



# Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel

Modelberekeningen met  
FUSSIM2 en MOTOR

F.B.T. Assinck & P. de Willigen



*Telen met toekomst*



# Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel

Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR

F.B.T. Assinck & P. de Willigen



## 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 |
|---|--------|
| Inhoudsopgave   | 1      |
| Woord vooraf  | 1      |
| Samenvatting  | 3      |
| 1. Inleiding  | 5      |
| 2. Materiaal & methoden                                       | 7      |
| 2.1 Vredepeel   | 7      |
| 2.2 Bodem-gewassysteem  | 7      |
| 2.2.1 Grondwaterstroming- en stoftransportmodel FUSSIM2       | 8      |
| 2.2.2 Organisch stofmodel MOTOR                               | 9      |
| 2.2.3 Afbakening en aannamen                                  | 10     |
| 2.3 Modelinvoer   | 11     |
| 2.3.1 Weer  | 11     |
| 2.3.2 Bodem   | 11     |
| 2.3.3 Randvoorwaarden en grondwaterstand                      | 11     |
| 2.3.4 Initiële toestand                                       | 12     |
| 2.3.5 Gewasinformatie   | 12     |
| 2.3.6 Teelthandelingen  | 13     |
| 2.4 Teeltmaatregelen  | 14     |
| 3. Resultaten en discussie                                    | 15     |
| 3.1 Modelresultaten versus meetresultaten                     | 15     |
| 3.1.1 Watergehalten en drukhoogten                            | 15     |
| 3.1.2 Gewasopname   | 16     |
| 3.1.3 Minerale stikstof                                       | 17     |
| 3.1.4 Nitraat- en ammoniumconcentraties                       | 21     |
| 3.1.5 Conclusies  | 22     |
| 3.2 Vergelijking tussen het Synthese en Analyse2-teeltsysteem | 23     |
| 3.2.1 Overzicht van de verschillen                            | 23     |
| 3.2.2 Verschillen tussen balansposten                         | 26     |
| 3.3 Vergelijking tussen de Synthese- en Analyse2-percelen     | 29     |
| 4. Effecten van maatregelen                                   | 31     |
| 4.1 Effect van het gebruik van groenbemesters                 | 31     |
| 4.2 Verwijderen van gewasresten                               | 32     |
| 4.2.1 Effect van de afzonderlijke gewassen                    | 33     |
| 4.2.2 Verwijderen van alle gewasresten                        | 34     |
| 4.3 Inwerken van stro   | 36     |
| 4.4 Conclusies  | 36     |
| 5. Conclusies   | 37     |
| Referenties   | 39     |

|  | pagina |
|--|--------|
| Bijlage I. Bodemprofiel en bodemfysische eigenschappen           | 1 p.   |
| Bijlage II. Gemeten en berekende $N_{\min}$ -waarden in de tijd  | 2 pp.  |
| Bijlage III. Minerale stikstofbalansen voor 2001 en 2002         | 9 pp.  |
| Bijlage IV. Gemiddelde nitraatconcentraties                      | 1 p.   |
| Bijlage V. Vergelijking tussen de Synthese- en Analyse2-percelen | 9 pp.  |

## Woord vooraf

Dit modelonderzoek is uitgevoerd ten behoeve van het project ‘Telen met toekomst’ in opdracht van Plant Research International.

In dit onderzoek zijn zeer veel (meet)gegevens gebruikt als invoer en bij de beoordeling van de modelresultaten. Bij deze willen wij de medewerkers van Proefbedrijf Vredepeel (met name Harry Verstegen en Brigitte Kroonen-Backbier), Jan van Kleef en de andere veldmedewerkers van Alterra bedanken voor het aanleveren van deze gegevens en Annemieke Smit voor het organiseren van deze gegevens in de database. Annette Pronk, Ko Groenwold, Bert Smit (Plant Research International) en Phillip Ehlert (Alterra) hebben ons waardevolle gegevens aangeleverd over de boven- en ondergrondse groei van de diverse gewassen. Daarvoor dank. Tot slot willen wij Kor Zwart, Annemieke Smit en Bram de Vos bedanken voor de discussie tijdens het onderzoek en het kritisch bekijken van dit rapport.





## Samenvatting

Ten behoeve van het project ‘Telen met toekomst’ zijn voor proefbedrijf Vredepeel berekeningen uitgevoerd met behulp van de modellen FUSSIM2 en MOTOR. FUSSIM2 berekent de grondwaterstroming en het stoftransport in de bodem. Met MOTOR kan de omzetting van organische stof en minerale stikstof in de bodem beschreven worden. De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1 maart 2001 – 1 maart 2003 voor alle Synthese- en Analyse2-percelen van het bedrijf. Wegens het gebrek aan geschikte gegevens is geen rekening gehouden met de laterale stroming van water en stoffen en met drainage. De invoer voor de berekeningen is zo veel mogelijk gebaseerd op ter plekke bepaalde meetgegevens.

Het doel van het modelonderzoek was het berekenen van de stikstofstromen op de verschillende systemen en het verdiepen van het inzicht in de processen die leiden tot de verliezen, zodat gerichte maatregelen kunnen worden genomen (Zwart & Smit, 2001). Daarvoor was het in de eerste plaats nodig om vast te stellen of met behulp van de modelberekeningen de metingen uit het veld voldoende betrouwbaar gesimuleerd konden worden. Vervolgens zijn de stikstofstromen in de intensief en minder intensief bemeten percelen nader geanalyseerd. Tot slot zijn met behulp van de modelberekeningen uitspraken gedaan over het effect van diverse teeltmaatregelen op de stikstofbalans.

De berekende vochtgehalten en drukhoogtes kwamen redelijk respectievelijk goed overeen met de metingen. De berekende en gemeten  $N_{\min}$ -waarden en de berekende en gemeten nitraatconcentraties in verschillende lagen kwamen niet precies overeen, de gesimuleerde orde van grootte en dynamiek in de tijd was goed.

Het grootste verschil in teelthandelingen tussen de beide teeltsystemen is het gebruik van dierlijke mest bij de Synthese-percelen en het gebruik van groenbemesters na de hoofdteelt bij de Analyse2-percelen. Het gevolg hiervan is dat in de berekeningen bij de Analyse2-percelen gemiddeld 21 kg N/ha minder mineraliseert en 23 kg N/ha minder opname is door de hoofdteelt. De opname door groenbemesters is gemiddeld 31 kg N/ha. Vlinderbloemigen fixeren gemiddeld zo'n 22 kg N/ha uit de atmosfeer. De berekende uitspoeling op de Analyse2-percelen is gemiddeld 40 kg N/ha lager dan op de Synthese-percelen. Dat komt ook tot uitdrukking in een lagere nitraatconcentratie op 1 m beneden maaiveld (m-mv). De berekende nitraat-concentraties op de beide systemen liggen boven de EU-nitraatnorm.

Bij het gebruik van een groenbemester wordt de nitraatuitspoeling gereduceerd, zeker tijdens de groei-periode van de groenbemester. Na inwerken van de gewasresten wordt een deel van de reductie alsnog tenietgedaan door de extra mineralisatie van de ingewerkte groenbemesterresten.

Het verwijderen van de gewasresten is een effectieve maatregel tegen nitraatuitspoeling. De grootte van de reductie hangt af van de hoeveelheid stikstof in de gewasresten. Met name erwt, Tagetes en suikerbiet leveren een substantiële reductie van de nitraatuitspoeling op. Ook bij het verwijderen van alle gewasresten blijft het berekende nitraatgehalte nog boven de EU-nitraatnorm.

Stro inwerken levert weliswaar een geringe immobilisatie van minerale stikstof op, maar dit weegt niet op tegen de extra mineralisatie die optreedt als gevolg van het inwerken van de organische stikstof uit de stroresten in de bodem. Op basis van deze modelberekeningen is stro geen effectieve maatregel tegen nitraatuitspoeling.



# 1. Inleiding

Het doel van het project 'Telen met toekomst' is o.a. om de verliezen van stikstof en fosfaat vanuit de Nederlandse akker-, tuinbouw, bloembollen- en boomteelt bedrijven terug te dringen, zodat aan de milieunormen voor de betreffende nutriënten wordt voldaan. Hiervoor wordt onderzoek gedaan op praktijkbedrijven (de voorloperbedrijven) en op proefbedrijven (de kernbedrijven). Het onderzoek op de kernbedrijven is erop gericht om binnen randvoorwaarden zo snel mogelijk aan de streefwaarden (speciaal vastgesteld voor dit project en scherper dan de milieunormen) te voldoen. Daarnaast is het onderzoek op de kernbedrijven gericht op het verdiepen van het inzicht in de processen, die leiden tot verliezen. Het onderzoek uit dit rapport heeft betrekking op kernbedrijf Vredepeel en is uitgevoerd met behulp van simulatiemodellen. Het richt zich op de grondwaterkwaliteit met name voor stikstof. De berekeningen voor dit onderzoek zijn uitgevoerd voor de jaren 2001 en 2002. De berekeningen voor het jaar 2003 komen in een volgend rapport. De berekeningen voor het kernbedrijf Meterik worden apart gerapporteerd. Er heeft op verzoek van de opdrachtgever geen extrapolatie plaatsgevonden voor de langere termijn.

Het doel van de berekeningen voor Vredepeel bestaat uit drie componenten. (1) In de eerste plaats wordt onderzocht of de modelberekeningen vergelijkbare resultaten opleveren als de metingen voor percelen waar intensief is gemeten. (2) Vervolgens wordt met behulp van de modelberekeningen uitspraken gedaan over percelen, waar niet of minder intensief gemeten is. (3) Tot slot wordt met behulp van de berekeningen geschat wat het effect van diverse teeltmaatregelen is op de diverse fluxen van de stikstofbalans.

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van de gebruikte modellen, het bodem-gewassysteem en de gebruikte invoergegevens. Vervolgens is in hoofdstuk 3 aangegeven in hoeverre de modelresultaten overeenkomen met de meetresultaten. Daarnaast is een overzicht gegeven van de verschillen in de stikstofbalans tussen de Synthese- en Analyse2-percelen. De effecten van de diverse maatregelen op de stikstofbalans staan in hoofdstuk 4. Daarna volgen de conclusies.



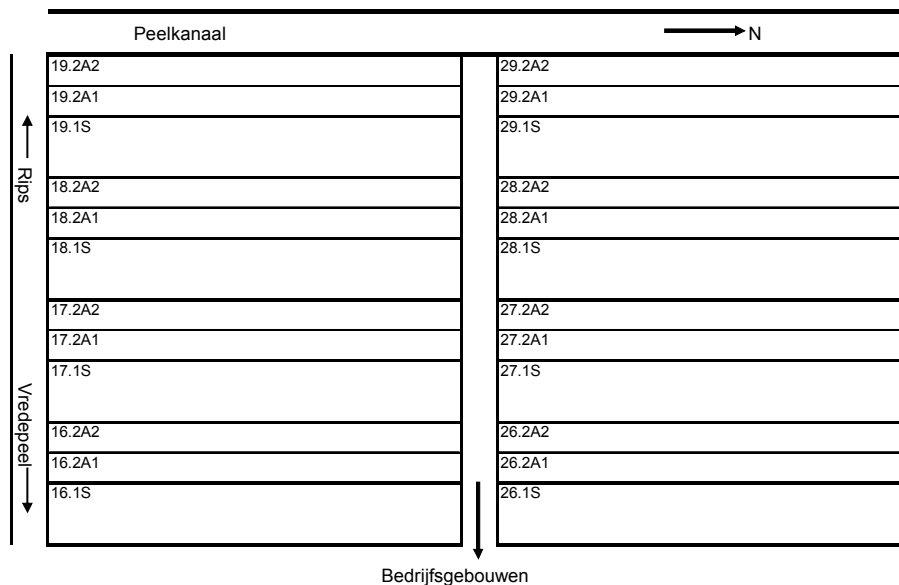
## 2. Materiaal & methoden

De simulatieberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van de gekoppelde modellen FUSSIM2 (Heinen & De Willigen, 1998, 2001) en MOTOR (Assinck & Rappoldt, 2004, *in voorbereiding*). Met deze modellen kan de water- en stikstofbalans van een bodemkolom berekend worden. Dit hoofdstuk beschrijft de hoofdzaken van het bodem-gewassysteem, de modellen en de gebruikte invoergegevens voor het berekenen van de stikstofluxen.

### 2.1 Vredepeel

Vredepeel is de PPO-AGV proefboerderij voor akkerbouwonderzoek in het zuidoostelijk zand-, rivierklei- en lössgebied en is een zogenaamd kernbedrijf in het ‘Telen met toekomst’-project. Het bedrijf ligt ten westen van het plaatsje Vredepeel tegen het Peelkanaal aan. De bodem wordt gekarakteriseerd als een veldpodzol (De Vos *et al*, 2002) en is goed ontwaterd (Infogids 2003).

De gewasrotatie op de betrokken onderzoekspercelen van Vredepeel is Triticale, waspeen, aardappel, suikerbiet, snijmaïs, conservenerwt & stamslaboon, aardappel en suikerbiet. Alle onderzoekspercelen zijn verdeeld in drie subplots; twee daarvan (Synthese en Analyse2) maken deel uit van dit modelonderzoek. Op het Synthese-deel van de percelen wordt getracht de milieudoelen te behalen tegen een zo laag mogelijke opbrengstderving. Op het Analyse2-deel van de percelen worden de meest stringente maatregelen genomen om de verliezen te beperken (Zwart & Smit, 2001). In Figuur 2.1 zijn de onderzoekspercelen weergegeven.



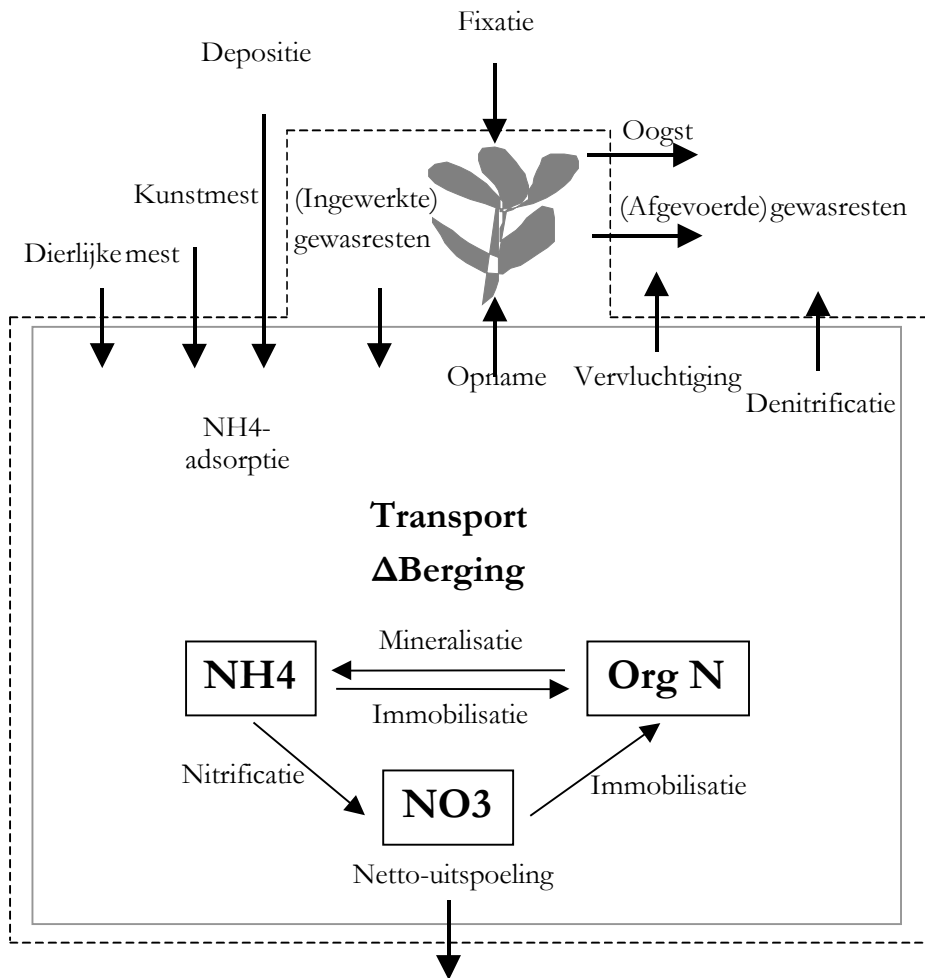
Figuur 2.1. Telen met toekomst percelen van proefboerderij Vredepeel.

### 2.2 Bodem-gewassysteem

In het bodem-gewassysteem komen processen voor die onderdeel uitmaken van de waterbalans en processen die onderdeel uitmaken van de stikstofbalans.

In dit modelonderzoek ligt de nadruk van het onderzoek op de stikstofbalans. Aangezien de waterbalans van invloed is op de stikstofbalans is wel gecontroleerd in hoeverre de berekende waterhuishouding overeenkomt met de gemeten waterhuishouding.

In Figuur 2.2 zijn de processen van de stikstofkringloop schematisch weergegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de bodembalans en de perceelsbalans. Stikstofstromen, die de getrokken lijnen kruisen, maken deel uit van de bodembalans. Stikstofstromen, die de gestreepte lijnen kruisen, horen bij de perceelsbalans.



*Figuur 2.2. Stikstofkringloop inclusief de in dit modelonderzoek beschouwde processen. Stikstofstromen, die de getrokken lijnen kruisen, horen bij de bodembalans. Stikstofstromen, die de gestreepte lijnen kruisen, horen bij de perceelsbalans.*

Met laterale in- of uitstroming, drainage, runoff en preferente stroming wordt in dit onderzoek geen rekening gehouden. Het is namelijk onbekend hoe groot deze posten zijn geweest; metingen ontbraken evenals de parameters die voor een eventuele berekening nodig waren geweest.

### 2.2.1 Grondwaterstroming- en stoftransportmodel FUSSIM2

FUSSIM2 is een 2-dimensionaal simulatiemodel, waarmee de waterbeweging, stoftransport en de opname van water en nutriënten door wortels in poreuze media gesimuleerd kan worden. Het model is

met regelmaat toegepast in de glastuinbouw (Heinen, 1997), akkerbouw (De Vos & Heinen, 1999; De Willigen *et al*, 2003) en het milieuonderzoek (Assinck *et al*, 2002).

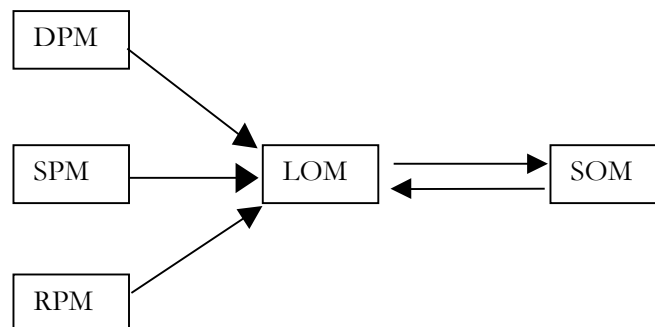
In FUSSIM2 wordt de algemene stromingsvergelijking voor water in poreuze media numeriek opgelost voor een gegeven begintoestand en gegeven randvoorwaarden. De beweging van water in poreuze media is daarbij sterk afhankelijk van de fysische eigenschappen van het medium. Met hysteresis wordt in FUSSIM2 (ook van belang in dit modelonderzoek) rekening gehouden. Het transport van opgeloste stoffen in poreuze media wordt beschreven met behulp van de convectie-dispersie/diffusie vergelijking. De vergelijkingen voor waterbeweging en stoftransport houden rekening met de opname van water en nutriënten door het wortelsysteem. Bovendien worden de processen zoals nitrificatie, denitrificatie en adsorptie berekend. Voor meer informatie over FUSSIM2 wordt verwezen naar Heinen & De Willigen (1998, 2001).

## 2.2.2 Organisch stofmodel MOTOR

MOTOR is een model, waarmee de omzetting van organische stof en minerale stikstof in de bodem beschreven kan worden (Assinck & Rappoldt, 2004, *in voorbereiding*). MOTOR is flexibel, omdat de gebruiker zelf kan kiezen welk modelconcept en welke bijbehorende parameters hij wil gebruiken. MOTOR is als module geïntegreerd in FUSSIM2, waardoor informatie over de omzetting van stikstof en de toestand in de bodem tussen de modellen uitgewisseld kan worden.

Het gebruikte modelconcept voor de organische stofdynamiek is ontleend aan Verberne *et al* (1995). Hierin zijn pools voor 'decomposable' (DPM), 'structural' (SPM) en 'resistant plant materiaal' (RPM) en een labiele (LOM) en stabiele organische stoffractie (SOM) te onderscheiden. Schematisch is dit modelconcept weergegeven in Figuur 2.3.

De parameters, die gebruikt zijn bij dit modelconcept staan in Tabel 2.1. Voor meer informatie over de betekenis van de parameters wordt verwezen naar Assinck & Rappoldt (2004, *in voorbereiding*).



Figuur 2.3. Schematische voorstelling van het modelconcept voor organische stofdynamiek. De weergegeven pools zijn 'decomposable' (DPM), 'structural' (SPM), 'resistant plant material' (RPM) en labiele (LOM) en stabiele organische stof (SOM). De pijlen geven aan welke productpools gevormd worden uit de diverse bronpools.

Tabel 2.1. MOTOR-parameters, waaronder de afbraaksnelheid  $K$ , het C/N-quotiënt en de efficiencyfactor  $E$ .

| Bronpool | Productpool | $K$ (d-1) | C/N (-) | $E$ (-) |
|----------|-------------|-----------|---------|---------|
| DPM      | LOM         | 4,07E-3   | 6       | 0,4     |
| SPM      | LOM         | 3,49E-4   | 150     | 0,3     |
| RPM      | LOM         | 5,80E-6   | 100     | 1,0     |
| LOM      | SOM         | 9,54E-5   | 15      | 0,25    |
| SOM      | LOM         | 4,95E-6   | 11,5    | 0,2     |

### 2.2.3 Afbakening en aannamen

In deze paragraaf worden de afbakening en de aannamen, die ten grondslag liggen aan de modelberekeningen, toegelicht.

- Binnen dit modelonderzoek wordt 1-dimensionaal gerekend. Er zijn onvoldoende invoergegevens beschikbaar om een goede 2-dimensionale analyse uit te voeren.
- Er wordt geen rekening gehouden met laterale in- of uitstroming van water en stoffen omdat hierover geen gegevens beschikbaar zijn.
- Fixatie van stikstof uit de lucht door vlinderbloemigen als proces wordt niet gemodelleerd in de gebruikte modellen. Toch wordt met fixatie wel degelijk rekening gehouden. Wanneer een gewas  $N_2$  kan fixeren dan wordt de vraag aan stikstof, die vanuit de bodem geleverd moet worden, verlaagd. Eventueel gefixeerde stikstof wordt als organisch gebonden stikstof aan de bodem toegevoegd op het moment dat de gewasresten worden ingewerkt. Fixatie ontbreekt als post in de bodembalansen, maar is wel onderdeel van de perceelsbalansen.
- Dierlijke mest bevat anorganische en organische stikstof. Bij elke gift van dierlijke mest verdwijnt een vast percentage van de anorganische stikstof als ammoniakvervluchtiging. Volgens Velthof *et al* (2000) is dit percentage 9% bij toediening van de dierlijke mest met een injecteur op bouwland.
- Stikstof in gewasresten is bij deze modelberekeningen volledig organisch. Met anorganische stikstof in de gewasresten wordt geen rekening gehouden. De gewasresten worden aan de bodem toegevoegd op het moment dat de gewasresten worden ingewerkt of ondergeploegd.
- Met grondbewerking wordt alleen rekening gehouden als het in combinatie is met het inwerken van gewasresten of dierlijke mest.
- Met stikstof in het poot- en zaaigoed wordt geen rekening gehouden. Die hoeveelheid is over het algemeen ook gering.
- Volgens de Infogids 2003 en A. Pronk (Plant Research International, *persoonlijke mededeling*) is de wortelingsdiepte 50 cm. Bij de modelberekeningen kan dan ook geen water en nutriënten opgenomen worden door de gewassen uit lagen onder deze 50 cm.
- De modellen houden geen rekening met opgelost organisch materiaal.



## 2.3 Modelinvoer

De periode in de modelberekeningen loopt van 1 maart 2001 tot en met 1 maart 2003. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het Synthese- en het Analyse2-deel van de percelen 16 tot met 19 en 26 tot en met 29 (zie Figuur 2.1). De periode is niet in één keer doorgerekend maar opgesplitst in twee afzonderlijke berekeningen van 1 jaar (maart – maart).

