraatuitspoeling voor varianten 1, 2 en 3; en de modelresultaten (100 cm-mv.) voor Vredepeel-perceel 26.2a2 (aa).*

In Figuur 6 en 7 zijn de cumulatieve N-uitspoeling voor de percelen en verschillende berekeningswijzen gegeven.

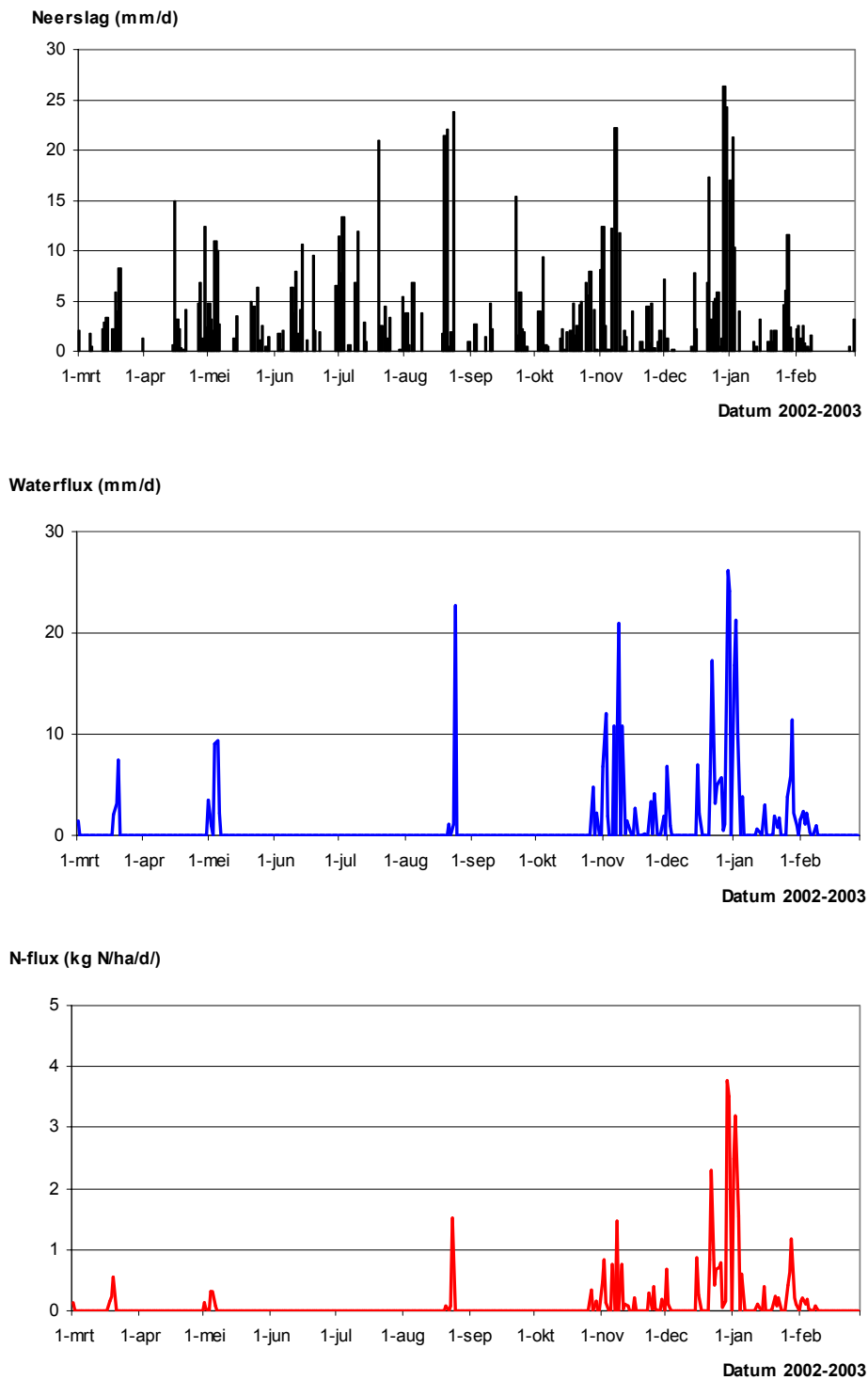


*Figuur 6. Cumulative nitrogen leaching calculated for variants 1, 2 and 3 and with the simulation model for Vredepeel-plot 18.2a2 (erwt) (bottom figure is a detail of the top figure).*

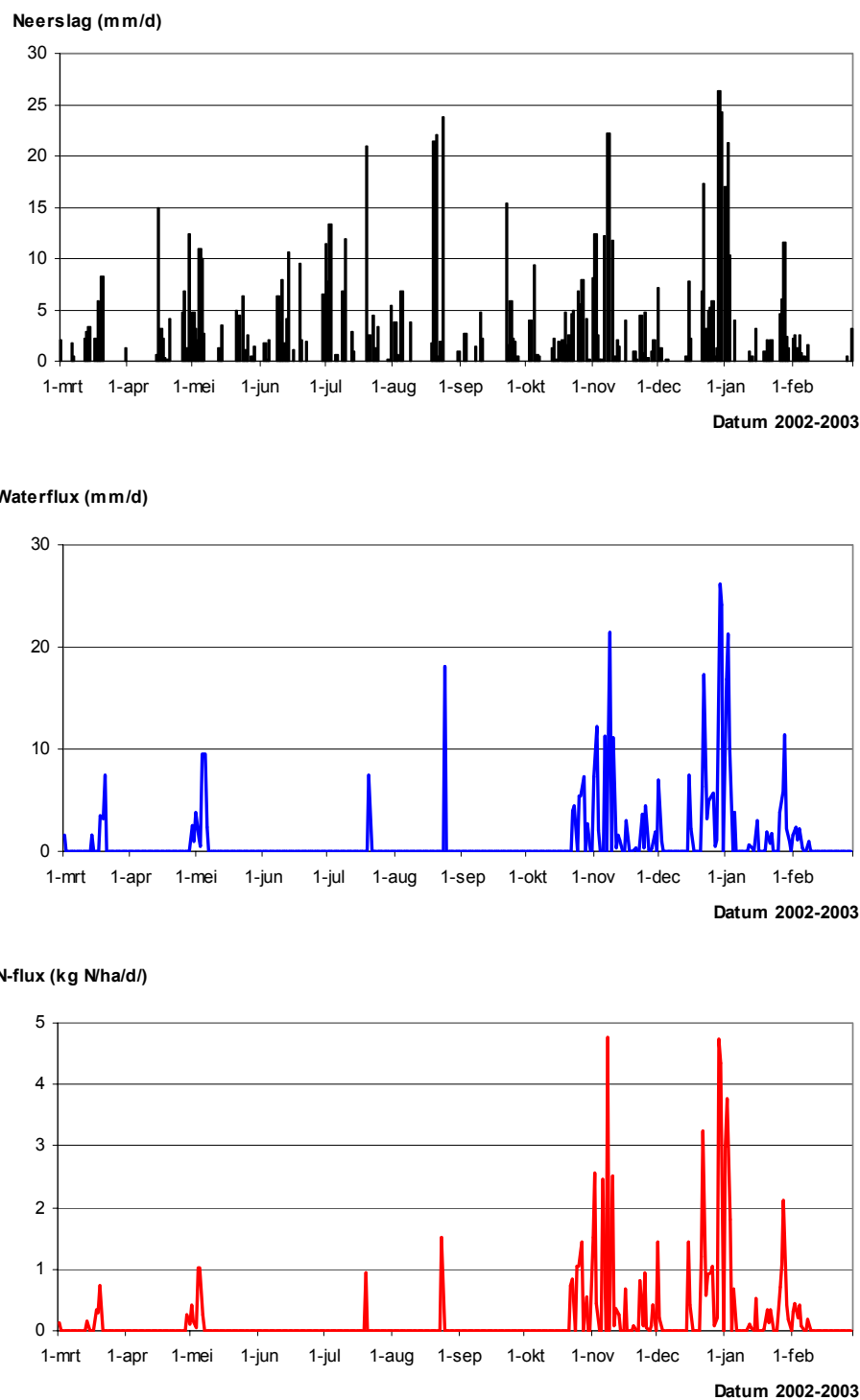


*Figuur 7. Cumulatieve stikstofuitspoeling berekend m.b.v. varianten 1, 2 en 3 en met het simulatiemodel voor Vredepeel-perceel 26.2a2 (aa) (onderste figuur is een detail van de bovenste figuur).*

In Figuren 8 en 9 zijn de neerslag, waterfluxen en N-fluxen op dagbasis gegeven, welke zijn gebruikt in de berekeningen van variant 3.



*Figuur 8. Neerslag en m.b.v. van variant 3 berekende waterflux en stikstoflux voor Vredepeel-perceel 18.2a2 (erwt).*



Figuur 9. Neerslag en m.b.v. van variant 3 berekende waterflux en stikstofflux voor Vredepeel-perveel 26.2a2 (aa).

Tabel 3 geeft een overzicht van de cumulatieve N-uitspoeling berekend met de verschillende methoden.

