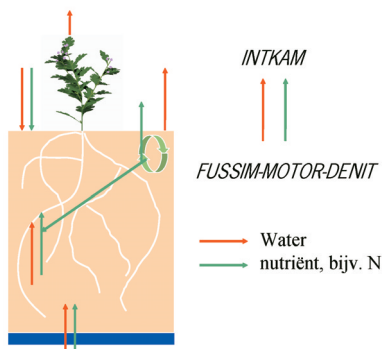
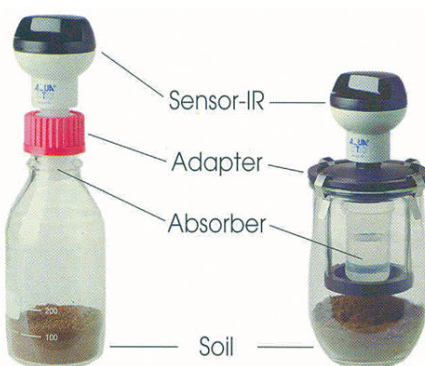


# Organische stofmanagement in biologische kasteelt

Resultaten paprikaproef en modellering stikstofdynamiek

P.H.B. de Visser, W. Voogt, F.B.T. Assinck, M. Heinen, J. Postma, J.J. Amsing, G. Straatsma & L.F.M. Marcelis







# Organische stofmanagement in biologische kasteelt

Resultaten paprikaproef en modellering stikstofdynamiek

P.H.B. de Visser<sup>1</sup>, W. Voogt<sup>2</sup>, F.B.T. Assinck<sup>3</sup>, M. Heinen<sup>3</sup>, J. Postma<sup>1</sup>, J.J. Amsing<sup>2</sup>, G. Straatsma<sup>4</sup> & L.F.M. Marcelis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Plant Research International, Wageningen UR, Postbus 16, 6700 AA Wageningen

<sup>2</sup> Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Glas, Wageningen UR, Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk

<sup>3</sup> Alterra, Wageningen UR, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

<sup>4</sup> Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Paddestoelen, Wageningen UR, Postbus 6042, 5960 AA Horst

© 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.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

## **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 : [info.plant@wur.nl](mailto:info.plant@wur.nl)  
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

# Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Kasproef met paprika	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Materiaal + Methoden	7
2.2.1 Proefopzet	7
2.2.2 Proefschema	7
2.2.3 Ontwikkeling van champost Horst	8
2.2.4 Waarnemingen	9
2.3 Resultaten	10
2.3.1 Water en meststoffen	10
2.3.2 Analysecijfers	11
2.3.3 Oogst	15
2.3.4 Gewas	16
2.3.5 Mineralenbalans	17
2.4 Discussie en conclusies	18
3. Mineralisatie en denitrificatie: meting en modelparametrisatie	21
3.1 Mineralisatie	21
3.1.1 Inleiding	21
3.1.2 Methode	21
3.1.3 Resultaten	23
3.2 Denitrificatie bij chrysant- en paprikateelt	30
3.2.1 Inleiding	30
3.3.2 Methode	30
3.3.3 Resultaten	31
3.3.4 Conclusies	34
4. Modelleren water- en nutriëntenstromen in bodem en plant	35
4.1 Inleiding	35
4.2 Gewasgroei, -nutriëntenopname en -transpiratie	36
4.2.1 Algemeen	36
4.2.2 Parametrisatie	36
4.2.3 Resultaten	37
4.3 Water- en nutriëntentransport in het bodemcompartiment	39
4.3.1 Inleiding	39
4.3.2 Modelinvoer voor chrysant en paprika	40
4.3.3 Resultaten	43
4.3.4 Enkele conclusies naar aanleiding van de modelberekeningen	48