### 2.3.1 Weer

De weersgegevens zijn afkomstig van het KNMI-weerstation Eindhoven. Uit de globale straling, minimum en maximum luchttemperatuur wordt door het model een potentiële evapotranspiratie berekend volgens Makkink (Van Kraalingen & Stol, 1997). De verdeling van de potentiële evapotranspiratie over de bodemverdamping (evaporatie) en gewasverdamping (transpiratie) wordt berekend door het model en is afhankelijk van het groeistadium waarin het gewas zich bevindt.

De gebruikte neerslaggegevens zijn gemeten op Vredepeel zelf. In de periode 1 maart 2001 – 1 maart 2002 is 940 mm neerslag gevallen. In de periode 1 maart 2002 – 1 maart 2003 is 802 mm gevallen. Voor deze regio van het land zijn dit natte jaren, want de gemiddelde neerslag voor een ander KNMI-weerstation in de buurt (Volkel) is volgens Heijboer & Nellestijn (2002) in de normaalperiode 1971-2000 712 mm.

In de modelberekeningen wordt een beregeningsgift opgeteld bij de neerslag van de betreffende dag.

### 2.3.2 Bodem

De bodem van proefboerderij Vredepeel is door De Vos *et al* (2002) gekarakteriseerd als een veldpodzol met een bouwvoor van ongeveer 30 cm. Door De Vos *et al* (2002) zijn voor drie bodemlagen van twee percelen (18 en 28) in het laboratorium bodemfysische metingen uitgevoerd. Op basis van de meetresultaten zijn voor de drie bodemlagen van perceel 28 de Van Genuchten en Mualem parameters voor de waterretentie- & doorlatendheidskarakteristieken gefit. Het voert in het kader van dit rapport te ver om in meer detail in te gaan op de fitprocedure en de betekenis van de Van Genuchten en Mualem parameters. In Bijlage I zijn de fitresultaten voor de diverse lagen van perceel 28 weergegeven.

De profielbeschrijving van perceel 28 uit De Vos *et al* (2002) en de gefitte bodemfysische parameters uit Bijlage I worden geacht representatief te zijn voor alle onderzochte percelen op Vredepeel. In Bijlage I staat meer informatie over de verdeling van het bodemprofiel in bodemlagen en het aantal lagen dat voor de berekeningen is gebruikt (rekenlagen).

### 2.3.3 Randvoorwaarden en grondwaterstand

In dit onderzoek wordt gerekend met een 1-dimensionale bodemkolom van 2 meter dik. Er is aangenomen dat over de zijranden van de bodemkolom geen transport van water en nutriënten plaats kan vinden. Water kan zowel aan de boven- als onderrand in- of uitstromen. Nutriënten kunnen alleen aan de onderrand de bodemkolom verlaten, behalve bij emissie naar de atmosfeer. Er wordt rekening gehouden met een (geschatte) depositie vanuit de atmosfeer van 45 kg N/(ha · jaar) in de vorm van ammonium.

Dagelijks is op twee locaties per perceel de grondwaterstand gemeten. De drukhoogte aan de onderrand van het profiel is in de simulatie gelijk aan de gemiddelde gemeten grondwaterstand. Indien er grondwaterstandsgegevens ontbreken, wordt er tussen twee metingen geïnterpoleerd.

### 2.3.4 Initiële toestand

Initieel is het water in alle percelen in evenwicht met een grondwaterstand van 80 cm beneden maaiveld (cm-mv).

De verdeling van mineraal stikstof in de bodem aan het begin van de berekeningen is gebaseerd op meetgegevens uit de ‘Telen met toekomst’-database (Smit & Zwart, 2002). De gebruikte meetgegevens beperken zich tot de laag 0–30 cm-mv en 30–60 cm-mv. Aangenomen is dat zich initieel in de laag 60–100 cm-mv en 100–200 cm-mv nog eens respectievelijk 50% en 20% van de hoeveelheid mineraal stikstof uit de laag 30–60 cm-mv bevindt. Bovendien is aangenomen dat 80% van de initiële minerale stikstof bestaat uit nitraat en 20% uit ammonium.

Door Smit & Zwart (2003) zijn in het laboratorium potentiële mineralisatiemetingen uitgevoerd bij 20°C op veldvochtige monsters uit verschillende lagen van de braakveldjes van perceel 18.2A2 en 28.2A2. Op basis van deze metingen en gegeven de afbraaksnelheden en efficiënties uit Tabel 2.1 is met behulp van het organische stofmodel MOTOR de verdeling tussen LOM en SOM gekalibreerd. Er werd hierbij vanuit gegaan dat de gemeten mineralisatie volledig afkomstig was uit de bodemorganische stof in de monsters. Met de resultaten van de calibratie zijn vervolgens een aantal berekeningen uitgevoerd onder veldomstandigheden voor het jaar 2001. De berekende mineralisatie bij deze controleberekeningen werd als te hoog beoordeeld. In de betreffende controleberekeningen werd namelijk 4.7% van de aanwezige bodemorganische stof in de bouwvoor gemineraliseerd.

Besloten is om een verdeling tussen LOM en SOM te kiezen, waarbij 2% van de aanwezige bodemorganische stof in de bouwvoor in 2001 mineraliseert. De waarde 2% is afkomstig van Kortleven (1963), die zegt dat ongeveer 2% van de bodemorganische stof jaarlijks mineraliseert. In dit geval bestaat 39% van de bodemorganische stof uit LOM en 61% uit SOM. De bodemorganische stof in de laag 30–60 en 60–90 cm-mv zal beduidend minder actief zijn, aangezien hier geen grondbewerking plaatsvindt en ook geen verse organische stof toegediend wordt. Aangenomen is dat 2% van de bodemorganische stof in deze lagen bestaat uit LOM en de rest uit SOM.

De initieel gebruikte organische stofpercentages per laag zijn in 2001 gemeten op elk perceel. Aangenomen is dat deze organische stof niet bestaat uit gewasresten en resten van organisch mest maar alleen uit de pools LOM en SOM. De organische stof is volgens de hierboven beschreven verhouding verdeeld over LOM en SOM.

### 2.3.5 Gewasinformatie

Van elke hoofdteelt en groenbemester is de datum van zaaien, opkomst, bloei, gewassluiting en oogst geregistreerd door het personeel van de proefboerderij. Daarnaast is voor elke hoofdteelt en groenbemestingewas geanalyseerd hoeveel stikstof aanwezig is in het oogstproduct en de gewasresten.

Om de opname van water en stikstof door het gewas te kunnen modelleren met FUSSIM2-MOTOR zijn diverse invoergegevens nodig als functie van de tijd, namelijk het bladoppervlak  $LAI$ , de stikstofvraag van het gewas, de gewasfactor en de wortelengtedichtheidsverdeling  $LRV$  in de bodem.

Het verloop van de  $LAI$  en de stikstofvraag in de tijd voor de verschillende gewassen zijn door Plant Research International berekend met behulp van gewasmodellen (zie Pronk *et al*, 2003, *in voorbereiding*). Het verloop van deze berekende stikstofvraag in de tijd is vervolgens zodanig geschaald dat de totale stikstofvraag op het moment van oogsten gelijk is aan de gemeten hoeveelheid stikstof in het oogstproduct en de gewasresten. Het geschaalde verloop van de stikstofvraag en het verloop van de  $LAI$  in de tijd zijn invoer voor het FUSSIM2-MOTOR model.

Voor de groenbemester *Tagetes* (Afrikaantje) en de conservenerwt waren helaas geen geschikte gewasmodellen beschikbaar. Gegeven de gemeten hoeveelheid stikstof in de *Tagetes* en een aangenomen  $LAI$  bij oogst van 4 is een verloop van de  $LAI$  en de stikstofvraag geconstrueerd volgens een logistische functie (De Gee, 1995).

Voor conservenerwt is het  $LAI$  verloop in de tijd van Hough (1990) geschaald naar de op het perceel geregistreerde groeiperiode. Vervolgens is met behulp van een logistische functie een curve voor de stikstofvraag geconstrueerd met een vergelijkbare vorm als het  $LAI$  verloop. Conservenerwt behoort tot de familie van de vlinderbloemigen en is daardoor in staat om gasvormig stikstof vanuit de atmosfeer te binden. Deze fixatie is afhankelijk van de hoeveelheid stikstof, die beschikbaar is vanuit de bodem. Via een iteratieslag is met het model FUSSIM2-MOTOR eerst bepaald hoeveel stikstof ongeveer geleverd kan worden vanuit de bodem tijdens de groeiperiode. Vervolgens is uit het verschil tussen de gemeten hoeveelheid stikstof in oogstproduct en gewasresten en de uit de bodem te leveren hoeveelheid stikstof bepaald hoeveel stikstof gefixeerd moet zijn door de conservenerwt. Het verloop van de opgelegde stikstofvraag in de modelberekeningen (te leveren vanuit de bodem) is gecorrigeerd voor de berekende fixatie.

De stamslaboon behoort ook tot de familie van de vlinderbloemigen, maar had tijdens de modelberekeningen veel stikstof beschikbaar vanuit de bodem. Het is op basis van de modelberekeningen niet te verwachten dat de stamslaboon veel stikstof vanuit de atmosfeer heeft gefixeerd.

De gewasfactoren als functie van de tijd voor de verschillende gewassen zijn afkomstig uit Bosch & De Jonge (1989) en Hooghart & Lablans (1988).

Gegevens over de verdeling van wortels in de bodem en de tijd zijn schaars en daardoor afkomstig van diverse bronnen. Voor de granen, aardappel, snijmaïs en bladrammenas zijn in het Wageningen Rhizolab bepaalde  $LRV$ 's ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ ) als functie van de temperatuursom beschikbaar gesteld door Bert Smit & Ko Groenwold (Plant Research International, *persoonlijke mededeling*). Phillip Ehlert (Alterra) heeft wortelboorgegevens beschikbaar gesteld, waaruit een  $LRV$ -verloop voor conservenerwt en stamslaboon bepaald is. Voor waspeen zijn  $LRV$ -gegevens gebruikt van naaldenplanken. Met behulp van een rekenmodel, waarmee wortelgroei beschreven kan worden als diffusieproces (voor meer informatie over dit type wortelgroeimodel zie De Willigen *et al* (2002) zijn  $LRV$ -gegevens als functie van de diepte en de tijd bepaald voor suikerbiet. Aangenomen is dat de verdeling van *Tagetes*wortels in de bodem gelijk is aan die van bladrammenas.

### 2.3.6 Teelthandelingen

Tijdens de teelt van een gewas worden diverse handelingen uitgevoerd, waaronder bemesting en grondbewerkingen. Al deze handelingen zijn door het personeel van de proefboerderij geregistreerd en worden indien nodig verwerkt in de invoer.

Er worden op de percelen van Vredepeel verschillende vormen van bemesting toegepast, namelijk kunstmest, organische mest en gewasresten. Van elk van deze vormen van bemesting is de samenstelling bekend of geanalyseerd.

De samenstelling (met name de verdeling over ammonium en nitraat) van kunstmest (bijvoorbeeld KAS of Urean) ligt vast en is eenvoudig op te geven in FUSSIM2-MOTOR.

Op Vredepeel zijn verschillende organische mestsoorten gebruikt, waaronder runderdrijfmest (RDM) en mestvarkendrijfmest (MDM). De samenstelling van deze mestsoorten varieert in de tijd. Vandaar dat elk jaar de samenstelling geanalyseerd is. RDM en MDM bevatten deels organische stikstof en deels

anorganische stikstof. De anorganische stikstof is na correctie voor ammoniakvervluchtiging op dezelfde wijze opgegeven als kunstmest.

Het organische deel van de organische mest en de gewasresten zijn op identieke wijze verwerkt tot modelinvoer voor het model MOTOR. Uit de analyseresultaten is de verhouding organisch C en organisch N (C/N-verhouding) bepaald. De verdeling van organisch C over de organische stofpools DPM, SPM en RPM is gebaseerd op deze C/N-verhouding volgens Verberne *et al* (1995). Uit de verdeling van organisch C over de diverse pools en de C/N-verhouding van de diverse pools volgt een verdeling van de organische N.

Gewasresten en het organische deel van organische mest worden pas aan de bodem toegevoegd bij de eerste grondbewerking na oogsten of bemesten. Het type grondbewerking bepaald over welke diepte de mest of de gewasresten worden ingewerkt. Met grondbewerkingen wordt dus alleen rekening gehouden als voorafgaand aan de bewerking geoogst of bemest is.

Informatie over het poten/zaaien en oogsten komt tot uitdrukking in de gewasbestanden.

Met de andere teelthandelingen wordt in de berekeningen met FUSSIM2-MOTOR geen rekening gehouden.

## 2.4 Teeltmaatregelen

In de eerste plaats zijn alle onderzochte percelen van beide teeltsystemen doorgerekend voor de periode (maart 2001 – maart 2003) volgens de vastgelegde teeltregistraties.

Vervolgens is voor een aantal teeltmaatregelen berekend wat het effect is op de stikstofbalans en met name de uitspoeling. Een deel van de onderzochte maatregelen maakt al deel uit van de huidige bedrijfsvoering, met name in het Analyse2-teeltsysteem. De onderzochte teeltmaatregelen zijn:

- het gebruik van groenbemesters,
- het verwijderen van gewasresten,
- het inwerken van stro.

Groenbemesters maken al deel uit van het Analyse2-teeltsysteem. Aan de hand van modelberekeningen is onderzocht wat het effect is van de groenbemester op de stikstofbalans door de teelt van de groenbemester weg te laten. Het effect van groenbemesters is ook al deels te bepalen door Synthese- en Analyse2-percelen met elkaar te vergelijken, waarbij alleen het al dan niet gebruiken van een groenbemester verschillend is.

In de huidige bedrijfsvoering van de teeltsystemen worden gewasresten ingewerkt. Met behulp van berekeningen is onderzocht wat het effect is op de stikstofbalans, wanneer gewasresten niet worden ingewerkt, maar zouden worden afgevoerd van het perceel.

Het inwerken van stro na één van de aardappelteelten maakt deel uit van de bedrijfsvoering van het Analyse2-teeltsysteem. Onderzocht is wat de gevolgen zijn voor de stikstofbalans van het betreffende perceel wanneer de stro niet zou zijn ingewerkt.

## 3. Resultaten en discussie

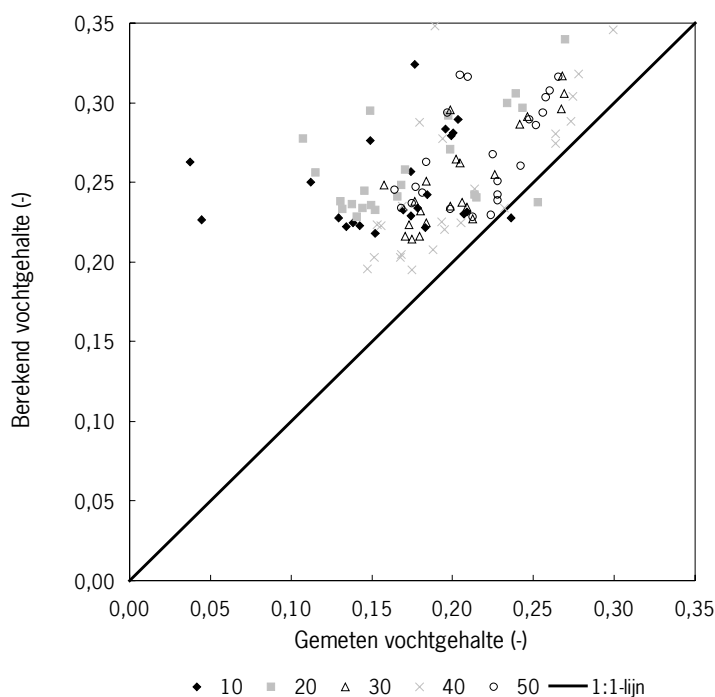
### 3.1 Modelresultaten versus meetresultaten

In deze paragraaf worden de modelresultaten en de meetresultaten met elkaar vergeleken. Voor deze vergelijking zijn een aantal variabelen beschikbaar, namelijk:

- de volumetrische watergehalten per 10 cm voor de laag 0–50 cm beneden maaiveld (cm-mv) en de drukhoogten op 30, 60 en 90 cm-mv,
- de gerealiseerde opname door het gewas,
- de hoeveelheid minerale stikstof ( $N_{\min}$ ) in de lagen 0–30, 30–60 en 60–90 cm-mv,
- de nitraat- en ammoniumconcentraties in de lagen 50–100 en 100–200 cm-mv.

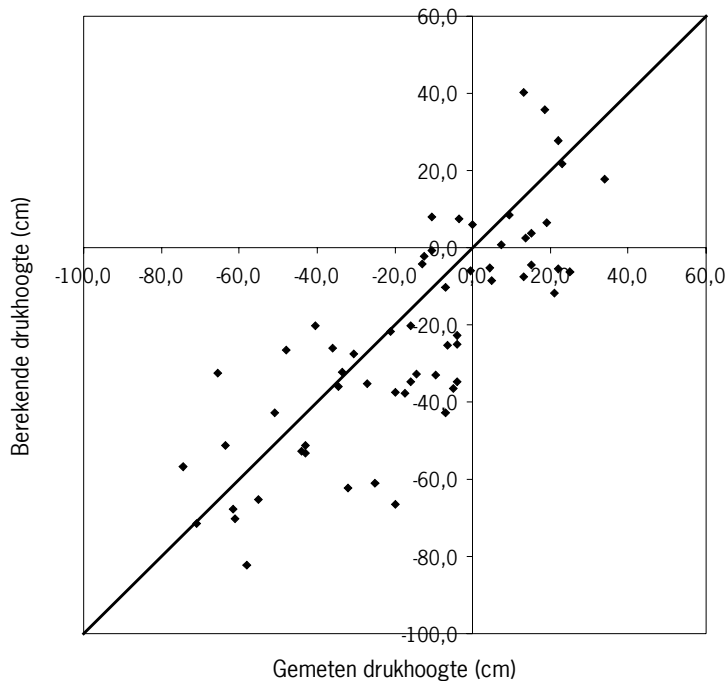
#### 3.1.1 Watergehalten en drukhoogten

Metingen en berekeningen betroffen in het algemeen niet dezelfde diepten. Ze kunnen dan alleen via grafieken of met behulp van interpolatie vergeleken worden. In Figuur 3.1 zijn de gemeten en de berekende vochtgehalten van de bovenste 50 cm voor perceel 28.2A2 tegen elkaar uitgezet. De metingen vonden plaats op elke 10 cm. Het hier getoonde beeld is vergelijkbaar voor de overige percelen. Dat wil zeggen: er bestaat een redelijke correlatie tussen berekeningen en metingen, maar de berekeningen overschatten het vochtgehalte (met 27% ten opzichte van de 1:1-lijn), vooral in de bovenste 10-20 cm. De overschatting werd deels veroorzaakt door vorst, wanneer te lage vochtgehalten werden gemeten met de gebruikte apparatuur.



Figuur 3.1. Verband tussen gemeten en berekende vochtgehalten (-) van perceel 28.2A2 op 10, 20, 30, 40 en 50 cm-mv en 28 tijdstippen. De correlatiecoëfficiënt  $R^2$  is 0,31, de richtingscoëfficiënt is 0,42 en de intercept is 0,17 (ongeacht de laag).

Figuur 3.2 geeft voor hetzelfde perceel een vergelijking van gemeten en berekende drukhoogten. Hier een goede correlatie ( $R^2 = 0.56$ ), terwijl bovendien nu de punten over het gehele traject om de lijn van gelijke waarden zijn gepositioneerd (richtingscoëfficiënt = 0.98).



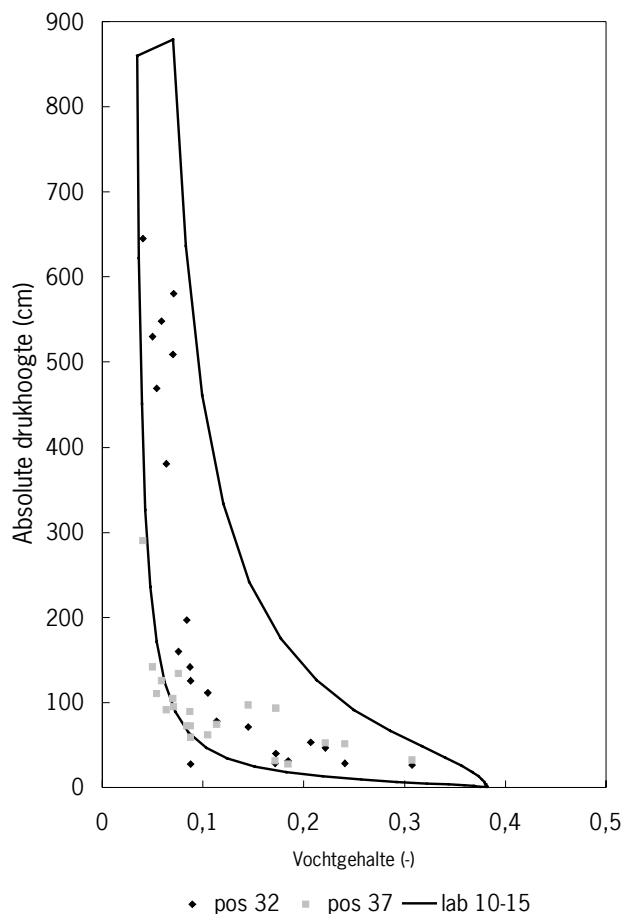
Figuur 3.2. Verband tussen gemeten en berekende drukhoogten (in cm) voor het profiel tot 90 cm diep. De getrokken lijn geeft de 1:1-lijn weer.

In laboratoriumbepalingen is vastgesteld dat de waterretentiecurve van de grond sterke hysteresis vertoont. Ook in het veld treedt overeenkomstige hysteresis op zoals is te zien uit Figuur 3.3, die het verband tussen drukhoogte en vochtgehalte toont (van 28.1S). De verkregen punten liggen op enkele uitzonderingen na op of binnen de in het laboratorium bepaalde hystereselus.

### 3.1.2 Gewasopname

Bij vergelijking van de streefwaarde voor de opname (oftewel de opgelegde stikstofvraag) met de door de modellen berekende opname blijkt dat bij de meeste modelberekeningen aan de streefwaarde kan worden voldaan. Bij de drie hierna vermelde situaties blijft de berekende stikstofopname duidelijk achter bij de gemeten stikstofopname.

Door de waspeen wordt op perceel 16.2A2 (in 2002) 20 kg N/ha te weinig opgenomen bij de modelberekeningen (namelijk 164 in plaats van 184 kg N/ha). De oorzaak is een combinatie van het gebruikte wortelstelsel en de beschikbare hoeveelheid stikstof. Op het moment dat er een opnametekort ontstaat, is er nog wel degelijk stikstof aanwezig in het profiel. Alleen bevindt deze zich voornamelijk onder de wortelzone. Daarbij komt dat het aangenomen wortelstelsel misschien minder goed ontwikkeld is in de diepte dan het werkelijke (maar niet-gemeten) wortelstelsel in het veld.



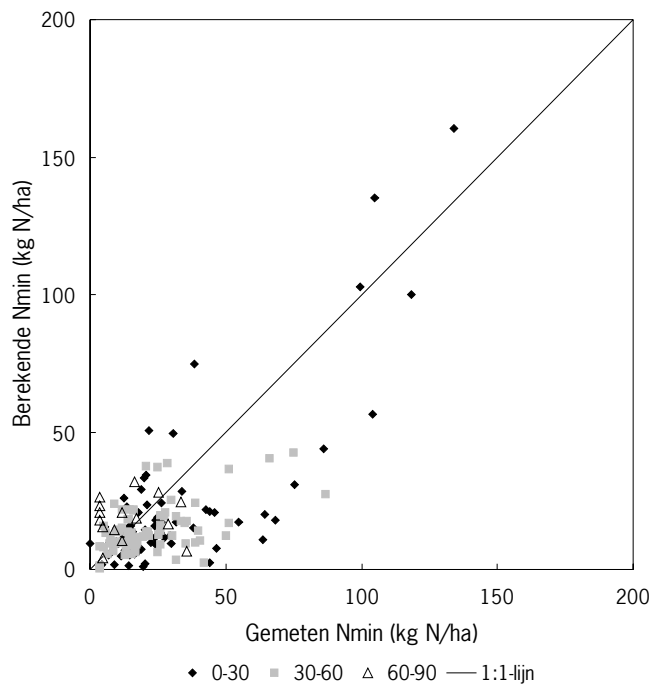
*Figuur 3.3. Het verband tussen vochtgehalte en drukhoogte zoals in het veld bepaald op twee posities (de punten) en de hystereselus zoals in het laboratorium bepaald.*

Op perceel 19.2A2 is volgens de berekeningen (in 2002) 83 kg N/ha opgenomen door bladrammenas (groenbemester na de aardappelteelt) in plaats van de 'gevraagde' 112 kg N/ha. De oorzaak is een tekort aan stikstof in de wortelzone tijdens een deel van de bladrammenas-teelt.

