



Stikstofstromen op het kernbedrijf Meterik

Modelberekeningen met
FUSSIM2 en MOTOR

F.B.T. Assinck & P. Willigen



Telen met toekomst

Stikstofstromen op het kernbedrijf Meterik

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
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
Internet: www.telenmettoekomst.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Woord vooraf	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Materiaal & methoden	7
2.1 Meterik	7
2.2 Bodem-gewassysteem	8
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	12
2.3.3 Randvoorwaarden en grondwaterstand	12
2.3.4 Initiële toestand	12
2.3.5 Gewasinformatie	13
2.3.6 Teelthandelingen	14
2.4 Teeltmaatregelen	15
3. Resultaten en discussie	17
3.1 Modelresultaten versus meetresultaten	17
3.1.1 Watergehalten en drukhoogten	17
3.1.2 Gewasopname	19
3.1.3 Minerale stikstof	19
3.1.4 Nitraat- en ammoniumconcentraties	24
3.1.5 Conclusies	25
3.2 Vergelijking tussen het Synthese en Analyse-teeltsysteem	25
3.2.1 Overzicht van de verschillen	25
3.2.2 Verschillen tussen balansposten	29
3.3 Vergelijking tussen de Synthese- en Analyse-percelen	32
4. Effecten van maatregelen	33
4.1 Effect van het gebruik van groenbemesters	33
4.2 Verwijderen van gewasresten	34
4.2.1 Effect van de afzonderlijke gewassen	35
4.2.2 Verwijderen van alle gewasresten	36
4.3 Bemesten via fertigatie	38
4.4 Conclusies	38
5. Conclusies	39
Referenties	41

	pagina
Bijlage I. Bodemprofiel en bodemfysische eigenschappen	1 p.
Bijlage II. Gemeten en berekende N _{min} -waarden in de tijd	2 pp.
Bijlage III. Gemeten en berekende NO ₃ -concentraties in de tijd	2 pp.
Bijlage IV. Minerale stikstofbalansen voor 2001 en 2002	3 pp.
Bijlage V. Gemiddelde nitraatconcentraties	1 p.
Reeds verschenen externe rapporten Telen met toekomst	2 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 Meterik (met name Pascal Wanten), 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 Bram de Vos, Kor Zwart en Annemieke Smit bedanken voor de discussie tijdens het onderzoek en het kritisch bekijken van dit rapport.

Het onderzoek en het rapport voor Meterik is zo veel mogelijk gelijk gehouden aan het onderzoek en rapport voor Vredepeel (Assinck & De Willigen, 2004).

Samenvatting

Ten behoeve van het project 'Telen met toekomst' zijn voor proefbedrijf Meterik 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 Analyse- (2) en de meest overeenkomstige Synthese-percelen (3) van het bedrijf. De onderzochte percelen geven geen volledige teeltrotatie weer. 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 betrokken 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 respectievelijk slecht en redelijk overeen met de metingen. De berekende N_{\min} -waarden onderschatten de meetwaarden. De gesimuleerde orde van grootte was niet goed, de dynamiek in de tijd wel. De berekende nitraatconcentraties op 1 meter beneden maaiveld (m-mv) zaten in dezelfde orde grootte als de metingen. Waarschijnlijk is de berekende mineralisatie te laag. Bovendien waren er onvoldoende drukhoogtemetingen beschikbaar om de waterhuishouding goed te modelleren.

Het grootste verschil in teelthandelingen tussen de Synthese- en Analyse-percelen is het gebruik van dierlijke mest bij de Synthese-percelen. Verder is opvallend dat op de Analyse-percelen niet twee keer achter elkaar hetzelfde gewas wordt geteeld. Het gevolg van alle verschillen tussen beide teeltsystemen is dat in de berekeningen bij de Analyse-percelen gemiddeld 26 kg N/ha minder mineraliseert, maar de totale stikstofopname net iets hoger ligt dan bij de Synthese-percelen. De berekende uitspoeling op de Analyse-percelen is gemiddeld 55 kg N/ha lager dan op de Synthese-percelen. Dat komt ook tot uitdrukking in een lagere nitraatconcentratie op 1 m-mv. De berekende nitraatconcentraties 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 teniet gedaan door de extra mineralisatie van de ingewerkte resten van de groenbemester.

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 het verwijderen van gewasresten van ijssla en Chinese kool levert een substantiële reductie van de nitraatuitspoeling op. Verwijderen van gewasresten heeft als (nadelig) neveneffect dat de volgende gewassen minder stikstof op kunnen nemen.

Bij het verwijderen van alle gewasresten daalt het berekende gemiddelde nitraatgehalte in de helft van de situaties onder de EU-nitraatnorm.

Bemesten van prei via fertigatie leidt tot een betere benutting door het gewas en tot een afname van de 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, beschreven in dit rapport, heeft betrekking op kernbedrijf Meterik 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 kernbedrijf Vredepeel zijn apart gerapporteerd in Assinck & De Willigen (2004). Er heeft op verzoek van de opdrachtgever geen extrapolatie plaatsgevonden voor de langere termijn.

Het doel van de berekeningen voor Meterik 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 bodem- en perceelsbalans. De effecten van de diverse maatregelen op de stikstofbalans staan in hoofdstuk 4. Daarna volgen de conclusies.

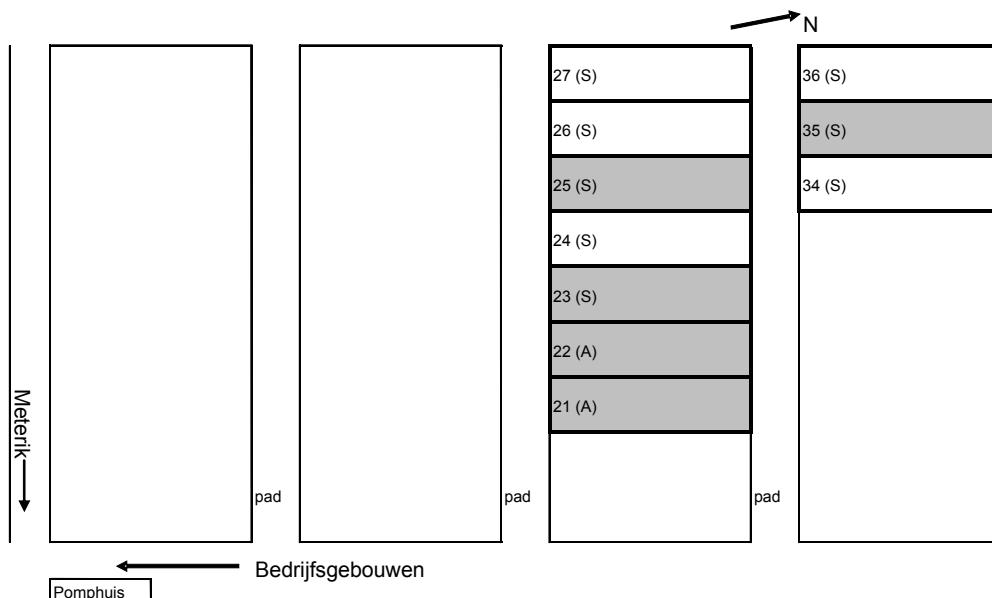
2. Materiaal & methoden

De simulatieberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van de gekoppelde modellen FUSSIM2 (Heinen & De Willigen, 1998, 2001) en MOTOR (Assinck & Rappoldt, 2004). 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 stikstoffluxen.

2.1 Meterik

Meterik is een PPO-AGV proefboerderij voor onderzoek aan vollegrondsgroenteteelt in zuidoostelijk Nederland en is een zogenaamd kernbedrijf in het 'Telen met toekomst'-project. Het bedrijf ligt iets ten noordwesten van de plaats Meterik. De bodem wordt gekarakteriseerd als een bruine enkeerd (De Vos *et al*, 2002). De grondwaterstand is over het algemeen diep.

Op Meterik worden voor Telen met toekomst twee bedrijfssystemen nagebootst. Dit onderzoek heeft betrekking op het gespecialiseerde bladgewassenbedrijf. De belangrijkste gewassen zijn Chinese kool, ijssla en prei en worden geteeld als vroege, late, zomer-, herfst- of wintergewas. Er zijn twee typen onderzoekspcelen. Op de Synthese-percelen (8 in totaal) wordt getracht de milieudoelen te behalen tegen een zo laag mogelijke opbrengstderving. Op de twee Analyse-percelen worden de meest stringente maatregelen genomen om de verliezen te beperken (Zwart & Smit, 2001). In Figuur 2.1 zijn de onderzoekspcelen weergegeven.



Figuur 2.1. Telen met toekomst percelen van proefboerderij Meterik. (A) zijn Analyse-percelen en (S) Synthese-percelen. De gekleurde percelen zijn in het modelonderzoek meegenomen.

Om pragmatische redenen zijn niet alle Telen met toekomst-onderzoekspcelen van het gespecialiseerde bladgewassenbedrijf meegenomen in dit modelonderzoek. In overleg met PPO (J. de Haan) is gekozen voor de Analyse-percelen en de meest overeenkomstige Synthese-percelen (K.B. Zwart, *persoonlijke mededeling*). Deze percelen zijn gekleurd in Figuur 2.1.

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.

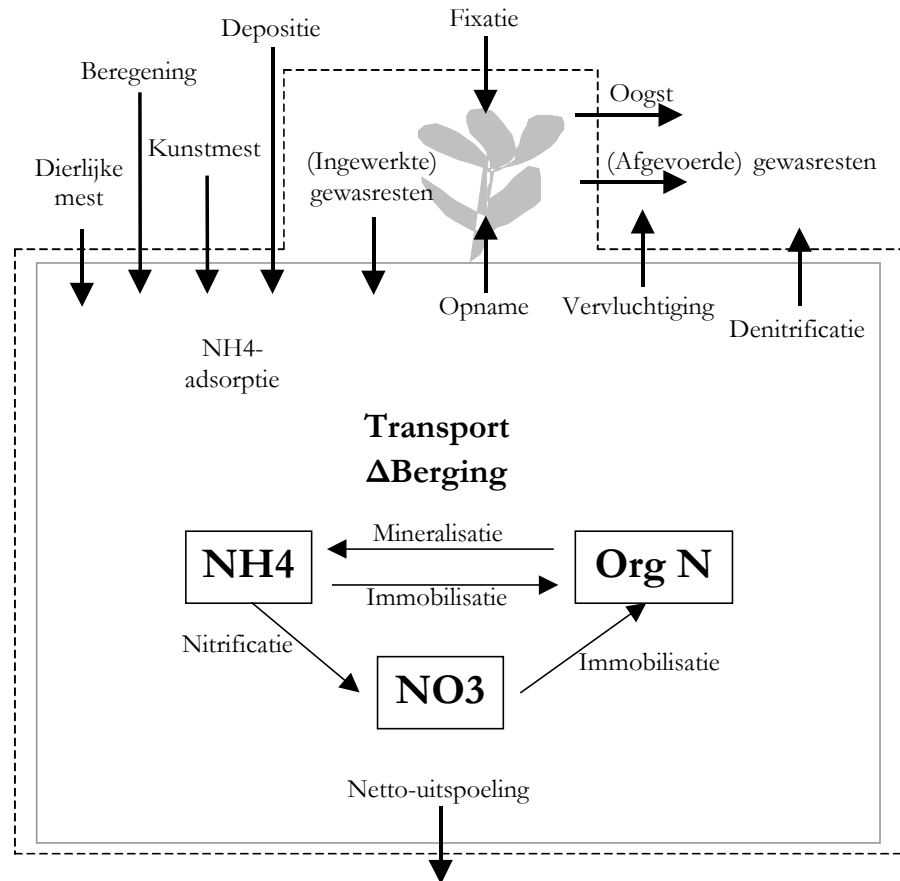
In Figuur 2.2 zijn de processen van de stikstofkringloop schematisch weergegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de bodembalans en de perceelsbalans. Stikstofstromen, die de getrokken lijnen kruisen, maken deel uit van de bodembalans. Stikstofstromen, die de gestreepte lijnen kruisen, horen bij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

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).



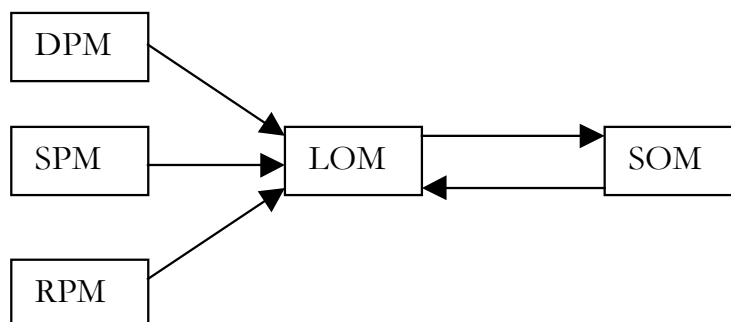
Figuur 2.2. Stikstofkringloop inclusief de in dit modelonderzoek beschouwde processen. Stikstofstromen, die de getrokken lijnen kruisen, horen bij de bodembalans. Stikstofstromen, die de gestreepte lijnen kruisen, horen bij de perceelsbalans.

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). 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).