Tabel 3. *Cumulatieve stikstofuitspoeling (kg N/ha) voor de periode 1 maart 2002 tot 1 maart 2003 voor de verschillende berekeningwijzen voor de percelen 18.2a2 (erwt) en 26.2a2 (aardappel).*

	18.2a2 (erwt)	26.2a2 (aardappel)
Berekeningswijze	kg N/ha	kg N/ha
Variant 1	41	69
Variant 2	25	61
Variant 3	37	69
Modelberekening	103	218

## 2.4 Discussie over de berekening van de nitraatuitspoeling

### *Berekening van de nitraatuitspoeling uit veldmetingen*

De verschillen in geschatte nitraatconcentraties (Figuren 4 en 5) tussen de varianten 1 en 3, leiden tot geringe verschillen van 0 tot 4 kg N/ha in cumulatieve uitspoeling (Figuren 6 en 7). In variant 2 wordt het grondwater op 150-200 cm-mv. zwaarder meegewogen en ten gevolge van lagere  $\text{NO}_3^-$ -concentraties in dit grondwater komt de cumulatieve stikstofuitspoeling 8-16 kg N/ha lager uit dan bij varianten 1 en 3. We gaan er van uit dat variant 2, met de (te) lage nitraatconcentraties een onderschatting geeft van de N-uitspoeling. De geringe verschillen tussen varianten 1 en 3 geven aan dat bij een lage bemonsteringsfrequentie het er weinig toe doet hoe we het neerslagoverschot berekenen.

Variant 3, waarin we op dagbasis een schatting maken van de percolatie en de nitraatconcentratie op 1 m-mv., is de meest realistische methode als we ook de dynamiek in de nitraatuitspoeling willen weten. De pieken in stikstofuitspoeling corresponderen dan goed met de pieken in neerslagoverschot.

De nitraatconcentratie op een diepte van 1 m-mv. is niet continu gemeten, mede omdat het grondwater zich soms onder deze diepte bevond. Op basis van een statistische analyse van metingen op perceel 28.1s, waar 8 grondwaterstandsbuizen waren geïnstalleerd, schatten we de standaarddeviatie in nitraatconcentraties in het grondwater op 37% van de gemiddelde waarde. Dit resulteert in een onzekerheid (95% betrouwbaarheidsinterval) van 43% (n=3) of 50% (n=2) voor de berekende gemiddelden op één diepte; en 17% (n=5) voor het gemiddelde van alle grondwaterstandbuizen. Aangezien er per veld soms maar enkele meetpunten (n = 5) beschikbaar zijn, levert dit ook een onzekerheid in het gemiddelde van circa 17%. Omdat er echter vraagtekens zijn bij de mogelijkheden om deze veldgegevens te gebruiken voor een goede schatting van de stikstofuitspoeling op 1 m-mv., gaan we nu niet verder in op de consequenties van deze onzekerheden.

Bij de interpretaties van de nitraatuitspoeling uit de veldgegevens beschouwen we een perceel als een eendimensionale kolom waar op 1 m-mv. een nitraatflux passeert (= nitraatuitspoeling), die we kunnen schatten op basis van het product van een gemiddelde nitraatconcentratie en een gemiddelde waterflux. In werkelijkheid hebben we voor vele percelen te maken met drains (Fig. 2). Voor deze percelen wordt veel water en nitraat dat de grens van 1 m-mv. passeert, via de drains afgevoerd. Voor gedraineerde percelen (draindiepte circa 1 m) geldt dat de nitraatconcentratie in het grondwater (100-200 cm-mv.) maar een zwakke relatie zal hebben met de bodembelasting van het bovenliggende perceel. Bij niet gedraineerde percelen is de natuurlijke waterdoorlatendheid zo groot dat de afvoer van grondwater naar sloten of andere afwateringsmiddelen uit landbouwkundig oogpunt voldoende groot is. Zowel voor gedraineerde als niet gedraineerde percelen geldt dat het watertransport in het grondwater en het onderste gedeelte van de onverzadigde zone een horizontale component zal hebben. Voor gedraineerde percelen wordt de totale nitraatuitspoeling onderschat omdat in onze berekeningen vaak nitraatconcentraties van het grondwater tussen 100 en 200 cm-mv. (Tabel 1 en 2; 100-150 cm en 150-200 cm) worden gebruikt. Als 50% van al het water en nitraat via de drain wordt afgevoerd, dan wil dat zeggen dat we in het grondwater maar 50% van het uitgespoelde nitraat vinden. Bij 75% afvoer van het water en nitraat via de drain, zouden we nog maar 25% van het uitgespoelde nitraat in het grondwater vinden. Dit betekent dat het erg belangrijk is de hydrologie en het water- en stoffentransport goed te kennen om



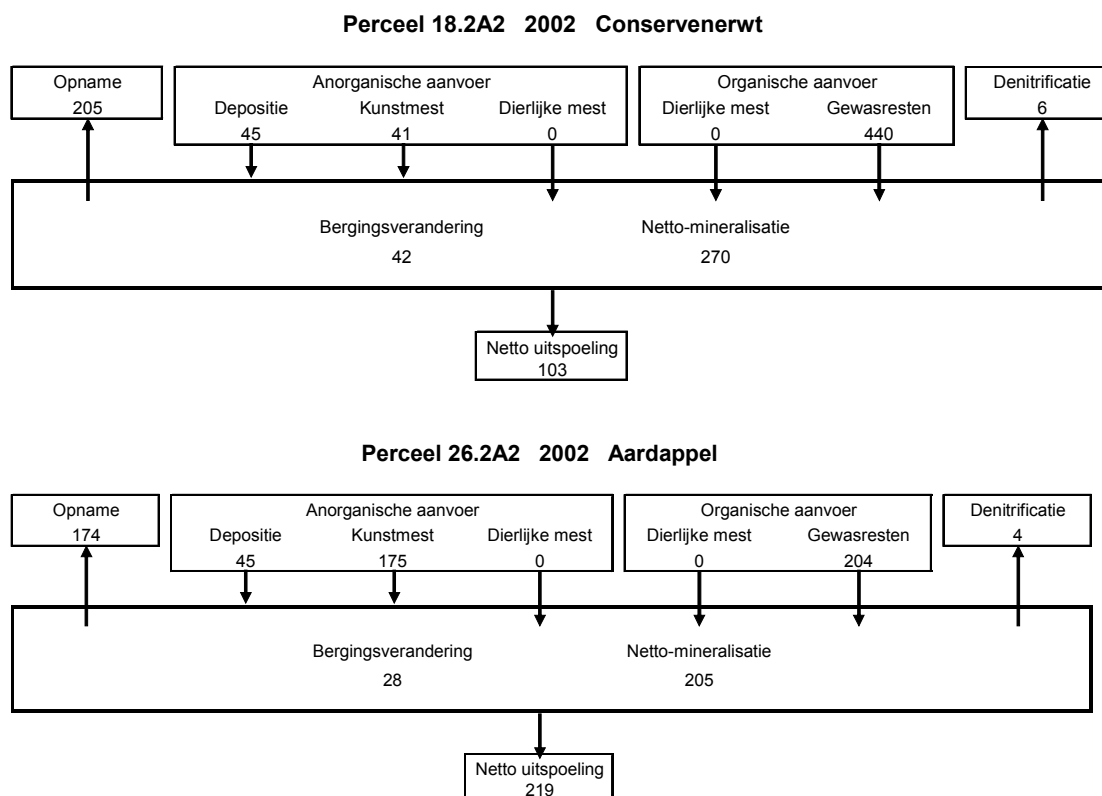
de nitraatuitspoeling goed te kunnen schatten, en een onderscheid te kunnen maken tussen transport naar het grondwater (100-200 cm –mv.) en het oppervlaktewater. In dit geval zal voor gedraineerde percelen het transport via de drains naar het oppervlaktewater aanzienlijk zijn. Voor de totale stikstofuitspoeling kan het gebruik van nitraatconcentraties in het grondwater een onderschatting van de totale stikstofuitspoeling van een factor 2 tot 4 geven, afhankelijk van de verhouding van de hoeveelheid water die naar de drains en de ondergrond wordt afgevoerd. Van onze testpercelen was 18.2a2 wel gedraineerd en perceel 26.2a2 niet gedraineerd (Fig. 2). Voor het niet gedraineerde perceel 26.2a2 is het moeilijker conclusies te trekken omdat we te weinig weten van de hydrologie van de ondergrond.

#### *Modelberekening van de nitraatuitspoeling*

De simulaties geven aanzienlijk hogere waarden voor de nitraatuitspoeling ten opzichte van de schattingen uit de veldmetingen. In de figuren 4 en 5 zien we dan ook dat de gesimuleerde  $\text{NO}_3^-$ -concentratie op 1 m-mv. een factor 3-4 hoger kunnen liggen dan gemeten concentraties in het grondwater. Het tijdsverloop van de N-uitspoeling volgt het neerslagoverschot en we zien dat de piek in de nitraatconcentratie in november-december 2002 de diepte van 1 m-mv. passeert (Figuren 4 en 5). Deze piek is het gevolg van het nog aanwezige nitraat in het bodemprofiel na afloop van het groeiseizoen. Opvallend is dat de cumulatieve uitspoeling in de modelberekeningen kan afnemen in de loop van de tijd. Dit wordt veroorzaakt door het effect van capillaire opstijging, waardoor nitraat uit diepere lagen weer in opwaartse richting de grens van 1 m –mv passeert.