	pagina
5. Ziektewerendheid	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Doelstelling	49
5.3 Materialen en methoden	49
5.4 Resultaten	51
5.5 Discussie en conclusies	57
6. Integratie en evaluatie	59
6.1 Inleiding	59
6.2 De jaarbalans van stikstof	59
6.2.1 Stikstofbalans modelsimulatie chrysantenproef	59
6.2.2 Stikstofbalans modelsimulatie paprikaproef	60
6.2.3 N-werking van de organische meststof	62
6.2.4 Scenarioberekeningen beheer van bodemorganische stof en ziektewerendheid	63
6.3 Evaluatie	64
7. Referenties	67
Bijlage I. Gegevens over de gebruikte meststoffen	2 pp.
Bijlage II. Plattegrond proefvakken chrysantenproef	1 p.
Bijlage III. Plattegrond proefvakken paprikaproef	1 p.
Bijlage IV. Verloop van Na, Mg, SO <sub>4</sub> en Cl in bodem	1 p.
Bijlage V. Analyses afval, vruchten en gewas paprika	1 p.
Bijlage VI. Mineralenbalansen paprikateelt	2 pp.
Bijlage VII. Bodemprofiel en bodemfysische eigenschappen	2 pp.
Bijlage VIII. Productie <i>Phytophthora</i> -inoculum	1 p.
Bijlage IX. Resultaten biotoetsen	1 p.

# Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd door Plant Research International (RPI), Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO) en Alterra in het kader van het project 'Organische stof management in biologische kasteelt' van DWK-onderzoeksprogramma 'Systeeminnovatie Biologische gesloten teelten' (400II), gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Dit rapport behandelt het in 2003 en begin 2004 uitgevoerde onderzoek. Over het lopende onderzoek bij praktijkbedrijven wordt in een later stadium gerapporteerd.

Aan dit onderzoek hebben naast genoemde auteurs ook Aat van Winkel en André Huys (PPO Glastuinbouw), Johan Steenhuizen en Gerard Brouwer (PRI) en Eduard Hunnlink (Alterra) een belangrijke bijdrage geleverd. Zonder hun inbreng zou dit onderzoek niet mogelijk zijn geweest.





## Samenvatting

In de biologische kasteelt wordt de wettelijk maximaal toegestane gift van stikstof uit dierlijke mest, 170 kg N per ha per jaar, ervaren als knelpunt in de bedrijfsvoering. Er is gemiddeld 500-800 kg stikstof per ha per jaar nodig voor opname door het gewas. In dit onderzoek zijn in 2003 experimenten en modelsimulaties uitgevoerd met verschillende organische meststoffen die mogelijk een geschikt alternatief vormen voor dierlijke mest als stikstofbron. Tevens is onderzocht welke toedieningsmethode de meest efficiënte stikstofwerking kan realiseren. Naast onderzoek naar stikstoflevering is ook de invloed van de toegediende organische meststof op de ziektevering tegen bodemgerelateerde ziekten bepaald.

In de kasproef was de totale meststoffengift gebaseerd op de geschatte vraag naar stikstof door het paprikagewas. Door klimaatomstandigheden bleef de groei achter bij de verwachting. Dit resulteerde in een lagere stikstofvraag. Aan deze vraag voldeed het merendeel van de gebruikte meststoffen. Uitzonderingen hierop vormden de twee gebruikte champostsoorten door een gebrekkige mineralisatie, en de behandeling met slechts een toediening van 170 kg stikstof ha<sup>-1</sup> via stalmest. Bij deze behandelingen werd een lagere gewasgroei en vruchtproductie geconstateerd door een verminderd aanbod van stikstof.

Frequent bijmesten in plaats van een éénmalige voorraadbemesting leidde niet tot een verhoogde opname van stikstof, zo bleek uit een test met luzernestro. Luzerne bleek minder goed te mineraliseren bij het oppervlakkig bijmesten. Zowel de metingen als de modelberekeningen gaven aan dat bij voorraadbemesting hoge stikstofverliezen door denitrificatie kunnen optreden. Onder laboratoriumomstandigheden bepaalde modelparameters voor berekening van organische stofafbraak en stikstoflevering resulteerden in een overschatting van nitraatgehalten in de bodem in de kassituatie. Correctie van modelparameters aan de hand van veldmetingen bleek noodzakelijk voor een realistische simulatie van de stikstofdynamiek in de kasgrond.