Figuur 2.3. Schematische voorstelling van het modelconcept voor organische stofdynamiek. De weergegeven pools zijn 'decomposable' (DPM), 'structural' (SPM), 'resistant plant materiaal' (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.
- Er zijn geen vlinderbloemigen geteeld op de onderzochte percelen. Met fixatie van stikstof uit de lucht hoeft dus geen rekening gehouden te worden.
- 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.
- Gewasresten bevatten bij deze modelberekeningen alleen organische stikstof met uitzondering van de resten van Chinese kool en ijssla. Chinese kool en sla in het algemeen staan bekend als nitraatrijke groenten. Aangenomen is dat het nitraatgehalte in de Chinese koolresten 1500 mg/kg is. Volgens Van der Schee & Speek (2002) is het nitraatgehalte in ijssla lager dan in de overige slasoorten. Zij berekenden een gemiddeld nitraatgehalte in de zomer van 1020 en in de winter van 843 mg/kg. In de berekeningen is voor ijsslaresten een nitraatgehalte van 1000 mg/kg aangenomen. Het restant

van de stikstof in de gewasresten is dus organisch van aard. 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.
- Aangezien het stikstofgehalte in het beregeningswater van Meterik met 25 kg N/(ha · 100 mm berekening) hoog is, wordt met de aanvoer van stikstof via beregeningswater rekening gehouden. Het stikstofgehalte in het beregeningswater komt overeen met een nitraatconcentratie van 111 mg NO₃/l.
- Met stikstof in het poot- en zaaigoed wordt geen rekening gehouden. Die hoeveelheid is over het algemeen ook gering.
- Volgens Kroonen-Backbier *et al* (1996) is de grond op Meterik diep doorwortelbaar. De bewortelingsdiepte wordt hier dus niet beperkt door de bodemgesteldheid, maar hangt af van het gewas.
- De modellen houden geen rekening met opgelost organisch materiaal.
- Prei, die gedurende de winter op het land staat, verliest als gevolg van het afsterven en afvallen van blad volgens A. Pronk (Plant Research International ongeveer 45 kg N/ha. Aangenomen is dat als gevolg van afbraak in de winter 20 kg hiervan in de eerste week van maart beschikbaar is gekomen in anorganische vorm. De resterende 25 kg is organisch van aard en wordt bij de eerste grondbe- werking na begin maart in de bodem gewerkt.

2.3 Modelinvoer

De periode in de modelberekeningen loopt van 1 maart 2001 tot en met 1 maart 2003. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de Analyse-percelen 21 en 22 en voor de Synthese-percelen 23, 25 en 35 (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 Meterik zelf. In de periode 1 maart 2001 - 1 maart 2002 is 1031 mm neerslag gevallen. In de periode 1 maart 2002 - 1 maart 2003 is 877 mm gevallen. Voor deze regio van het land zijn dit natte jaren, want de gemiddelde neerslag voor een ander KNMI-weerstation in de buurt (Arcen) is volgens Heijboer & Nellestijn (2002) in de normaalperiode 1971-2000 750 mm.

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

2.3.2 Bodem

De bodem van proefboerderij Meterik is door De Vos *et al* (2002) gekarakteriseerd als een bruine enkeerd. Het gemiddelde organische stofgehalte in de laag 0-30, 30-60 en 60-90 cm beneden maaiveld (cm-mv) is respectievelijk 2,8, 2,2 en 1,7%. Door De Vos *et al* (2002) zijn voor drie bodemlagen van twee percelen (22 en 35) in het laboratorium bodemfysische metingen uitgevoerd. Op basis van de meetresultaten zijn voor de drie bodemlagen 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 weergegeven.

De profielbeschrijvingen uit De Vos *et al* (2002) en de gefitte bodemfysische parameters uit Bijlage I worden geacht representatief te zijn voor alle onderzochte percelen op Meterik. 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 3,5 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.

Volgens Kroonen-Backbier *et al* (1996) is de grondwaterstand op Meterik diep. Uit Zwart (2003) blijkt dat door stagnatie van regenwater een schijngrondwaterspiegel aanwezig kan zijn. Uit de in 2002 gemeten drukhoogten op 150 cm diepte is een verloop voor de drukhoogte op de onderrand berekend. Vanwege het ontbreken van meetgegevens is op basis van het drukhoogte-verloop in 2002 en het verschil in het verloop van het neerslagoverschot in 2001 en 2002 een inschatting gemaakt voor het drukhoogteverloop in 2001. Hoewel deze inschatting grof en dus aan discussie onderhevig is, is deze methode verkozen boven het alternatief, namelijk een vaste grondwaterstand op grote diepte.

De gekozen methode heeft als voordeel dat het patroon van het neerslagoverschot weerspiegeld wordt in de onderrandvoorwaarde, wat leidt tot een verandering van de geborgen hoeveelheid water in het profiel. Bij een vaste grondwaterstand wordt geen rekening gehouden met een bergingsverandering als gevolg van droogte of neerslag. Bij bijvoorbeeld een groot neerslagoverschot wordt in dit geval een (waarschijnlijk niet-reële) neerwaartse waterflux over de onderrand geforceerd om aan de onderrandvoorwaarde te voldoen.

2.3.4 Initiële toestand

Initieel is het water in alle percelen in evenwicht met een grondwaterstand van 104 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, 30-60 en 60-90 cm-mv. De minerale stikstof uit de laag 60-90 cm-mv is bij de berekeningen verdeeld over de laag 60-100 cm-mv. Aangenomen is dat zich initieel in de laag 100-200 cm-mv nog eens 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.

Analoog aan de modelberekeningen voor Vredepeel (Assinck & De Willigen, 2004) is bij de modelberekeningen voor Meterik niet uitgegaan van een gekalibreerde verdeling tussen LOM en SOM maar is een verdeling aangenomen. Wederom is besloten 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.

Hoewel aan de laag 30-60 cm-mv geen organische stof wordt toegediend, is aangenomen dat de bodemorganische stof in deze laag actiever is dan in dezelfde laag op proefboerderij Vredepeel. Deze aanname is gebaseerd op de geringe verschillen in bodemkenmerken en organische stofgehalte van de lagen 0-30 en 30-60 cm-mv van Meterik. Ook voor de laag 30-60 cm-mv is aangenomen dat 39% van de bodemorganische stof uit LOM en 61% uit SOM bestaat.

De laag 60-90 cm-mv lijkt niet op de bovenliggende lagen. Aangenomen is dat deze laag beduidend minder actief is en dat 2% van de bodemorganische stof in deze laag 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 en oogst geregistreerd door het personeel van de proefboerderij. Daarnaast is voor elke hoofdteelt en groenbemestinggewas 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*, 2004, *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 Chinese kool 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 Chinese kool is het LAI verloop in de tijd van ijssla geschaald naar de op het perceel geregistreerde groeiperiode. Het verloop van de stikstofvraag voor Chinese kool is ingeschat op basis van het Duitse KNS-systeem ('Kulturbegleitenden Nmin Sollwerte'-system) en de ervaringen op de proefboerderij (P. Wanten, *persoonlijke mededeling*). Het verloop van deze stikstofvraag in de tijd is vervolgens geschaald naar de gemeten hoeveelheid stikstof in het oogstproduct en de gewasresten.

De gewasfactoren als functie van de tijd voor de verschillende gewassen zijn afkomstig uit Bosch & De Jonge (1989) en Feddes (1987).

Gegevens over de verdeling van wortels in de bodem en de tijd zijn schaars en daardoor afkomstig van diverse bronnen. Voor granen en bladrammenas zijn in het Wageningen Rhizolab bepaalde LRV 's (cm/cm^3) als functie van de temperatuursom beschikbaar gesteld door Bert Smit & Ko Groenwold (Plant Research International, *persoonlijke mededeling*). Net als bij Vredepeel is aangenomen dat de verdeling van Tageteswortels in de bodem gelijk is aan die van bladrammenas (Assinck & De Willigen, 2004). Phillip Ehlert (Alterra) heeft wortelboorgegevens beschikbaar gesteld, waaruit een LRV -verloop voor ijssla en Chinese kool bepaald is. Het LRV -verloop voor prei is afkomstig van Smit *et al* (1996).

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 Meterik verschillende vormen van bemesting toegepast, namelijk kunstmest, organische mest en gewasresten. Van elk van deze vormen van bemesting is de samenstelling (min of meer) bekend of geanalyseerd.

De samenstelling (met name de verdeling over ammonium en nitraat) van kunstmest (bijvoorbeeld KAS of Entec26) ligt vast en is eenvoudig op te geven in FUSSIM2-MOTOR.

Op Meterik is in een aantal gevallen bewerkte varkensdrijfmest gebruikt, waarvan de samenstelling niet geanalyseerd is. Op basis van gegevens van bewerkte varkensdrijfmest van Vredepeel is een inschatting gemaakt van de verdeling organische en anorganische stikstof. De anorganische stikstof is na correctie voor ammoniakvervluchtiging op dezelfde wijze opgegeven als kunstmest. Ijssla en Chinese kool bevatten relatief veel nitraat (bij deze berekeningen respectievelijk 1000 en 1500 mg/kg). De nitraat in de ingewerkte gewasresten van ijssla en Chinese kool is ook 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 analysesresultaten 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.

Aangezien het stikstofgehalte in het beregeningswater van Meterik met 25 kg N/ 100 mm beregening hoog is, moet met de aanvoer van stikstof via beregeningswater rekening gehouden worden. De stikstof in beregeningswater is op dezelfde manier opgegeven als kunstmest.

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. De onderzochte teeltmaatregelen zijn:

- het gebruik van groenbemesters
- het verwijderen van gewasresten
- het bemesten via fertigatie

Groenbemesters maken al deel uit van het 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.

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.

In de huidige bedrijfsvoering wordt de prei van perceel 22 voorzien van stikstof via fertigatie. Met behulp van één modelberekening is onderzocht wat het effect is van het fertigeren op de stikstofbalans door dezelfde hoeveelheid stikstof te bemesten via de principes van het stikstofbijmeststelsel (NBS). In plaats van vele kleine bemestingen met opgeloste stikstof zijn 2 bemestingen met het kunstmest Entec26 uitgevoerd.

3. Resultaten en discussie

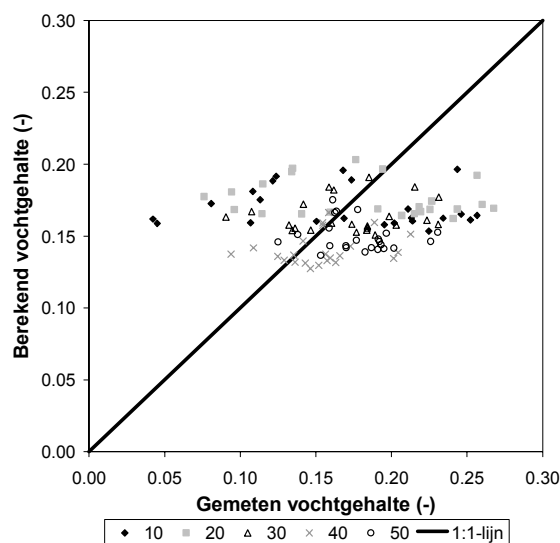
3.1 Modelresultaten versus meetresultaten

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

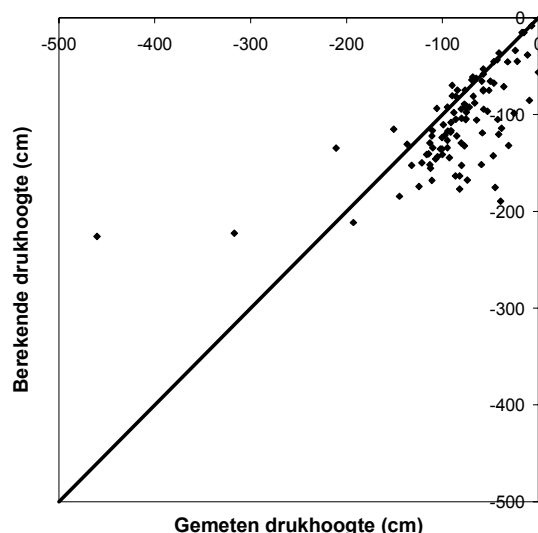
- de volumetrische watergehalten per 10 cm voor de laag 0–50 cm beneden maaiveld (cm-mv) en de drukhoogten op 30, 60, 90, 120 en 150 cm-mv,
- de gerealiseerde opname door het gewas,
- de hoeveelheid minerale stikstof (N_{\min}) in de lagen 0–30, 30–60 en 60–90 cm-mv,
- de nitraat- en ammoniumconcentraties op 1 m-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 gesimuleerde en de gemeten vochtgehalten van de bovenste 50 cm tegen elkaar uitgezet voor perceel 21. In Figuur 3.2 zijn de gesimuleerde en de gemeten drukhoogten tegen elkaar uitgezet voor het bodemprofiel van perceel 21 tot 1.5 m diep.



Figuur 3.1. Verband tussen gesimuleerde en gemeten vochtgehalten (-) op 10, 20, 30, 40 en 50 cm-mv van perceel 21. Ter verduidelijking is ook de 1:1-lijn weergegeven.



Figuur 3.2. Verband tussen gesimuleerde en gemeten drukhoogten (in cm) voor het bodemprofiel van perceel 21 tot 1,5 m diep. Ter verduidelijking is ook de 1:1-lijn weergegeven.

Het in Figuur 3.1 en 3.2 getoonde beeld is vergelijkbaar voor de overige percelen, waar gemeten is. Uit Figuur 3.1 blijkt dat de berekeningen het vochtgehalte niet structureel over- of onderschatten. Wel is er een zeer duidelijk verschil in spreiding tussen de gemeten en gesimuleerde vochtgehalten. De gesimuleerde waarden liggen allen binnen het bereik 0,12-0,21, terwijl de meetwaarden in het bereik 0,04-0,27 liggen. Oftewel de spreiding in de meetwaarden is veel groter dan in de berekende waarden. Tussen de gemeten en berekende vochtgehalten bestaat geen overeenkomst (correlatiecoëfficiënt $R^2 < 0,01$ voor alle data).