De stikstofbalansen (kg N/ha) van perceel 18.2a2 en 26.2a2 zijn met behulp van de simulaties berekend (Assinck & De Willigen, 2004) en geanalyseerd voor een eendimensionale bodemkolom tot 1 m diep (Fig. 10). Controle van de balansen is mogelijk als de organische aanvoerposten buiten beschouwing worden gelaten. De anorganische aanvoer plus de netto-mineralisatie minus de opname, denitrificatie en netto uitspoeling moet gelijk zijn aan de bergingsverandering. Ook bij de modelberekeningen hebben we met grote onzekerheden te maken, de keuze parameters die de stikstofomzettingen bepalen hebben grote invloed op de stikstofstromen. Voor de netto-mineralisatie is wel getracht een zo goed mogelijke overeenkomst met experimentele gegevens te krijgen (Assinck & De Willigen, 2004). De bergingsverandering blijft ook altijd een onzekere post in modelberekeningen, die moeilijk experimenteel te verifiëren is. Voor de stikstofbalans zijn de organische aanvoerposten pas interessant op het moment dat de organische stikstof in deze posten is gemineraliseerd. Op dat moment komen ze tot uitdrukking in de post netto-mineralisatie. Gezien het informatieve karakter van de posten worden ze toch weer-gegeven in Figuur 10. De stikstofbalans en -stromen laten zien dat de uitspoeling 29% (18.2a2) en 52% (26.2a2) van de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof (= kunstmest + depositie + mineralisatie) is. Deze hoge percentages worden deels veroorzaakt door het laat in het najaar vrijkomen van minerale stikstof uit de ingewerkte gewasresten. De gesimuleerde  $\text{NO}_3^-$ -concentraties voor percelen 18.2a2 en 26.2a2 in het uitspoelingsseizoen (1 september – 1 maart) liggen tot een factor 3-7 boven de EU-norm van 50 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ .

In de modelberekeningen wordt de afvoer van water via de drains niet expliciet meegenomen. Het effect van de drain is alleen aanwezig door de grondwaterstand als opgelegde randvoorwaarde te gebruiken. Dit houdt in dat er ook geen nitraat via de drains wordt afgevoerd. Dit kan een deel zijn van de verklaring van de hoge gesimuleerde nitraatconcentraties voor het gedraineerde perceel 18.2a2 (Fig. 4). Voor het niet-gedraineerde perceel 26.2a2 is het onzeker hoe het transport in de ondergrond plaatsvindt en is het dus moeilijker om uitspraken te doen. Ook voor dit perceel 26.2a2 berekenen we in grondwater (100 cm-mv.) veel hogere nitraatconcentraties dan gemeten in het grondwater op diepten tussen 100 en 200 cm-mv. (Fig. 5). Dit vraagt om een gedetailleerde analyse van de modelberekeningen, waarbij zowel de waterbalans als de stikstofbalans wordt beschouwd.



Figuur 10. Stikstofbalansen voor de Vredepeel-percelen 18.2a2 (conservenerwt) en 26.2a2 (aardappel) van 1 maart 2002 tot 1 maart 2003 berekend met behulp van de simulatiemodellen, waarin:

- Opname = Opname van minerale stikstof uit de bodem door het gewas, dus exclusief de stikstofbinding uit de lucht
- Depositie = Depositie van ammonium met neerslag of droge depositie
- Kunstmest = Kunstmestgift
- Dierlijke mest = Toegevoerde hoeveelheid N met dierlijke mest
- Gewasresten = Deel van de gewassen dat op het land achterblijft, inclusief de wortels en groenbemesters
- Bergingsverandering = Toename van de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel
- Netto-mineralisatie = Hoeveelheid minerale stikstof die netto is gevormd uit (bodem)organische stof
- Netto uitspoeling = Cumulatieve hoeveelheid stikstof die over de onderrand van 1 m-mv. is getransporteerd; in dit geval is wel rekening gehouden met capillaire opstijging.

#### Invloed van het Peelkanaal

Al sinds het begin van de experimenten bestond het vermoeden dat er water zou kunnen infiltreren uit het Peelkanaal richting proefvelden. Er is een stijghoogteverschil tussen het water in het Peelkanaal en het grondwater onder de percelen. In de figuur 11 a t/m d zijn contourfiguren weergegeven van de gemiddelde  $\text{NO}_3^-$ -concentratie in het grondwater op diepten tussen 100 en 200 cm voor 4 tijdstippen (bovenste plaatjes). Deze contouren zijn berekend door voor alle meetpunten (grondwaterstandsbuizen) een gemiddelde nitraatconcentratie te berekenen en met behulp van 'kriging' de concentraties te schatten op de overige posities. Alhoewel de contouren zijn gebaseerd op een beperkt aantal meetpunten, is duidelijk te zien dat er door infiltratie van 'schoon' water (lage  $\text{NO}_3^-$ -concentratie) er verdunning van de nitraatconcentratie plaatsvindt nabij het Peelkanaal. Dit geeft aan dat  $\text{NO}_3^-$ -concentraties in het grondwater van percelen die dicht bij het Peelkanaal liggen geen relatie hoeven te hebben met de belasting van stikstof uit het bovenliggende perceel. Er is duidelijk sprake van waterstroming en stoffentransport in horizontale richting. Het is aan de hand van deze gegevens niet te kwantificeren waar het

water precies heen stroomt. We hebben ook nog te maken met drains die water kunnen afvoeren en we kennen het hydraulische gedrag van de ondergrond niet.

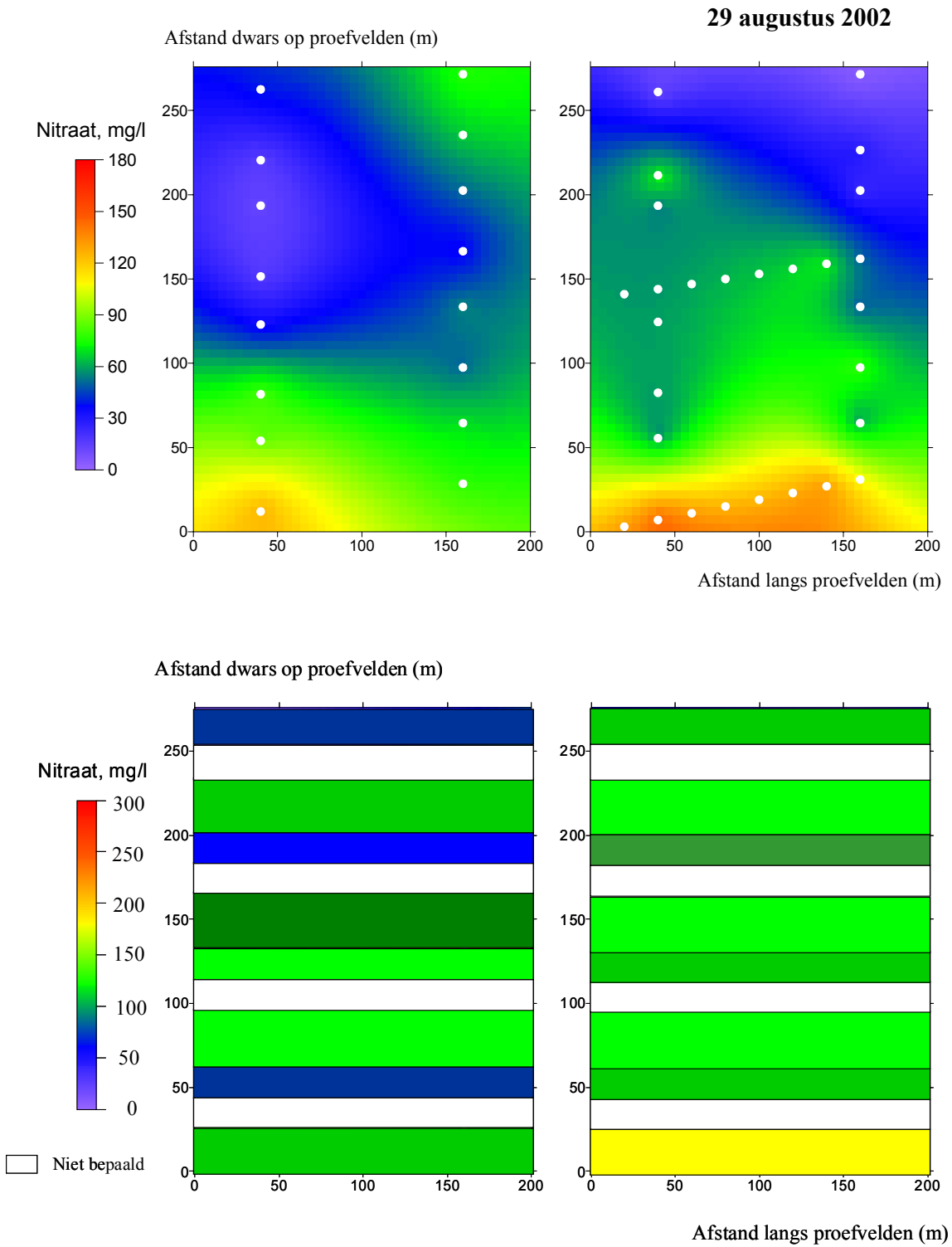
Voor de vergelijkbare diepten is per perceel met het simulatiemodel ook de gemiddelde nitraatconcentratie berekend voor het diepte-interval 100-150 cm (Figuren 11a t/m 11d, onderste plaatjes; let op: andere schaalverdeling van de nitraatconcentratie!). Figuren 11a t/m 11d zijn op een zelfde wijze georiënteerd als figuur 2, dat wil dus zeggen dat het Peelkanaal aan de bovenzijde ligt (afstand dwars op de proefvelden = 270 m). We hebben voor de simulatieresultaten een andere schaalverdeling gekozen, omdat de maximale nitraatconcentraties in de simulaties aanzienlijk hoger lagen. Door deze keuze zijn de ruimtelijke patronen van de meetresultaten en de simulaties toch goed te vergelijken. Als we de patronen in de metingen en de modelberekeningen vergelijken dan zien we:

Figuur 11 a. (29 augustus 2002). Er is een sterke invloed van het Peelkanaal op meetresultaten, waarschijnlijk het gevolg van een grote infiltratie vanuit het Peelkanaal in een droge periode, waardoor de stijghoogteverschillen tussen percelen en het Peelkanaal groot zijn (bovenste figuur). Het perceel rechts onderin (26.1s) geeft voor zowel metingen als model hoge nitraatconcentraties.