Sommige organische meststoffen zoals champost leidden tot een verhoogde zoutlast in de bodem. Een binnen dit project ontwikkelde champost resulteerde in een lagere belasting van de bodem met sulfaat. Tevens leidde deze champost tot een lichte verhoging van ziekteverendheid tegen *Phytophthora nicotianae* en het *Meloidogyne incognita* (wortelknobbelaaltje), en tot een verhoogde microbiële diversiteit en activiteit. Deze positieve eigenschappen gaan samen met een relatief lage stikstoflevering. Samenstelling van zowel de schimmel- als bacteriepopulaties wijzigden in afhankelijkheid van het type meststof. Daarentegen toonden de biotoetsen geen significant effect van de mestsoort op de ziekteverendheid van tomatenplanten tegen het wortelknobbelaaltje.

Uit het onderzoek kan geconcludeerd worden dat er verschillende perspectievolle alternatieve stikstofbronnen zijn. Het gebruik van deze meststoffen in de praktijk vraagt om een zorgvuldige afweging t.a.v. mogelijk conflicterende doelstellingen als bijvoorbeeld bemestende waarde vs. ziektevering. Om die reden worden de resultaten momenteel geïntegreerd in een adviessysteem voor duurzame organische bemesting in de biologische kasteelt.



# 1. Inleiding

In de biologische glastuinbouw is het gebruik van organische meststoffen belangrijk voor plantenvoeding en voor wering tegen ziekten en plagen. Een belangrijk knelpunt bij organische bemesting is dat de maximaal toegestane aanvoer van dierlijke mest (170 kg stikstof per ha per jaar) veel geringer is dan de jaarlijkse stikstofopname door het gewas. Daardoor is aanvulling met andere organische meststoffen noodzakelijk. Daarnaast doet zich de vraag voor welke mogelijkheden er zijn om tijdens een teelt bij te bemesten. Naast de bemestingsmogelijkheden zijn er kansen om met het toedienen van organisch materiaal de ziektevering van het bodem/plant systeem te bevorderen. Ter onderbouwing van de juiste strategie voor organisch stofmanagement, is in 2002 een gezamenlijk onderzoek gestart door Plant Research International, PPO Glastuinbouw, PPO Paddestoelen en Alterra naar het gebruik van een aantal organische meststoffen in de biologische glasteelt.

Er zijn twee hoofddoelstellingen in dit onderzoek:

- A. de organische meststoffen worden getoetst als alternatieve N-bron door de N-stromen in bodem en gewas te kwantificeren
- B. de ziekteveringse eigenschappen van de organische meststoffen worden getoetst en in verband gebracht met de samenstelling van de stof

In 2002 werd het onderzoek gestart met als proefgewas chrysant. In oktober 2003 (Plant Research International B.V., Wageningen, Rapport 70) werd een rapport uitgebracht. Dit rapport behandelde het éénjarig onderzoek naar de effecten van de toediening van de volgende meststoffen: luzerne en compost (éénmalige voorraadbemesting), maltaflor en bloedmeel (bemesting verdeeld over 4 giften per jaar) en monterra en fontana (bijmesten tijdens de teelt) bij vier opeenvolgende chrysantenteelten.