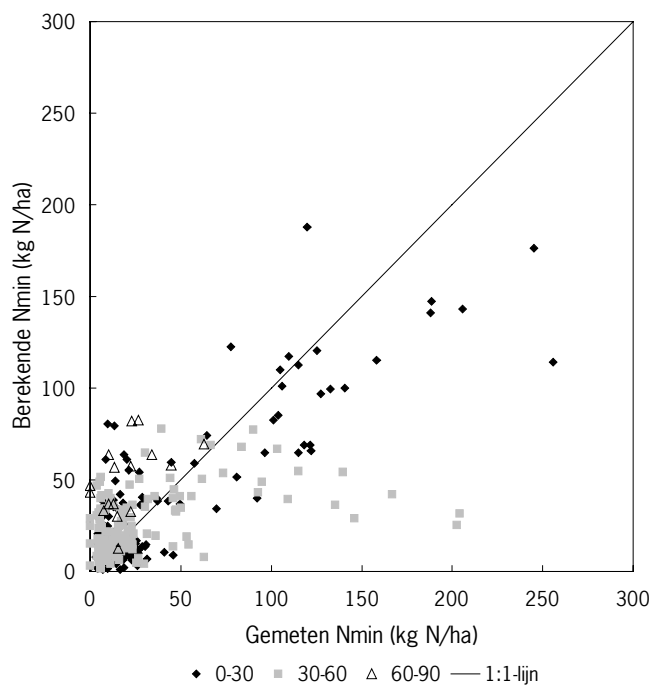
De groenbemester *Tagetes* op perceel 26.2A2 neemt in 2001 ongeveer 10 kg N/ha te weinig op (134 in plaats van 144). Ook hier is de oorzaak een tekort aan stikstof in de wortelzone tijdens een deel van de teelt.

### 3.1.3 Minerale stikstof

In Figuur 3.4 zijn alle in 2001 berekende  $N_{\min}$ -waarden uitgezet tegen de meetwaarden voor de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm-mv. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de percelen. In Figuur 3.5 staat hetzelfde maar dan voor het jaar 2002.



Figuur 3.4. Berekende  $N_{min}$ -waarden (kg N/ha) uitgezet tegen de meetwaarden voor alle percelen in 2001. Er is onderscheid gemaakt tussen de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm-mv. Ter verduidelijking is de 1:1-lijn weergegeven.



Figuur 3.5. Als Figuur 3.4, maar dan voor het jaar 2002.

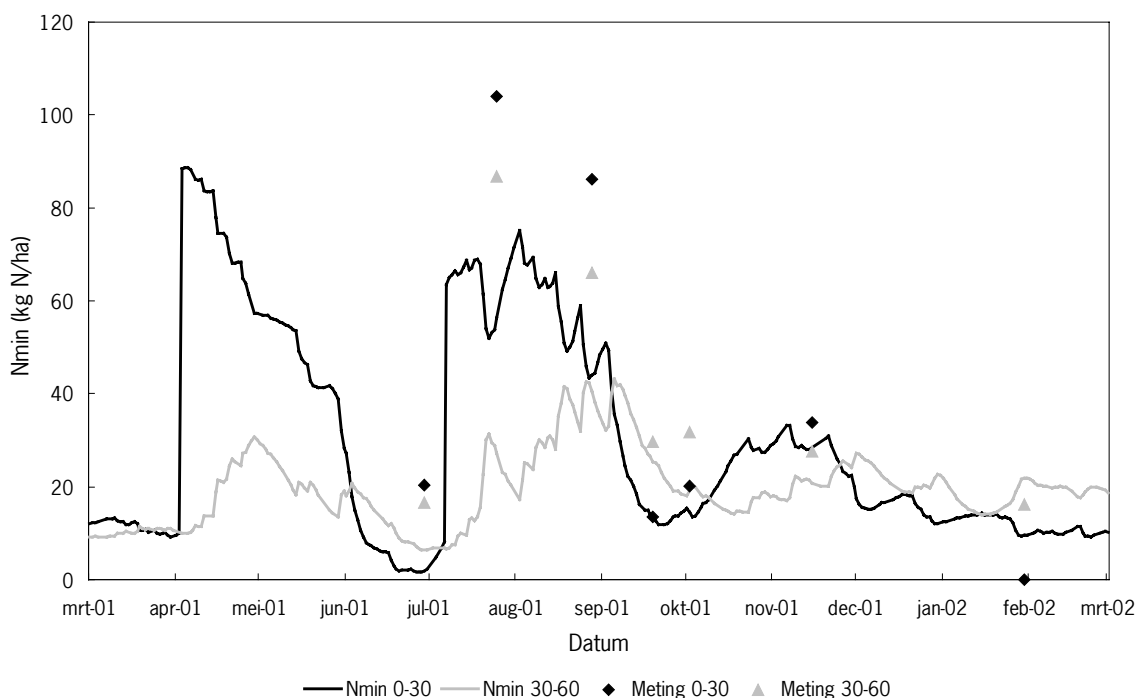


Uit Figuur 3.4 en met name 3.5 blijkt, dat bovenin het profiel de berekende waarden het best overeenkomen met de metingen. Dieper in het profiel nemen de relatieve verschillen tussen modelresultaten en meetresultaten toe. In de lagen 0-30 en 30-60 worden de gemeten waarden globaal gezien onderschat (berekend is lager dan gemeten). In de laag 60-90 worden de gemeten waarden (met name in 2002) overschat (berekend is groter dan gemeten).

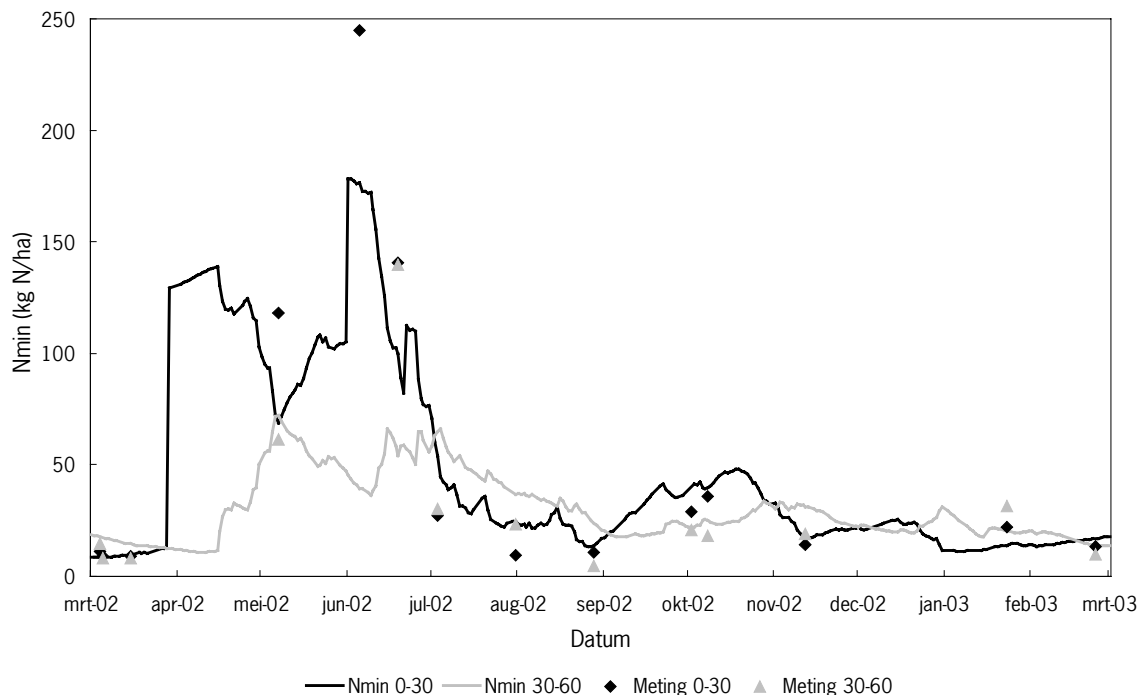
Lineaire regressie uitgevoerd op alle data uit Figuur 3.4 (ongeacht de laag) levert een correlatiecoëfficiënt ( $R^2$ ) op van 0,51. De correlatiecoëfficiënt, horende bij alle data uit Figuur 3.5, heeft een waarde van 0,38. Met andere woorden: in 2001 komen de berekende  $N_{\min}$ -waarden beter overeen met de metingen dan in 2002. Een mogelijke oorzaak hiervan is het feit dat de initiële toestand voor de berekening van 2001 gebaseerd is op meetwaarden, terwijl de initiële toestand voor de berekening van 2002 gelijk is aan de eindtoestand van de berekening van 2001. Afwijkingen tussen rekenresultaten en metingen, die ontstaan zijn tijdens de berekening van 2001, hebben dus invloed op de berekening van 2002.

De richtingscoëfficiënten van de regressielijn voor 2001 en 2002 zijn respectievelijk 0,70 en 0,66. Met andere woorden: in 2001 onderschat de berekening de gemeten  $N_{\min}$ -waarde met 30% en in 2002 met 34%.

Niet alleen de gemeten  $N_{\min}$ -waarden worden redelijk goed voorspeld door de modelberekeningen, ook de dynamiek in de tijd. Als voorbeeld hiervan zijn in Figuur 3.6 (2001) en 3.7 (2002) de gemeten en berekende  $N_{\min}$ -waarden van de lagen 0-30 en 30-60 cm-mv voor perceel 26.1S weergegeven. In 2001 is op het betreffende perceel conservenerwt en stamslaboon geteeld en in 2002 aardappelen.



*Figuur 3.6. Gemeten en berekende  $N_{\min}$ -waarden als functie van de tijd voor perceel 26.1S en het jaar 2001. De gepresenteerde lagen zijn 0-30 cm-mv en 30-60 cm-mv. Laag 60-90 cm-mv is niet weergegeven omdat er slechts 1 meting is uitgevoerd in deze laag in deze periode. De bijbehorende teelt is conservenerwt en stamslaboon.*



Figuur 3.7. Gemeten en berekende  $N_{min}$ -waarden als functie van de tijd voor perceel 26.1S en het jaar 2002. De gepresenteerde lagen zijn 0-30 cm-mv en 30-60 cm-mv. Laag 60-90 cm-mv is niet weergegeven omdat er slechts 1 meting is uitgevoerd in deze laag in deze periode. De bijbehorende teelt is aardappelen.

Soortgelijke figuren zijn ook gemaakt voor de overige percelen. In Bijlage II zijn de figuren opgenomen van de meer intensiever bemeten percelen (26.2A2, 28.1S en 28.2A2).

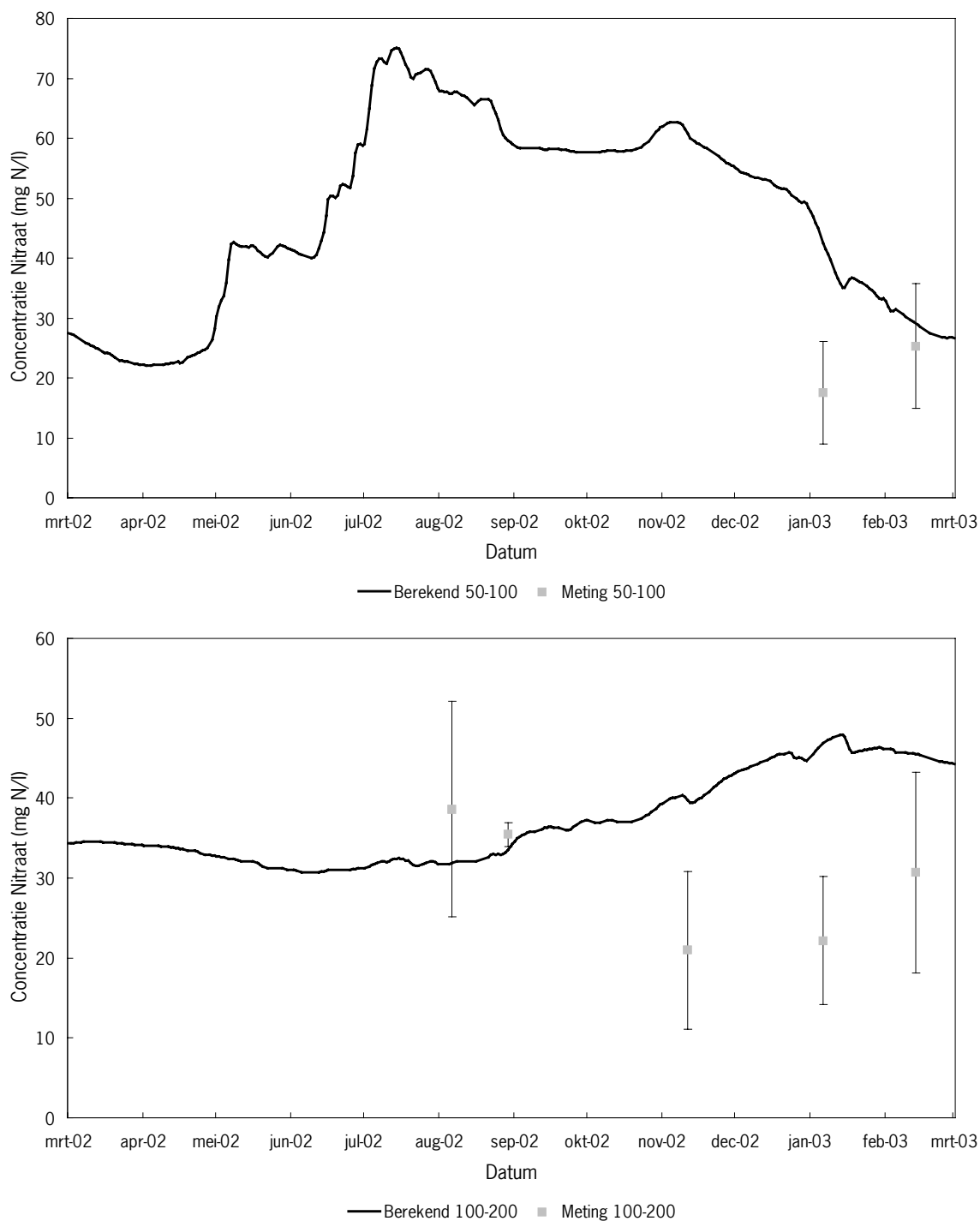
Bij het beoordelen van de diverse figuren en de overige resultaten moet rekening gehouden worden met het feit, dat naast onzekerheid in de modelresultaten ook  $N_{min}$ -metingen gepaard gaan met onzekerheid. Zoals blijkt uit de onderstaande voorbeelden worden soms onverklaarbaar hoge  $N_{min}$ -waarden gemeten.

Bij perceel 26.1S in het jaar 2001 wordt op 29 juni 37 kg N/ha in de laag 0-60 gemeten. Op 25 juli wordt in diezelfde laag 191 kg N/ha gemeten, oftewel een toename van 154 kg N/ha (in 26 dagen). In die periode wordt 54 kg N/ha kunstmest gegeven en worden erwt-gewasresten (146 kg N/ha) ingewerkt en ondergeploegd. Uit de erwtresten en de bodemorganische stof zou in de betreffende periode dus 100 kg N/ha vrij moeten komen, oftewel 4 kg N/(ha · dag). Volgens de modelresultaten komt er in de betreffende periode zo'n 24 kg N/ha vrij uit mineralisatie van gewasresten en bodemorganische stof samen. De depositie bedraagt ongeveer 3 kg N/ha. De opname in de betreffende periode is laag, ook ongeveer 3 kg N/ha. Volgens het model is dus  $54+24+3-3 = 78$  kg N/ha toename te verklaren in die periode. Het onverklaarde deel van de toename in de metingen is dus 76 kg N/ha. Met andere woorden: slechts de helft van de gemeten toename kan verklaard worden door de berekeningen.

Er zijn meer voorbeelden van deze onverklaarde veranderingen in de gemeten  $N_{min}$ -voorraad (zie perceel 28.2A2 15 maart - 10 april 2002: het onverklaarde deel van de toename is 97 kg N/ha). De boodschap is dan ook dat de  $N_{min}$ -metingen, net als de berekende  $N_{min}$ -waarden, met een kritisch oog bezien moeten worden.

### 3.1.4 Nitraat- en ammoniumconcentraties

In het veld zijn in verschillende lagen nitraat- en ammoniumconcentraties gemeten. De ammoniumconcentraties zijn over het algemeen zo laag, dat ze hier buiten beschouwing gelaten worden.



Figuur 3.8. Gemeten en berekende nitraatconcentraties in de lagen 50-100 cm-mv (bovenste figuur) en 100-200 cm-mv (onderste figuur) van perceel 26.1S en het jaar 2002. De balkjes rond de gemiddelde gemeten nitraatconcentraties geven de standaardafwijking weer. Let op: de waarden zijn in mg N/l en niet in mg  $\text{NO}_3/\text{l}$  weergegeven. De EU-nitraatnorm van 50 mg nitraat/l komt overeen met een hoeveelheid van 11,3 mg N/l.

Figuur 3.8 laat de berekende en gemeten nitraatconcentraties zien voor één van de meer intensiever bemeten percelen (26.1S in 2002). Er zijn percelen en jaren waarbij de overeenkomst tussen metingen en berekeningen slechter is, maar ook betere overeenkomsten komen voor. Over het algemeen zijn de berekende concentraties (net als in Figuur 3.8) hoger dan de gemeten concentraties. De orde van grootte van de metingen en de berekeningen komen echter wel met elkaar overeen. Het is moeilijk om te beoordelen of de berekende dynamiek in de tijd goed overeenkomt met de gemeten dynamiek in de tijd, omdat bij veel percelen relatief weinig metingen uitgevoerd zijn. Daarnaast is de spreiding tussen metingen, uitgevoerd op hetzelfde moment in hetzelfde perceel, vaak groot (zie ook Smit *et al*, 2004, *in voorbereiding*). Het feit dat de berekende concentraties over het algemeen hoger zijn dan de gemeten concentraties is consistent met de te hoog berekende  $N_{\min}$ -gehalten in de laag 60–90 cm-mv (zie Figuur 3.4 en 3.5).

Eén van de mogelijke verklaringen voor de te hoog berekende concentraties is de afwezigheid in de modelberekeningen van lateraal transport. Op basis van de hydrologische situatie in het veld is het te verwachten dat er sprake is van lateraal transport van water en stoffen van of naar het Peelkanaal. Onbekend is echter hoeveel dit transport geweest is tijdens de onderzochte periode. Vandaar dat besloten is om het laterale transport niet mee te nemen in de modelberekeningen.

Een andere mogelijke verklaring voor de te hoog berekende concentraties is de afwezigheid in de modelberekeningen van drains. Een deel van de onderzochte percelen is namelijk gedraineerd op ongeveer 1 m-mv. De drainafstand varieert per perceel en neemt in zijn algemeenheid af in de richting van het Peelkanaal. De aanwezigheid van drains in het veld kan tot gevolg hebben dat een deel van het water en de nutriënten het bodemprofiel via de drains verlaat voordat het in het diepere grondwater terecht kan komen. Dit zal lagere concentraties in het diepere grondwater tot gevolg hebben. Daarnaast is ook niet uit te sluiten dat relatief schoon water via de drains, die regelmatig onder water uitmonden, de bodem infiltreert en daarmee de concentraties verdund.

### 3.1.5 Conclusies

De variabelen, de waterhuishouding betreffende, worden redelijk (het vochtgehalte) tot goed (de drukhoogte) berekend.

De grond in Vredepeel vertoont sterke hysteresis in de waterretentie, wat zowel in het laboratorium en in het veld is aangetoond

De berekende stikstofopname door de gewassen komt overeen met de gemeten stikstofopname op enkele uitzonderingen na.

De berekende  $N_{\min}$ -waarden zijn in de lagen 0–30 en 30–60 cm-mv iets lager en in de laag 60–90 cm-mv iets hoger dan de gemeten  $N_{\min}$ -waarden. De gemeten dynamiek in de tijd wordt redelijk goed weergegeven.

De berekende en gemeten nitraatconcentraties in de diepere bodemlagen zijn qua orde grootte vergelijkbaar. De overeenkomst in de dynamiek in de tijd is lastiger vast te stellen omdat er relatief weinig metingen uitgevoerd zijn, die binnen het perceel een grote spreiding vertonen.

Hoewel de overeenkomst tussen modelresultaten en metingen niet perfect is, zijn de modelberekeningen betrouwbaar genoeg om de stikstoffluxen op zowel de intensief bemeten percelen als de overige percelen nader te analyseren.

## 3.2 Vergelijking tussen het Synthese en Analyse2-teeltsysteem

### 3.2.1 Overzicht van de verschillen

In deze paragraaf worden de Synthese- en Analyse2-resultaten met elkaar vergeleken aan de hand van twee verschillende balansen, namelijk de bodembalans en de perceelsbalans. De bodembalans en perceelsbalans hebben overeenkomsten, maar ook duidelijke verschillen.

In de bodembalans zijn alleen posten opgenomen, die anorganisch stikstof bevatten, terwijl de posten in de perceelsbalans deels anorganisch deels organisch van aard zijn. In de bodembalans zijn posten opgenomen, die leiden tot transport van stikstof over de grenzen van het bodemprofiel. Terwijl in de perceelsbalans posten zijn opgenomen, die leiden tot transport van stikstof over de perceelsgrenzen. In Figuur 2.2 is dit onderscheid aangegeven. Een perceel is dus te beschouwen als de bodem plus het gewas.

Netto-mineralisatie maakt wel deel uit van de bodembalans, omdat hierbij organisch stikstof omgezet wordt in anorganische stikstof, oftewel er wordt anorganische stikstof 'aangevoerd'. Netto-mineralisatie maakt echter geen deel uit van de perceelsbalans, omdat het namelijk niet leidt tot een verandering van de totale hoeveelheid stikstof (anorganisch plus organisch). Het gaat hier vanuit het perspectief van de perceelsbalans dus om een interne verandering.

Het gewas en de groenbemesters zijn op de bodembalans vertegenwoordigd door de post opname. Hiermee wordt de opname van stikstof door het gewas vanuit de bodem bedoeld. Deze post ontbreekt op de perceelsbalans, omdat het hier om een interne verandering gaat. De totale hoeveelheid in bodem en gewas samen verandert immers niet. Oogstproducten en gewasresten die afgevoerd worden van het perceel, komen echter wel op de perceelsbalans voor. Gewasresten, die ingewerkt worden in de bodem, komen op de bodembalans pas tot uitdrukking nadat ze gemineraliseerd zijn en komen op de perceelsbalans niet tot uitdrukking omdat de totale hoeveelheid stikstof (organisch plus anorganisch) niet verandert.

Fixatie van stikstof vanuit de atmosfeer door vlinderbloemigen is een proces dat plaatsvindt in de plant en dus wel deel uitmaakt van de perceelsbalans, maar niet van de bodembalans.

Op de bodembalans komt alleen het anorganische deel van de dierlijke mest voor. Het organische deel komt indirect op de balans voor nadat het gemineraliseerd is. Op de perceelsbalans is de gehele dierlijke mestgift als aanvoerpost opgenomen.

De som van alle aanvoerposten minus de som van alle afvoerposten is op de bodembalans gelijk aan de bergingsverandering van de hoeveelheid anorganisch N en op de perceelsbalans gelijk aan de bergingsverandering van de hoeveelheid anorganisch plus organisch N.

Tabel 3.1 geeft het teeltplan en de modelresultaten van de twee onderzochte teeltsystemen, te weten het Synthese- en Analyse2-systeem, in de vorm van een bodembalans. Daarnaast is ter informatie aangegeven hoeveel het organische deel van de dierlijke mest en de gewasresten geweest zijn en wat de nitraatconcentratie op 1 m-mv is (in mg NO<sub>3</sub>/l). Tabel 3.2 geeft de modelresultaten van de beide teeltsystemen in de vorm van een perceelsbalans.