Uit Figuur 3.2 blijkt dat de berekeningen de gemeten drukhoogten in de meeste gevallen overschatten. In een tweetal gevallen is er sprake van een zeer duidelijke onderschatting. Het betreffen hier metingen uit juni 2002 op 30 cm-mv. Ook bij de drukhoogten is spreiding in de metingen groter dan in de berekende waarden. De correlatiecoëfficiënt R^2 voor de data uit Figuur 3.2 is 0,42.

Bepalend voor het al dan niet goed modelleren van de waterhuishouding is de onderrandvoorwaarde, die gekozen wordt bij de modelberekeningen. Hier is als onderrandvoorwaarde gekozen voor een verloop van de drukhoogte in de tijd. Deze is ingeschat op basis van gemeten drukhoogten op 150 cm diepte. In principe is de drukhoogte op deze diepte wekelijks gemeten. Dit is echter niet altijd mogelijk geweest aangezien de tensiometers regelmatig verwijderd moesten worden in verband met grondbewerkingen.

Bovendien kan de aanname, die impliciet ten grondslag ligt aan de omrekening van de drukhoogte op 150 cm diepte naar de drukhoogte op de onderrand, namelijk hydrostatisch evenwicht, ter discussie gesteld worden. Het aantal metingen en de omrekenmethode zijn samen onvoldoende gebleken om de gehele dynamiek in de waterhuishouding goed te kunnen modelleren.

Ondanks de genoemde problemen verdient de gekozen onderrandvoorwaarde de voorkeur boven het alternatief, namelijk een vaste grondwaterstand op grote diepte. Berekeningen met dit type onderrandvoorwaarde leiden tot grote, structurele afwijkingen tussen gemeten en gesimuleerde drukhoogten en vochtgehalten. Om de overeenkomst tussen gesimuleerde en gemeten waarden te verbeteren met het gekozen type onderrandvoorwaarde zijn dagelijkse metingen van grondwaterstand of drukhoogte wenselijk.

Uit laboratoriummetingen blijkt dat de waterretentiecurve van de grond in Meterik sterke hysteresis vertoont. Ook in het veld treedt overeenkomstige hysteresis op. De punten, verkregen uit veldmetingen, liggen allen ruim binnen de in het laboratorium bepaalde hysteresis (niet getoond).

3.1.2 Gewasopname

Bij vergelijking van de streefwaarde voor de opname (oftewel de gemeten opname) met de door de modellen berekende opname blijkt dat bij geen enkele modelberekening volledig aan de streefwaarde kan worden voldaan. In alle gevallen is een tekort aan stikstof in de wortelzone de oorzaak voor het niet-realiseren van de stikstofvraag.

In twee situaties, namelijk tijdens de preiteelten in 2002 van perceel 22 en 23, is er naast het tekort aan stikstof in de wortelzone nog een tweede oorzaak. De ontwikkeling van de wortels van prei (afkomstig van Smit *et al*, 1996) komt nogal langzaam op gang. Door de langzame beginontwikkeling van de wortels kan de prei, ondanks de aanwezigheid van voldoende stikstof in de bodem, niet genoeg stikstof opnemen. Door de in de modelberekeningen opgegeven wortelontwikkeling iets sneller te laten beginnen, kan er wel voldoende stikstof opgenomen worden door de prei (totdat er een tekort aan stikstof ontstaat in de wortelzone). In dit rapport zijn de resultaten beschreven van de modelberekeningen met de aangepaste wortelontwikkeling voor prei.

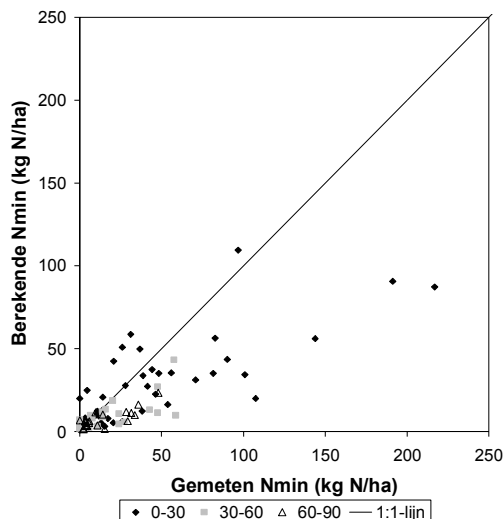
Gemiddeld genomen kunnen ijssla en Chinese kool bij de modelberekeningen ruim 80% van de gevraagde hoeveelheid stikstof uit de bodem opnemen. Prei, Tagetes en rogge kunnen 95% of meer van de gevraagde hoeveelheid stikstof uit de bodem opnemen.

Zoals gezegd is er in alle gevallen, waarin de stikstofvraag niet gerealiseerd kan worden, sprake van een tekort aan stikstof in de wortelzone. De precieze oorzaak hiervan is niet duidelijk. Waarschijnlijk is de mineralisatie in de modelberekeningen lager dan in de werkelijkheid. Opvallend is namelijk dat de bereik van de gemeten N_{\min} -waarden (zoals uit paragraaf 3.1.3 zal blijken) groter is dan berekend.

Bij het niet-realiseren van de stikstofvraag moet wel bedacht worden dat met name ijssla en Chinese kool veel stikstof vragen in een relatief korte groeiperiode. De stikstofvraag kan oplopen tot gemiddeld 4 kg N/(ha·dag) over de gehele groeiperiode van het gewas.

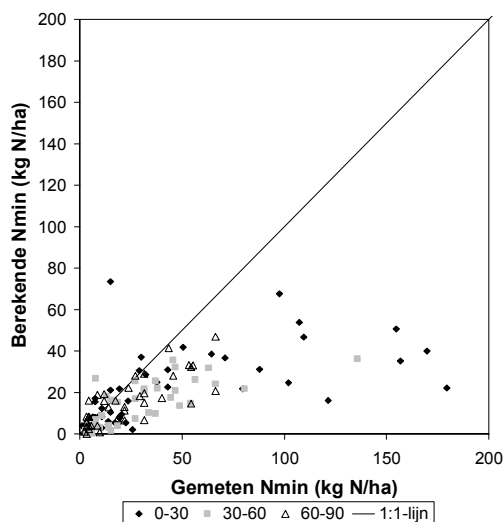
3.1.3 Minerale stikstof

In Figuur 3.3 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 3.4 staat hetzelfde maar dan voor het jaar 2002.



Figuur 3.3. 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.

Uit Figuur 3.3 en 3.4 blijkt, dat in zijn algemeenheid de gemeten waarden onderschat worden (berekend is lager dan gemeten). De onderschatting lijkt in 2001 toe te nemen met de diepte, in 2002 is deze trend niet aantoonbaar. Daarnaast is de onderschatting vooral groot bij de hogere meetwaarden (>50 kg N/ha). Het gemeten N_{min} -bereik is ongeveer twee keer zo groot als berekende bereik. Echter, al gedurende het onderzoek werd zo nu en dan getwijfeld aan de juistheid van de extreem hoge N_{min} -waarden en de dynamiek ervan. Zie hiervoor bijvoorbeeld de N_{min} -metingen in juli-augustus 2001 (Figuur 3.5).



Figuur 3.4. Als Figuur 3.3, maar dan voor het jaar 2002.

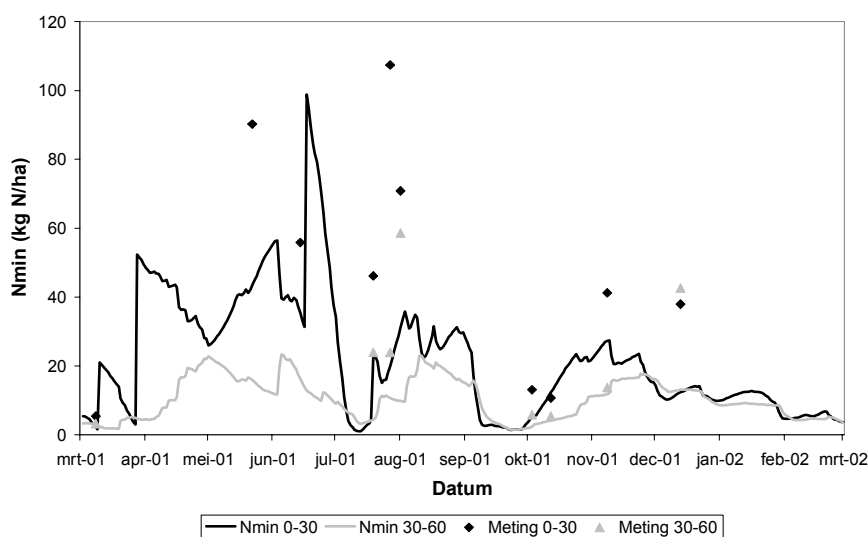
Lineaire regressie uitgevoerd op alle data uit Figuur 3.3 (ongeacht de laag) levert een correlatiecoëfficiënt (R^2) op van 0,59. De correlatiecoëfficiënt, horende bij alle data uit Figuur 3.4, heeft een waarde van 0,26. Met andere woorden: in 2001 komen de berekende N_{min} -waarden beter overeen met 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.

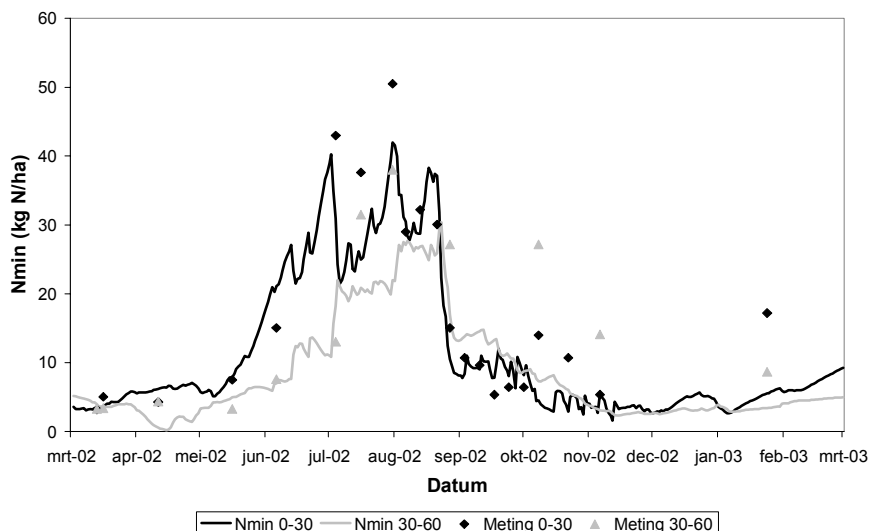
De richtingscoëfficiënten van de regressielijn voor 2001 en 2002 zijn respectievelijk 0,49 en 0,37. Met andere woorden: in 2001 onderschat de berekening de gemeten N_{\min} -waarde met 51% en in 2002 met 63%. De grootte van de onderschatting wordt in grote mate veroorzaakt door enkele uitschieters in de metingen, soms waarden waaraan sterk getwijfeld werd.

Hoewel de berekende N_{\min} -waarden de gemeten waarden duidelijk onderschatten, is de dynamiek in de tijd, oftewel de momenten waarop veranderingen in de N_{\min} -waarden optreden, veelal wel goed berekend. In Figuur 3.5 (2001) en 3.6 (2002) zijn de gemeten en berekende N_{\min} -waarden van de lagen 0-30 en 30-60 cm-mv voor het Analyse-perceel 22 weergegeven. In 2001 is op het betreffende perceel ijsla en Chinese kool geteeld en in 2002 prei.

In Bijlage II zijn soortgelijke figuren opgenomen voor de overige percelen (21, 23, 25 en 35).



Figuur 3.5. Gemeten en berekende N_{\min} -waarden als functie van de tijd voor perceel 22 (Analyse) 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. De bijbehorende teelt is ijsla en Chinese kool.

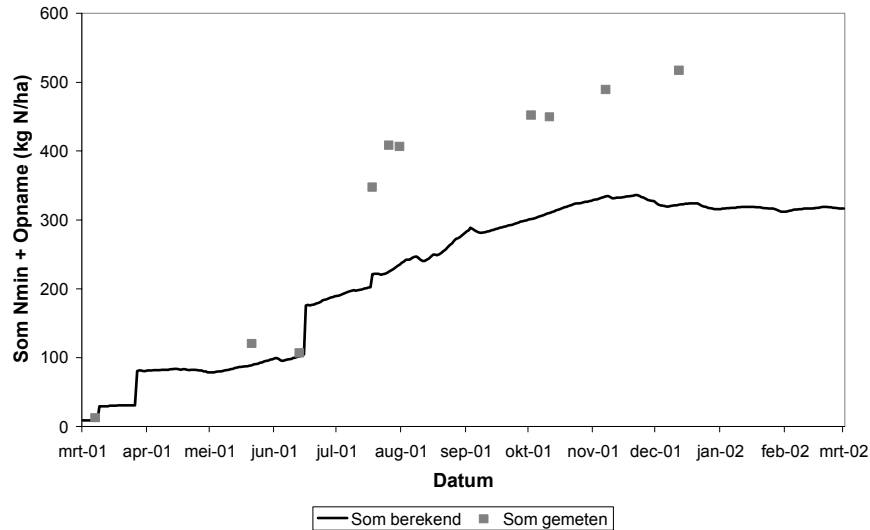


Figuur 3.6. Gemeten en berekende N_{min} -waarden als functie van de tijd voor perceel 22 (Analyse) en het jaar 2002. De gepresenteerde lagen zijn 0-30 cm-mv en 30-60 cm-mv. Laag 60-90 cm-mv is niet weergegeven. De bijbehorende teelt is prei.