Na het onderzoek in 2002 was er behoefte om ook voor een vruchtgroente de problematiek te onderzoeken. Hiervoor is in 2003 een experiment gestart met een aaneengesloten teelt van groene paprika. Bij deze teelt is een aantal nieuw verschenen alternatieve meststoffen uitgetest, alsmede een binnen het project ontwikkelde champost-mest. Het onderzoek richt zich op de effecten op gewas en bodem van de toediening van de volgende meststoffen: luzerne (eenmalige voorraadbemesting of bijbemesting), monterra (bijbemesting), champost Horst (eenmalige voorraadbemesting), champost Waardenburg (eenmalige voorraadbemesting) en Wulpak (eenmalige voorraadbemesting). Van dit onderzoek wordt in onderhavig rapport verslag gedaan. Het onderzoek bestaat zowel uit een kasproef, een aantal separate kleine experimenten en uit modelsimulaties. Ten opzichte van het onderzoek in 2002 zijn in het huidige onderzoek een aantal metingen vervangen door modelberekeningen, en is er een apart hoofdstuk gewijd aan modelsimulaties.

Hoofdstuk 2 behandelt het onderzoek aan gewas en bodem in de kasproef. Hoofdstuk 3 gaat in op detailonderzoek aan afbraak en N-levering van de gebruikte organische meststoffen en op denitrificatie. Hoofdstuk 4 behandelt de simulatie van de water- en nutriëntenhuishouding in gewas en bodem. Hoofdstuk 5 rapporteert over de ziekteveringse eigenschappen van de organische stoffen in kasproef en biotoets. Tot slot worden in Hoofdstuk 6 de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken geïntegreerd en wordt gediscussieerd over de verdere toepassingen in de biologische gewasteelt van alternatieve N-bronnen gekoppeld aan ziekteveringse eigenschappen.



## 2. Kasproef met paprika

### 2.1 Inleiding

In 2003 zijn bij een paprikateelt te Naaldwijk de effecten van enkele meststoffentoeidingen op bodem en gewas onderzocht. In dit hoofdstuk wordt dit onderzoek beschreven dat in kas 206-2 op de PPO-locatie Naaldwijk werd uitgevoerd.

### 2.2 Materiaal + Methoden

In dit hoofdstuk worden de opzet en de gebruikte organische meststoffen gerapporteerd.

In kas 206-2 werd paprika als proefgewas (ras Spirit) geteeld. De planten werden betrokken van firma Grootscholten, waar ze volgens biologisch concept waren opgekweekt. Op 19 februari is er geplant.

#### 2.2.1 Proefopzet

Er zijn 20 proefvelden van 9.6 m<sup>2</sup>, volgens in Bijlage III vermelde platte grond. Een proefvak is 3.2 meter breed, met elk vier plantrijen en 3 meter lang. Om overlap te voorkomen werden de gewaswaarnemingen telkens aan de middelste plantrijen gedaan, met uitzondering van de voorste en achterste plant. Samen met de rijen aan beide zijden van een vak fungeren deze als buffer. Grondbemonsteringen werden bij de teeltstroken van de middelste plantrijen gedaan. Per behandeling zijn er drie herhalingen, met uitzondering van de controle-behandeling, waarbij slechts twee herhalingen zijn.

#### 2.2.2 Proefschema

In Tabel 2.1 wordt het behandelingsschema vermeld.

Tabel 2.1. *Behandelingen schema paprikaproef 2003.*

Behandelingen	Stalmest	Meststof
Controle	Eenmalig vooraf	Geen
Champost Horst <sup>1</sup>	Eenmalig vooraf	Eenmalig vooraf
Champost Waardenburg <sup>2</sup>	Eenmalig vooraf	Eenmalig vooraf
Luzernestro voorraad	Eenmalig vooraf	Eenmalig vooraf
Luzernestro bijmesten	Eenmalig vooraf	Bijmesten
Monterra Nitrogen	Eenmalig vooraf	Bijmesten
Wulpack	Eenmalig vooraf	Bijmesten

<sup>1</sup> *Speciaal geproduceerde compost (zie 2.2.3).*

<sup>2</sup> *Biologische champost van een praktijkbedrijf.*

Uitgangspunt voor de keuze was de beperking in toegelaten hoeveelheid dierlijke mest (170 kg N per ha). Als alternatief is gezocht naar producten die voldoende N bevatten en in de korte tijd mineraliseren. Verder naar producten die geschikt zijn om bij te kunnen bemesten tijdens de teelt.