In beide balansen zijn gemiddelde waarden gepresenteerd voor alle percelen horende bij een bepaald teeltsysteem en jaar. Alle modelresultaten zijn weergegeven in kg N/ha tenzij anders vermeld.

Voor de onderliggende informatie op perceelsniveau wordt verwezen naar Bijlage III. Hierin zijn de bodembalansen van alle onderzochte percelen en beide jaren weergegeven. Uit deze bodembalansen zijn Tabel 3.1 en 3.2 geconstrueerd.

Tabel 3.1. Teeltplan en de modelresultaten van het Synthese- en Analyse2-teeltsysteem in de vorm van een bodembalans. Ter informatie zijn ook het organische deel van de dierlijke mest, de gewasresten en de nitraatgehalte op 1 m-mv. aangegeven. Gepresenteerd zijn gemiddelde waarden voor alle percelen borende bij een bepaald teeltsysteem en jaar. De modelresultaten staan in kg N/ha met uitzondering van het nitraatgehalte (deze staat in mg NO<sub>3</sub>/l).

| Teeltplan  | Synthese 2001                                |   | Synthese 2002  |               | Analyse2 2001  |               | Analyse2 2002  |  |
|--|--|---|--|---------------|--|---------------|--|--|
|  | Perceel                                      | Groenbemester   | Hoofddeelt   | Groenbemester | Hoofddeelt   | Groenbemester | Hoofddeelt   | Groenbemester  |
|  | 16<br>17<br>18<br>19<br>26<br>27<br>28<br>29 | Triticale<br>Suikerbiet<br>Snijmais<br>Zomergerst<br>Erwt & Boon<br>Suikerbiet<br>Aardappel | Waspeen<br>Triticale<br>Erwt & Boon<br>Aardappel<br>Snijmais<br>Suikerbiet<br>Suikerbiet | Zomergerst    | Triticale<br>Suikerbiet<br>Snijmais<br>Zomergerst<br>Erwt<br>Suikerbiet<br>Aardappel | Zomergerst    | Waspeen<br>Zomergerst<br>Erwt<br>Aardappel<br>Snijmais<br>Suikerbiet<br>Suikerbiet | Zomergerst<br>Bladrammenas<br>Siro ingewerkt<br>Zomergerst<br>Zomergerst |
| <b>Gemiddelde MINERALE BODEMBALANS (kg N/ha)</b>     |  |   |  |               |  |               |  |  |
| <b>Aanvoer</b>                                       |  |   |  |               |  |               |  |  |
| Kunstmest  |  |   | 85   | 96            |  | 140           |  | 126  |
| Anorg. deel dierlijke mest                           |  |   | 57   | 79            |  | 0             |  | 0  |
| Depositie  |  |   | 45   | 45            |  | 45            |  | 45   |
| Mineralisatie  |  |   | 152  | 168           |  | 121           |  | 158  |
| <b>Totaal aanvoer</b>                                |  |   | <b>339</b>   | <b>388</b>    |  | <b>306</b>    |  | <b>329</b>   |
| <b>Afvoer</b>  |  |   |  |               |  |               |  |  |
| Vervluchtiging                                       |  |   | 5  | 7             |  | 0             |  | 0  |
| Opname   | 187  |   | 187  | 205           | 180  | 211           | 166  | 31   |
| Denitrificatie                                       |  |   | 4  | 5             |  | 3             |  | 4  |
| Uitspoeling  |  |   | 142  | 157           |  | 104           |  | 115  |
| <b>Totaal afvoer</b>                                 |  |   | <b>338</b>   | <b>374</b>    |  | <b>318</b>    |  | <b>316</b>   |
| <b>Bergingsverandering</b>                           |  |   | <b>1</b>   | <b>14</b>     |  | <b>-12</b>    |  | <b>13</b>  |
| <b>Extra informatie (kg N/ha)</b>                    |  |   |  |               |  |               |  |  |
| Org. deel dierlijke mest                             |  |   | 41   | 36            |  | 0             |  | 0  |
| Gewasresten  |  |   | 76   | 100           |  | 86            |  | 141  |
| Nitraatgehalte op 1 meter<br>(mg NO <sub>3</sub> /l) |  |   | 112  | 154           |  | 85            |  | 112  |

Tabel 3.2. Modelresultaten van het Synthese- en Analyse2-teeltsysteem in de vorm van een perceelsbalans. Gepresenteerd zijn gemiddelde waarden voor alle percelen behorende bij een bepaald teeltsysteem en jaar (in kg N/ha).

|  | Synthese<br>2001 | Synthese<br>2002 | Analyse2<br>2001 | Analyse2<br>2002 |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Gemiddelde PERCEELSBALANS (kg N/ha)</b>                     |                  |                  |                  |                  |
| <b><u>Aanvoer</u></b>  |                  |                  |                  |                  |
| Kunstmest  | 85               | 96               | 140              | 126              |
| Dierlijke mest   | 98               | 114              | 0                | 0                |
| Depositie  | 45               | 45               | 45               | 45               |
| Fixatie  | 11               | 23               | 18               | 35               |
| <b>Totaal aanvoer</b>  | <b>239</b>       | <b>278</b>       | <b>203</b>       | <b>206</b>       |
| <b><u>Afvoer</u></b>   |                  |                  |                  |                  |
| Vervluchtiging   | 5                | 7                | 0                | 0                |
| Denitrificatie   | 4                | 5                | 3                | 4                |
| Uitspoeling  | 142              | 157              | 104              | 115              |
| Oogstproducten   | 130              | 116              | 134              | 95               |
| Afgevoerde gewasresten   | 4                | 2                | 4                | 2                |
| <b>Totaal afvoer</b>   | <b>285</b>       | <b>287</b>       | <b>245</b>       | <b>216</b>       |
| <b><u>Bergingsverandering</u></b><br>(organisch + anorganisch) |                  |                  |                  |                  |
|  | <b>-46</b>       | <b>-9</b>        | <b>-42</b>       | <b>-10</b>       |

Opvallend verschil in het teeltplan van de Synthese- en Analyse2-percelen is de aanwezigheid van groenbemesters bij de Analyse2-percelen. Deze groenbemesters moeten zorgen voor een afname van de stikstofverliezen na de oogst van de hoofdteelt.

De bemesting op de Synthese-percelen kenmerkt zich door het gebruik van een combinatie van kunstmest, dierlijke mest en gewasresten. Op de Analyse2-percelen wordt geen dierlijke mest gebruikt en is alle aangevoerde organische stikstof afkomstig van gewasresten. De totale bemesting is op de Synthese-percelen het hoogst. De anorganische bemesting (kunstmest plus anorganische deel dierlijke mest) is vergelijkbaar groot in 2001. De organische bemesting (organische deel dierlijke mest plus ingewerkte gewasresten) is bij de Synthese-percelen 30 kg N/ha groter. In 2002 is juist de organische bemesting bijna even groot, maar de anorganische bemesting (na correctie voor vervluchtiging) bij de Synthese-percelen 40 kg N/ha hoger. In beide teeltsystemen is de totale bemesting (kunstmest, dierlijke mest en gewasresten) in 2002 groter dan in 2001.

De netto-mineralisatie is bij de Synthese-percelen het hoogst, al zijn de verschillen met het Analyse2-perceel in 2002 duidelijk kleiner dan in 2001.

De opgenomen hoeveelheid stikstof door de hoofdteelten is bij de Synthese-percelen gemiddeld groter dan bij de Analyse2-percelen. Een deel van het verschil tussen de beide teeltsystemen wordt veroorzaakt door stamslaboon. Deze is alleen geteeld op Synthese-percelen en draagt ongeveer 10 kg N/ha bij aan het gemiddelde. De groenbemesters, geteeld op Analyse2-percelen, nemen gemiddeld 31 kg N/ha op.

Hoewel op de Synthese-percelen twee vlinderbloemigen (erwt en boon) geteeld worden en op de Analyse2-percelen alleen erwt, is de gemiddelde fixatie bij de Analyse2-percelen groter. Dit komt doordat op de Analyse2-percelen minder stikstof in de bodem beschikbaar is voor opname, waardoor er meer gefixeerd wordt om aan de opname te voldoen.

De hoeveelheid stikstof in het afgevoerde product is in 2001 hoger bij Analyse2. De extra hoofdteelt bij de Synthese-percelen (boon) produceert relatief veel gewasresten (ca.  $\frac{2}{3}$ <sup>de</sup> van de totale opname) en

drukt daarmee de gemiddelde hoeveelheid afgevoerd product. In 2002 presteren de Synthese-percelen (ondanks de boon), net als bij de stikstofopname, beter.

Denitrificatie speelt op de percelen een marginale rol als verliespost. Belangrijker is de uitspoeling van nitraat. Deze is op de Synthese-percelen ongeveer 40 kg N/ha groter dan op de Analyse2-percelen. Dit beeld (Synthese > Analyse2) komt ook tot uitdrukking in de nitraatconcentraties op 1 m-mv. Gemiddeld genomen wordt er bij geen enkel teeltsysteem in geen enkel jaar de EU-nitraatnorm (Anoniem, 1991) van 50 mg NO<sub>3</sub>/l gehaald. De ‘Telen met toekomst’-streefwaarde voor kernbedrijven (Neeteson *et al*, 2001) van 25 mg NO<sub>3</sub>/l wordt dan uiteraard nergens gehaald. Smit *et al* (2004) heeft o.a. de kwaliteit van het grondwater op Vredepeel geanalyseerd en komt tot de conclusie dat de nitraatconcentratie in het grondwater onder het Analyse-deel gemiddeld onder de EU-norm komt. Dit lijkt in tegenspraak met de opmerking uit dit rapport dat gemiddeld niet aan de EU-norm wordt voldaan. In dit rapport is gekeken naar de nitraatconcentratie op 1 m-mv. Het grondwater, beschouwd door Smit *et al* (2004), bevindt zich echter meestal op dieptes > 1 m-mv, waar afvoer van stikstof via drainage of laterale stroming van belang geweest kan zijn. Het is echter niet uit te sluiten dat de concentraties, bepaald door Smit *et al* (2004), te laag en de in dit rapport gepresenteerde concentraties te hoog zijn.

Opvallend detail is dat de gemiddelde uitspoelingsvracht bij Analyse2-percelen in 2002 lager is dan bij Synthese-percelen in 2001, maar dat de gemiddelde nitraatconcentratie gelijk is. Dit moet betekenen dat bij de Analyse2-percelen er gemiddeld minder water wegzijgt. De modelresultaten bevestigen dit. Bij de metingen is de concentratie bij Synthese wel hoger dan bij Analyse2.

De bergingsverandering in de bodembalans is gemiddeld positief en klein ten opzichte van de grootte van de totale aanvoer of afvoer. De bergingsverandering in de perceelsbalans is negatief. Uit de verschillen in de bergingsverandering van de beide balansen blijkt dat gemiddeld de hoeveelheid organische stikstof in de bodem aan het afnemen is.

### 3.2.2 Verschillen tussen balansposten

In deze paragraaf worden enkele balansposten en afgeleiden daarvan nader onder de loep genomen. Voor de onderliggende gegevens zie Bijlage III.

#### **Mineralisatie**

De netto-mineralisatie is bij de Synthese-percelen gemiddeld hoger dan bij de Analyse2-percelen (160 respectievelijk 139 kg N/(ha · j)). Dit verschil wordt deels veroorzaakt door de gemiddeld iets hogere percentages organische stof in de bovengrond van de Synthese-percelen. Het andere deel wordt verklaard door de verschillen in samenstelling van de organische bemesting.

Op de Analyse2-percelen worden alleen gewasresten aangevoerd, op de Synthese-percelen naast gewasresten ook dierlijke mest. Dierlijke mest wordt aan het begin van het groeiseizoen ingewerkt en gewasresten juist verderop in het seizoen. Dit betekent dat de dierlijke mest eerder kan mineraliseren en bovendien profiteert van gunstige (oftewel hoge) temperaturen om te mineraliseren. Nog niet gemineraliseerde gewasresten zijn pas in het volgende (voor)jaar onderhevig aan gunstige temperaturen voor mineralisatie.

Op percelen, waar erwt is geteeld, is de mineralisatie hoog. De gewasresten van erwt bevatten relatief veel N en deze worden bovendien eind juni al ingewerkt wanneer de omstandigheden voor mineralisatie gunstig zijn.



In 2001 is op 3 percelen (16.1S, 19.1S en 19.2A2) geen organische stof aangevoerd. Bovendien zijn ook geen oude, niet-gemineralseerde gewasresten of dierlijke mest meegenomen in de modelberekening. De mineralisatie is dan ook in zijn geheel tot stand gekomen uit de bodemorganische stof. De gemiddelde mineralisatie in deze percelen was 99 kg N/(ha · j). Volgens een inschatting van Smit & Zwart (2003) op basis van laboratoriummetingen zou de mineralisatie (na temperatuurcorrectie) op Vredepeel 100 tot 200 kg N/(ha · j) bedragen. De door het model berekende gemiddelde mineralisatie is dus van dezelfde orde grootte.

### **Uitspoeling**

De laagst berekende hoeveelheid uitspoeling is 46 kg N/(ha · j). Deze is gerealiseerd op twee percelen, namelijk 18.2A2 en 26.2A2, in 2001. De bijbehorende gemiddelde nitraatconcentraties, respectievelijk 44 en 39 mg NO<sub>3</sub>/l, voldoen aan de EU-nitraatnorm (Anoniem, 1991), maar niet aan de 'Telen met toekomst'-streefwaarde voor kernbedrijven (Neeteson *et al*, 2001).

Alle overige percelen voldoen gemiddeld niet aan de EU-nitraatnorm. De hoogste gemiddelde nitraatconcentraties worden berekend op beide percelen 26 in 2002 (respectievelijk 190 mg NO<sub>3</sub>/l voor 26.1S en 187 mg NO<sub>3</sub>/l voor 26.2A2). Op beide percelen staan in 2002 aardappelen. In het voorafgaande jaar werd op 26.1S echter conservenerwt en stamslaboon geteeld en op 26.2A2 conservenerwt en Tagetes. Deze gewassen leveren over het algemeen veel gewasresten op.

Alle berekende nitraatconcentraties voor de Synthese- en Analyse2-percelen zijn weergegeven in Bijlage IV.

### **Opbouw van organische stof**

Het verschil tussen de aanvoer van organische stikstof via gewasresten en dierlijke mest en de omzetting van organisch stikstof in anorganische stikstof (mineralisatie) geeft een indicatie van de opbouw van organisch stikstof in de bodem. Een negatieve waarde betekent verlies van bodemorganische stikstof. Een positieve waarde betekent opbouw van bodemorganische stikstof. Door de korte periode waarover de berekeningen hebben plaatsgevonden en de traagheid waarmee het organische stofgehalte verandert, moeten de uitkomsten met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Uit de balansen in Bijlage III blijkt dat er in de meeste percelen een gering verlies van bodemorganische stikstof optreedt omdat de aanvoer kleiner is dan de mineralisatie. In een kwart van de gevallen is de aanvoer van organische stikstof groter dan de mineralisatie. Op deze percelen zijn erwtrresten, suikerbietresten of een mislukte waspeenteelt ingewerkt.

Gemiddeld genomen wordt er 34 kg N/ha te weinig organische stof aangevoerd bij de Synthese-percelen en 26 kg N/ha te weinig bij de Analyse2-percelen om de mineralisatie te compenseren.

### **Bodembelasting**

Bodembelasting is hier gedefinieerd als de som van alle aanvoer van stikstof (via kunstmest, dierlijke mest minus ammoniakvervluchtiging, gewasresten en depositie) minus de afvoer via de 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, wat betekent dat er in potentie meer stikstof beschikbaar is voor denitrificatie, uitspoeling en ophoping. In een situatie waarin de ophoping niet veel verandert, geeft de bodembelasting dus een indicatie voor verliezen via denitrificatie en uitspoeling, die vroeger of later op zullen treden.

Gemiddeld is de bodembelasting op de Synthese-percelen 127 kg N/(ha · j) en op de Analyse2-percelen 87 kg N/(ha · j). Het verschil tussen beide teeltsystemen komt (nagenoeg) overeen met het verschil in de uitspoeling tussen beide systemen.

Op de Analyse2-percelen met maïs is de bodembelasting het laagst. Er is zelfs sprake van een negatieve bodembelasting. De percelen met de hoogste bodembelasting zijn de Analyse2-percelen waarop (in het betreffende of voorafgaande jaar) erwt en een groenbemester zijn geteeld.

### Stikstof-efficiëntie

Stikstof-efficiëntie is op diverse manieren te definiëren. Hier is gekozen voor twee varianten, namelijk de ‘aanvoer’- en de ‘beschikbaar’-variant. In beide varianten staat de hoeveelheid afgevoerd stikstof in het oogstproduct in de teller. Vanuit plantfysiologisch oogpunt zou de totale opgenomen hoeveelheid stikstof interessanter zijn, maar hier wordt de stikstof-efficiëntie vooral gebruikt als milieu-indicator. Gewassen met een lage efficiëntie laten relatief veel N in de bodem achter, die daarna kan uitspoelen. In de noemer staan respectievelijk de totale stikstofaanvoer en de totale beschikbare hoeveelheid minerale stikstof. In formulevorm zijn de ‘aanvoer’- (vergelijking 1) en ‘beschikbaar’-variant (vergelijking 2) er als volgt uit:

$$Neff_{Aanvoer} = \frac{Prod}{(Dep + Kunst + Dierlijke)}, \quad (1)$$

$$Neff_{Beschikbaar} = \frac{Prod}{(Dep + Kunst + Anorg\_dierlijke + Min + \Delta N_{min})}, \quad (2)$$

waarin:

|                      |  |
|----------------------|--|
| $Neff_{Aanvoer}$     | = de stikstofefficiëntie volgens de ‘aanvoer’-variant (-),   |
| $Neff_{Beschikbaar}$ | = de stikstofefficiëntie volgens de ‘beschikbaar’-variant (-),   |
| $Prod$               | = de afgevoerde hoeveelheid N in de oogstproducten (kg N/ha),  |
| $Dep$                | = de N-aanvoer via depositie (kg N/ha),  |
| $Kunst$              | = de N-aanvoer via kunstmest (kg N/ha),  |
| $Dierlijke$          | = de N-aanvoer via dierlijke mest gecorrigeerd voor de ammoniak-vervluchtiging (kg N/ha),                |
| $Anorg\_dierlijke$   | = de anorganische N aangevoerd via dierlijke mest gecorrigeerd voor de ammoniakvervluchtiging (kg N/ha), |
| $Min$                | = de netto-mineralisatie (kg N/ha),  |
| $\Delta N_{min}$     | = de bergingsverandering van de hoeveelheid anorganisch N (kg N/ha).                                     |

De stikstof-efficiënties zijn berekend over de periode maart – maart. Aangenomen wordt dat de bergingsverandering van de hoeveelheid anorganische stikstof in het bodemprofiel over deze periode nul is. Meenemen van fixatie in de noemer resulteert bij de vlinderbloemigen en dus ook bij de gemiddelden in een lagere stikstof-efficiëntie.

De stikstof-efficiëntie is een indicatie voor de hoeveelheid te verwachten verliezen. Efficiëntere gewassen nemen meer op en zullen dus leiden tot minder verliezen.

In Tabel 3.3 zijn van de beide varianten de gemiddelde, minimum en maximum waarden weergegeven voor de beide teeltsystemen.

Tabel 3.3. Gemiddelde, minimum en maximum stikstof-efficiënties voor beide teeltsystemen.

| Teeltsysteem |            | $N_{eff\_Aanvoer} (-)$ | $N_{eff\_Beschikbaar} (-)$ |
|--------------|------------|------------------------|----------------------------|
| Synthese     | Gemiddelde | 0.53                   | 0.35                       |
|              | Minimum    | 0.27                   | 0.12                       |
|              | Maximum    | 0.85                   | 0.63                       |
| Analyse2     | Gemiddelde | 0.63                   | 0.36                       |
|              | Minimum    | 0.17                   | 0.04                       |
|              | Maximum    | 1.19                   | 0.73                       |

Gemiddeld is de stikstof-efficiëntie van alle Synthese-percelen lager dan van alle Analyse2-percelen. De hoofdgewassen op de Analyse2-percelen benutten de stikstof op basis van deze definities dus beter. Van de totale hoeveelheid beschikbare minerale stikstof wordt ca. 1/3<sup>de</sup> deel met oogstproducten afgevoerd. De rest kan verloren gaan.

Het verschil tussen de hoogste en laagste stikstof-efficiënties is bij de Analyse2- percelen ook het hoogst. Het minst efficiënt zijn de percelen waar erwt is geteeld. Bij erwt wordt namelijk relatief weinig product afgevoerd. Bij de Synthese-percelen gaat Triticale het meest efficiënt om met de aangevoerde stikstof en snijmaïs bij Analyse2-percelen. Wanneer gekeken wordt naar de beschikbare hoeveelheid stikstof, dan is snijmaïs in beide teeltsystemen meest efficiënt.

### 3.3 Vergelijking tussen de Synthese- en Analyse2-percelen

In Bijlage V zijn de opname en uitspoeling van de Synthese- en Analyse2-percelen weergegeven als functie van de tijd. Tevens zijn de belangrijkste teelthandelingen en het neerslagoverschot aangegeven.

De figuren illustreren wanneer er een verschil ontstaat in de nitraatuitspoeling. Veelal ontstaan de verschillen op het moment dat er verschillen in opname ontstaan, bijvoorbeeld door het gebruik van een groenbemester, en wanneer er een positief neerslagoverschot is. Andere factoren zoals verschillen in bemesting en verschillen in de hoeveelheid stikstof in het profiel, ontstaan in het verleden, spelen ook een rol.

Uit de figuren blijkt ook dat de uitspoeling op gaat treden op het moment dat er sprake is van een neerslagoverschot. Het neerslagoverschot (berekend vanaf de start van de berekeningen) begint in 2001 al halverwege september. In 2002 treedt het neerslagoverschot later op, zo rond november.

De informatie en figuren uit Bijlage V zijn ter aanvulling. Ze zullen in dit rapport niet nader toegelicht worden.



## 4. Effecten van maatregelen

In dit hoofdstuk worden de effecten op de stikstofbalans gepresenteerd van verschillende teelmaatregelen, namelijk:

- het gebruik van groenbemesters,
- het verwijderen van gewasresten,
- het inwerken van stro.

De teelmaatregelen zijn erop gericht om de hoeveelheid uitspoeling te verlagen zonder de productie (te veel) negatief te beïnvloeden.

### 4.1 Effect van het gebruik van groenbemesters

In de bedrijfsvoering van de Analyse2-percelen komen drie groenbemesters voor, namelijk zomergerst, bladrammenas en Tagetes.

De gedachte achter het gebruik van een groenbemester na het hoofdgewas is dat de groenbemester, door opname van stikstof, uitspoeling tijdens de herfst en winter helpt voorkomen. In het voorjaar komt de opgenomen hoeveelheid stikstof vervolgens (langzaam) beschikbaar voor het volggewas na inwerken van de groenbemester in de bodem en mineralisatie. Om de totale uitspoeling daadwerkelijk te verlagen, is het essentieel dat de bemesting in het voorjaar ook verlaagd wordt afhankelijk van de hoeveelheid stikstof, die beschikbaar komt via mineralisatie uit de groenbemesterresten.

Van de teelten in 2002 kan beoordeeld worden wat het effect is geweest op de stikstofbalans tijdens de groeiperiode. Helaas kan voor de huidige berekeningsperiode niet beoordeeld worden wat de effecten zijn op de stikstofbalans na inwerken van de groenbemesters in de bodem. Deze effecten zullen over het algemeen pas in 2003 zichtbaar worden. Bij de teelten in 2001 kan met deze laatste effecten wel rekening gehouden worden.

Uit onderzoek van Dijkstra *et al* (1995) is gebleken dat het gebruik van groenbemesters een goede maatregel is om de nitraat-uitspoeling tegen te gaan. Vooral in het jaar waarin de groenbemesters geteeld worden, neemt de uitspoeling af. Een deel van die afname wordt echter teniet gedaan in de opvolgende jaren, wanneer door mineralisatie van de ingewerkte groenbemester extra stikstof beschikbaar komt onder andere voor uitspoeling.

Om in een bepaald jaar de uitspoeling zo goed mogelijk te verminderen, moet de groenbemester zo lang mogelijk kunnen groeien. Daarnaast is het wenselijk om te kiezen voor een groenbemester die snel groeit en veel stikstof opneemt. Bovendien moet in het daaropvolgende jaar de bemesting aangepast zijn aan de hoeveelheid, die vrijkomt door mineralisatie uit de gewasresten.