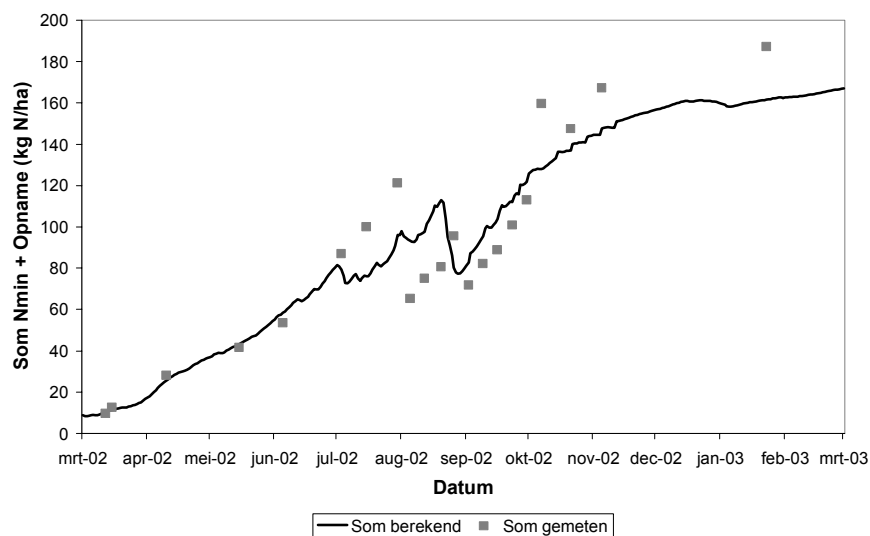
Uit de Figuren 3.5 en 3.6 en Bijlage II blijkt dat de momenten, waarop veranderingen in de N_{min} -waarden optreden goed berekend worden. De grootte van de veranderingen wordt echter te laag berekend. Mogelijk omdat uit ingewerkte gewasresten sneller stikstof vrijkomt of omdat door niet gemodelleerde grondbewerkingen (bijvoorbeeld schoffelen) de mineralisatie van de (bodem)organische stof meer gestimuleerd is dan berekend. Waarschijnlijk wordt de mineralisatie van de bodemorganische stof en/of de organische aanvoer dus onderschat in de modelberekeningen.

In Figuur 3.7 (2001) en 3.8 (2002) zijn wederom berekende en gemeten waarden voor perceel 22 met elkaar vergeleken. Gepresenteerd is de som van de hoeveelheid N_{min} in de laag 0-60 cm-mv en de opname, oftewel de voor opname beschikbare en de reeds opgenomen hoeveelheid stikstof zijn bij elkaar opgeteld. Een toename van deze som moet het resultaat zijn van een aanvoer van anorganische stikstof via bemesting, depositie, beregening en/of mineralisatie. Een afname van deze som kan alleen maar het resultaat zijn van denitrificatie of uitspoeling.

Figuur 3.7 geeft een duidelijk voorbeeld van de snelle toename in de tijd van de metingen. Op 13 juni is de berekende en gemeten som van beschikbare en opgenomen stikstof ongeveer gelijk (107 kg N/ha). Op 18 juli zijn de gemeten en berekende som respectievelijk 347 en 221 kg N/ha, oftewel de toename bij de metingen is ruim twee keer zo groot als de toename bij de berekeningen. In de betreffende periode heeft ijssla op het perceel gestaan. Deze is in die periode bemest met 70 kg N/ha aan kunstmest. Bovendien is de ijssla geoogst en zijn de gewasresten op 17 juli ingewerkt. Een mogelijke verklaring voor de grotere toename van de gemeten som is dat in de werkelijkheid er meer stikstof vrijgekomen is uit de bodemorganische stof en uit de gewasresten van de ijssla dan bij de modelberekeningen. Het is echter ook heel goed mogelijk dat de meting van 18 juli niet klopt. Tussen 13 juni en 18 juli treedt namelijk het grootste verschil op tussen de metingen en de berekening. Het verschil tussen metingen en berekeningen neemt na 18 juli namelijk nauwelijks meer toe. De trend in de metingen en de berekening is met andere woorden na 18 juli gelijk.



Figuur 3.7. Gemeten en berekende som van de hoeveelheid N_{min} in de laag 0-60 cm-mv en de opname als functie van de tijd voor perceel 22 en het jaar 2001.



Figuur 3.8. Gemeten en berekende som van de hoeveelheid N_{min} in de laag 0-60 cm-mv en de opname als functie van de tijd voor perceel 22 en het jaar 2002.

In Figuur 3.8 neemt halverwege augustus de berekende som af. Analyse van de modelresultaten leert dat er uitspoeling heeft opgetreden. Waarschijnlijk is de berekende uitspoeling een onderschatting van de werkelijk opgetreden uitspoeling, want de metingen tussen juli en september laten zien dat er twee perioden zijn waarin de gemeten som sterk afneemt.

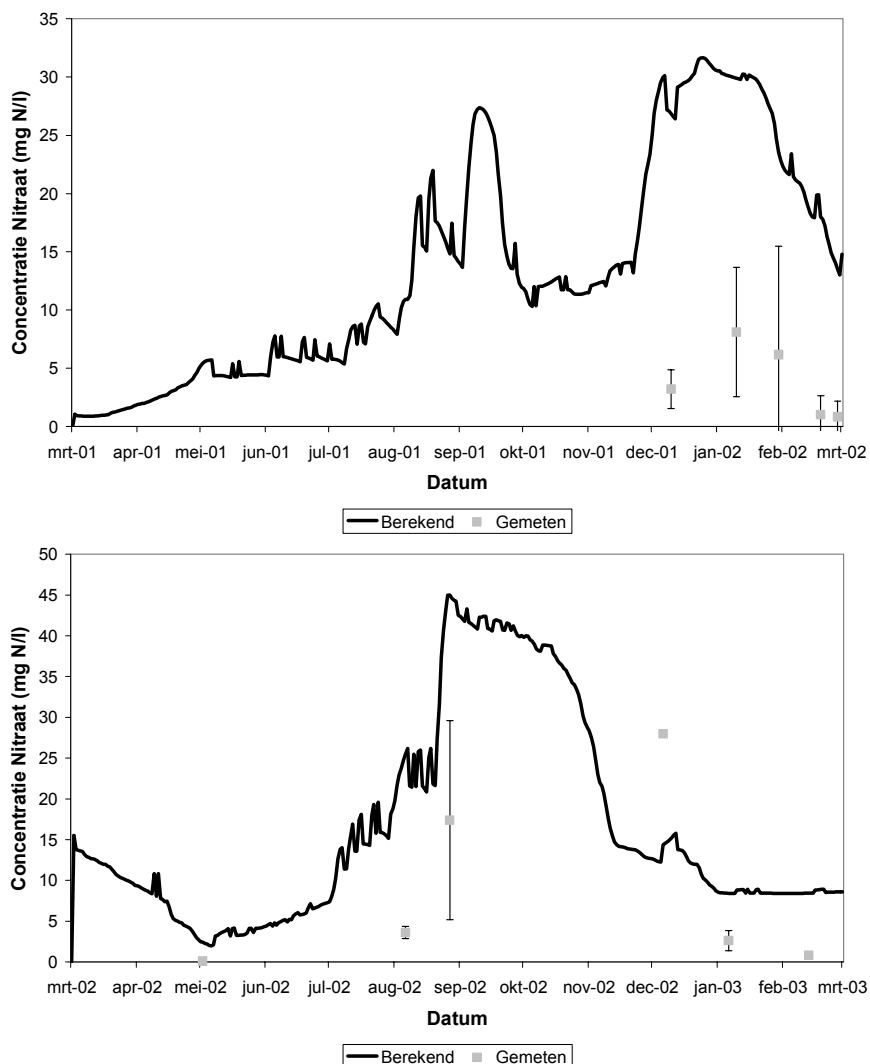
Bij het beoordelen van de diverse figuren en de overige resultaten moet rekening gehouden worden met het feit, dat naast onzekerheid in de modelresultaten ook N_{min} -metingen gepaard gaan met onzekerheid.

3.1.4 Nitraat- en ammoniumconcentraties

In het veld zijn op 1 m-mv nitraat- en ammoniumconcentraties gemeten. De ammoniumconcentraties zijn over het algemeen zo laag, dat ze hier buiten beschouwing gelaten worden.

Figuur 3.9 laat de berekende en gemeten nitraatconcentraties zien voor perceel 22 en de jaren 2001 en 2002. Er zijn percelen en jaren waarbij de overeenkomst tussen metingen en berekeningen vergelijkbaar is, maar ook betere overeenkomsten komen voor (zie Bijlage III voor soortgelijke plaatjes van de overige figuren). Over het algemeen zijn de berekende concentraties in 2001 iets hoger dan de gemeten concentraties. In 2002 kan deze constatering niet gedaan worden.

De orde van grootte van de metingen en de berekeningen komen goed met elkaar overeen. Het is echter moeilijk om te beoordelen of de berekende dynamiek in de tijd goed overeenkomt met de gemeten dynamiek in de tijd, omdat bij de percelen relatief weinig metingen uitgevoerd zijn. Daarnaast kan de spreiding tussen metingen, uitgevoerd op hetzelfde moment in hetzelfde perceel, groot zijn (zie ook Smit *et al*, 2004).



Figuur 3.9. Gemeten en berekende nitraatconcentraties op 1 m-mv van perceel 22 en het jaar 2001 (bovenste figuur) en 2002 (onderste). De balkjes rond de gemiddelde gemeten nitraatconcentraties geven de standaardafwijking weer. Let op: de waarden zijn in mg N/l en niet in mg NO₃/l weergegeven. De EU-nitraatnorm van 50 mg nitraat/l komt overeen met een hoeveelheid van 11,3 mg N/l.

3.1.5 Conclusies

De overeenkomst tussen de gemeten en de berekende vochtgehalten en drukhoogten is slecht respectievelijk redelijk. Ondanks de verbetering ten opzichte van een vaste grondwaterstand op grote diepte, zijn er toch onvoldoende metingen voorradig om de drukhoogte op de onderrand als functie van de tijd (en daarmee de waterhuishouding) goed weer te geven. Op kernbedrijf Vredepeel werd de waterhuishouding beter gesimuleerd. Daar waren echter dagelijkse grondwaterstandsmetingen beschikbaar.

De grond in Meterik vertoont, net als op Vredepeel, sterke hysteresis in de waterretentie. Dit is zowel in het laboratorium als in het veld aangetoond.

De berekende stikstofopname door de gewassen onderschat de gemeten stikstofopname, met name voor de gewassen ijssla en Chinese kool. De stikstofvraag van deze twee gewassen was in een aantal situaties hoog, namelijk gemiddeld over de gehele groeiperiode 4 kg N/(ha·dag). Op Vredepeel werd over het algemeen de gemeten stikstofopname wel gerealiseerd. De groeiperiode van de gewassen op Vredepeel was echter langer dan op Meterik. De stikstofvraag per dag was op Vredepeel dan ook lager dan op Meterik.

De berekende N_{\min} -waarden onderschatten de gemeten waarden, vooral bij de hogere meetwaarden. De gemeten dynamiek in de tijd (oftewel de momenten waarop veranderingen in de N_{\min} -waarden optreden) wordt wel redelijk goed weergegeven. De grootte van de veranderingen in de gemeten N_{\min} -waarden is echter veel groter dan berekend. Aan de waarde van sommige hoge metingen wordt echter getwijfeld. De overeenkomst tussen gemeten en berekende N_{\min} -waarden op Vredepeel was beter.

De berekende en gemeten nitraatconcentraties op 1 m-mv 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 grote spreiding kunnen vertonen.

Het niet kunnen realiseren van de opnamevraag en het onderschatten van de gemeten N_{\min} -waarden duiden er op dat waarschijnlijk de berekende mineralisatie van de bodemorganische stof en/of de organische aanvoer te laag is.

De overeenkomst tussen metingen en berekeningen is op Meterik minder dan op Vredepeel. Hiervoor zijn waarschijnlijk twee oorzaken. In de eerste plaats waren er op Vredepeel meer grondwaterstands- en drukhoogtemetingen beschikbaar dan op Meterik, waardoor de waterhuishouding op Vredepeel beter gemodelleerd werd. In de tweede plaats werd de mineralisatie op Vredepeel naar alle waarschijnlijkheid wel redelijk goed berekend, terwijl de mineralisatie op Meterik werd onderschat bij de berekeningen. Dit verklaart de onderschatting van de gemeten N_{\min} -waarden en het niet realiseren van de gemeten stikstofopname door de gewassen.

Hoewel de overeenkomst tussen modelresultaten en metingen van Meterik niet goed is, zijn de modelberekeningen heel nuttig bij het analyseren en interpreteren van stikstoffluxen op de onderzochte percelen. Vooral het vergelijken van modelberekeningen onderling, zoals gedaan wordt in het volgende hoofdstuk over de effecten van maatregelen, is bij de analyse en interpretatie een sterk hulpmiddel.

3.2 Vergelijking tussen het Synthese en Analyse-teeltsysteem

3.2.1 Overzicht van de verschillen

In deze paragraaf worden de Synthese- en Analyse-resultaten, voor zover mogelijk met elkaar vergeleken, aan de hand van de bodembalans en de perceelsbalans. Gerealiseerd moet worden, dat een vergelijking tussen Synthese en Analyse maar beperkt mogelijk is. Bij dit onderzoek van Meterik zijn namelijk maar 2 Analyse-percelen en 3 Synthese-percelen betrokken. Hoewel de Analyse en de meest overeen-

komstige Synthese-percelen uitgekozen zijn, zijn de overeenkomsten tussen de verschillende percelen beperkt. Tevens moet gerealiseerd worden, dat met de onderzochte percelen geen volledige teeltrotatie 'weergegeven' wordt. Eventuele conclusies hebben dus betrekking op een deel van de rotatie en de bijbehorende teelthandelingen.