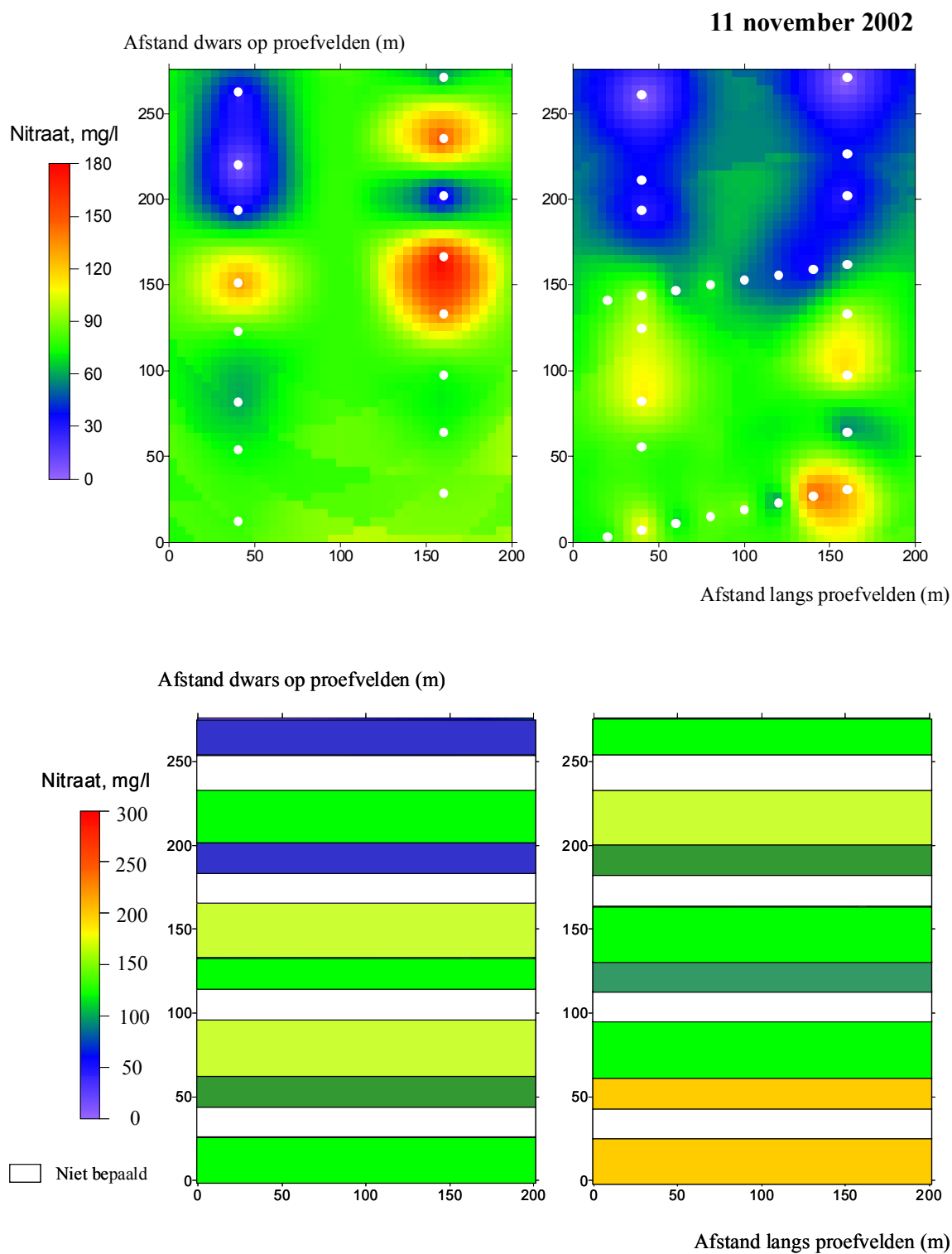
Figuur 11 b. (11 november 2002). Er is een sterke invloed van het Peelkanaal op metingen in de percelen rechts bovenin. Het perceel links (18.1s, afstand dwars op de proefvelden = 150 m) geeft voor zowel metingen als model hoge nitraatconcentraties. Perceel 26.1s (rechts onderin) geeft vooral bij de modelberekeningen hoge waarden.

Figuur 11 c. (6 januari 2003). Het perceel links (18.1s, afstand dwars op de proefvelden = 150 m) geeft nog steeds voor zowel metingen als model hoge nitraatconcentraties.

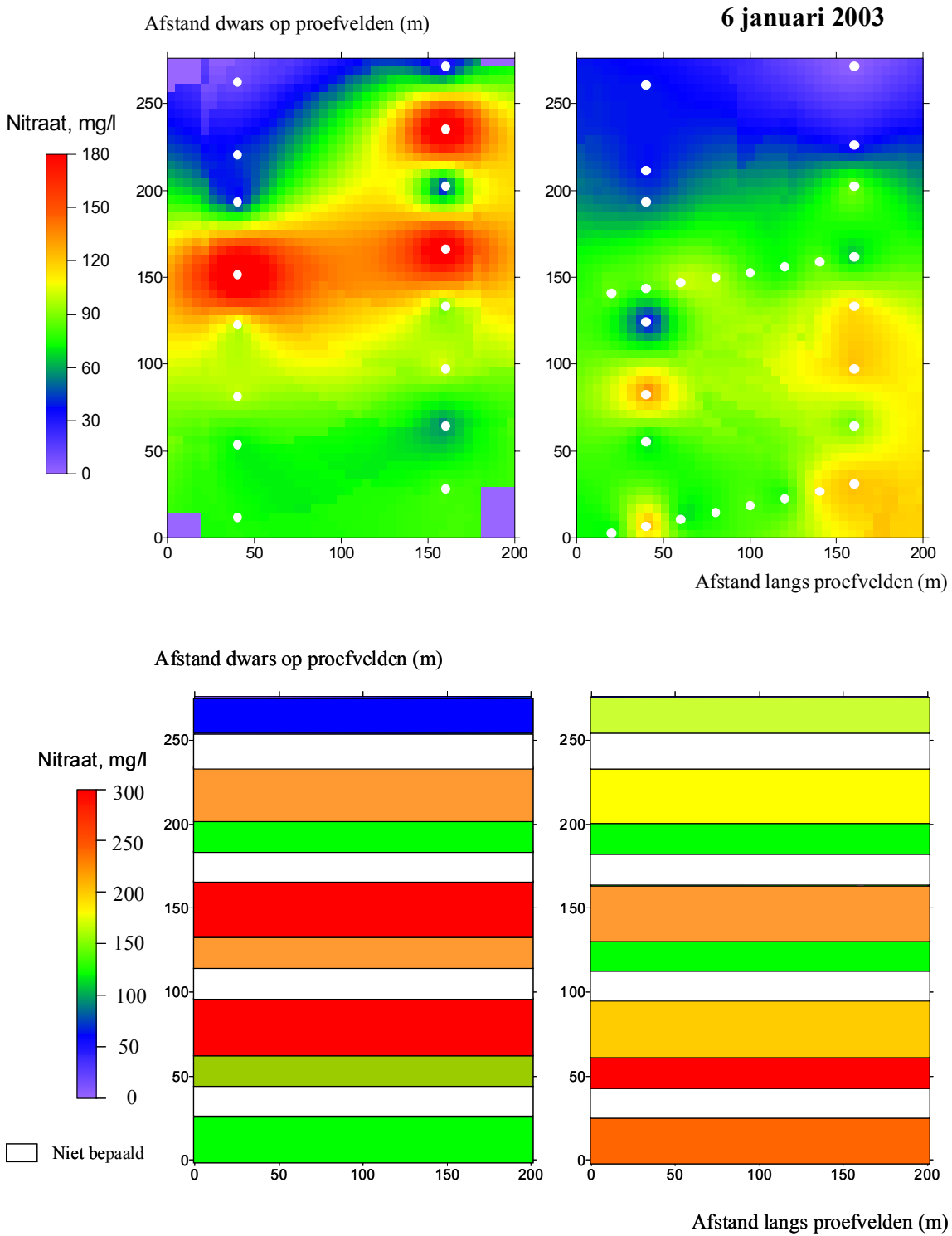
Figuur 11 d. (13 februari 2003). Er is een sterke invloed van het Peelkanaal op metingen in de percelen grenzend aan het Peelkanaal. Grote verschillen treden op tussen de meetresultaten voor percelen links onderin en rechts onderin (afstand dwars op de proefvelden: 0 – 100 m). De percelen links zijn gedraineerd en de percelen rechts zijn niet gedraineerd. Het verdwijnen van nitraat via de drains in de gedraineerde percelen kan een verklaring zijn voor de verschillen, aangezien de modelberekeningen dergelijke grote verschillen niet laten zien.