In Tabel 4.1 zijn de effecten van het gebruik van de verschillende groenbemesters samengevat. In de tabel zijn alleen de groenbemesters verwerkt, die in 2001 geteeld zijn.

Tabel 4.1. *Berekende stikstofopname door de groenbemesters in 2001 en de effecten in 2002 van het gebruik van de verschillende groenbemesters op de mineralisatie, nitraatuitspoeling (in kg N/ha) en (gemiddelde) nitraatconcentratie (in mg NO<sub>3</sub>/l). Een positieve waarde betekent een toename, een negatieve waarde betekent een afname van de betreffende variabele. De gepresenteerde waarden zijn gemiddelden van de betreffende groenbemesters.*

| Groenbemester | Opname door groenbemester | Mineralisatieverandering | Uitspoelingsverandering | Verandering in de Nitraatconcentratie |
|---------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Zomergerst    | 37                        | 26                       | -23                     | -11                                   |
| Bladrammenas  | 37                        | 25                       | -17                     | -15                                   |
| Tagetes       | 134                       | 92                       | -59                     | -37                                   |
| Gemiddelde    | 62                        | 42                       | -30                     | -18                                   |

De effecten van het gebruik van groenbemesters op de denitrificatie zijn volgens de modelberekeningen marginaal.

De hoeveelheid stikstof, die opgenomen wordt door de groenbemester, wordt uiteindelijk in organische vorm ook weer ingewerkt. Uit het verschil tussen de ingewerkte hoeveelheid stikstof en de mineralisatieverandering blijkt dat de toevoer groter is dan de extra mineralisatie en dat er dus sprake is van opbouw van het organisch stofgehalte in de bodem in grofweg het jaar na inwerken.

Alle door de groenbemester opgenomen stikstof wordt uiteindelijk ook weer ingewerkt. In het ideale geval wordt alle stikstof, die vrijkomt uit de mineralisatie van de groenbemesterresten opgenomen door het volgende hoofdgewas. Wanneer de bemesting hier maximaal op aangepast is, zou de uitspoelingsverlaging in het ideale geval dus gelijk moeten zijn aan de door de groenbemester opgenomen hoeveelheid stikstof. Uit het feit dat de uitspoelingsverlaging kleiner is dan de stikstofopname door de groenbemester, kan geconcludeerd worden dat de bemesting nog iets meer gereduceerd kan worden dan al gedaan is.

## 4.2 Verwijderen van gewasresten

In de huidige bedrijfsvoering van de beide teeltsystemen worden gewasresten ingewerkt in de bodem. Onderzocht is wat het effect op de stikstofbalans zou zijn, wanneer gewasresten van hoofdteelten en/of groenbemesters aan het einde van de oogst verwijderd worden. Met het verwijderen van de gewasresten zal de organische stofaanvoer naar de bodem afnemen. Hierdoor neemt de mineralisatie af en zal er minder stikstof beschikbaar zijn voor stikstof-consumerende processen zoals opname en uitspoeling. Bovendien zal het organische stofgehalte in de bodem dalen.

Effecten van het verwijderen van gewasresten treden pas op na de groeiperiode. Bij gewasresten, die verwijderd zijn in de loop van 2002, zullen op 1 maart 2003 nog niet veel effecten zichtbaar zijn. Tussen het moment van inwerken of verwijderen van de gewasresten en 1 maart 2003 is er van de ingewerkte gewasresten als gevolg van de lage temperaturen nog weinig gemineraliseerd en dus weinig beschikbaar gekomen voor onder andere uitspoeling. De effecten van het wel of niet verwijderen van gewasresten zullen in deze periode dan ook gering zijn. De in paragraaf 4.2.1 gepresenteerde resultaten zullen in principe alleen gebaseerd zijn op gewasresten, die uiterlijk in maart 2002 verwijderd zijn. De effecten van het verwijderen van de gewasresten kunnen dan bijna één jaar lang gemonitord worden.

#### 4.2.1 Effect van de afzonderlijke gewassen

Het effect van het verwijderen van de gewasresten van de granen en snijmaïs is niet geëvalueerd. Er is van uitgegaan, dat deze effecten relatief klein zijn omdat de hoeveelheid stikstof in de gewasresten over het algemeen niet zo groot is.

Het effect van het verwijderen van gewasresten op denitrificatie is buiten beschouwing gelaten omdat denitrificatie een marginale post is op de stikstofbalansen van de percelen.

In Tabel 4.2 is voor de hoofdteelten en groenbemesters aangegeven wat het gemiddelde effect is van het verwijderen van de gewasresten. Het gemiddelde effect is bovendien ook aangegeven voor de combinatie erwten & boon en voor de combinatie erwten & Tagetes. In de tabel is aangegeven wat het effect is op de mineralisatie en de uitspoelingsvrucht. Tevens is aangegeven op hoeveel situaties (sets) het betreffende gemiddelde is gebaseerd.

*Tabel 4.2. Gemiddelde effect van het verwijderen van gewasresten op de mineralisatie (kg N/ha) en de uitspoeling (kg N/ha). Negatieve waarden betekenen een afname van de betreffende variabele, positieve waarden een toename. Tevens is aangegeven hoeveel stikstof er gemiddeld in de gewasresten zit (kg N/ha) en op hoeveel situaties (sets) het betreffende gemiddelde gebaseerd is. De tabel is gesorteerd op basis van de hoeveelheid N, die aanwezig is in de afgevoerde gewasrest.*

| Hoofdgewas / groenbemester | N in gewasrest | Mineralisatieverandering (kg N/ha) | Uitspoelingsverandering (kg N/ha) | Aantal sets |
|----------------------------|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Conservenerwt              | 169            | -118                               | -74                               | 2           |
| Tagetes                    | 145            | -92                                | -73                               | 1           |
| Suikerbiet                 | 81             | -54                                | -39                               | 4           |
| Stamslaboon                | 42             | -28                                | -22                               | 1           |
| Aardappel                  | 40             | -27                                | -23                               | 4           |
| Bladrammenas               | 38             | -25                                | -18                               | 1           |
| Gewas-combinatie           | N in gewasrest | Mineralisatieverandering           | Uitspoelingsverandering           | Aantal sets |
| Erwt & Tagetes             | 336            | -226                               | -127                              | 1           |
| Erwt & Boon                | 188            | -130                               | -116                              | 1           |

Verschillen in het moment van inwerken en het aantal beschikbare sets bemoeilijken de vergelijking tussen de gewassen. Met name de verandering in de nitraatconcentraties is, door de manier waarop de concentratie moet worden berekend, moeilijk te bepalen en te vergelijken. Vergelijken van de veranderingen in de uitspoeling is eenvoudiger en duidelijker.

De verlaging van de mineralisatie als gevolg van het verwijderen van de gewasresten is lager dan de hoeveelheid stikstof, die aanwezig was in de gewasresten. Hieruit blijkt dat nog niet alle ingewerkte gewasresten gemineraliseerd waren.

Het feit dat de reductie in de uitspoeling als gevolg van het verwijderen van de gewasresten lager is dan de reductie in de mineralisatie betekent dat de totale hoeveelheid anorganisch stikstof in het bodemprofiel aan het afnemen is.

Op perceel 26.2A2 is in 2001 conservenerwt en Tagetes geteeld. Op het moment dat de gewasresten van erwt of van erwt & Tagetes verwijderd worden, ontstaat er een flink tekort aan beschikbare stikstof voor de volggewassen.

Uit Tabel 4.2 blijkt dat het verwijderen van conservenerwt de grootste reductie oplevert in de nitraatuitspoeling. De kleinste reductie levert bladrammenas op. Hierbij wordt aangetekend dat de opname door bladrammenas in 2001 nogal laag is, gezien de gerealiseerde opnamen in 2002 van rond de 100 kg N/ha.

Wanneer naast de erwtresten ook nog de resten van het daaropvolgende gewas (boon of Tagetes) worden verwijderd, dan is de reductie van de nitraatuitspoeling nog veel groter.

#### 4.2.2 Verwijderen van alle gewasresten

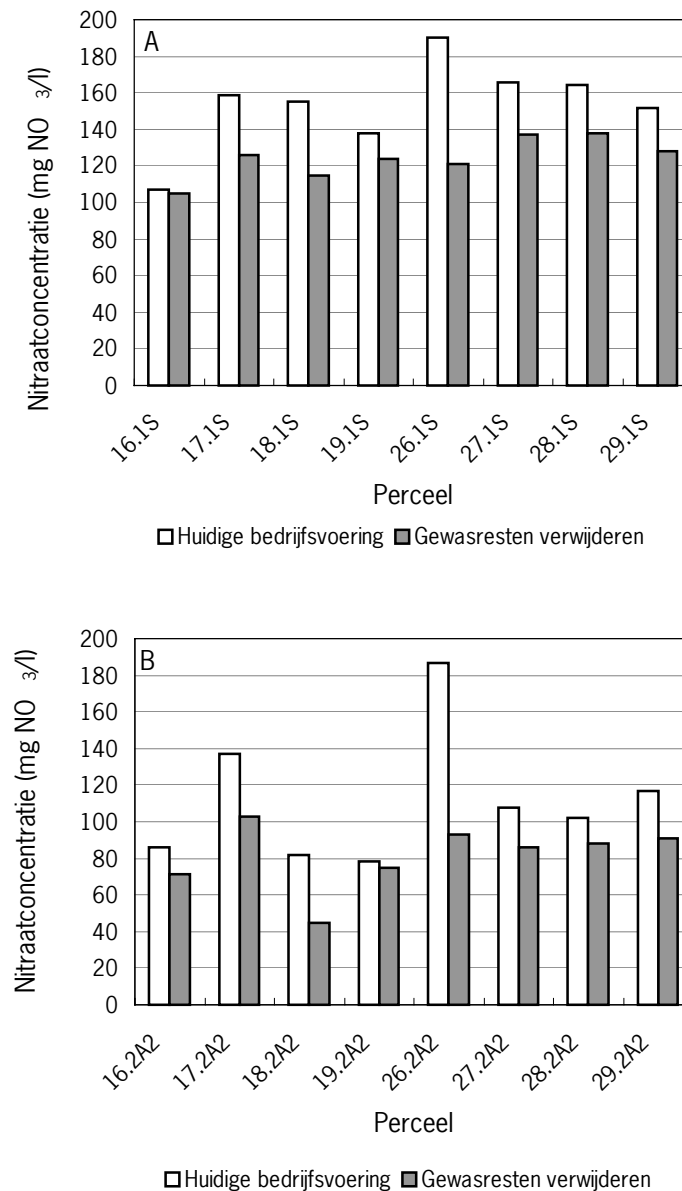
Door alle gewasresten (behalve de granen en maïs) in 2001 en 2002 te verwijderen van alle percelen kan beoordeeld worden hoe ver de nitraatconcentratie op 1 m-mv gereduceerd kan worden.

Aangezien bij de start van de berekeningen geen rekening gehouden is met de gewasresten, die mogelijk ingewerkt of verwijderd zijn in 2000 en aangezien de gewasresten pas laat in het jaar ingewerkt of verwijderd worden, heeft het geen zin om resultaten van 2001 te presenteren. Er hebben zich dan namelijk nog geen zichtbare effecten van het verwijderen van alle gewasresten voorgedaan. Deze worden pas zichtbaar in het volgende jaar (2002 dus). Uitzondering is het verwijderen van erwtresten in 2001. Omdat de erwtresten al eind juni worden ingewerkt of verwijderd en erwtresten bovendien veel organisch stikstof bevatten is in 2001 al een effect zichtbaar van het verwijderen van de resten (namelijk een gemiddelde afname van ongeveer 40 mg NO<sub>3</sub>/l).

In Figuur 4.1 zijn gemiddelde nitraatconcentraties weergegeven voor alle percelen van het jaar 2002. In de figuren worden de concentraties vergeleken voor een situatie volgens de huidige bedrijfsvoering en voor een situatie waarbij alle gewasresten verwijderd zijn. Voor het teeltplan wordt verwezen naar Tabel 3.1.

Uit Figuur 4.1 blijkt dat de gemiddelde nitraatconcentraties op de Analyse2-percelen lager liggen dan op de Synthese-percelen. In 2002 is bij alle percelen een reductie in de gemiddelde nitraatconcentratie waar te nemen als gevolg van het verwijderen van alle gewasresten. De grootste reductie in 2002 treedt op in perceel 26.2A2. Op dit perceel was in 2001 erwt en Tagetes geteeld.





*Figuur 4.1. De gemiddelde nitraatconcentratie voor alle Synthese-percelen (A) en alle Analyse2-percelen (B) in 2002. Vergeleken zijn een situatie volgens de huidige bedrijfsvoering en een situatie waarin alle gewasresten zijn verwijderd. In Tabel 3.1 staat welk gewas op welke perceel geteeld is.*

In geen enkele situatie wordt aan de streefwaarde voor ‘Telen met toekomst’-kernbedrijven voldaan. Aan de EU-nitraatnorm wordt in 2002 voldaan door Analyse2-perceel 18 na het verwijderen van alle gewasresten in 2001 en 2002.

De effecten van het verwijderen van gewasresten lijken in deze berekeningen groter te zijn dan in het onderzoek van Dijkstra *et al* (1995). Als mogelijk argument voor de geringe reductie noemt Dijkstra *et al* (1995) het feit, dat door de geringere toediening van organische materiaal naar de bodem de kans bestaat dat de denitrificatie en immobilisatie zodanig afnemen, dat er toch nog voldoende nitraat beschikbaar blijft voor uitspoeling. In het huidige onderzoek geldt deze argumentatie niet omdat de posten denitrificatie en immobilisatie klein zijn. Veel kleiner zelfs dan de berekende reductie in de nitraatuitspoeling als gevolg van het verwijderen van de gewasresten.

### 4.3 Inwerken van stro

Na één van de aardappelteelten wordt in het Analyse2-systeem stro ingewerkt. De gedachte achter deze maatregel is dat bij het omzetten van de stroresten (met hun kenmerkende hoge C/N-verhouding) minerale stikstof gebonden wordt en daardoor niet meer beschikbaar is voor uitspoeling. De gebonden stikstof komt vervolgens langzaam vrij bij de mineralisatie van de stroresten. Door de toevoer van stro zal het organische stofgehalte in de bodem iets stijgen.

Op perceel 28.2A2 is in oktober 2001 stro ingewerkt. Deze stro heeft in 2001 niet veel effect gehad op de stikstofbalans, op een toename van de organische stikstofbemesting na. Met de stro is naast veel koolstof namelijk ook 14 kg N/ha aangevoerd. Het effect van de stro was dat in 2002 de uitspoeling met 1 kg N/ha is toegenomen. De gemiddelde nitraatconcentratie is door het inwerken van stro ook met 1 mg NO<sub>3</sub>/l toegenomen.

Hoewel de stro tijdelijk wel tot een marginale immobilisatie heeft geleid, is er netto toch vooral een toename van de mineralisatie opgetreden (bijna twee kg N/ha).

Stro inwerken als maatregel ter vermindering van de nitraatuitspoeling is volgens deze modelstudie niet effectief.

### 4.4 Conclusies

Uit de modelberekeningen blijkt dat het gebruik van stro geen slimme maatregel is om uitspoeling van nitraat te voorkomen.

Het verwijderen van gewasresten van vooral gewassen, die veel stikstof in de gewasresten achterlaten, is wel een zeer effectieve maatregel tegen nitraatuitspoeling. De meeste 'winst' kan behaald worden bij erwten, Tagetes en suikerbiet. Het verwijderen van alle gewasresten is echter volgens deze berekeningen niet voldoende om aan de milieunormen voor alle teelten te voldoen.

Het gebruik van groenbemester heeft zeker positieve effecten op de nitraatuitspoeling met name in de periode dat de groenbemester groeit. Als vervolgens de groenbemers ingewerkt worden in de bodem, gaat een deel van de reductie in de nitraatuitspoeling 'verloren'.

## 5. Conclusies

### Modelresultaten versus meetresultaten

De variabelen, betreffende de waterhuishouding worden redelijk (het vochtgehalte) tot goed (de drukhoogte) berekend. De grond in Vredepeel vertoont sterke hysteresis in de waterretentie, wat zowel in het laboratorium en in het veld is aangetoond.

De door de modellen FUSSIM2-MOTOR berekende stikstofopname door de gewassen komen, op enkele uitzonderingen na, overeen met de gemeten stikstofopnames.

$N_{\min}$ -waarden zijn boven in het profiel lager en onderin het profiel hoger dan de meetwaarden. De dynamiek in de tijd wordt redelijk goed nagebootst. De berekende waarden zijn iets hoger, maar wel van dezelfde orde als de gemeten waarden.

De modelresultaten worden betrouwbaar genoeg geacht om de stikstoffluxen op de onderzochte percelen nader te analyseren.

### Synthese en Analyse2-teeltsysteem

De mineralisatie is op de Synthese-percelen gemiddeld groter dan op de Analyse2-percelen (respectievelijk 160 en 139 kg N/(ha · j)). De hoofdteelten op de Synthese-percelen nemen meer stikstof op. De extra hoofdteelt stamslaboon is hier deels verantwoordelijk voor. Denitrificatie speelt op alle percelen een marginale rol als verliespost. Uitspoeling is daarentegen wel belangrijk. Op de Synthese-percelen is de gemiddelde uitspoeling zo'n 40 kg N/ha groter dan op de Analyse2-percelen. Gemiddeld genomen wordt in geen van de beide teeltsystemen voldaan aan de milieunormen voor de nitraatconcentraties. Uit de balansen blijkt dat het organische stofgehalte in de bodem in  $\frac{3}{4}$  van de situaties licht zal dalen.

### Effecten van maatregelen

Van de onderzochte teeltmaatregelen is het verwijderen van gewasresten de meest effectieve maatregel om de nitraatuitspoeling te reduceren. De meeste 'winst' kan gehaald worden bij de gewassen erwten, Tagetes en suikerbiet. De gemiddelde reductie in de nitraatuitspoeling is respectievelijk 74, 73 en 39 kg N/ha.

Verwijdering van alle gewasresten levert (met name) in 2002 een reductie op in de nitraatuitspoeling, maar gemiddeld genomen wordt nog steeds niet voldaan aan de geldende milieunorm voor nitraat.

Met het gebruik van groenbemesters is in periode dat de groenbemester groeit een reductie in de nitraatuitspoeling te realiseren. Deze reductie wordt na inwerken van de groenbemester echter deels teniet gedaan door mineralisatie van de toegevoerde organische stikstof. Netto levert het gebruik van een groenbemester echter wel degelijk een reductie in de uitspoeling op. De gemiddelde reductie in de nitraatuitspoeling is bij het gebruik van Tagetes, zomergroen en bladrammenas als groenbemester respectievelijk 59, 23 en 17 kg N/ha.

Stro inwerken lijkt op basis van deze modelberekeningen geen zinvolle maatregel om nitraatuitspoeling tegen te gaan. Er werd zelfs een zeer kleine toename van de uitspoeling geconstateerd door de latere toename in de mineralisatie.



## Referenties

- Anoniem, 1991.  
Richtlijn van de raad van 12 december 1991 inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen. Richtlijn 91/676/EEG. Europese Gemeenschap, Brussel.
- Assinck, F.B.T. & C. Rappoldt, 2004.  
MOTOR 2.0: Module for transformation of organic matter and nutrients in soil. Alterra-rapport ??, Alterra, Wageningen (*in voorbereiding*).
- Assinck, F.B.T., P. de Willigen & C.L. van Beek, 2002.  
Modelstudie naar het effect van onbemeste stroken op de stikstofuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Alterra-rapport 510, Alterra, Wageningen.
- Bosch, H. & P. de Jonge, 1989.  
Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond 1989. Publikatie nr. 47, Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.
- De Gee, M., 1995.  
Wiskunde in werking. Epsilon Uitgaven, Utrecht.
- De Vos, J.A. & M. Heinen, 1999.  
Afstemming van de organische bemesting op variatie in ruimte en tijd. Rapportage van Lovinkhoeve-experimenten in 1998. Rapport 110, Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Wageningen.
- De Vos, J.A., E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenberg, 2002.  
Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van Telen met toekomst-proefvelden Meterik en Vredepeel. Telen met toekomst publicatie nr. 8, OV0204.
- De Willigen, P., F.B.T. Assinck & J.A. de Vos, 2003.  
Perspectieven van precisiebemesting van organische mest in de biologische landbouw. Alterra-rapport 694, Alterra, Wageningen.
- De Willigen, P., M. Heinen, A. Mollier & M. van Noordwijk, 2002.  
Two-dimensional growth of a root system modelled as a diffusion process. I. Analytical solutions. *Plant and Soil* 240: 225-234.
- Dijkstra, J.P., M.J.D. Hack-ten Broeke, F.G. Wijnands & B.M.A. Kroonen-Backbier, 1995.  
Stikstofemissie naar het grondwater van geïntegreerde en gangbare bedrijfssystemen in de akkerbouw op de proefboerderijen Borgerswold en Vredepeel. Simulatie van de vocht- en nitraathuishouding op de proefboerderij Vredepeel voor de jaren 1990-1993. Rapport 287.2, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Heijboer, D. & J. Nellestijn, 2002.  
Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000. Elmar, Rijswijk.
- Heinen, M., 1997.  
Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 1998.  
FUSSIM2. A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport, and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media. *Quantitative Approaches in Systems Analysis* No. 20, DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 2001.  
FUSSIM2 version 5. New features and updated user guide. Alterra rapport 363, Alterra, Wageningen.

- Hooghart, J.C. & W.N. Lablans, 1988.  
Van Penman naar Makkink. Een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen. Rapporten en nota's No. 19, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 's-Gravenhage.
- Hough, M.N., 1990.  
Agrometeorological aspects of crops in the United Kingdom and Ireland. A review for sugar beet, oilseed rape, peas, wheat, barley, oats, potatoes, apples and pears. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- Infogids PPO-AGV Locatie Vredepeel, 2003.  
Praktijkonderzoek Plant en Omgeving Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenteteelt, Vredepeel.
- Kortleven, J., 1963.  
Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken nr. 69.1, Wageningen.
- Neeteson, J., R. Booij, W. van Dijk, J. de Haan, A. Pronk, H. Brinks, P. Dekker & H. Langeveld, 2001.  
Projectplan 'Telen met toekomst'. Publicatie nr. 2, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.
- Pronk, A.A. & K. Groenwold, 2004.  
Stikstofopnamecurven van de gewassen van de kernbedrijven Vredepeel en Meterik, *in voorbereiding*.
- Smit, A. & K.B. Zwart, 2002.  
Acta: Accessdatabase Telen met toekomst Alterra.
- Smit, A. & K.B. Zwart, 2003.  
Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Mineralisatie van bodem en gewasresten. OV0304.
- Smit, A., K.B. Zwart & J. van Kleef, 2004.  
Stikstofstromen op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. De grondwaterkwaliteit gemeten. Telen met toekomst-rapport. *in voorbereiding*.
- Van Kraalingen, D.W.G. & W. Stol, 1997.  
Evapotranspiration modules for crop growth simulation. Implementation of the algorithms from Penman, Makkink and Priestley-Taylor. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 11, DLO Research Institute for Agrobiological Sciences and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen.
- Velthof, G.L., M.H. de Haan, R.L.M. Schils, G.J. Monteny, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2000.  
Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. Een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-2, Alterra, Wageningen.
- Verberne, E., G. Dijksterhuis, R. Jongschaap, H. Bazi, A. Sanou & M. Bonzi, 1995.  
Simulation des cultures pluviales au Burkina Faso (CP-BKF3): sorgho, mil et mais. Nota 18, Institut de la Biologie Agronomique et de la Fertilité de Sol (AB-DLO), Wageningen.
- Zwart, K.B. & A. Smit, 2001.  
Stikstof- en fosfaatverliezen in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Projectplan voor het bodemonderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met toekomst'. Alterra, Wageningen.