De bodembalans en de 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. (Organische) 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.

Op de bodembalans komt alleen het anorganische deel van de dierlijke mest en de gewasresten 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 Analyse-systeem, in de vorm van een bodembalans. Daarnaast is ter informatie aangegeven hoeveel het organische deel van de dierlijke mest en de gewasresten geweest is en wat de nitraatconcentratie op 1 m-mv is (in mg NO₃/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 IV. 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 Analyse-teeltsysteem in de vorm van een bodembalans. De hoofdgewassen in het teeltplan zijn onderstreept. Ter informatie zijn ook het organische deel van de dierlijke mest en de gewasresten en het nitraatgehalte op 1 m-mv. aangegeven. Gepresenteerd zijn gemiddelde waarden voor alle percelen berekend bij een bepaald teeltsysteem en jaar. De modelresultaten staan in kg N/ha met uitzondering van het nitraatgehalte (deze staat in mg NO₃/l).

Teeltplan	Synthese 2001			Synthese 2002			Analyse 2001			Analyse 2002		
	Hoofddeelten	Groenbemesters	Totaal	Hoofddeelten	Groenbemesters	Totaal	Hoofddeelten	Groenbemesters	Totaal	Hoofddeelten	Groenbemesters	Totaal
Gemiddelde MINERALE BODEMBALANS (kg N/ha)												
Aanvoer												
Kunstmest			80			126			122			114
Anorg. deel dierlijke mest			33			41			0			0
Anorg. deel gewasrest			15			21			19			4
Deposities			45			45			45			45
Beregening			9			19			8			23
Mineralisatie			162			240			179			171
Totaal aanvoer			344			492			373			357
Afvoer												
Vervluchtiging			3			4			0			0
Opname	155	48	203	243	42	285	186	73	259	210	31	241
Denitrificatie			1			1			1			1
Uitspoeling			143			201			119			115
Totaal afvoer			350			491			379			357
Bergingsverandering			-6			1			-6			0
Extra informatie (kg N/ha)												
Org. deel dierlijke mest			10			12			0			0
Org. deel gewasresten			126			174			126			76
Nitraatgehalte op 1 meter (mg NO ₃ /l)			78			130			63			76

Tabel 3.2. Modelresultaten van het Synthese- en Analyse-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 2001	Synthese 2002	Analyse 2001	Analyse 2002
Gemiddelde PERCEELSBALANS (kg N/ha)				
<u>Aanvoer</u>				
Kunstmest	80	126	122	114
Dierlijke mest	44	53	0	0
Depositie	45	45	45	45
Fixatie	0	0	0	0
Berekening	9	19	8	23
Totaal aanvoer	178	243	175	182
<u>Afvoer</u>				
Vervluchtiging	3	4	0	0
Denitrificatie	1	1	1	1
Uitspoeling	143	201	119	115
Oogstproducten	68	58	68	66
Afgevoerde gewasresten	0	0	62	54
Totaal afvoer	215	264	250	236
<u>Bergingsverandering</u> (organisch + anorganisch)	-37	-21	-75	-54

Zowel in het Analyse- als in het Synthese-teeltplan zijn groenbemesters (met name rogge) opgenomen om de stikstofverliezen na de oogst van de hoofdteelten te verminderen. Opvallend is dat de hoofdteelt ijssla op de Analyse-percelen gevolgd kan worden door een hoofdteelt Chinese kool. Bij de Synthese-percelen worden juist regelmatig twee ijssla-teelten of twee Chinese kool-teelten achter elkaar uitgevoerd.

De bemesting op de Synthese-percelen kenmerkt zich door het gebruik van een combinatie van kunstmest, dierlijke mest en gewasresten. Op de Analyse-percelen wordt geen dierlijke mest gebruikt en is alle aangevoerde organische stikstof afkomstig van gewasresten. Op de Synthese-percelen wordt gemiddeld de meeste organische stikstof en de meeste anorganische stikstof aangevoerd.

De gemiddelde netto-mineralisatie is bij de Synthese-percelen hoger dan bij de Analyse-percelen. Bovendien zijn de verschillen tussen beide jaren bij de Synthese-percelen ook groot, terwijl bij de Analyse-percelen de netto-mineralisatie in de beide jaren bijna gelijk is. Het verschil tussen de beide jaren bij de Synthese-percelen wordt deels veroorzaakt door geen rekening te houden met de organische aanvoer, die in 2000 is ingewerkt.

De aanvoer van stikstof via berekening is in 2002 ruim twee keer groter dan in 2001, de verschillen tussen de Synthese- en Analyse-percelen zijn minimaal.

De opgenomen hoeveelheid stikstof door de hoofdteelten is in 2001 het hoogst bij de Analyse-percelen en in 2002 bij de Synthese-percelen. Ook de stikstof-opname door de groenbemesters laat dit beeld zien. De totale stikstofopname is gemiddeld over de beide jaren bij de Analyse-percelen het hoogst.

De hoeveelheid stikstof in het afgevoerde product verschilt niet veel tussen de jaren en teeltsystemen. Bij de Synthese-percelen worden geen gewasresten afgevoerd, terwijl de hoeveelheid stikstof in de afgevoerde gewasresten bij de Analyse-percelen van dezelfde orde is als de hoeveelheid stikstof in het afgevoerde product.

Denitrificatie speelt op de percelen een marginale rol als verliespost. Belangrijker is de uitspoeling van nitraat. Deze is op de Synthese-percelen gemiddeld 55 kg N/ha groter dan op de Analyse-percelen. Dit beeld (Synthese > Analyse) 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 NO₃/l gehaald. De ‘Telen met toekomst’-streefwaarde voor kernbedrijven (Neeteson *et al*, 2001) van 25 mg NO₃/l wordt dan uiteraard ook nergens gehaald. De berekende gemiddelde nitraatconcentraties en de gemeten gemiddelde nitraatconcentraties uit Smit *et al* (2004) komen (redelijk) goed met elkaar overeen. De berekende gemiddelde nitraatconcentraties van de Analyse-percelen zijn hoger dan de gemeten concentraties uit Smit *et al* (2004), de berekende concentraties van de Synthese-percelen zijn juist lager dan de gemeten concentraties. De orde van grootte van de gemeten en berekende gemiddelde nitraatconcentraties is gelijk.

De bergingsverandering in de bodembalans is in 2001 negatief, maar klein ten opzichte van de grootte van de totale aanvoer of afvoer. In 2002 is de bergingsverandering in de bodembalans ongeveer 0. De bergingsverandering in de perceelsbalans is op de Analyse-percelen meer negatief dan op de Synthese-percelen. 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 IV.

Mineralisatie

De netto-mineralisatie is bij de Synthese-percelen gemiddeld hoger dan bij de Analyse-percelen (201 respectievelijk 175 kg N/(ha · j)). Dit verschil wordt verklaard door de verschillen in hoeveelheden en samenstelling van de organische bemesting, aangezien de hoeveelheden organische stof in de bodem nauwelijks verschillen.

Op de Analyse-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 over het algemeen juist later in het seizoen. Dit betekent dat de dierlijke mest eerder kan mineraliseren en mogelijk meer profiteert van gunstige (oftewel hoge) temperaturen om te mineraliseren. Laat ingewerkte gewasresten zijn pas in het volgende (voor)jaar onderhevig aan gunstige temperaturen voor mineralisatie.

De hoogste mineralisatie treedt op in 2002 op perceel 25 (312 kg N/ha). Op dit perceel is twee keer achter elkaar Chinese kool geteeld, waarvan de eerste aangetast was door koolvlieg. Deze teelt is niet geoogst en in zijn geheel ingewerkt in de bodem.

Op alle percelen is organische stof aangevoerd. Bij het onderzoeken van het effect van het verwijderen van alle gewasresten (zie hoofdstuk 4) zijn 3 percelen (21, 22 en 25) in 2001 aan te wijzen, waar geen organische stof is aangevoerd. Bovendien zijn op deze percelen geen oude, niet-geminaliseerde 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 110 kg N/(ha · j). Volgens een inschatting van Smit & Zwart (2003) op basis van laboratoriummetingen zou de mineralisatie (na temperatuurcorrectie) op Meterik 120 tot 235 kg N/(ha · j) bedragen. De door het model berekende gemiddelde mineralisatie uit de bodemorganische stof is dus aan de lage kant.

Uitspoeling

De laagst berekende hoeveelheid uitspoeling is 112 kg N/ha. Deze is gerealiseerd op Analyse-perceel 22 in 2001. De bijbehorende gemiddelde nitraatconcentratie is 60 mg NO₃/l. Op Synthese-perceel 35 is de gemiddelde nitraatconcentratie in 2001 het laagst, namelijk 55 mg NO₃/l (bij een uitspoeling van 114 kg N/ha). Op beide percelen (en dus ook op alle andere percelen) wordt niet voldaan aan de EU-nitraatnorm (Anoniem, 1991).

De hoogste gemiddelde nitraatconcentratie wordt berekend op perceel 25 in 2002 (namelijk 177 mg NO₃/l). Op dit perceel was een mislukte Chinese koolteelt in zijn geheel ingewerkt. Ook de uitspoelingsvrucht is op dit perceel met 275 kg N/ha het hoogst.

Alle berekende nitraatconcentraties voor de Synthese- en Analyse-percelen zijn weergegeven in Bijlage V.

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 IV blijkt dat er bij de meeste percelen een verlies van bodemorganische stikstof optreedt omdat de aanvoer kleiner is dan de mineralisatie. In slechts één geval (perceel 25 in 2002; mislukte, ingewerkte Chinese koolteelt) is de aanvoer van organische stikstof iets groter dan de mineralisatie.

Gemiddeld genomen wordt er 40 kg N/ha te weinig organische stof aangevoerd bij de Synthese-percelen en 74 kg N/ha te weinig bij de Analyse-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, depositie en berekening) 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 132 kg N/(ha · j) en op de Analyse-percelen 41 kg N/(ha · j). Het verschil tussen beide teeltsystemen is groter dan het verschil in de uitspoeling tussen beide systemen. Hieruit kan geconcludeerd worden, dat in de toekomst het verschil in de uitspoeling tussen beide systemen nog zal toenemen.

Op Analyse-perceel 22 is in 2002 de bodembelasting het laagst (ongeveer nul). Dit betekent dat de rogge en de prei samen ongeveer evenveel stikstof opnemen als er in totaal op het perceel is aangevoerd. Op perceel 25 (in het jaar 2002) is de bodembelasting het hoogst. Dit perceel draagt trouwens voor een aanzienlijk deel bij aan de hoge gemiddelde bodembelasting van de Synthese-percelen. Zonder dit perceel komt het verschil in de bodembelasting tussen beide systemen dicht in de buurt bij het verschil in de uitspoeling.

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 zien de ‘aanvoer’- (vergelijking 1) en ‘beschikbaar’-variant (vergelijking 2) er als volgt uit:

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

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

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),
$Bereg$	= de N-aanvoer via beregening (kg N/ha),
ΔN_{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.

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		$N_{effAanvoer} (-)$	$N_{effBeschikbaar} (-)$
Synthese	Gemiddelde	0,30	0,16
	Minimum	0,25	0,11
	Maximum	0,57	0,32
Analyse	Gemiddelde	0,32	0,17
	Minimum	0,22	0,12
	Maximum	0,56	0,30

Gemiddeld is de stikstof-efficiëntie van alle Synthese-percelen iets lager dan van alle Analyse-percelen. De hoofdgewassen op de Analyse-percelen benutten de stikstof op basis van deze definities dus beter. Van de totale hoeveelheid beschikbare minerale stikstof wordt ca. 1/6^{de} deel met oogstproducten afgevoerd. De rest kan verloren gaan.

Het minst efficiënt lijken percelen te zijn, waar in de herfst van 2001 ijssla geteeld is. Het meest efficiënt is perceel 35 in het jaar 2001. Op dit perceel is dan Chinese kool en rogge geoogst.

3.3 Vergelijking tussen de Synthese- en Analyse-percelen

Hoewel de teeltplannen van sommige percelen in sommige jaren op elkaar lijken, zijn er te veel verschillen in uitgangssituatie, opnamevraag en teelthandelingen om een zinvolle vergelijking uit te kunnen voeren. Aan een vergelijking tussen de individuele Synthese- en Analyse-percelen wordt in dit rapport verder dus geen aandacht besteed.

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 bemesten via fertigatie.

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 Analyse- en Synthese-percelen komen twee groenbemesters voor, namelijk rogge 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 uit 2002 kan beoordeeld worden wat het effect is geweest op de stikstofbalans tijdens de groei van de groenbemester. Helaas kan 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 uit 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 twee groenbemesters samengevat. In de tabel zijn alleen de groenbemesters verwerkt, die in 2001 geteeld zijn.

Tabel 4.1. *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 NO₃/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	Mineralisatie-verandering	Uitspoelings-verandering	Verandering in de Nitraatconcentratie
Rogge	44	25	-30	-11
Tagetes	72	51	-29	-8
Gemiddelde	52	32	-30	-10

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.