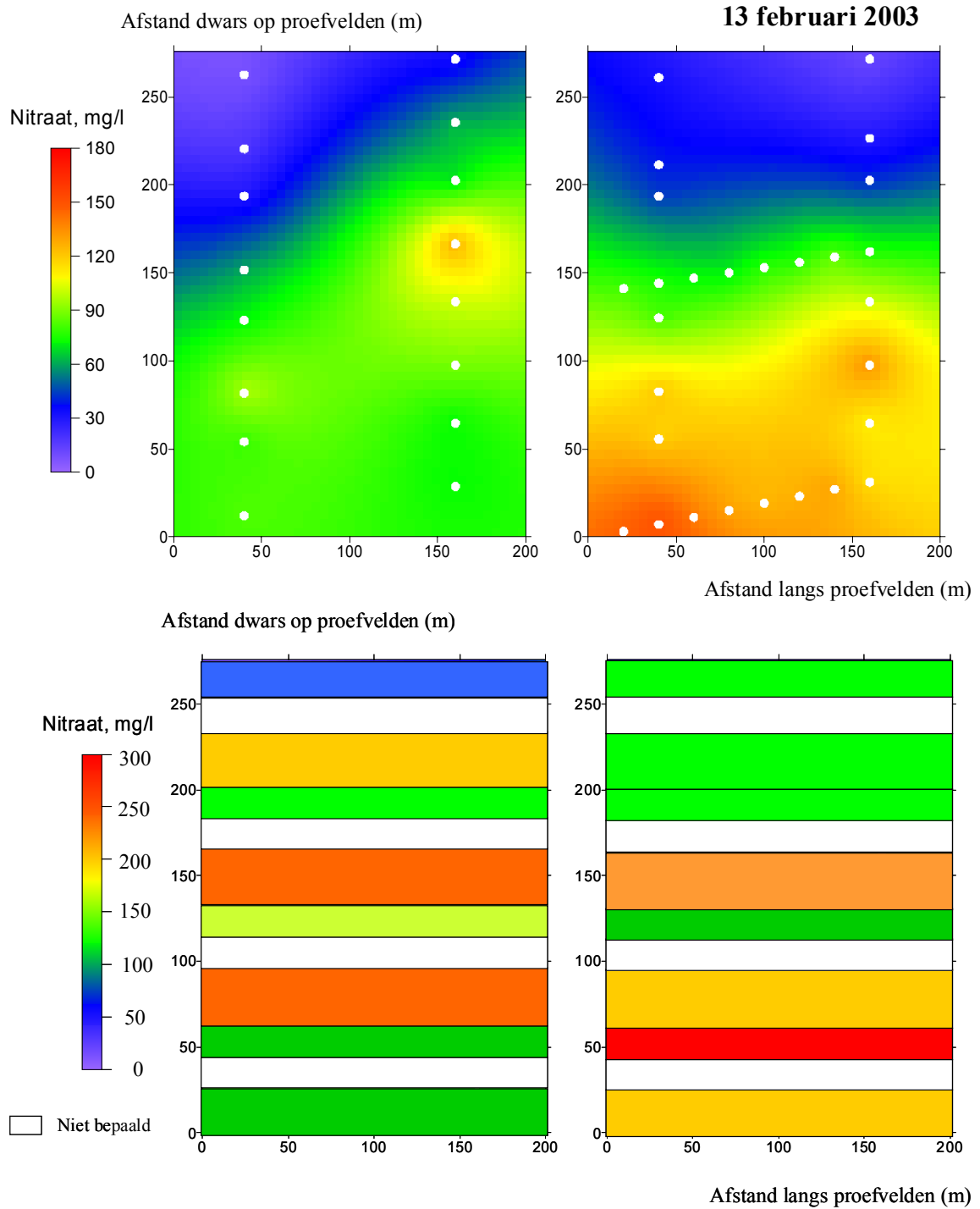
*Figuur 11.a. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (1-2 m-mv.) op basis van metingen in het grondwater (bovenste plaatje; witte stippen zijn de meetlocaties) en modelberekeningen (1-1.5 m-mv.; onderste plaatje).*



Figuur 11.b. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (1-2 m-mv.) op basis van metingen in het grondwater (bovenste plaatje; witte stippen zijn de meetlocaties) en modelberekeningen (1-1.5 m-mv.; onderste plaatje).



*Figuur 11.c. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (1-2 m-mv.) op basis van metingen in het grondwater (bovenste plaatje; witte stippen zijn de meetlocaties) en modelberekeningen (1-1.5 m-mv.; onderste plaatje).*



*Figuur 11.d. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater (1-2 m-mv.) op basis van metingen in het grondwater (bovenste plaatje; witte stippen zijn de meetlocaties) en modelberekeningen (1-1.5 m-mv.; onderste plaatje).*

## 2.5 Keuze voor een methode om nitraatuitspoeling te berekenen

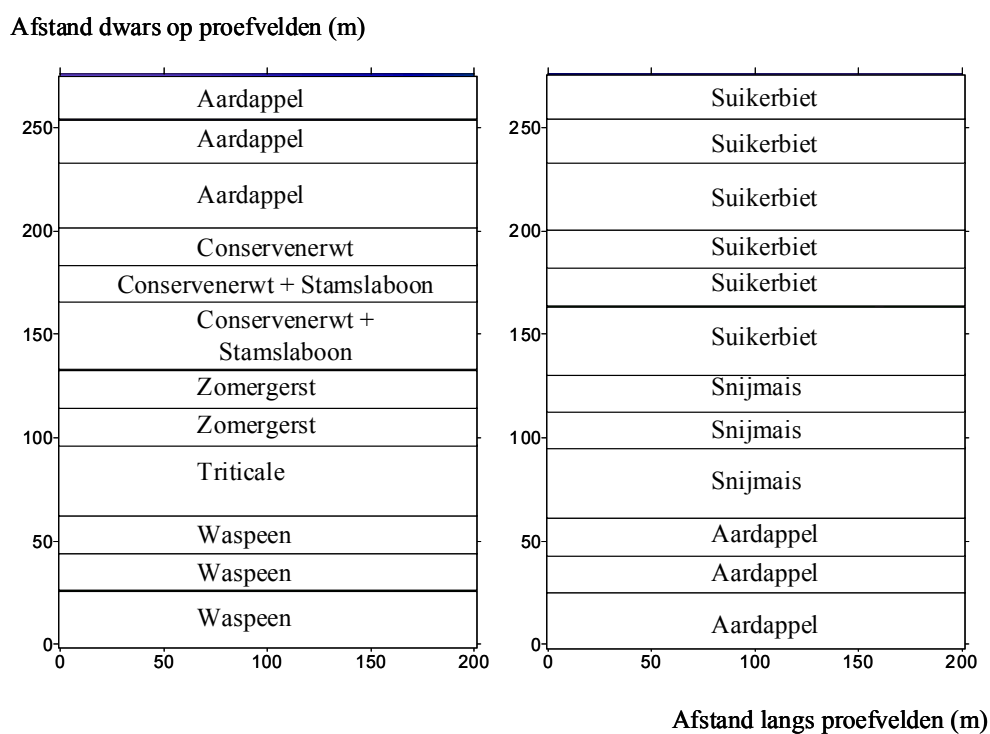
De berekening van de stikstofuitspoeling met behulp van gemeten nitraatconcentraties is problematisch. De ligging van de proefvelden ten opzichte van het Peelkanaal en de aanwezigheid of afwezigheid van drains en de onzekerheid over het lateraal transport maakt de interpretatie van grondwatergegevens moeilijk, en dichtbij het Peelkanaal onmogelijk. Aangezien we de nitraatuitspoeling op 1 m-mv. willen schatten dienen we de nitraatconcentratie op deze diepte te kennen. Er zijn weinig directe metingen op deze diepte en als ze er zijn, dan is er een aanzienlijke spreiding rond de gemiddelde waarde. Het vertalen van metingen op grotere diepten naar een nitraatconcentratie op 1 m-mv. is een subjectieve zaak en zonder een goede proceskennis onmogelijk. Het aantal meetpunten in de tijd is ook relatief gering om een goede schatting van het tijdsverloop van de nitraatconcentratie te krijgen. Door de gemeten nitraatconcentraties als representatief te beschouwen bestaat het risico dat we nitraatuitspoeling onderschatten, zeker als we het transport via de drains niet meerekenen. In het algemeen kunnen we stellen dat het uitgespoelde nitraat (= het nitraat dat de diepte van 1 m-mv. passeert) deels naar het grondwater en deels naar de drains wordt getransporteerd. Figuur 11d lijkt ook een aanwijzing te geven voor het transport van nitraat naar het grondwater in niet-gedraineerde percelen. Dit zou inhouden dat we op deze percelen wel een betere schatting zouden kunnen maken op basis van nitraatconcentraties in het grondwater. Echter nog steeds dienen we zeker te weten dat het gemeten nitraat afkomstig is van het bovenliggende perceel. Dat is niet het geval omdat we onvoldoende inzicht hebben in de hydrologische situatie, met name in het horizontale transport. Kortom, de systematische problemen en de onzekerheden in de gemeten nitraatconcentraties zijn zo groot, dat het niet verantwoord is om hier een schatting van de cumulatieve nitraatuitspoeling op 1 m –mv op te baseren. We kunnen beter de nitraatuitspoeling schatten op basis van de modelsimulaties, waarbij we dan wel goed moeten aangeven wat de aannames en onzekerheden van deze schatting zijn.