## Bijlage I.

# Bodemprofiel en bodemfysische eigenschappen

### Bodemfysische eigenschappen

In de onderstaande tabel staan de resultaten van de fitprocedure voor de waterretentie- & doortastendheidskarakteristiek van perceel 28. De parameters  $\theta_r$  en  $\theta_s$  zijn respectievelijk het residuele volumetrische watergehalte en het volumetrische watergehalte bij verzadiging (-),  $K_s$  is de doorlatendheid bij verzadiging (cm/d). De  $\alpha_d$  en  $\alpha_w$  zijn vormparameters voor respectievelijk de uitdrogings- en vernattingscurve (cm<sup>-1</sup>). De parameters  $n$  en  $l$  zijn vormparameters (-).

| Naam  | Bemonsterde Laag (cm-mv) | $\theta_r$<br>(-) | $\theta_s$<br>(-) | $\alpha_d$<br>(cm <sup>-1</sup> ) | $n$<br>(-) | $\alpha_w$<br>(cm <sup>-1</sup> ) | $l$<br>(-) | $K_s$ (cm/d) |
|-------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|--------------|
| LaagA | 10 - 15                  | 0,02695           | 0,38159           | 0,01516                           | 1,81055    | 0,14                              | -2,2       | 18,0         |
| LaagB | 35 - 40                  | 0,00919           | 0,38048           | 0,01945                           | 2,58946    | 0,051                             | -1,35      | 5,0          |
| LaagC | 70 - 75                  | 0,00351           | 0,31703           | 0,01467                           | 2,36366    | 0,07                              | -0,5       | 5,0          |

### Bodemprofiel

In de onderstaande tabel is het beschouwde bodemprofiel nader uitgewerkt. Per bodemlaag zijn een aantal gegevens aangegeven, namelijk de laagdiepte (cm-mv), de naam van de bemonsterde laag met de bijbehorende bodemfysische eigenschappen (zie bovenstaande tabel), de droge bulkdichtheid (g/cm<sup>3</sup>) en het aantal rekenlagen \* de bijbehorende laagdikte (cm).

| Laagdiepte (cm-mv) | Bodemfysische eigenschappen gelijk aan | Droge bulk- dichtheid (g/cm <sup>3</sup> ) | Aantal rekenlagen * laagdikte per rekenlaag (cm) |
|--------------------|--|--|--|
| 0 - 30             | LaagA                                  | 1,575                                      | 6 * 5  |
| 30 - 40            | LaagB                                  | 1,611                                      | 2 * 5  |
| 40 - 200           | LaagC                                  | 1,732                                      | 12 * 5, 10 * 10                                  |

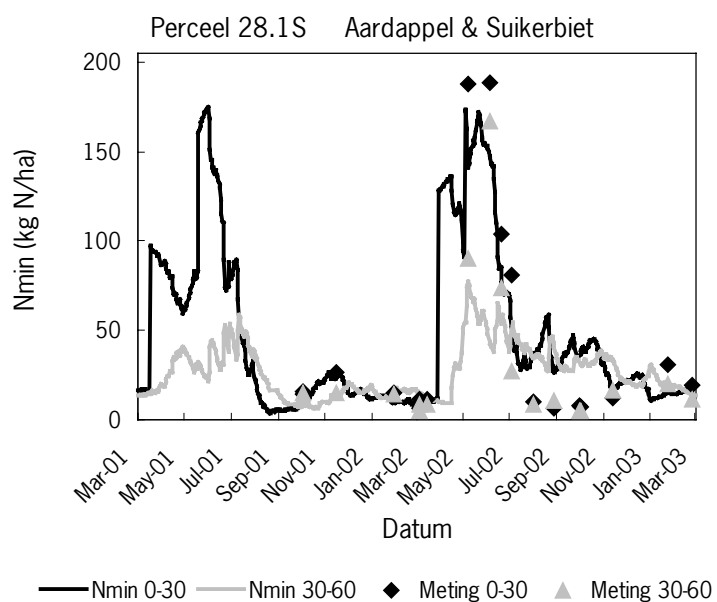
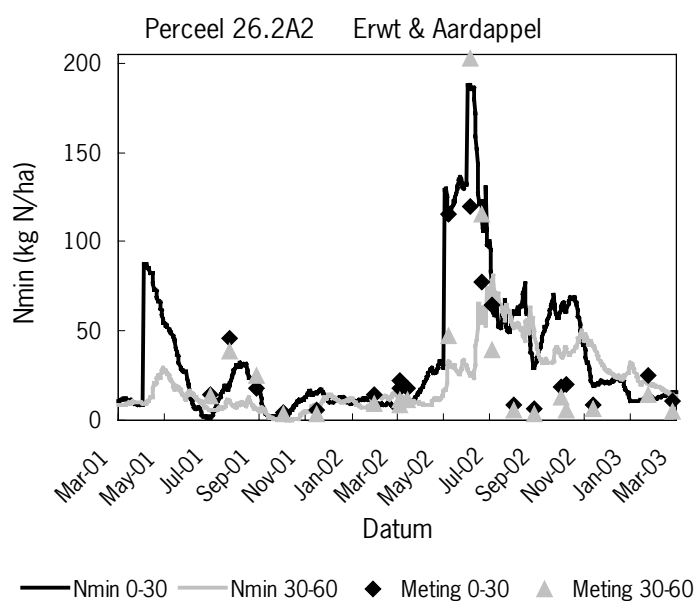


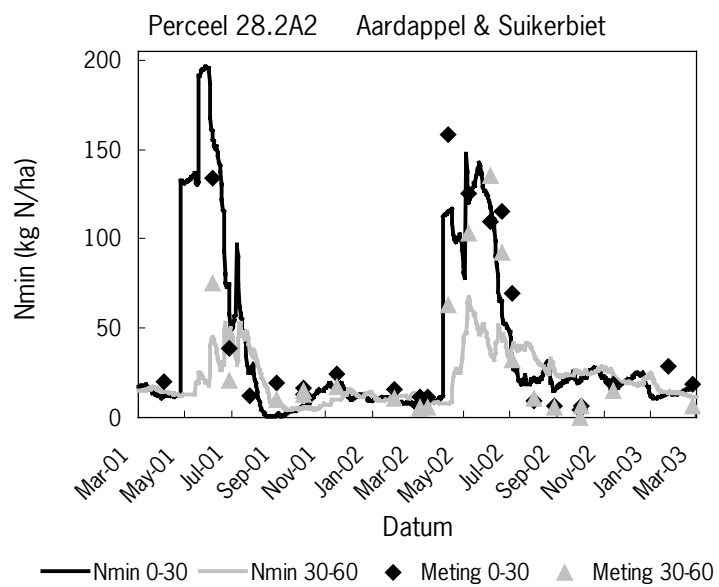


## Bijlage II.

# Gemeten en berekende $N_{min}$ -waarden in de tijd

Gemeten en berekende  $N_{min}$ -waarden als functie van de tijd voor de meer intensiever bemeten percelen (26.2A2, 28.1S en 28.2A2). Weergegeven zijn de lagen 0-30 en 30-60 cm-mv voor de periode maart 2001 tot maart 2003.





## Bijlage III.

# Minerale stikstofbalansen voor 2001 en 2002

De minerale stikstofbalansen zijn opgesteld voor de eerste meter van het bodemprofiel. Het betreffen hier (uitgebreide) bodembalansen. De balans voor het jaar 2001 geldt voor de periode 1 maart 2001 – 1 maart 2002, die van 2002 voor de periode 1 maart 2002 – 1 maart 2003. De balansposten zijn dus het resultaat van een teelt en het daaropvolgende uitspoelseizoen. Alle balansposten zijn weergegeven in kg N/(ha · j).

De aanvoerposten zijn:

- depositie van stikstof vanuit de lucht (in de vorm van ammoniak),
- kunstmest: deze post is anorganisch van aard en kan wisselen van samenstelling,
- dierlijke mest: deze post bevat zowel anorganisch als organisch stikstof. De samenstelling varieert per mesttype en eventueel per jaar. Het anorganische deel van de gift (ammonium) wordt gecorrigeerd voor ammoniakvervluchtiging,
- gewasresten: deze zijn in dit modelonderzoek organisch van aard.

De afvoerposten zijn:

- opname van (anorganisch) stikstof door het teeltgewas en/of de groenbemester,
- denitrificatie: de omzetting van nitraat in gasvormig  $N_2O$  en  $N_2$ ,
- netto uitspoeling: dit is uitspoeling (van met name nitraat) vermindert met de eventuele inspoeling van nitraat (en/of ammonium) vanuit de ondergrond.

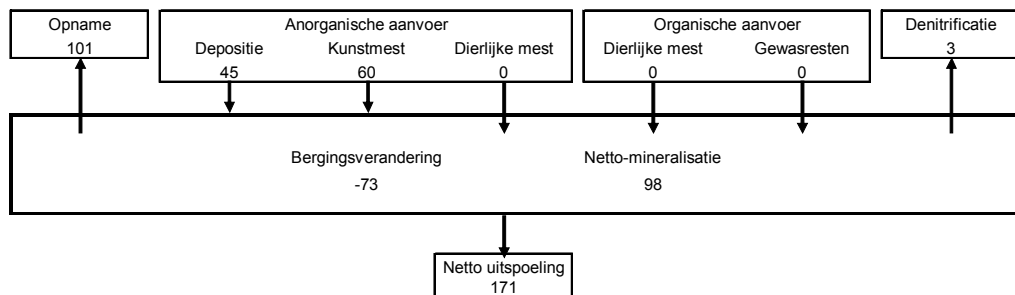
De voorraadveranderingen zijn:

- netto-mineralisatie: oftewel de verandering van de voorraad organisch stikstof in het profiel. Netto-mineralisatie is gelijk aan de mineralisatie van organisch stikstof uit (ingewerkte) gewasresten, dierlijke mest en bodemorganische stof vermindert met de immobilisatie van anorganisch stikstof,
- bergingsverandering: deze is gelijk aan de verandering van de voorraad anorganisch stikstof in het profiel.

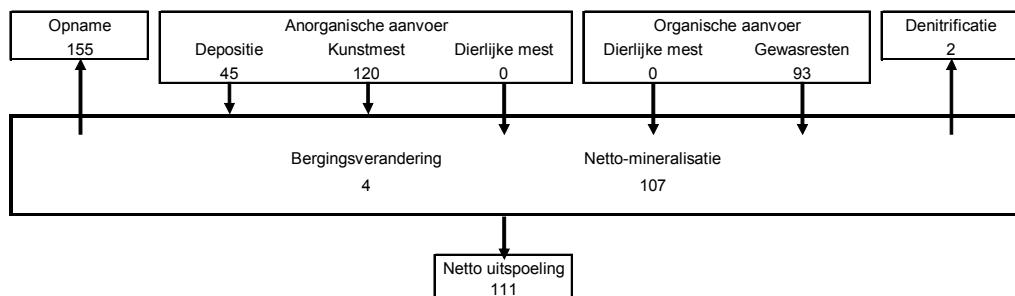
Bij het controleren van de balans moeten de organische aanvoerposten buiten beschouwing gelaten worden. Voor de bodembalans zijn de organische aanvoerposten pas interessant op het moment dat de organische stikstof in deze posten is gemineraliseerd en ze dus tot uitdrukking komen in de post mineralisatie.

Met de omzettingen nitrificatie, ammoniumadsorptie en fixatie van stikstof wordt bij de modelberekeningen wel rekening gehouden, maar deze omzettingen komen niet als zodanig tot uitdrukking in de balans. Nitrificatie is namelijk de omzetting van ammonium naar nitraat, maar leidt niet tot een verandering van de totale hoeveelheid anorganisch stikstof. Adsorptie verandert de beschikbaarheid, maar niet de totale hoeveelheid ammonium. Fixatie door vlinderbloemigen is indirect te berekenen uit de som van de hoeveelheid stikstof in de oogstproducten en gewasresten minus de stikstofopname vanuit de bodem.

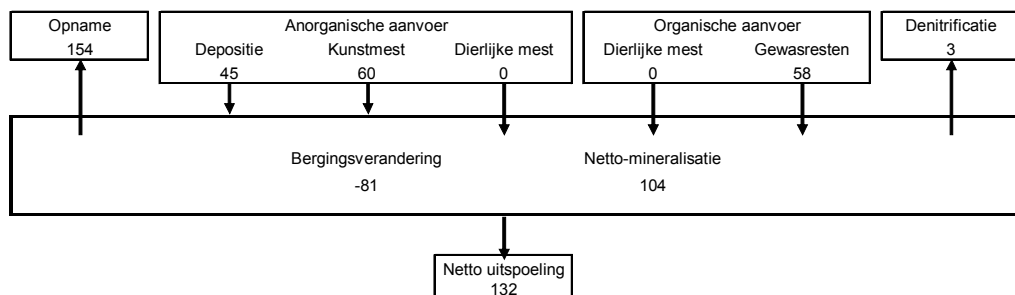
**Perceel 16.1S 2001 Triticale**



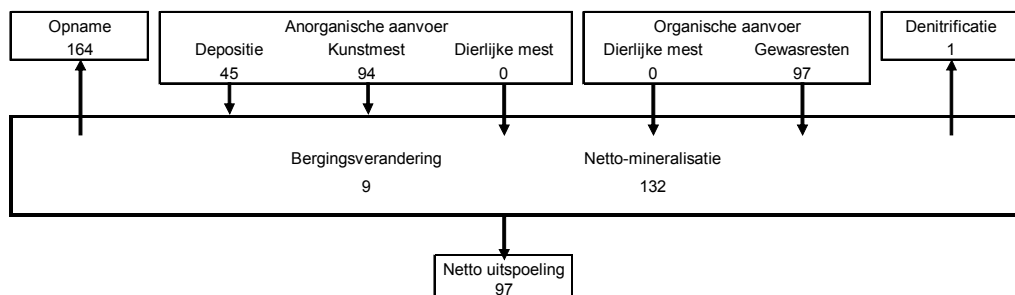
**Perceel 16.1S 2002 Waspeen**



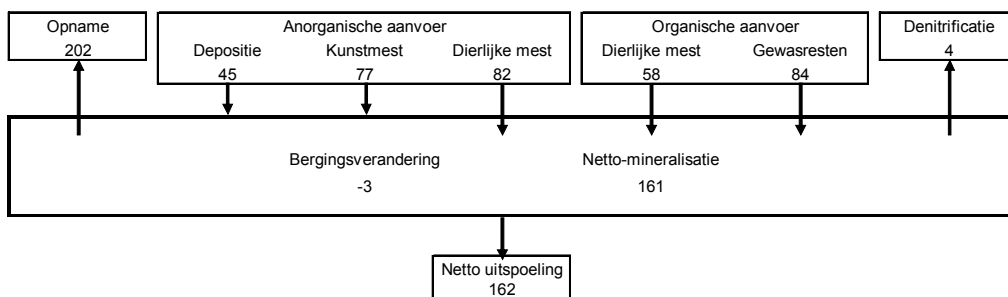
**Perceel 16.2A2 2001 Triticale**



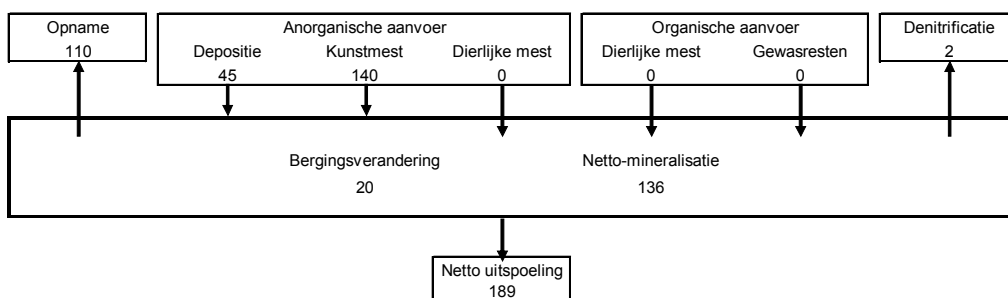
**Perceel 16.2A2 2002 Waspeen**



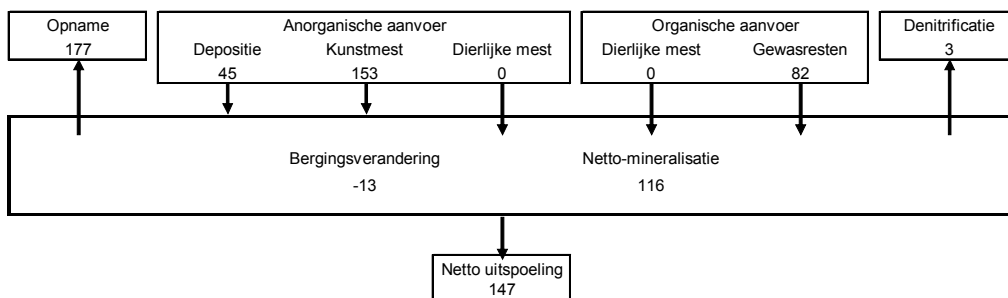
**Perceel 17.1S 2001 Suikerbiet**



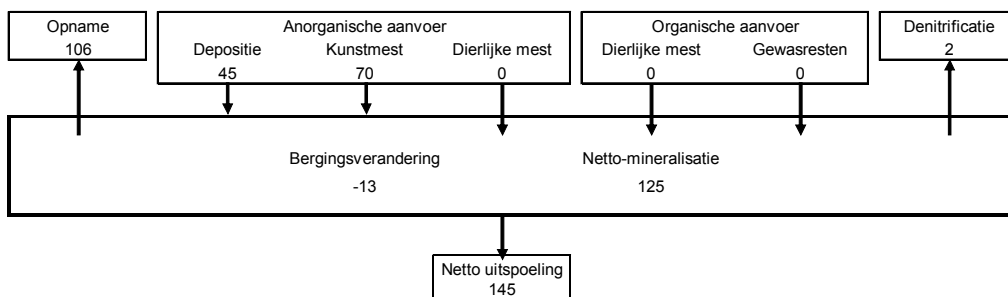
**Perceel 17.1S 2002 Triticale**



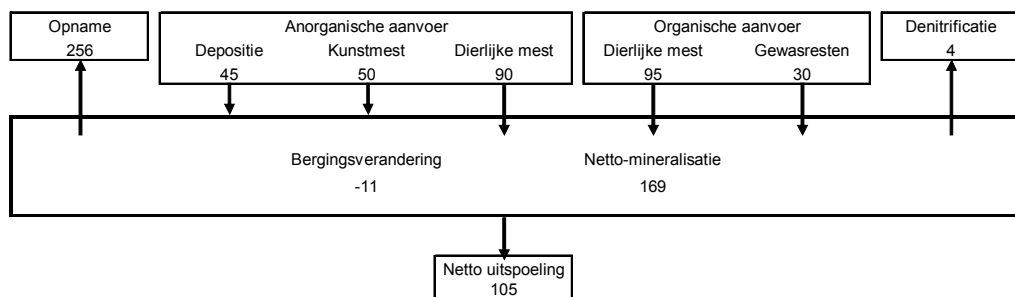
**Perceel 17.2A2 2001 Suikerbiet**



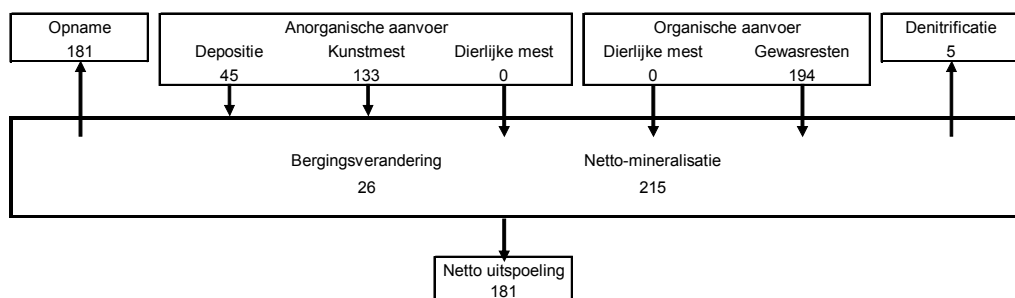
**Perceel 17.2A2 2002 Zomergerst**



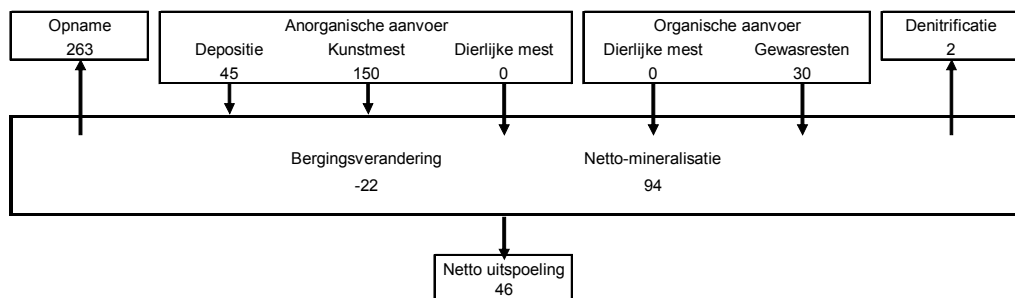
**Perceel 18.1S 2001 Snijmais**



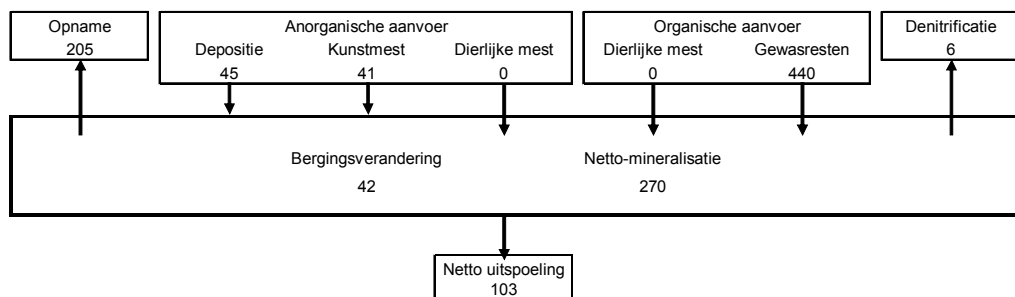
**Perceel 18.1S 2002 Conservenerwt & Stamslaboon**



**Perceel 18.2A2 2001 Snijmais**

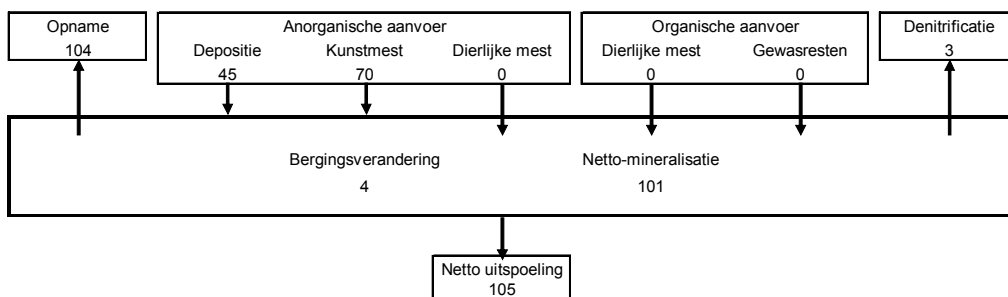


**Perceel 18.2A2 2002 Conservenerwt**

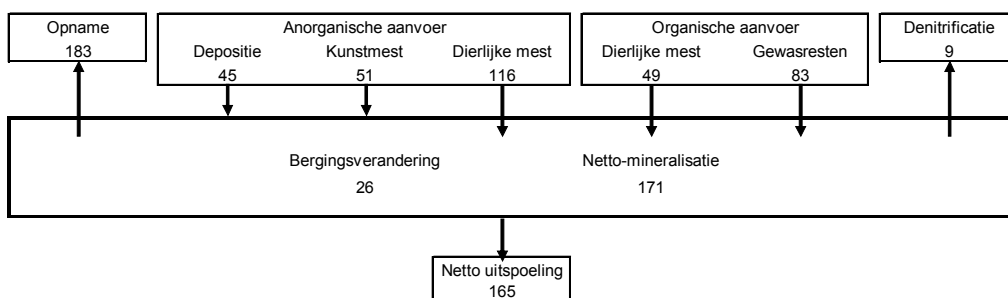


De gewasresten-aanvoer op perceel 18.2A2 bestaan in 2002 uit erwten en bladrammenas. De bladrammenas is net voor het einde van de berekeningen ingewerkt en heeft dus niet veel bijgedragen aan de mineralisatie.