Het gebruik van de groenbemesters heeft een positieve invloed gehad op de opname door de volgende gewassen. Het gebruik van de rogge heeft er namelijk toe geleid dat er gemiddeld 3 kg N/ha meer opgenomen is door de volgende gewassen dan zonder het gebruik van de rogge. Het gebruik van de Tagetes heeft geleid tot 8 kg N/ha meer opname door de volgende gewassen.

4.2 Verwijderen van gewasresten

In de huidige bedrijfsvoering van de beide teeltsystemen worden gewasresten ingewerkt in de bodem. Bij de Analyse-percelen wordt echter ook een deel van de gewasresten afgevoerd. De ingewerkte gewasresten bestaan bij de Analyse-percelen uit de resten van groenbemesters en een enkel hoofdgewas. 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, zijn op 1 maart 2003 mogelijk nog niet veel effecten zichtbaar. Tussen het moment van inwerken of verwijderen van de gewasresten en 1 maart 2003 is er van de (laat) 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 mogelijk 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 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 op de mineralisatie en de uitspoelingsvracht. 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. 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
Ijssla	110	-71	-59	4
Chinese kool	80	-51	-49	1
Tagetes	72	-51	-33	2
Prei	50	-22	-15	1
Rogge	36	-24	-15	3

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. Dit komt deels door de aanwezigheid van anorganische stikstof (nitraat) in bepaalde gewasresten, en deels door het feit dat nog niet alle ingewerkte organische 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.

Het verwijderen van gewasresten leidt tot een afname van de beschikbare hoeveelheid stikstof voor uitspoeling, wat gunstig is. Het teeltsysteem op Meterik is echter zodanig intensief, dat het verwijderen van gewasresten ook leidt tot een afname van de beschikbare hoeveelheid stikstof voor de volggewassen. Met andere woorden de volggewassen kunnen minder opnemen dan gewenst. Dit (extra) tekort in de opname varieert van 8 kg N/ha bij het verwijderen van rogge-resten tot 28 kg N/ha bij het verwijderen van prei-resten.

4.2.2 Verwijderen van alle gewasresten

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

Hoewel bij de start van de berekeningen geen rekening gehouden is met de gewasresten, die mogelijk ingewerkt of verwijderd zijn in 2000, worden toch resultaten van 2001 gepresenteerd. Op Meterik worden vaak meerdere hoofdteelten en/of groenbemesters per jaar geteeld en worden dus ook meerdere keren per jaar gewasresten ingewerkt of verwijderd. Hierdoor zijn ook in 2001 al effecten zichtbaar van het verwijderen van alle gewasresten. Hoewel de effecten van het verwijderen van alle gewasresten mogelijk nog niet volledig tot hun recht gekomen zijn, geven ze wel een indicatie voor de minimaal te bereiken effecten.

In Figuur 4.1 en 4.2 zijn gemiddelde nitraatconcentraties weergegeven voor alle percelen van respectievelijk het jaar 2001 en 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 4.3.

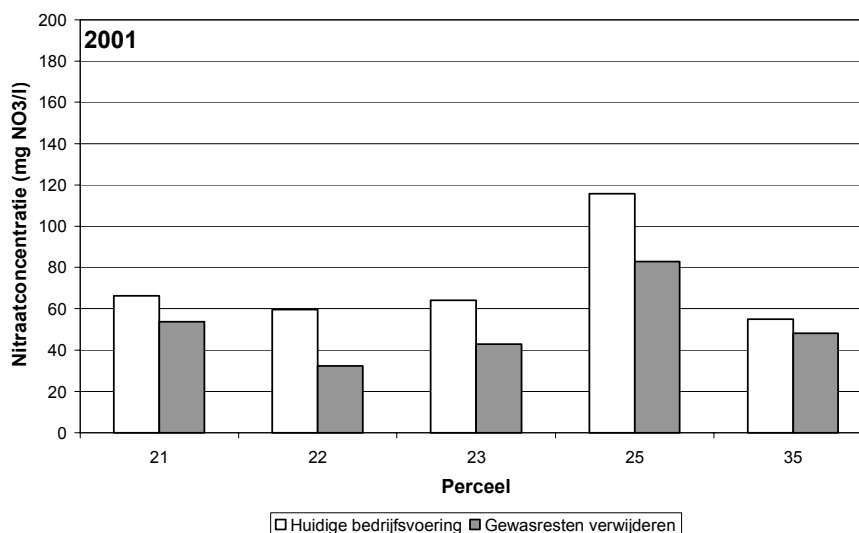
Uit Figuur 4.1 blijkt dat zelfs in 2001 al een afname van de gemiddelde nitraatconcentratie optreedt als het gevolg van het verwijderen van alle gewasresten in 2001. In 2002 is deze afname nog iets groter (Figuur 4.2). De grootste reductie treedt op in perceel 25 in het jaar 2002. Op dit perceel is in 2002 een mislukte Chinese koolteelt en daarmee veel gewasresten ingewerkt. Niet inwerken van deze resten heeft overeenkomstig te verwachting geleid tot een flinke afname in de gemiddelde nitraatconcentratie.

Na het verwijderen van alle gewasresten wordt op 3 percelen in 2001 en op 2 percelen in 2002 voldaan aan de EU-nitraatnorm, maar niet aan de streefwaarde voor 'Telen met toekomst'-kernbedrijven.

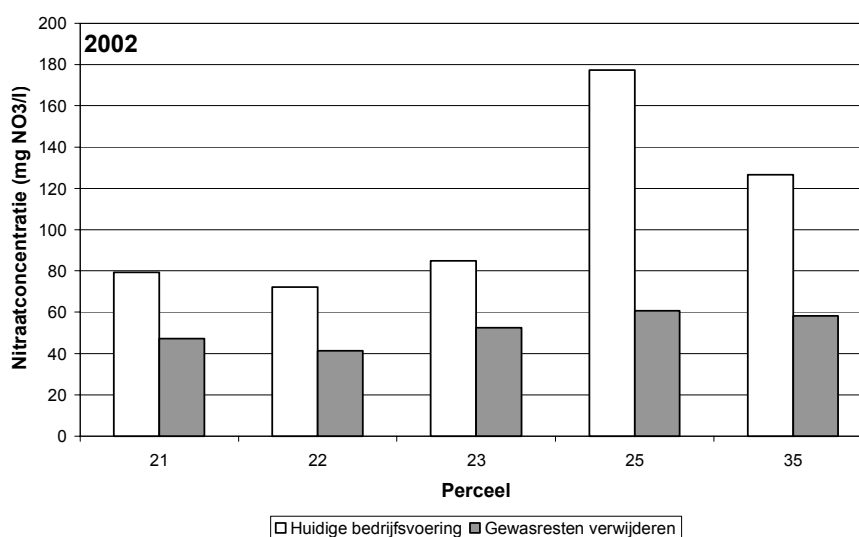
De afname van de gemiddelde nitraatconcentratie (als gevolg van het verwijderen van alle gewasresten) is bij de Analyse-percelen lager dan bij de Synthese-percelen, omdat in de huidige bedrijfsvoering van de Analyse-percelen al veel gewasresten worden afgevoerd.

Keerzijde van het verwijderen van alle gewasresten op Meterik is dat in die twee jaar gemiddeld over alle percelen 57 kg/ha minder stikstof opgenomen kan worden door de gewassen. Deze afname komt niet alleen ten laste van de groenbemesters maar ook van de hoofdgewassen.

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.



Figuur 4.1. De gemiddelde nitraatconcentratie voor alle Synthèse- en Analyse-percelen in 2001. Vergeleken zijn een situatie volgens de huidige bedrijfsvoering en een situatie waarin alle gewasresten zijn verwijderd. In Tabel 4.3 staat welk gewas op welke perceel geteeld is.



Figuur 4.2. De gemiddelde nitraatconcentratie voor alle Synthèse- en Analyse-percelen in 2002. Vergeleken zijn een situatie volgens de huidige bedrijfsvoering en een situatie waarin alle gewasresten zijn verwijderd. In Tabel 4.3 staat welk gewas op welke perceel geteeld is.

Tabel 4.3. Teeltplan van Meterik in 2001 en 2002.

Perceel	2001	2002
21	Tagetes, Ijsbergsla, Rogge	Ijsbergsla, Chinese kool, Rogge
22	Prei, Ijsbergsla, Chinese kool, Rogge	Rogge 2001, Prei
23	Tagetes, Ijsbergsla, Rogge	Rogge 2001, Prei
25	Ijsbergsla, Ijsbergsla, Rogge	Chinese kool, Chinese kool, Rogge
35	Rogge, Chinese kool, Rogge	Ijsbergsla, Ijsbergsla, Rogge

4.3 Bemesten via fertigatie

In de huidige bedrijfsvoering is in 2002 twee keer prei geteeld. Op Analyse-perceel 22 is bemesting uitgevoerd via fertigatie, op Synthese-perceel 23 heeft bemesting plaatsgevonden volgens een meer gangbare procedure, in dit geval is 3 keer bemest met de stikstof-kunstmest Entec26. Helaas waren de verschillen in groeiperiode, hoeveelheid bemesting, opnamevraag, berekening, organische stofaanvoer en uitgangssituatie te groot om hieruit het effect van fertigatie op de stikstofbalans te kunnen bepalen.

Om toch het effect van fertigatie te bepalen is op basis van Analyse-perceel 22 één berekening uitgevoerd, waarbij dezelfde hoeveelheid stikstof is bemest, verdeeld over twee giften, namelijk vlak voor planten en half september conform de principes van het stikstofbijmeststelsel (NBS, zie Van Dijk, 2003). Bemest is met een kunstmestsoort, die qua verdeling nitraat en ammonium gelijk is aan Entec26. Verder zijn er geen wijzigingen ten opzichte van Analyse-perceel 22.

Bemesten via fertigatie heeft geleid tot een hogere stikstofopname door prei (zo'n 9 kg N/ha meer). De nitraatuitspoeling is als gevolg van fertigatie 10 kg N/ha lager. De gemiddelde nitraatconcentratie is 5 mg NO₃/l lager.

4.4 Conclusies

Het verwijderen van gewasresten van gewassen, die veel (organisch en anorganisch) stikstof in de gewasresten achterlaten, is een zeer effectieve maatregel tegen nitraatuitspoeling. De meeste 'winst' kan behaald worden bij ijssla en Chinese kool. Bij het verwijderen van alle gewasresten kan in de helft van de berekende situaties voldaan worden aan de EU-nitraatnorm. Verwijderen van gewasresten heeft wel tot gevolg dat er minder stikstof beschikbaar is voor opname door de volgende gewassen.

Het gebruik van groenbemesters heeft een positief effect op de nitraatuitspoeling met name in de periode dat de groenbemester groeit. Na inwerken van de groenbemester in de bodem, gaat een deel van de reductie in de nitraatuitspoeling 'verloren'. Het gebruik van een groenbemester leidt tot een lichte toename van de opname door de volgende gewassen.

Bemesten via fertigatie leidt tot een toename van de stikstofopname door prei en tot een afname van de nitraatuitspoeling en gemiddelde nitraatconcentratie.

5. Conclusies

Modelresultaten versus meetresultaten

De overeenkomst tussen de gemeten en de berekende vochtgehalten en drukhoogten is slecht respectievelijk redelijk. De grond in Meterik 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 onderschat de gemeten stikstofopname, met name voor de gewassen ijsla en Chinese kool. De gemiddelde stikstofvraag per dag van deze gewassen was in een aantal situaties hoog.

Berekende N_{\min} -waarden onderschatten de gemeten waarden, vooral bij de hogere meetwaarden. Aan de juistheid van een aantal hoge meetwaarden wordt echter getwijfeld. De dynamiek in de tijd wordt redelijk goed weergegeven, de grootte van de veranderingen in de N_{\min} -waarden echter niet. De berekende en gemeten nitraatconcentraties op 1 m-mv zijn van dezelfde orde grootte.

Het niet kunnen realiseren van de opnamevraag en het onderschatten van de gemeten N_{\min} -waarden duiden op een te laag berekende mineralisatie. Daarnaast wordt de waterhuishouding onvoldoende goed gemodelleerd door de afwezigheid van voldoende grondwaterstands- en/of drukhoogtemetingen. Desondanks zijn de modelberekeningen een nuttig hulpmiddel bij de analyse en interpretatie van de stikstoffluxen.

Synthese en Analyse-teeltsysteem

De mineralisatie is op de Synthese-percelen gemiddeld groter dan op de Analyse-percelen (respectievelijk 201 en 175 kg N/(ha · j)). De stikstofopname door de hoofdteelten is in 2001 het hoogst bij de Analyse-percelen en in 2002 het hoogst bij de Synthese-percelen. Gemiddeld over de beide jaren is de totale stikstofopname bij de Analyse-percelen het hoogst. Uit de balansen blijkt dat het organische stofgehalte in de bodem in bijna alle situaties zal dalen.

Denitrificatie speelt op alle percelen een marginale rol als verliespost. Uitspoeling is daarentegen wel belangrijk. Op de Synthese-percelen is de gemiddelde uitspoeling ongeveer 55 kg N/ha groter dan op de Analyse-percelen. In geen van de beide teeltsystemen wordt voldaan aan de milieunormen voor de nitraatconcentraties. Wel moet gerealiseerd worden dat de onderzochte percelen geen volledige teeltrotatie weergeven.

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 ijsla en Chinese kool. De gemiddelde reductie in de nitraatuitspoeling is respectievelijk 59 en 49 kg N/ha. Keerzijde van het verwijderen van de gewasresten is dat de stikstofopname door de volgende gewassen ook gereduceerd wordt.

Verwijdering van alle gewasresten levert in beide jaren een reductie op in de nitraatuitspoeling, waarbij gemiddeld genomen in de helft van de situaties voldaan wordt 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 rogge en Tagetes als groenbemester respectievelijk 30 en 29 kg N/ha. Het gebruik van groenbemesters heeft een lichte positieve invloed gehad op de opname door de volgende gewassen.