Deze simulaties in een eendimensionale grondkolom zorgen er voor dat de waterhuishouding alleen invloed heeft via de opgelegde grondwaterstand. Er verdwijnt geen nitraat via lateraal transport. De terugkoppelingen in de stikstofbalans zorgen er voor dat de orde van grootte van de verschillende verliesposten in proportie blijven met de aanwezige hoeveelheid stikstof. Doordat er geen nitraat via de drain of lateraal transport kan verdwijnen, zullen de nitraatconcentraties in de grondwater (>100 cm) te hoog worden berekend. Echter de effecten van de verschillende gewassen en het verschillende beheer kunnen op een eenduidige manier onderling worden vergeleken, waarbij vooral de relatieve verhoudingen tussen de percelen een goede maat voor de vergelijking zijn. Ook bij de modelberekeningen hebben we te maken met grote onzekerheden, met name bij het berekenen van netto-mineralisatie en de bergingsverandering, en dus ook voor de uitspoeling. Om meer vertrouwen te krijgen in de absolute waarden van de simulaties zal ook de drain gesimuleerd moeten worden en is een uitgebreide calibratie en validatie van zowel het stikstofbalans als de waterbalans noodzakelijk.

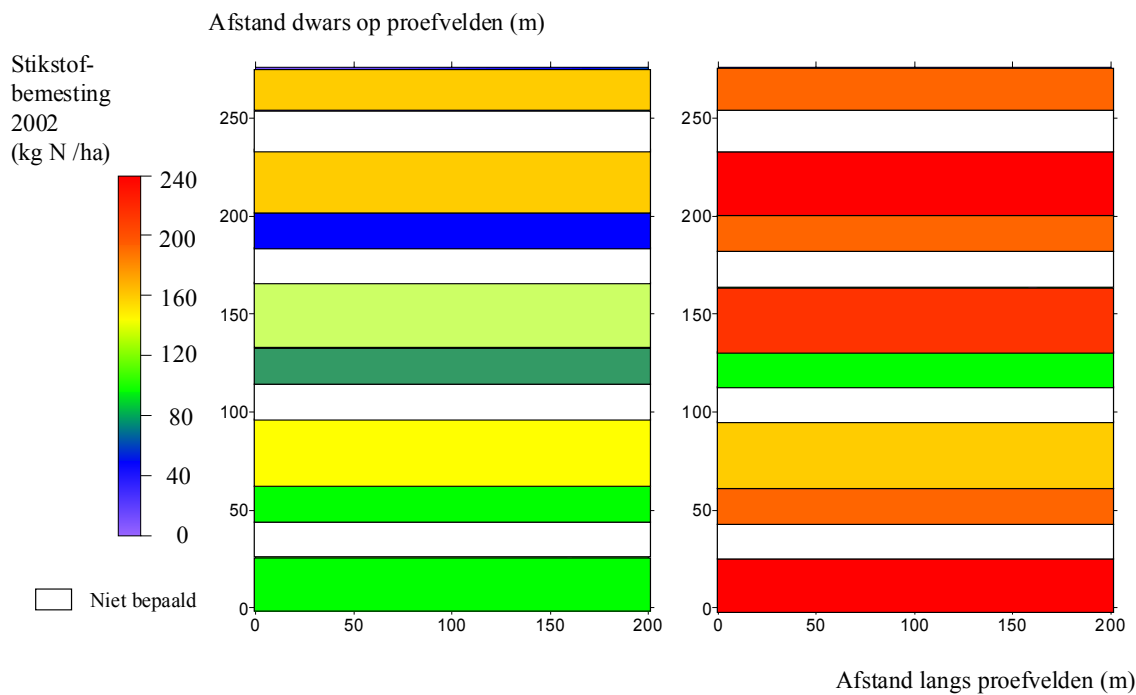


### 3. Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002 – 2003

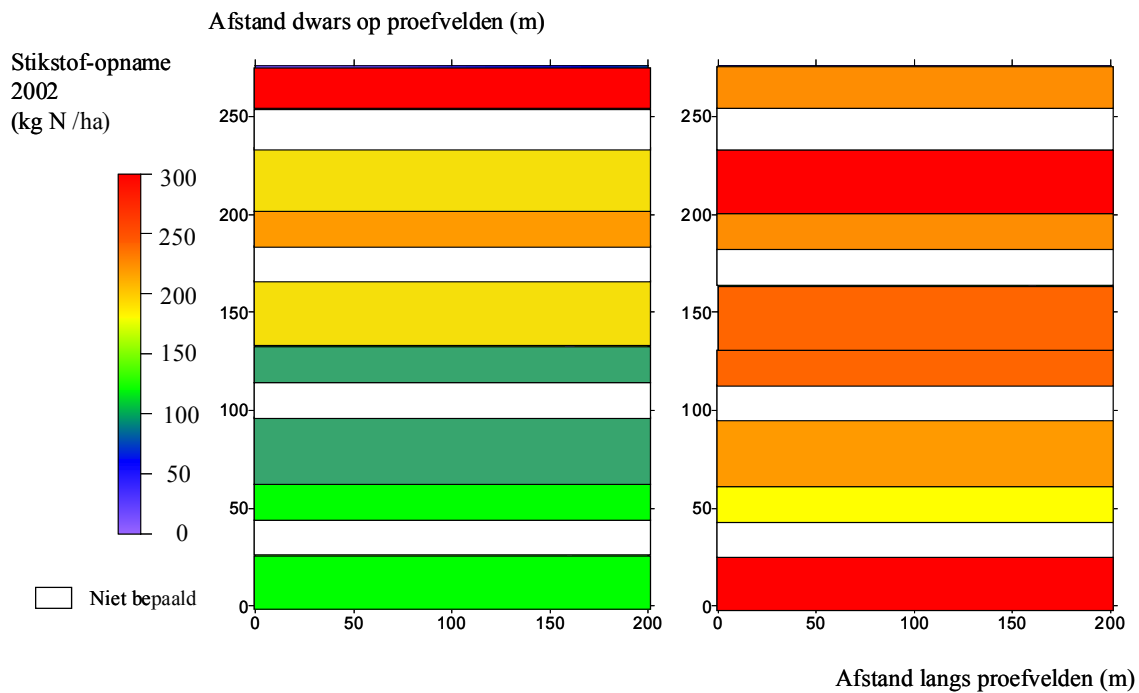
De nitraatuitspoeling is met behulp van modelsimulaties berekend voor alle percelen van Vredepeel (Assinck & De Willigen, 2004). In Figuur 12 staat een overzicht van de geteelde gewassen in 2002. De stikstofbemesting in de vorm van kunstmest en het anorganische gedeelte van de organische mest is gegeven in Figuur 13 en de stikstofopname door het gewas in Figuur 14. De totale bodembelasting met stikstof op jaarbasis is weergegeven in Figuur 15. Figuur 16 geeft de cumulatieve nitraatuitspoeling voor alle percelen.



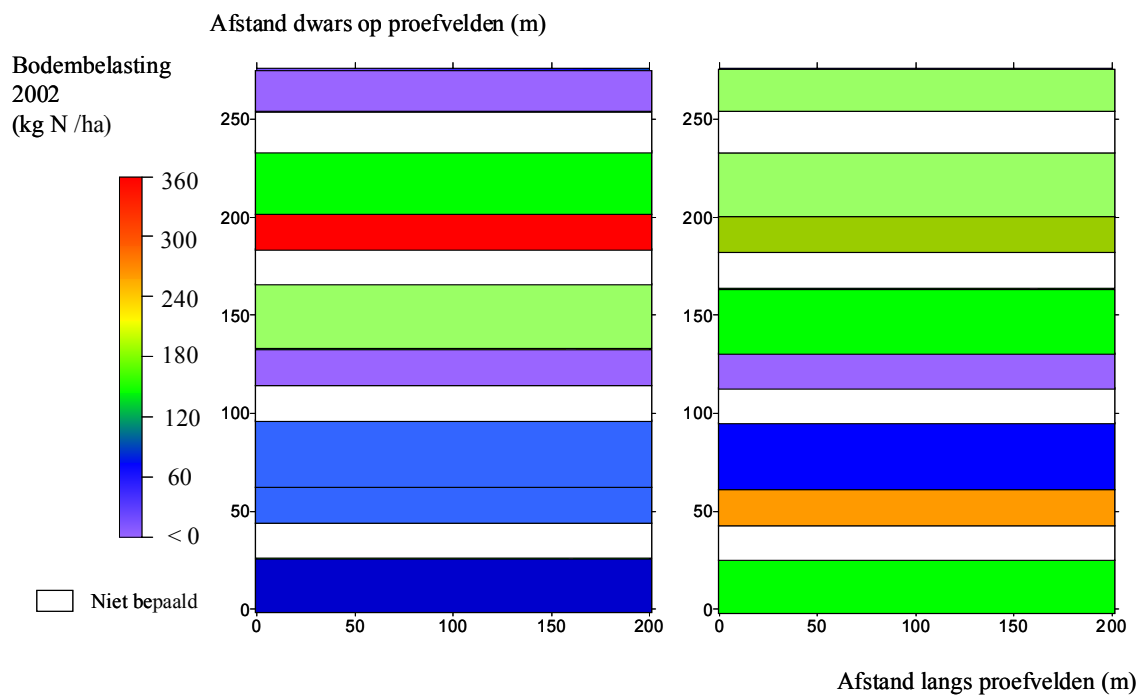
*Figuur 12. Een overzicht van de proefvelden te Vredepeel, met de gewassen in 2002. De afstanden zoals hier zijn gedefinieerd worden ook in de volgende figuren gebruikt. Het Peelkanaal ligt aan de bovenkant van de figuren en begint bij 'afstand dwars op de proefvelden' = 275 m.*