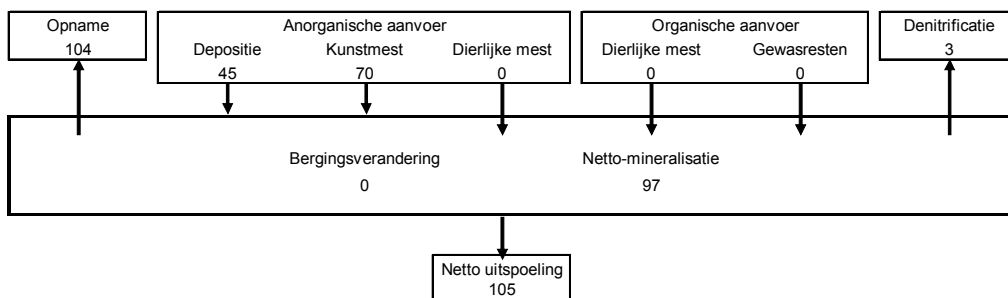
**Perceel 19.1S 2001 Zomergerst**



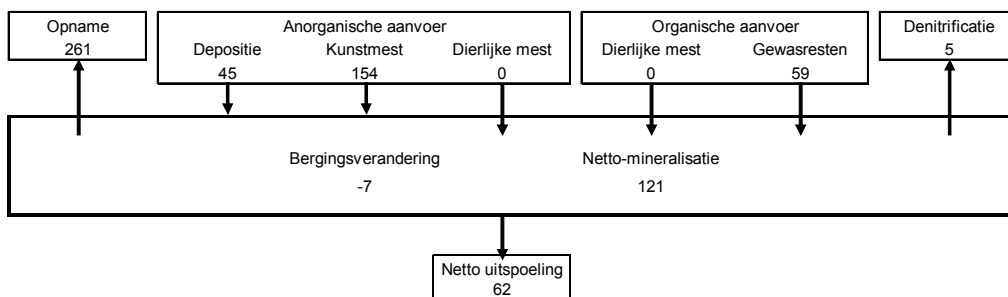
**Perceel 19.1S 2002 Aardappel**



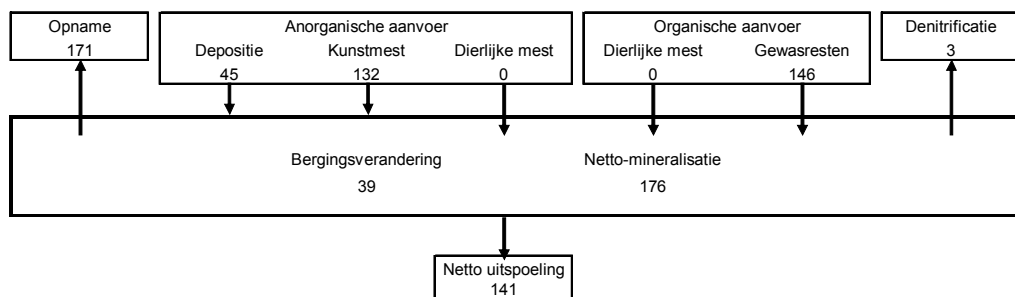
**Perceel 19.2A2 2001 Zomergerst**



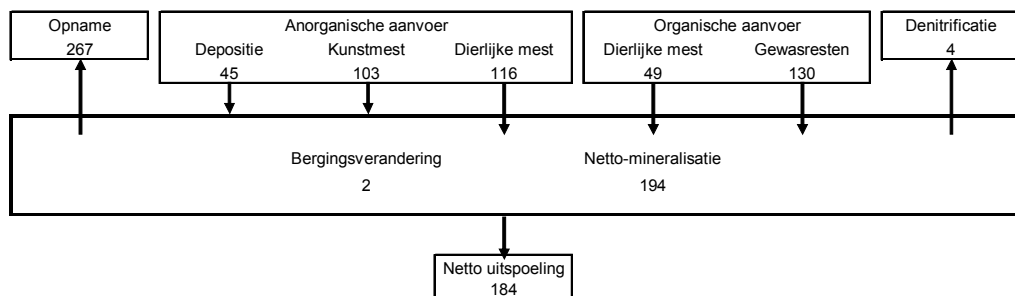
**Perceel 19.2A2 2002 Aardappel**



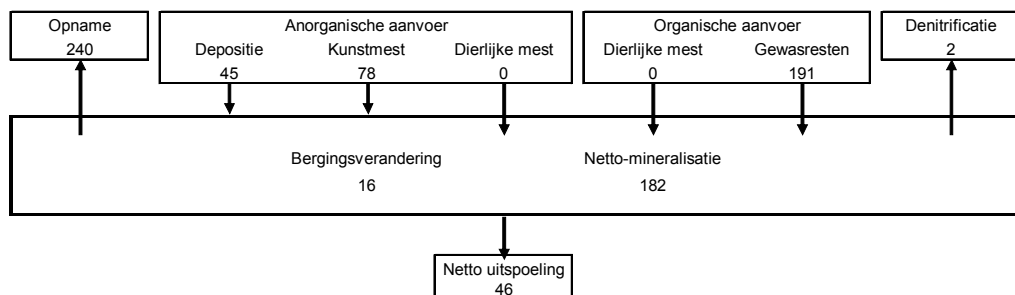
**Perceel 26.1S 2001 Conservenerwt & Stamslaboon**



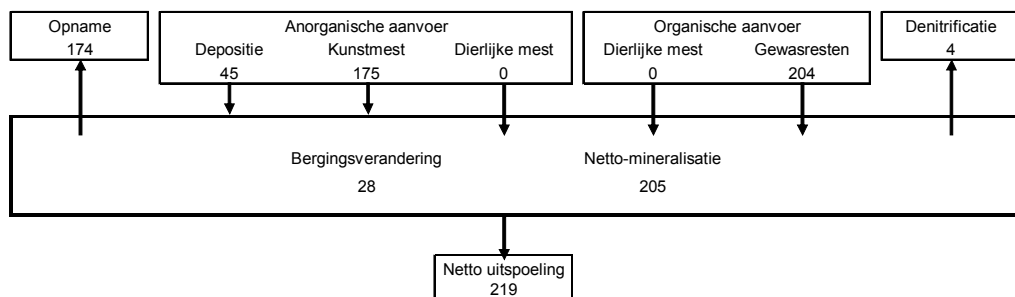
**Perceel 26.1S 2002 Aardappel**



**Perceel 26.2A2 2001 Conservenerwt**

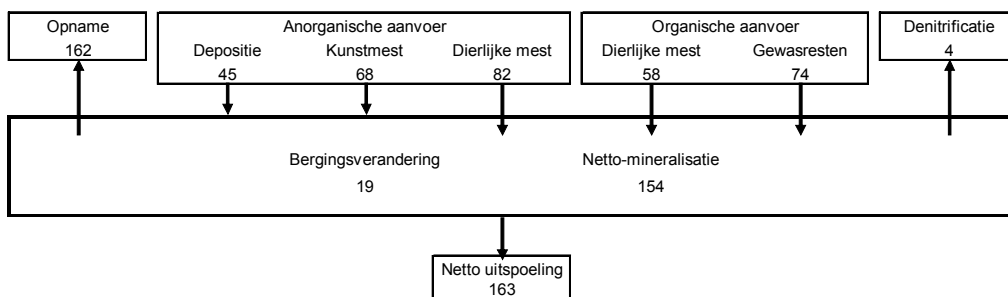


**Perceel 26.2A2 2002 Aardappel**

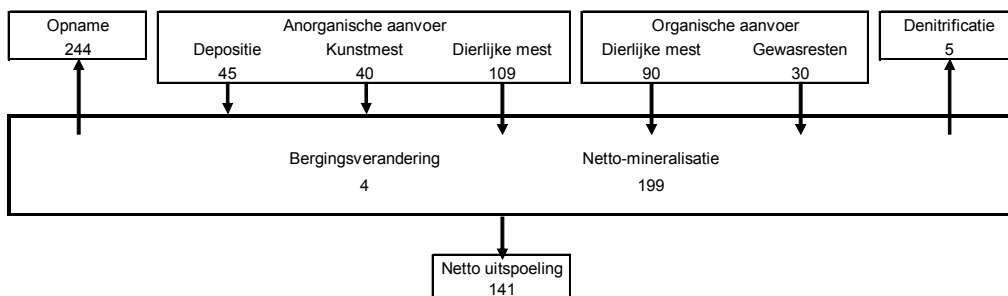




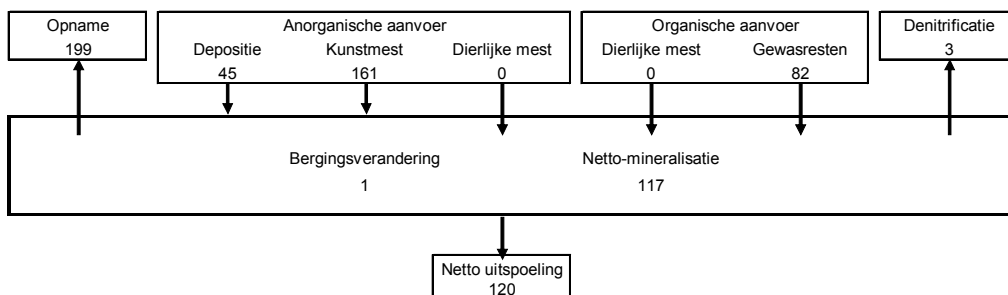
**Perceel 27.1S 2001 Suikerbiet**



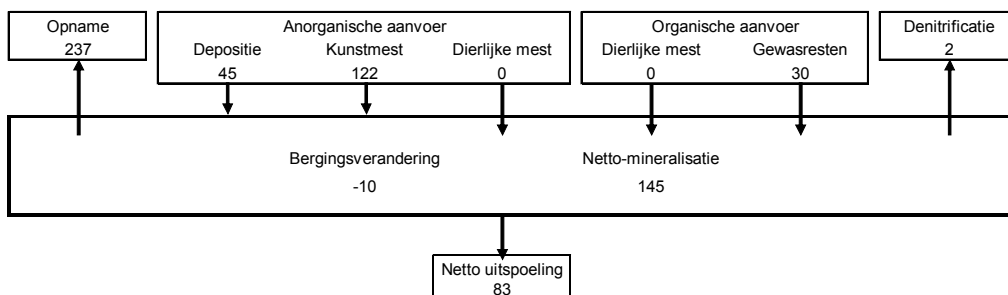
**Perceel 27.1S 2002 Snijmais**



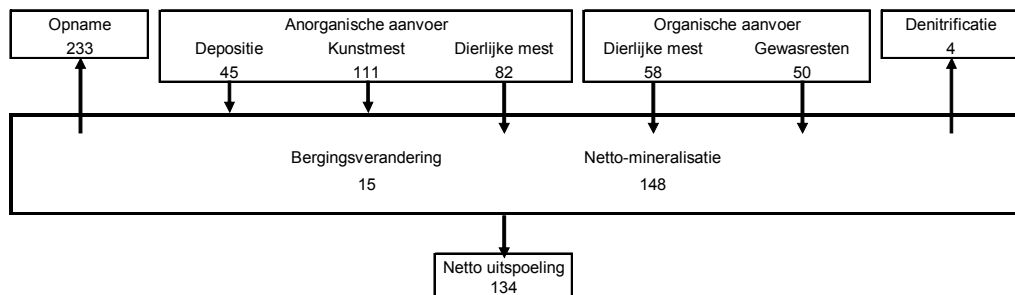
**Perceel 27.2A2 2001 Suikerbiet**



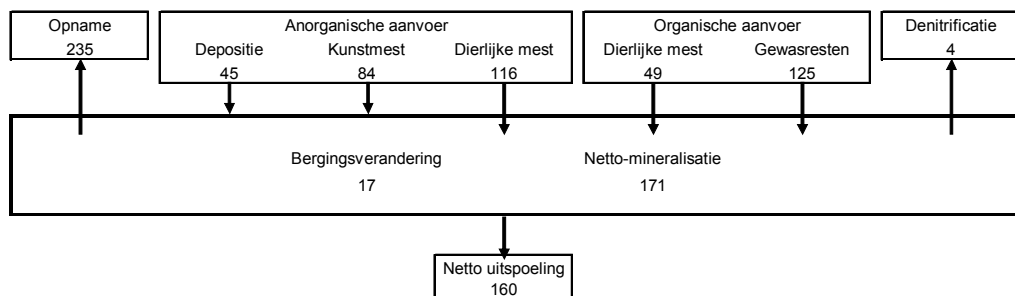
**Perceel 27.2A2 2002 Snijmais**



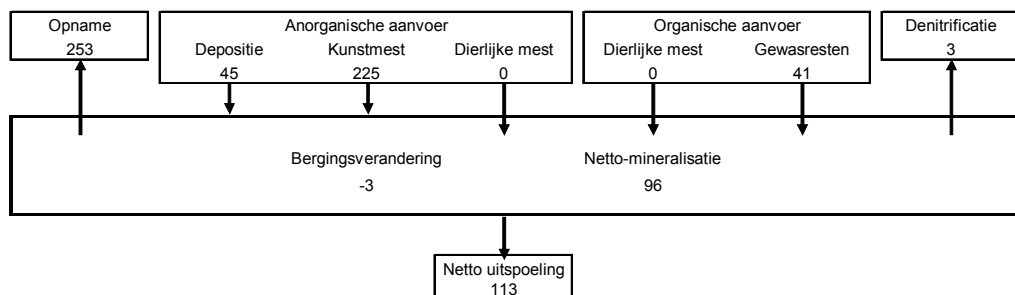
**Perceel 28.1S 2001 Aardappel**



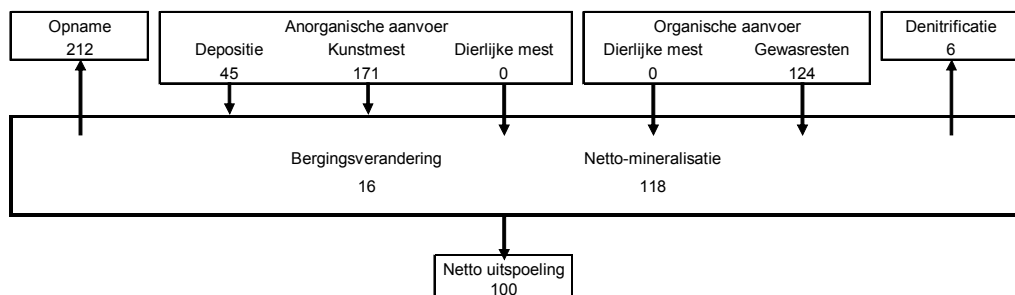
**Perceel 28.1S 2002 Suikerbiet**

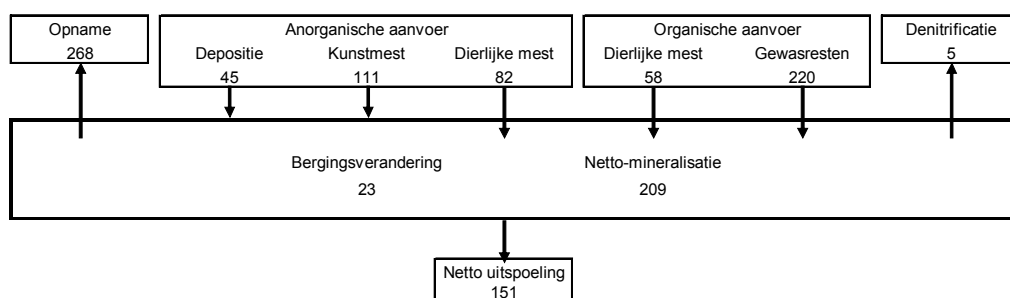
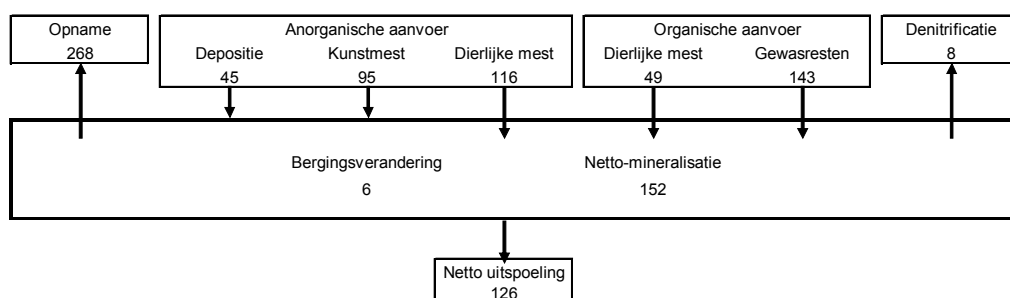
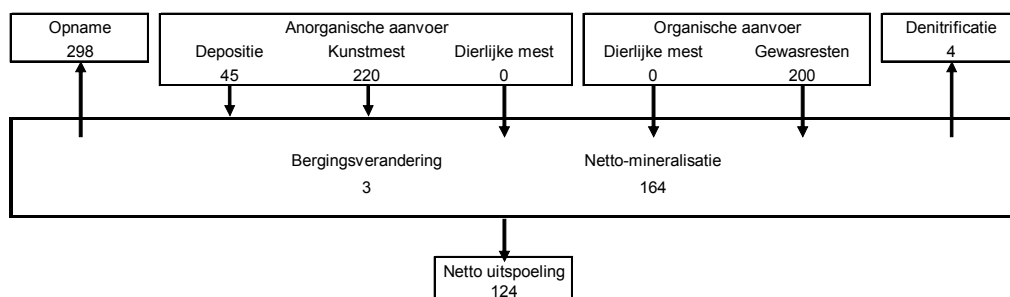
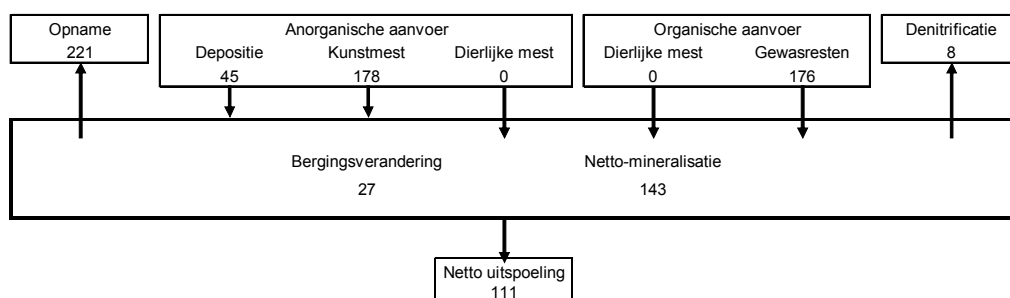


**Perceel 28.2A2 2001 Aardappel**



**Perceel 28.2A2 2002 Suikerbiet**



**Perceel 29.1S 2001 Aardappel****Perceel 29.1S 2002 Suikerbiet****Perceel 29.2A2 2001 Aardappel****Perceel 29.2A2 2002 Suikerbiet**

De aanvoer van gewasresten in 2001 op perceel 29.1S en 29.2A2 bestaat voor het grootste gedeelte uit een afgekeurde, volledig ingewerkte waspeenteelt. Dit komt neer op 168 kg N/ha.



## Bijlage IV.

### Gemiddelde nitraatconcentraties

In deze bijlage worden de gemiddelde nitraatconcentraties weergegeven voor de verschillende Synthese- en Analyse2-percelen en beide jaren. De nitraatconcentraties staan in mg NO<sub>3</sub>/l.

| Perceel | Synthese- perceel |      | Analyse2-perceel |      |
|---------|-------------------|------|------------------|------|
|         | 2001              | 2002 | 2001             | 2002 |
| 16      | 135               | 107  | 114              | 86   |
| 17      | 124               | 159  | 115              | 137  |
| 18      | 88                | 155  | 44               | 82   |
| 19      | 81                | 138  | 77               | 78   |
| 26      | 110               | 190  | 39               | 187  |
| 27      | 139               | 166  | 103              | 108  |
| 28      | 104               | 164  | 86               | 102  |
| 29      | 117               | 152  | 102              | 117  |



## **Bijlage V.**

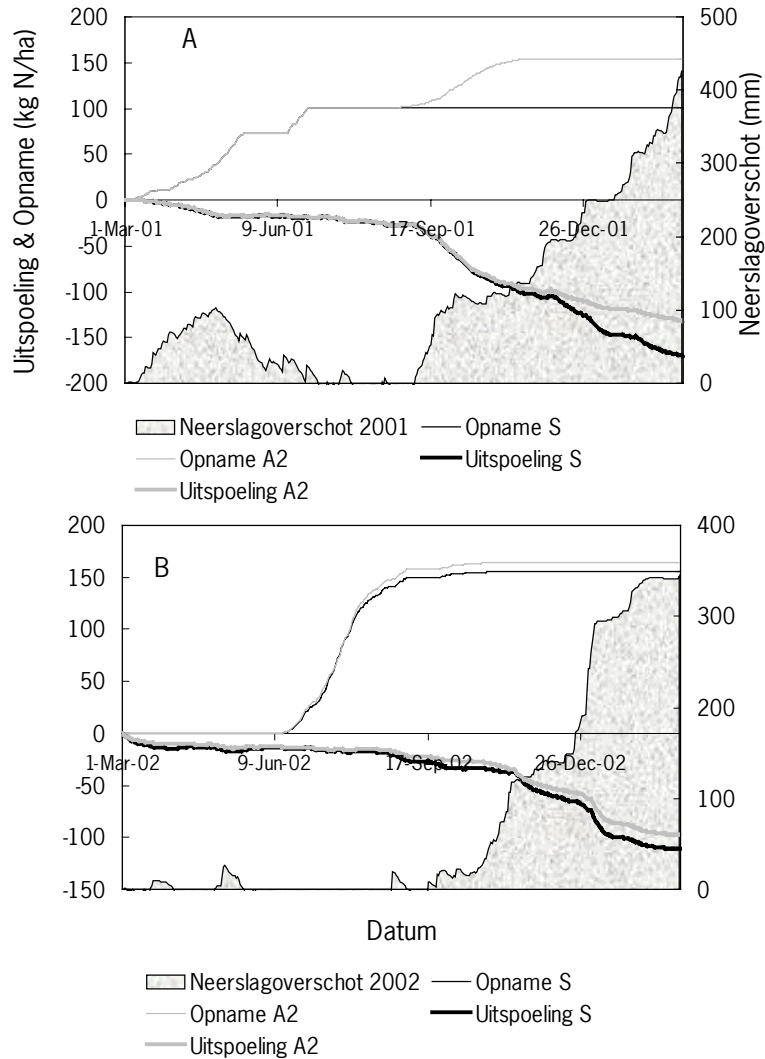
# **Vergelijking tussen de Synthese- en Analyse2-percelen**

In deze bijlage zijn de opname en uitspoeling voor de Synthese- en Analyse2-percelen weergegeven als functie van de tijd. Tevens is het neerslagoverschot aangegeven. Er is gekozen om de uitspoeling en opname voor de berekening van 2002 weer te laten beginnen bij 0, zodat duidelijk te zien is wanneer de verschillen ontstaan.

Het neerslagoverschot is berekend uit de neerslag minus de actuele bodemverdamping en actuele transpiratie vanaf het begin van de simulatie. Door deze berekening kan het voorkomen dat er op een bepaald moment wel degelijk sprake is van een neerslagoverschot, maar dat deze niet als zodanig uit de figuur blijkt omdat eerst het negatieve overschot, ontstaan in het verleden, 'opgevuld' moet worden.

## Perceel 16: Triticale & Waspeen

Op perceel 16.1S is Triticale (23 oktober 2000 - 25 juli 2001) en vervolgens waspeen geteeld (31 mei - 29 oktober 2002). Op perceel 16.2A2 heeft tussen de Triticale en de waspeen een groenbemester gestaan, namelijk zomergerst. Deze zomergerst is ingewerkt in de bodem voor de waspeenteelt. De beregeningsstrategie was op beide percelen gelijk. De waspeen van 16.2A2 heeft 26 kg N/ha minder kunstmest gekregen.