Bemesten via fertigatie heeft op perceel 22 geleid tot een reductie in de nitraatuitspoeling van ongeveer 10 kg N/ha en heeft bovendien geresulteerd in een betere benutting door prei.

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 933, Alterra, Wageningen.
- Assinck, F.B.T. & P. de Willigen, 2004.
Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR.
Telen met toekomst publicatie nr. OV 0402.
- 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.
- Dijk, W. van, 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen.
Publicatienr. 307, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.
- 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.
- Feddes, R.A., 1987.
Crop factors in relation to makkink reference-crop evapotranspiration. In: Hooghart, J.C. (ed.).
Evaporation and Weather. Proceedings and Information no. 39, TNO Committee on Hydrological Research, The Hague.
- Gee, M. de, 1995.
Wiskunde in werking. Epsilon Uitgaven, Utrecht.
- 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
Landbouwniversiteit Wageningen.
- Heinen, M. & P. de Willigen, 1998.
FUSSIM2. A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport, and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, DLO Research Institute for Agrobiological 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.
- Kortleven, J., 1963.
Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken nr. 69.1, Wageningen.

- Kraalingen, D.W.G. van & W. Stol, 1997.
Evapotranspiration modules for crop growth simulation. Implementation of the algorithms from Penman, Makkink and Priestley-Taylor. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 11, DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen.
- Kroonen-Backbier, B.M.A., M.H.J.P. van der Burgt & M. van der Ham, 1996.
Bedrijfssystemen-onderzoek Meterik. Evaluatie 1991-1993. Verslag nr. 223, Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.
- Neeteson, J., R. Booij, W. van Dijk, J. de Haan, A. Pronk, H. Brinks, P. Dekker en 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*.
- Schee, H.A. van der & A.J. Speek, 2001.
Report of nitrate monitoring results concerning Regulation EU 194/97. The Netherlands 2001. Inspectorate for health protection and veterinary public health, Amsterdam.
- Smit, A. & K.B. Zwart, 2002.
AcTA: Accesdatabase 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 OV 0403.
- Smit, A.L., R. Booij & A. van der Werf, 1996.
The spatial and temporal rooting pattern of Brussels sprouts and leeks. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44:57-72.
- 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.
- Vos, J.A. de & 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.
- Vos, J.A. de, E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenbergen, 2002.
Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van Telen met toekomst-proefvelden Meterik en Vredepeel. Telen met toekomst publicatie nr. 8, OV0204.
- Willigen, P. de, F.B.T. Assinck & J.A. de Vos, 2003.
Perspectieven van precisiebemesting van organische mest in de biologische landbouw. Alterra-rapport 694, Alterra, Wageningen.
- Zwart, K.B., 2003.
Denitrificatie in de bouwvoor en de ondergrond. Resultaten van metingen in 13 profielen tot 2 m diep. Alterra-rapport 724, Alterra, 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- & doorlatendheidskarakteristiek van de percelen 22 en 35. De parameters θ_r en θ_s zijn respectievelijk het residuele volumetrische watergehalte en het volumetrische watergehalte bij verzadiging (-), K_s is de doorlatendheid bij verzadiging (cm/d). De α_d en α_w zijn vormparameters voor respectievelijk de uitdrogings- en vernattingscurve (cm⁻¹). De parameters n en l zijn vormparameters (-).

Naam	Bemonsterde Laag (cm-mv)	θ_r (-)	θ_s (-)	α_d (cm ⁻¹)	n (-)	α_w (cm ⁻¹)	l (-)	K_s (cm/d)
LaagA	10 - 15	0,02692	0,39563	0,01259	1,74487	0,15	-2,2	18,0
LaagB	35 - 40	0,02883	0,43913	0,01615	2,04085	0,08	-1,5	29,0
LaagC	70 - 75	0,01251	0,38010	0,01040	2,32450	0,0308	-1,7135	21,0

Bodemprofiel

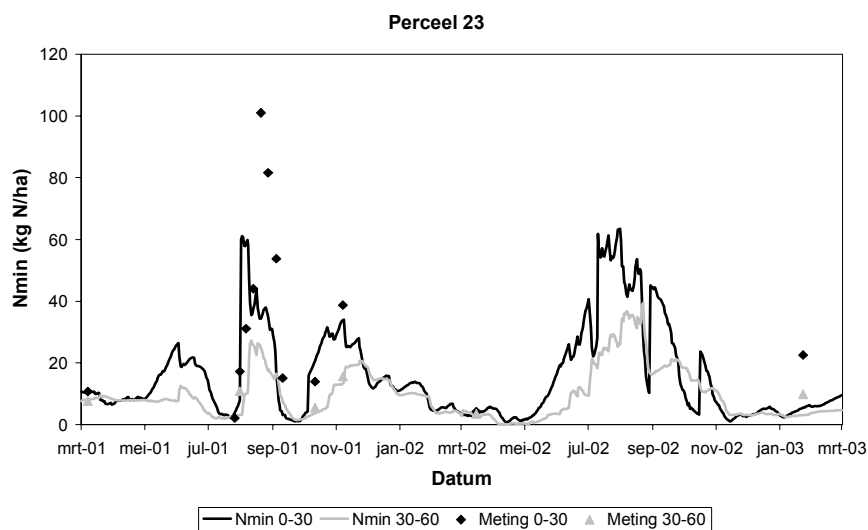
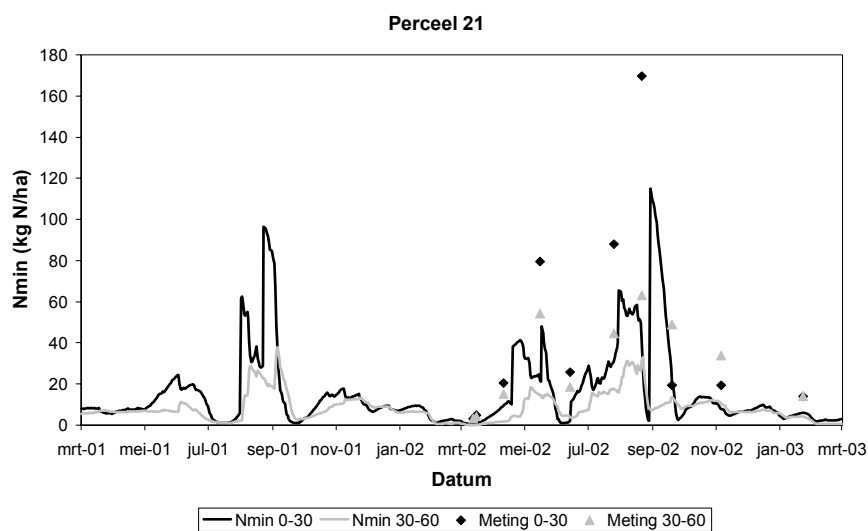
In de onderstaande tabel is het beschouwde bodemprofiel nader uitgewerkt. Per bodemlaag zijn een aantal gegevens aangegeven, namelijk de laagdiepte (cm-mv), de naam van de bemonsterde laag met de bijbehorende bodemfysische eigenschappen (zie bovenstaande tabel), de droge bulkdichtheid (g/cm³) en het aantal rekenlagen * de bijbehorende laagdikte (cm).

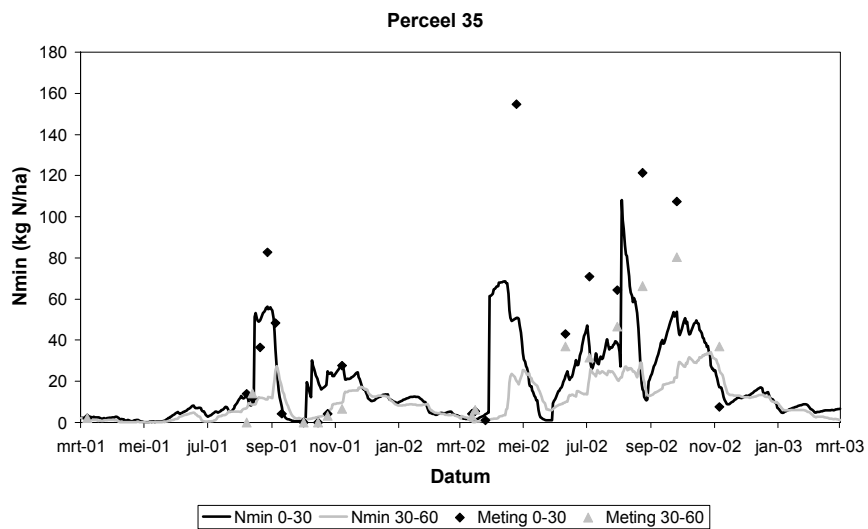
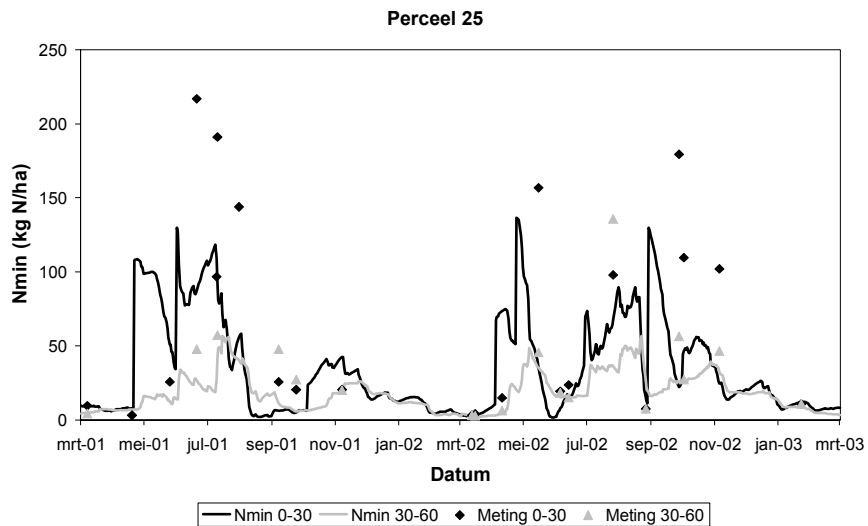
Laagdiepte (cm-mv)	Bodemfysische eigenschappen gelijk aan	Droge bulkdichtheid (g/cm ³)	Aantal rekenlagen * laagdikte per rekenlaag (cm)
0 – 30	LaagA	1,504	6 * 5
30 – 60	LaagB	1,521	6 * 5
60 – 350	LaagC	1,522	8 * 5, 10 * 10, 5 * 20, 2 * 25

Bijlage II.

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

Gemeten en berekende N_{\min} -waarden als functie van de tijd voor perceel 21, 23, 25 en 35. Weergegeven zijn de lagen 0-30 en 30-60 cm-mv voor de periode maart 2001 tot maart 2003.

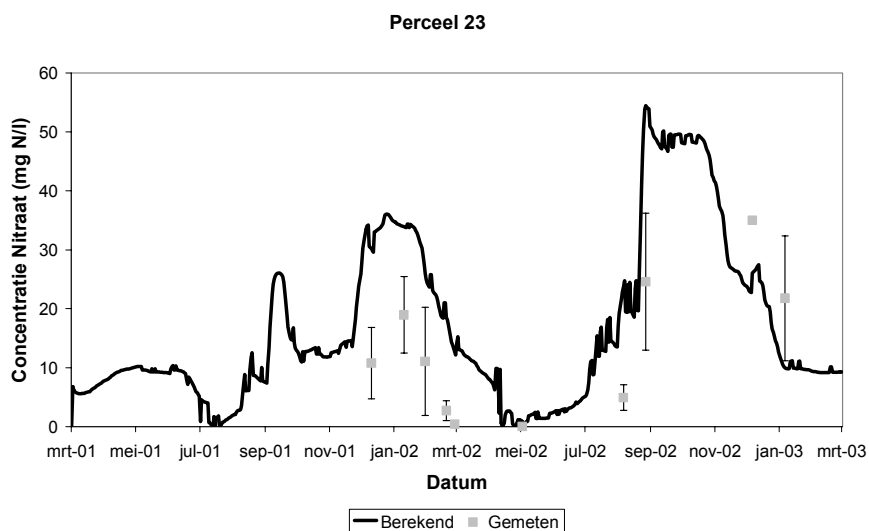
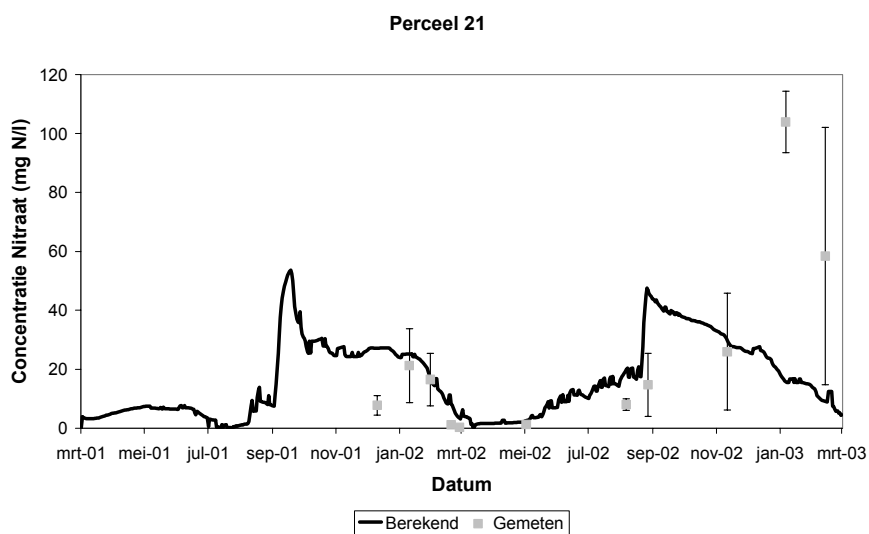




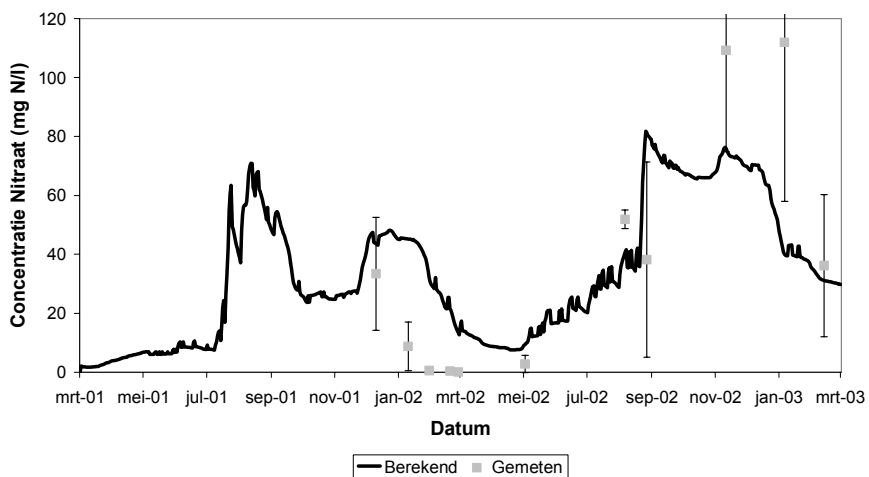
Bijlage III.