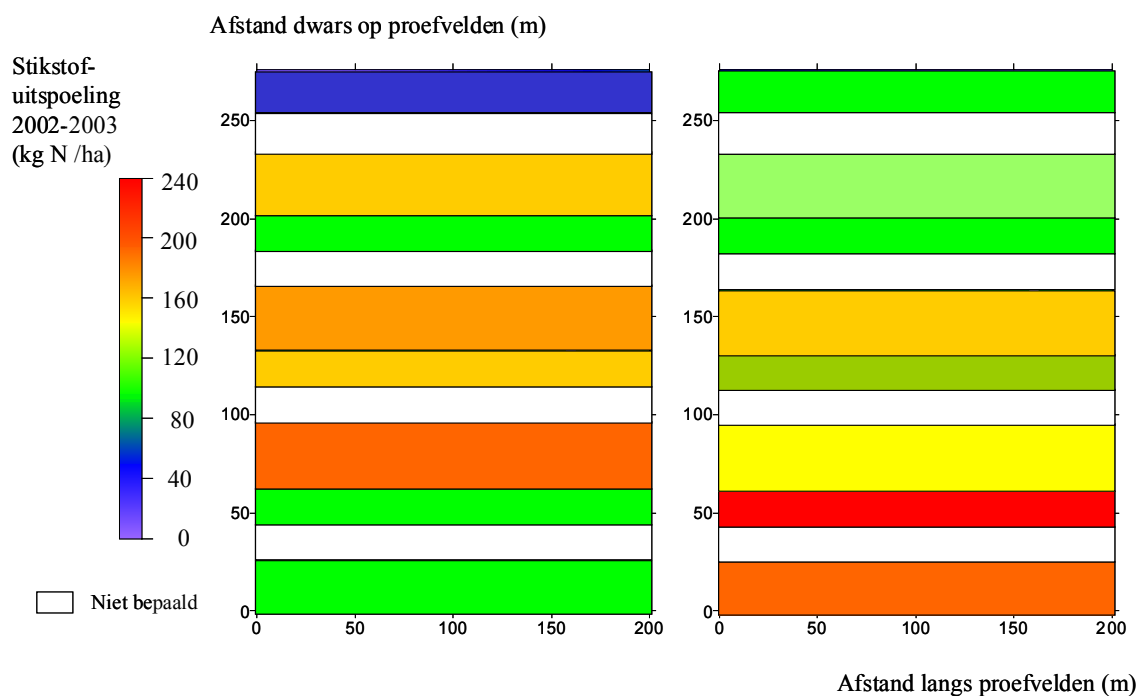
*Figuur 13. Stikstofbemesting in de vorm van kunstmest en het anorganische gedeelte van de organische mest in 2002 voor de verschillende percelen te Vredepeel.*



*Figuur 14. Stikstofopname door het gewas in 2002 voor de verschillende percelen te Vredepeel.*



*Figuur 15. Bodembelasting met stikstof in de periode 1 maart 2002 t/m 1 maart 2003 voor de verschillende percelen te Vredepeel. De bodembelasting is de som van de aanvoer van stikstof via kunstmest, dierlijke mest, gewasresten en depositie minus de afvoer via opname door het gewas. Een negatieve bodembelasting betekent dat er meer stikstof afgevoerd wordt via het gewas dan dat er aangevoerd wordt. Een positieve bodembelasting betekent dat er meer aanvoer is dan afvoer, hetgeen betekent dat er in potentie meer stikstof beschikbaar is voor denitrificatie en uitspoeling.*



*Figuur 16. Stikstofuitspoeling, op basis van modelberekeningen, voor de periode 1 maart 2002 t/m 1 maart 2003 voor de verschillende percelen te Vredepeel.*



## 4. Discussie

In dit rapport is de nitraatuitspoeling erg strikt gedefinieerd: de nitraatflux die de grens van 1 m -mv. passeert. Dit houdt in dat ook het nitraat dat vervolgens via de drain of via horizontaal transport verdwijnt meegerekend wordt. Voor de belasting van het grondwater met nitraat zal deze wijze van berekenen een overschatting betekenen. Voor de totale N-belasting van grond- en oppervlaktewater en de verliespost in de N-balans levert deze benadering echter een goede schatting op. In het rapport van Smit *et al.* (2004) wordt de kwaliteit van het grondwater beschouwd en worden lagere waarden voor nitraatconcentraties gevonden. Dit komt omdat in die analyse naar de waterkwaliteit van het grondwater gekeken is dat zich meestal op diepten > 1 m -mv. bevindt. Voor de nitraatnorm voor grondwater en uiteindelijk drinkwater zijn deze gehalten relevanter dan de waarden op 1 m-mv.

De schatting van de nitraatuitspoeling op de percelen van Vredepeel is onzeker. Veldmetingen hebben een grote onzekerheid; enerzijds door het geringe aantal meetpunten per perceel en anderzijds door de relatief lage bemonsteringsfrequentie; waardoor het tijdsverloop van de nitraatconcentratie niet goed kan worden gevolgd. Op basis van een statistische analyse van metingen op perceel 28.1s, waar 8 grondwaterstandsbuizen waren geïnstalleerd, schatten we de standaarddeviatie in nitraatconcentraties in het grondwater op 37% van de gemiddelde waarde. Dit resulteert in een onzekerheid (95% betrouwbaarheidsinterval) van 43% (n=3) of 50% (n=2) voor de berekende gemiddelden op één diepte; en 17% (n=5) voor het gemiddelde van alle grondwaterstandbuizen. Een ander probleem is dat het grondwater af en toe onder 1 m-mv. zakt waardoor er geen grondwatermonsters meer op de gewenste diepte van 1 m-mv. genomen kunnen worden.

De ligging van de percelen direct aan het Peelkanaal resulteert in een infiltratie van het relatief 'schone' water onder de percelen, vooral in de percelen direct grenzend aan het Peelkanaal. We hebben te maken met een situatie waarin de percelen aan de linkerzijde van Figuren 11a t/m d gedraineerd zijn en de percelen aan de rechterzijde alleen dichterbij het Peelkanaal (afstand dwars op de drain > 200 m) (zie ook Fig. 2). Uit Figuur 11.d. kan een laterale beïnvloedingslengte van zo'n 75 m worden geschat, als we aannemen dat de overgang tussen paarse en blauwe kleur bij zo'n 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l veroorzaakt is door het Peelkanaal. Het is moeilijk in te schatten of de laterale beïnvloeding nog verder ingedrongen was. Om de effecten van de laterale stroming uit het Peelkanaal uit te sluiten en alle resultaten onderling vergelijkbaar te houden is gekozen om de modelberekeningen als uitgangspunt te nemen. We weten dan in ieder geval zeker dat er geen lateraal transport plaatsvindt. De nitraatuitspoeling kan dan ook goed gerelateerd worden aan de andere posten van de stikstofbalans. De resultaten van de modelberekening kunnen onderling vergeleken worden, waarbij de relatieve verschillen in uitspoeling en de effecten op de stikstofbalans goed te interpreteren zijn. De modelberekeningen moeten dan wel zo goed mogelijk gevalideerd zijn met alle beschikbare metingen aan de stikstofbalans. Dit is gebeurd voor de mineralisatie en de hoeveelheid minerale stikstof, maar er blijven aanzienlijke onzekerheden in deze en andere posten in de modelberekeningen, met name bij het berekenen van netto-mineralisatie en de bergingsverandering, en dus ook voor de uitspoeling. In Assinck & De Willigen (2004) is een vergelijking gemaakt tussen de hoeveelheid minerale stikstof in het bodemprofiel in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm diepte. Het bleek dat de modelberekeningen in de laag 0-30 cm en in de laag 30-60 cm een onderschatting; en in de laag 60-90 cm een overschatting gaven voor de nitraatgehalten in de bodem. Dit houdt in dat de ordes van grootte van de stikstofbalans goed kloppen, maar dat door de overschatte nitraatconcentraties in de laag 60-90 cm de nitraatuitspoeling te hoog berekend zal worden. Het effect van het ontbreken van een drain in de simulatieberekeningen zal voor gedraineerde percelen zorgen voor een hogere nitraatconcentraties in het grondwater op diepten tussen 100 en 200 cm-mv., zoals besproken in het vorige hoofdstuk.

Ook in het niet-gedraineerde perceel 26-2a2 zijn de gesimuleerde nitraatconcentraties op 1 m –mv een factor 2 tot 3 hoger dan gemeten nitraatconcentraties in het grondwater (Fig. 5). De vraag is dan of de stikstofmineralisatie in het model wordt overschat, denitrificatie wordt onderschat of dat er in de niet gedraineerde percelen een sterke laterale waterstroming zorgt voor het transport van nitraat? Een betere evaluatie van de stikstofdynamiek en de transportprocessen is noodzakelijk om hierover goede uitspraken te kunnen doen.

## 5. Conclusies

Het interpreteren van gemeten nitraatconcentraties in het grondwater op de proefvelden van het project Telen met toekomst te Vredepeel in relatie tot nitraatuitspoeling is complex. De hydrologie bepaalt in sterke mate hoe het bodemwater en nitraat uit de bovengrond in het grondwater terechtkomen. Infiltratie van water uit het Peelkanaal, drainage en mogelijk lateraal watertransport kunnen een grote invloed hebben op het transport van nitraat en maken het leggen van verbanden tussen concentraties in het grondwater en landbouwkundig gebruik moeilijk.