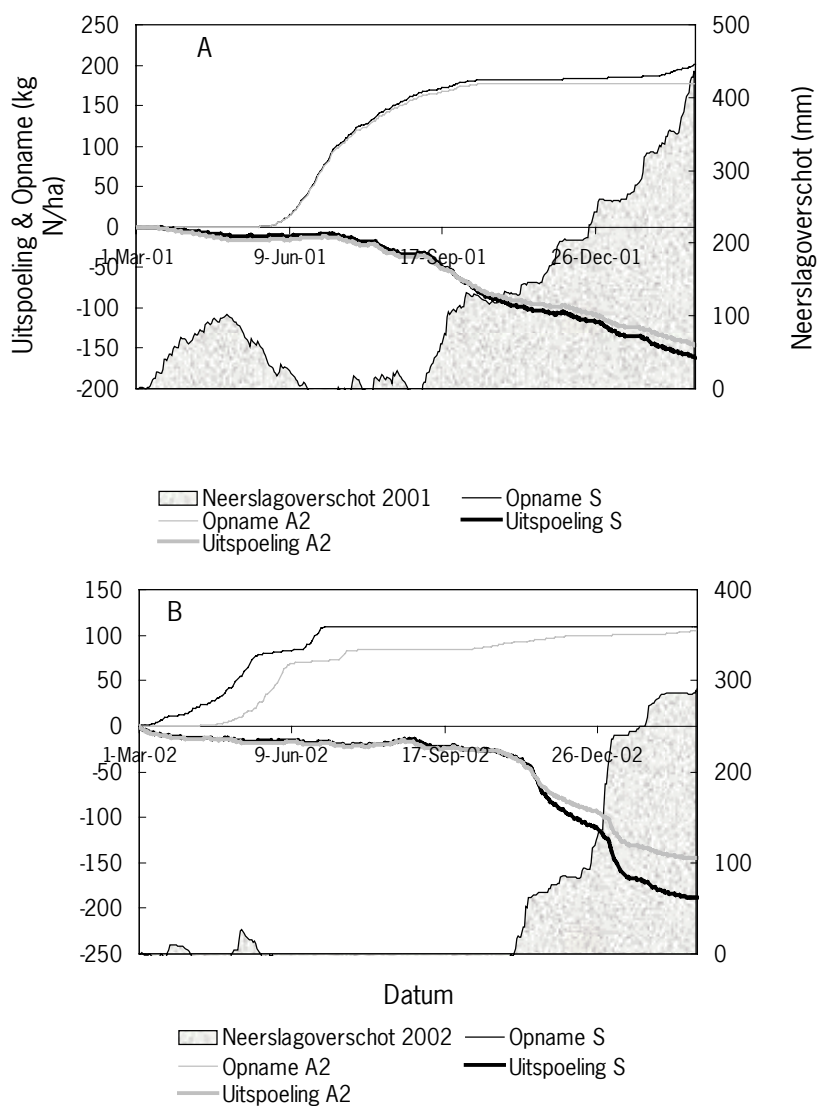
*Figuur B5.1. In figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 16.1S en 16.2A2 voor het jaar 2001. In figuur B staat hetzelfde als in figuur A, maar dan voor 2002.*

Uit Figuur A blijkt duidelijk welk effect de groenbemester heeft op de uitspoeling.



## Perceel 17: Suikerbiet & Triticale of Zomergerst

Op perceel 17.1S is suikerbiet (6 april - 10 oktober 2001) en vervolgens Triticale (26 oktober 2001 - 27 juli 2002) geteeld. Op perceel 17.2A2 is in plaats van Triticale zomergerst (16 maart - 27 juli 2002) geteeld. Na de zomergerst is weer zomergerst ingezaaid, maar dan als groenbemester. De beregeningsstrategie was op beide percelen gelijk. De suikerbiet van 17.1S is bemest met dierlijke mest en op 17.2A2 met kunstmest. De Triticale heeft 2 keer zo veel kunstmest gekregen als de zomergerst. De stro van de Triticale en de zomergerst (hoofddeelt) is afgevoerd.

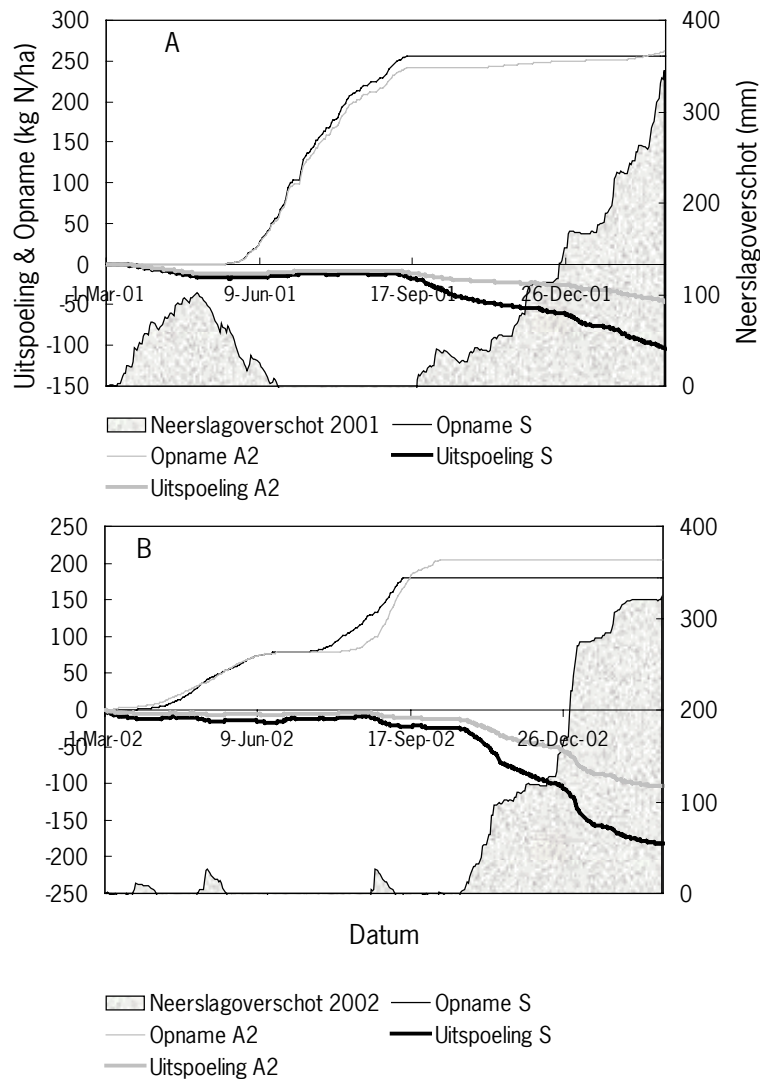


*Figuur B5.2. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 17.1S en 17.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.*

Uit de figuur blijkt duidelijk dat de Triticale al in 2001 begint op te nemen en de zomergerst pas in 2002.

## Perceel 18: Snijmaïs & Erwt/Boon of Erwt/Bladrammenas

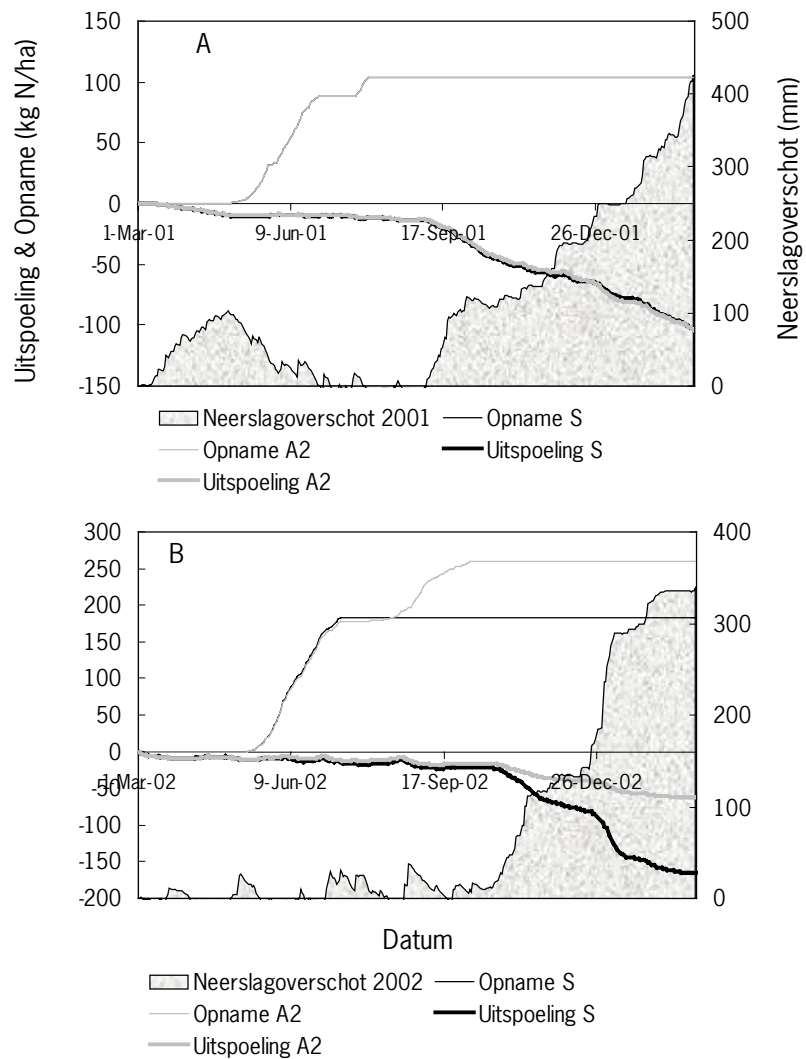
De snijmaïs (2 mei - 12 september 2001) op perceel 18.1S is in 2002 gevolgd door een teelt conservenerwt (16 maart - 25 juni) en een teelt stamslaboon (2 juli - 12 september). Op 18.2A2 is tussen de maïs en de erwt zomergerst als groenbemester gezaaid. Daarnaast is in plaats van stamslaboon de groenbemester bladrammenas gezaaid. De beregeningsstrategie was ondanks de verschillende teelten gelijk. De snijmaïs op 18.1S is bemest met dierlijke mest en op 18.2A2 met kunstmest. In 2002 krijgt perceel 18.2A2 veel minder kunstmest – er is immers maar één hoofdteelt – maar de hoeveelheid ingewerkte gewasresten is duidelijk hoger. Bladrammenas is ingewerkt vlak voor het einde van de berekeningen.



Figuur B5.3. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 18.1S en 18.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.

## Perceel 19: Zomergerst & Aardappelen

Na de zomergerst (2 april – 31 juli) in 2001 wordt aardappelen (5 april – 10 juli) geteeld in 2002. Op perceel 19.2A2 volgt na de aardappelen nog bladrammenas als groenbemester. De beregeningsstrategie was identiek op beide percelen. De aardappelen kregen dierlijke mest op 19.1S en kunstmest op 19.2A2. De zomergerststro is afgevoerd.

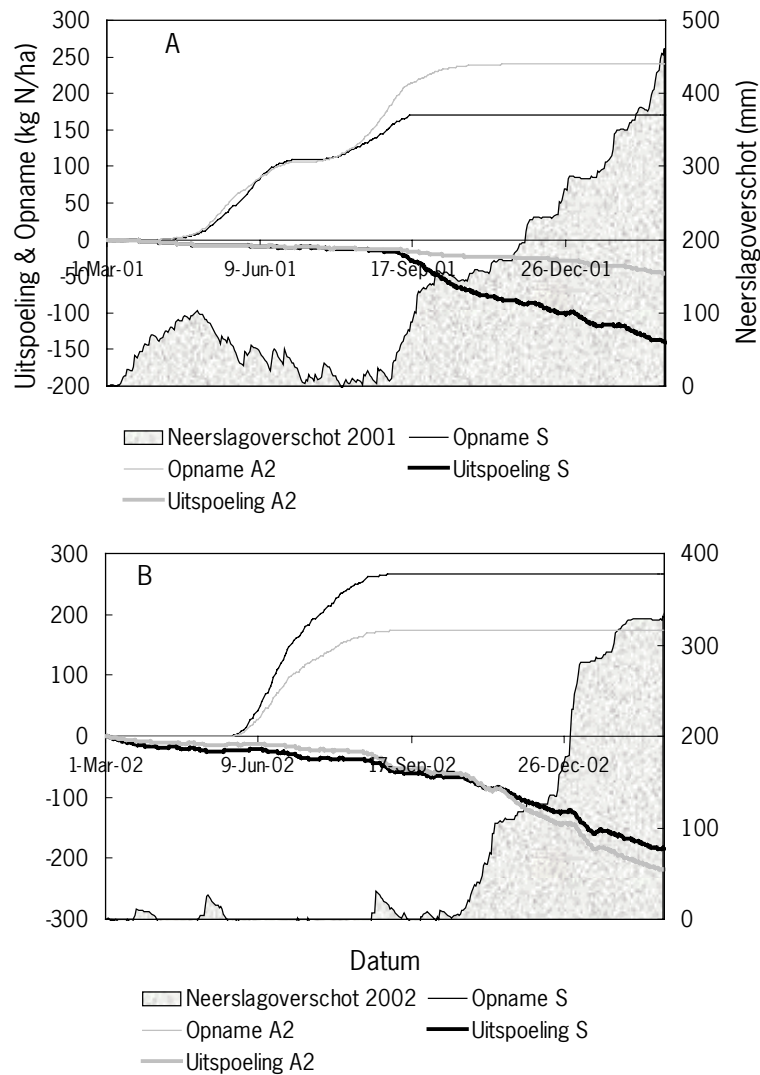


Figuur B5.4. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 19.1S en 19.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.

In 2001 is er nauwelijks verschil tussen het Synthese- en Analyse2-perceel in de opname en uitspoeling. De bedrijfsvoering is dan ook nagenoeg gelijk.

## Perceel 26: Erwt/Boon of Erwt/Tagetes & Aardappelen

De teeltvolgorde op perceel 26.1S is conservenerwt (2 april – 29 juni 2001), stamslaboon (5 juli – 14 september 2001) en aardappelen (16 april – 3 oktober 2002). Op perceel 26.2A2 is in plaats van stamslaboon de groenbemester Tagetes gezaaid. Op 26.1S is in 2001 één keer vaker beregend en één keer vaker bemest, namelijk tijdens de stamslaboonteelt. De bemesting van de aardappelen was op 26.1S deels van dierlijke oorsprong. Op 26.2A2 is alleen maar bemest met kunstmest. Na de aardappelen van 26.2A2 is zomergerststro verspreid en in de bodem gewerkt.

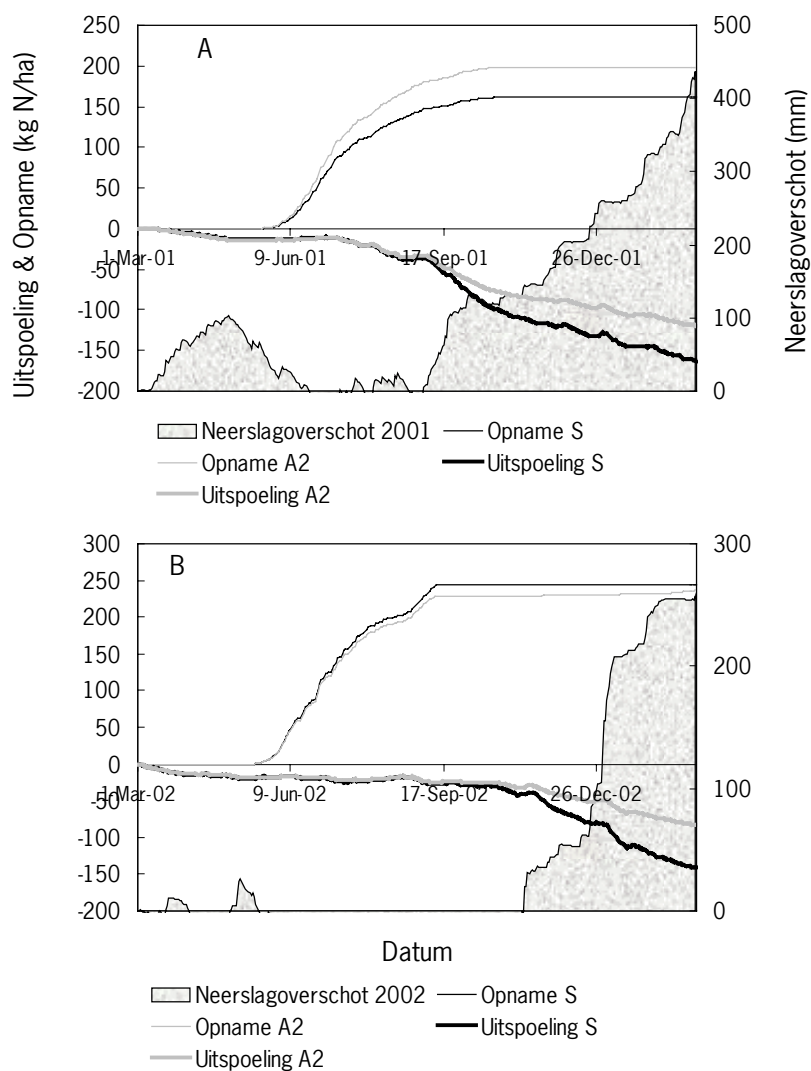


*Figuur B5.5. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 26.1S en 26.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.*

Tagetes neemt meer op dan stamslaboon, hetgeen leidt tot een verschil in uitspoeling. Volgens metingen is de opname van aardappel op het Analyse2-perceel veel lager geweest dan op het Synthese-perceel. Hierdoor is de uitspoeling juist groter geweest.

## Perceel 27: Suikerbiet & Snijmaïs

De suikerbieten (6 april – 31 oktober 2001) en snijmaïs (23 april – 23 september 2002) van perceel 27.2A2 zijn alleen maar bemest met kunstmest. Op perceel 27.1S is deels bemest met dierlijke mest. Na de maïs is op 27.2A2 zomergerst als groenbemester gezaaid. Er zijn geen verschillen in berekening uitgevoerd.



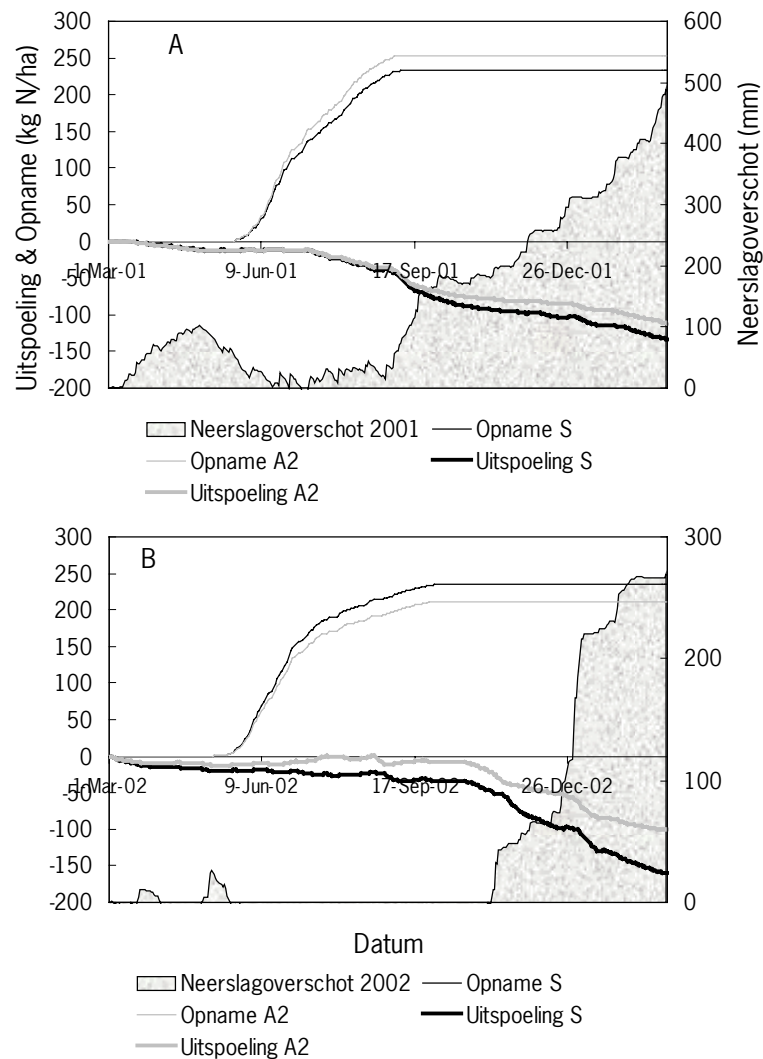
*Figuur B5.6. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 27.1S en 27.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.*

Hoewel de opname in 2002 niet veel verschilt, is de uitspoeling bij Analyse2 lager. De oorzaak is waarschijnlijk een combinatie van verschil in bemesting en een verschil in bodemvoorraad aan het begin van de berekening van 2002.

## Perceel 28: Aardappelen & Suikerbiet

De aardappelen (23 april – 3 oktober 2001) en suikerbieten (5 april – 30 september 2002) van perceel 28.2A2 zijn alleen maar bemest met kunstmest. Op perceel 28.1S is deels bemest met dierlijke mest. Na de aardappelen is op 28.2A2 stro verspreid en ingewerkt in de bodem. Er zijn geen verschillen in berekening uitgevoerd.

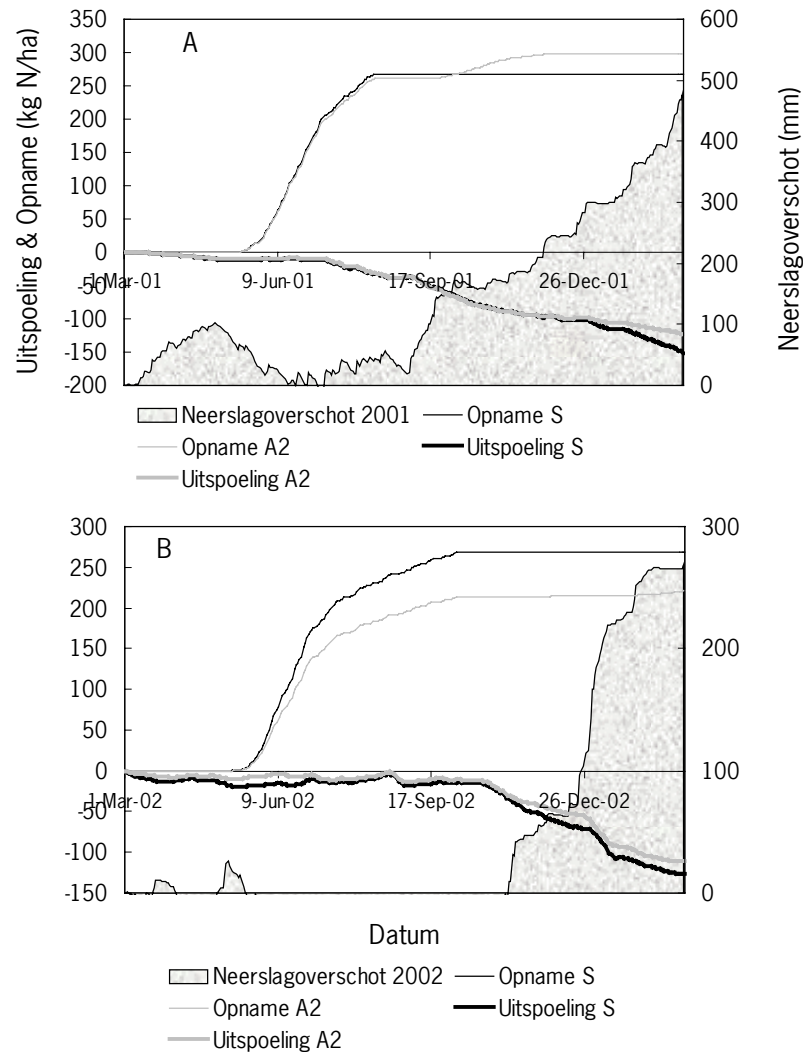
De opname is in 2002 bij Analyse2 kleiner, de uitspoeling echter ook. Dit kan alleen maar betekenen dat er verschillen zijn geweest in hoeveelheid bemesting en/of verschillen in bodemvoorraad aan het begin van de berekening. Er is even van uitgegaan dat de mineralisatie vanuit de bodemvoorraad organische stof vergelijkbaar is.



Figuur B5.7. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 28.1S en 28.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.

## Perceel 29: Aardappelen & Suikerbiet

De aardappelen (9 april – 17 augustus 2001) en suikerbieten (5 april – 21 oktober 2002) van perceel 29.2A2 zijn alleen maar bemest met kunstmest. Op perceel 29.1S is deels bemest met dierlijke mest. Er zijn geen verschillen in beregening uitgevoerd. Na de aardappelen en na de suikerbieten van 29.2A2 zijn respectievelijk de groenbemesters bladrammenas en zomergeest gezaaid. Op beide percelen is voorafgaand aan de aardappelen een afgekeurde waspeenteelt in de bodem gefreesd.



*Figuur B5.8. In Figuur A zijn het neerslagoverschot (mm), de opname en de uitspoeling (kg N/ha) weergegeven in de tijd voor perceel 29.1S en 29.2A2 voor het jaar 2001. In Figuur B staat hetzelfde als in Figuur A, maar dan voor 2002.*





# Reeds verschenen externe rapporten

## Telen met toekomst

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'. Remmie Booij, 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, Remmie Booij, 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 Enckevort, W. van Dijk, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booij, 2000.



Onderzoek en rapportage voor Telen met toekomst zijn uitgevoerd door ALTEERRA