Gemeten en berekende NO_3 -concentraties in de tijd

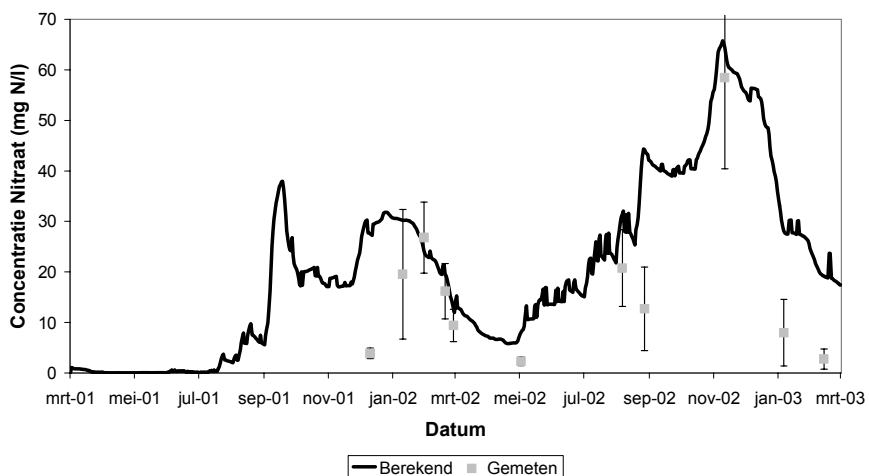
Gemeten en berekende NO_3 -concentraties als functie van de tijd voor perceel 21, 23, 25 en 35 en de periode maart 2001 tot maart 2003. De balkjes rond de gemiddelde gemeten nitraatconcentraties geven de standaardafwijking weer. Let op: de waarden zijn in mg N/l en niet in mg NO_3 /l weergegeven.



Perceel 25



Perceel 35



Bijlage IV.

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);
- beregening: per 100 mm beregening wordt 25 kg N/ha aangevoerd op Meterik
- 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 meest organisch en bij ijssla en Chinese kool deels anorganisch van aard (ijssla en Chinese kool bevatten veel nitraat).

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.

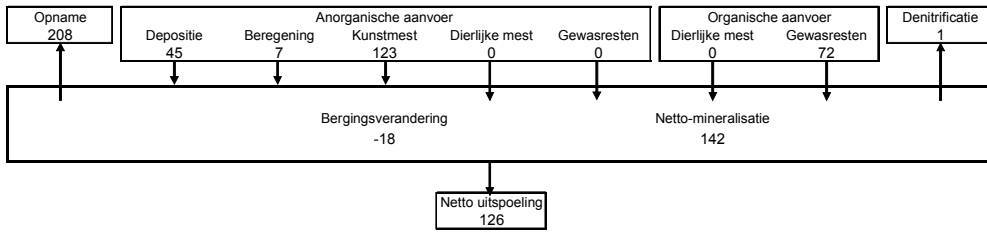
De voorraadveranderingen zijn:

- 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 verminderd met de immobilisatie van anorganisch stikstof;
- bergingsverandering: deze is gelijk aan de verandering van de voorraad anorganisch stikstof in het profiel.

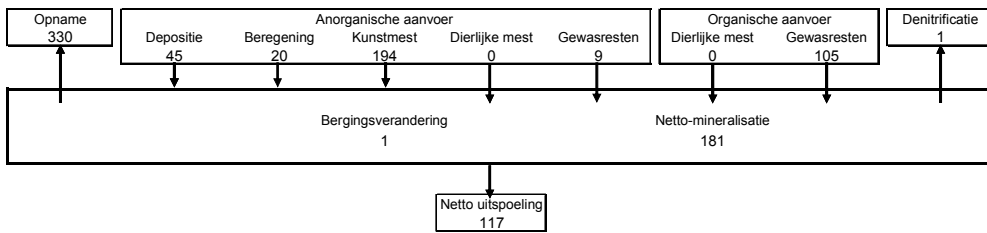
Bij het controleren van de balans moeten de organische aanvoerposten buiten beschouwing gelaten worden. Voor de bodembalans zijn de organische aanvoerposten pas interessant op het moment dat de organische stikstof in deze posten is gemineraliseerd en ze dus tot uitdrukking komen in de post mineralisatie.

Met de omzettingen nitrificatie en ammoniumadsorptie 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.

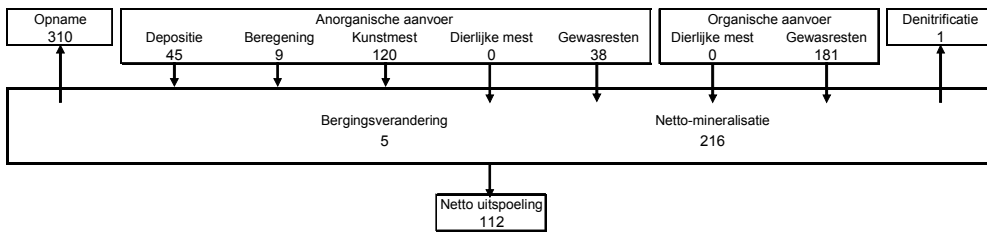
Perceel 21 A 2001 IJsbergsla



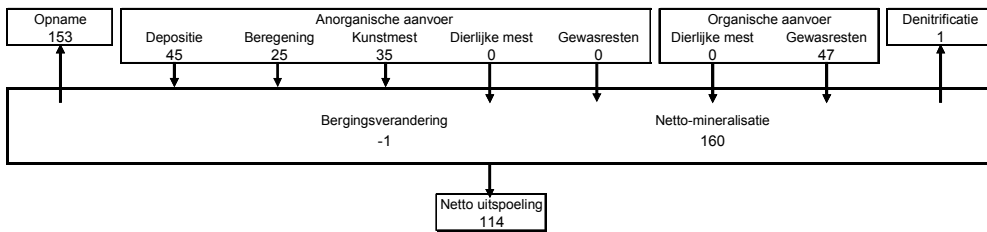
Perceel 21 A 2002 IJsbergsla & Chinese kool



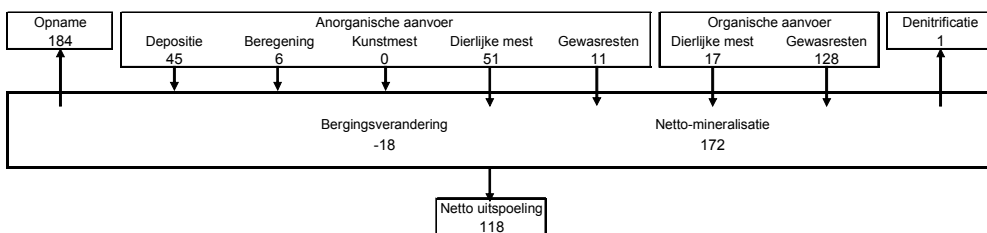
Perceel 22 A 2001 IJsbergsla & Chinese kool



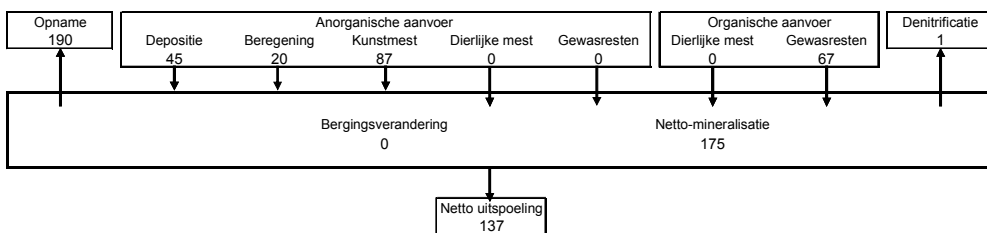
Perceel 22 A 2002 Prei



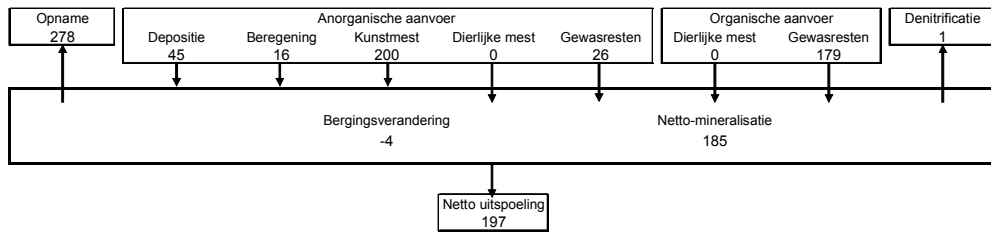
Perceel 23 S 2001 IJsbergsla



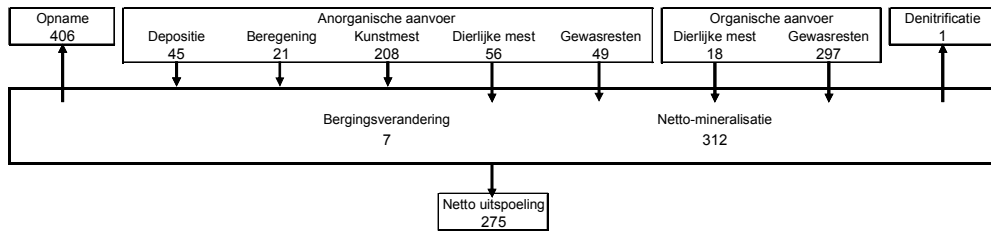
Perceel 23 S 2002 Prei



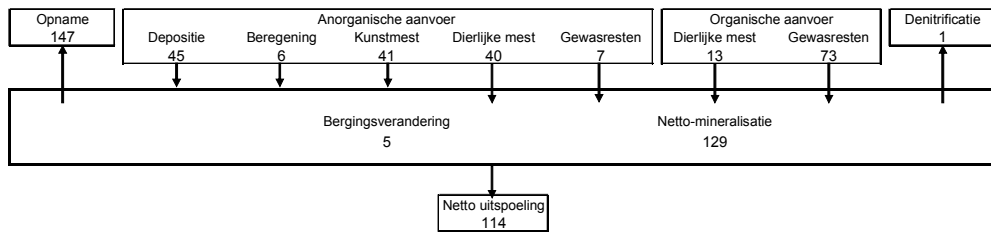
Perceel 25 S 2001 IJsbergsla & IJsbergsla



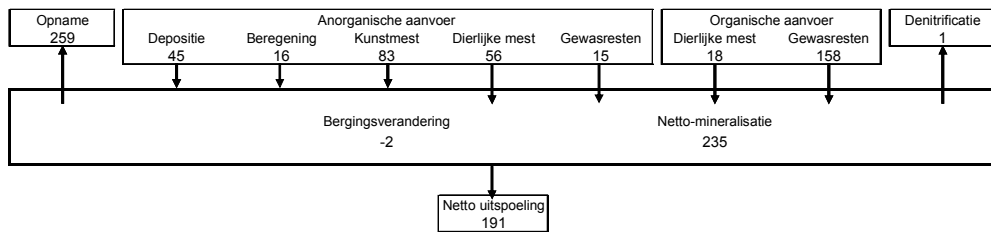
Perceel 25 S 2002 Chinese kool & Chinese kool



Perceel 35 S 2001 Chinese kool



Perceel 35 S 2002 IJsbergsla & IJsbergsla



Bijlage V.

Gemiddelde nitraatconcentraties

In deze bijlage worden de gemiddelde nitraatconcentraties weergegeven voor de verschillende Synthese- en Analyse-percelen en beide jaren. De nitraatconcentraties staan in mg NO₃/l.

Perceel	Synthese-perceel		Analyse-perceel	
	2001	2002	2001	2002
21			66	79
22			60	72
23	64	84		
25	116	177		
35	55	127		

Reeds verschenen externe rapporten

Telen met toekomst

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

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



Onderzoek en rapportage voor Telen met toekomst zijn uitgevoerd door ALTEERRA