Beschouwen we alleen de gemeten nitraatconcentraties in het grondwater op grotere diepte (1-2 m –mv.) dan blijkt uit de analyse van Smit *et al.* (2004) dat voor een deel van de percelen ('analyse-percelen') de EU-norm van 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l voor grondwater wel wordt gehaald. Voor de kwaliteit van het diepere grondwater geeft de analyse van Smit *et al.* (2003) een goede schatting, aangezien de EU-nitraatnorm tot doel heeft het diepere grondwater te beschermen. Willen we echter de relatie tussen landbouwkundig handelen en nitraatuitspoeling begrijpen, dan zullen we ook de waterstroming en de stikstofdynamiek en –transport dienen te beschrijven. Wij hebben de nitraatuitspoeling gedefinieerd als de nitraatflux op 1 m –mv; dus op een vaste diepte onder de wortelzone. Verschillende schattingen op basis van veldmetingen van nitraatconcentraties en neerslagoverschot in 2002-2003 leveren een cumulatieve nitraatuitspoeling van 25-41 kg N/ha voor erwten (18.2.a.2) en 61-69 kg N/ha voor aardappel (26.2.a.2), waarbij 41 kg N/ha de grens is die overeenkomt met de EU-nitraatrichtlijn. Uit modelberekeningen blijkt een aanzienlijk gedeelte van de minerale stikstof kan uitspoelen. Hierbij kunnen we geen onderscheid maken tussen uitspoeling naar het diepere grondwater en naar het oppervlaktewater via de drains. De berekende nitraatconcentraties in het grondwater liggen een factor 2-3 hoger dan de gemeten waarden. De hoge nitraatconcentraties in de modelberekeningen kunnen deels verklaard worden door het ontbreken van drainage in deze modelberekeningen, waardoor meer stikstof in het grondwater terechtkomt. Echter, ook bij niet-gedraineerde percelen leveren modelberekeningen hogere nitraatconcentraties op. Dit betekent dat de onzekerheid in de hydrologie en in de beschrijving van de stikstofomzettingsprocessen te groot is om absolute uitspraken te doen op basis van de modelberekeningen. De modelberekeningen kunnen alleen worden gebruikt om de relatieve verschillen tussen de verschillende behandelingen te helpen verklaren.





## 6. Literatuur

- Assinck, F.B.T. & C. Rappoldt, 2004.  
 MOTOR 2.0: Module for transformation of organic matter and nutrients in soil. User guide and technical documentation. Alterra-rapport (in press).
- Assinck, F.B.T. & P. de Willigen, 2004.  
 Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. Telen met toekomst-rapport OV0402.
- Booij, R., W. van Dijk, B. Smit, F. Wijnands, H. Langeveld, J. de Haan, A. Pronk, J. Schröder, J. Proost, H. Brinks, & P. Dekker, 2001.  
 Detaillering van het projectplan 'Telen met toekomst'. Nota 19A Plant Research International, Wageningen.
- Dekker, L.W., C.J. Ritsema, O. Wendroth, N. Jarvis, K. Oostindie, W. Pohl, M. Larsson & J.P. Gaudet, 1999.  
 Moisture distributions and wetting rates of soils at experimental fields in the Netherlands, France, Sweden and Germany. *J. Hydrol.* 215: 4-22.
- EU, 1980.  
 Richtlijn van de raad van 15 juli 1980 betreffende de kwaliteit van het voor menselijke consumptie bestemd water. Richtlijn 80/778/EEG. Brussel: Europese Gemeenschap.
- EU, 2000.  
 Richtlijn van de raad tot vaststelling van een kader voor de communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Brussel: Europese Gemeenschap.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 1998.  
 FUSSIM2, a two-dimensional simulation model for water flow, solute transport and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media. Quantitative approaches in system analysis No. 20. AB-DLO/TPE, Wageningen.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 2001.  
 FUSSIM2 version 5; new features and updated user's guide. Alterra-rapport 363.
- Jaaroverzicht 2002, 2003.  
 Telen met toekomst voor telers met toekomst, 2003. Plant Research International, Wageningen.
- NMP4, 2001.  
 Nationaal MilieubeleidsPlan 4. SDU Den Haag.
- RIVM, 2002.  
 Minas en Milieu; Balans en Verkenning Milieu- en Natuurplanbureau RIVM, Bilthoven.
- Smit, A., K.B. Zwart & J. van Kleef, 2004.  
 Stikstofstromen op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. De grondwaterkwaliteit gemeten. Telen met toekomst-rapport OV0403.
- Vos, J.A. de, E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenbergen, 2002.  
 Waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristieken van Telen met toekomst-proefvelden Meterik en Vredepeel. Telen met toekomst-rapport.
- Vos, J.A. de, O.A. Clevering, F.P. Sival, J. Alblas, N. Reijers & H. van Reuler, 2003.  
 De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten. Alterra-rapport 596.



# Reeds verschenen externe rapporten

## Telen met toekomst

26. Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002 – 2003.  
J.A. de Vos & F.B.T. Assinck. Rapport OV 0406, 2004.
25. Stikstofstromen op het kernbedrijf Meterik. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR.  
F.B.T. Assinck & P. Willigen. Rapport OV 0405, 2004.
24. Fosfaatkaracteristieken van de bodem van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel.  
Een gedetailleerd beeld van het bodemprofiel. P. Ehlert & G. Koopmans.  
Rapport OV 0404, 2004.
23. Stikstofstromen op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. De grondwaterkwaliteit gemeten.  
A. Smit, K.B. Zwart & J. van Kleef. Rapport OV 0403, 2004.
22. Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR.  
F.B.T. Assinck & P. Willigen. Rapport OV 0402, 2004.
21. Bemesting en Nmin op gewasniveau op de praktijkbedrijven van Telen met toekomst  
(2000-2002). F.J. de Ruijter & J. Groenwold. Rapport OV 0401, 2004.
20. Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Mineralisatie van bodem en  
gewasresten. A. Smit & K.B. Zwart. Rapport OV 0304, 2003.
19. Grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit op de Telen met toekomst bedrijven in 2002.  
M. van den Berg & M.M. Pulleman. Rapport OV 0303, 2003.
18. AcTA: Accesdatabase Telen met toekomst – Alterra. A. Smit & K.B. Zwart. Rapport OV 0302,  
2003.
17. Relaties tussen nitraat in het grondwater en potentiële indicatoren voor nitraatverlies op  
de voorloperbedrijven van Telen met toekomst. F.J. de Ruijter. Rapport OV 0301, 2003.
16. Telen met toekomst, voor telers met toekomst: Jaaroverzicht 2002. Anonymus, 2003.
15. Hoe staat het met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater? B.M.A. Kroonen-Backbier &  
J.A.J.M. Rovers. Rapport WDNB03, 2003.
14. Hoe staat het met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater? J.A.J.M. Rovers &  
B.M.A. Kroonen-Backbier, Rapport WDZHZ03, 2003.
13. Startgiften van de stikstofbemesting in tulp. Modelstudie naar de effecten van neerslag op  
de stikstofbeschikbaarheid in de wortelzone. F.J. de Ruijter. Rapport OV 0206, 2002.
12. De Telen met toekomst Energie- en klimaatmeetlat. Methodiek en rekenregels.  
H.F.M. Mombarg, A. Kool, W.J. Corré, J.W.A. Langeveld & W. Sukkel. Rapport OV 0205, 2003.
11. Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van 'Telen met toekomst' proefvelden  
Meterik en Vredepeel. J.A. de Vos, E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenbergen.  
Rapport OV 0204, 2002.
10. Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing model Janssen.  
Ir. R. Postma. Rapport OV 0203, 2002.
9. Stikstofverliezen door denitrificatie in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, Onderzoek op  
de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met toekomst'.  
Kor Zwart, Annemieke Smit & Kees Rappoldt. Rapport OV 0202, 2002.
8. Gebruik van Global Positioning System (GPS) binnen 'Telen met toekomst', Plaatsbepaling  
bij monsternamen op de Voorloperbedrijven'. A.L. Smit. Rapport OV 0201, 2002.
7. 'Telen met toekomst', kansen en knelpunten in zicht: Jaaroverzicht 2001. Anonymus, 2002.
6. Fosfaattoestanden op de praktijkbedrijven van 'Telen met toekomst', Een analyse van de situatie  
bij de start van het project. Philip Ehlert & Gerwin Koopmans, 2002.
5. Stikstof- en fosfaatverliezen in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, Projectplan voor het  
bodemonderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met  
toekomst'. Kor Zwart & Annemieke Smit, 2002.
4. 'Telen met toekomst', voor telers met toekomst: Jaaroverzicht 2000. Anonymus, 2001.

3. Detaillering projectplan 'Telen met toekomst'. Rennie Booi, Wim van Dijk, Bert Smit, Frank Wijnands, Hans Langeveld, Janjo de Haan, Annette Pronk, Jaap Schröder, Jet Proost, Harm Brinks, Peter Dekker, Philip Ehlert, 2001.
2. Projectplan 'Telen met toekomst'. Jacques Neeteson, Rennie Booi, Wim van Dijk, Janjo de Haan, Annette Pronk, Harm Brinks, Peter Dekker & Hans Langeveld, 2001.
1. Voorwaarts met de milieuprestaties van de Nederlandse open-teelt sectoren: een verkenning naar 2020. A.J. de Buck, F.J. de Ruijter, F. Wijnands, P.L.A. van Enkevort, W. van Dijk, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booi, 2000.



Onderzoek en rapportage voor Telen met toekomst zijn uitgevoerd door ALTEERRA