In alle proefvelden werd stalmest gegeven, equivalent aan 170 kg N per ha per jaar voorgaande aan de teelt. De meststoffen champost Horst, Waardenburg en luzerne voorraad werden eenmalig vooraf toegediend. Na toedienen van de meststoffen op 10 februari is de grond met de hand gespit. Na analyse van de meststoffen bleek van luzerne te weinig te zijn gegeven en is het extra deel alsnog toegediend. Luzerne stro-bijmesten, monterra en wulpack werden, behalve een basisgift, op vier tijdstippen (7/4, 19/5, 30/6 en 24/7) bijgemest, door uitstrooien op het oppervlak. Zie Bijlage I voor de eigenschappen van de gebruikte meststoffen.

### 2.2.3 Ontwikkeling van champost Horst

#### Inleiding

Champost bestaat uit afgewerkte champignoncompost en dekaarde. Champost is constant van samenstelling en daarom een betrouwbare grondverbeteraar en organische meststof. In grote hoeveelheden toegepast, bijvoorbeeld als volledig substraat, is de 'zoutenlast' meestal kritisch door de hoge gehalten aan o.a. kalium en sulfaat. In 2002 werd 'biologische' compost geproduceerd die zowel zou moeten voldoen aan zowel de eisen voor substraat in champignonteelt als aan de eisen als meststof in de kasteelt. Deze champost met een specifieke samenstelling is bij PPO Paddestoelen ontwikkeld.

#### Compost en champost productie 2002 voor toepassing in kasteelt 2003

In plaats van dierlijke mest als stikstofbron werd luzernestro gebruikt. Deze stikstofbron is waarschijnlijk minder belast met overige mineralen en contaminanten en werd in een zuinige hoeveelheid gebruikt. Om de zoutenlast van de compost verder te drukken werd een lagere gips dosering toegepast dan gebruikelijk. Overmatige afbraak van de organische stof, en ophoping van mineralen, werd voorkomen door Fase-I van het composteren over te slaan (Fase-I is met name belangrijk voor het verhogen van de dichtheid van het substraat en is minder van direct belang voor de groei van champignons).

recept:

		<b>droge stof</b>	<b>%N</b>	<b>N, kg</b>
vochtig stro (75 % vocht)	1720 kg	430 kg	0.7	3.0
luzerne stro (10 % vocht)	189 kg	170 kg	4.4	7.5
water	492 L	0	-	-
gips	24 kg			

de totale hoeveelheid stikstof = 3.0 + 7.5 = 10.5 kg; de totale hoeveelheid droge stof = 430 + 170 = 600 kg;  
het stikstofgehalte = 1.75 % (geldt vóór het mengen met gips, composteren en teelt)

Om voor het lage stikstofniveau te corrigeren werd in de teelt bijgevoegd met soyabonenmeel. Composter en teelt verliepen goed, maar de opbrengst aan champignons was laag, namelijk 300 kg champignons per ton compost (een goede opbrengst zou 400 kg geweest zijn).

In de kasteelt bleek de champost (alleen het compostdeel, zonder dekaarde, werd gebruikt) erg traag te zijn met stikstofleverantie. De oorzaak hiervoor was waarschijnlijk dat stikstofmobilisatie optrad door een hoog C/N gehalte van de champost. Inderdaad was het N-gehalte slechts 17.8 g kg<sup>-1</sup> drogestof, terwijl de gangbare champost Waardenburg een gehalte had van 28.3 g N kg<sup>-1</sup> (zie ook Bijlage I). Bij 5 niet-biologische teelten werd door PPO Paddestoelen een gemiddeld gehalte van 23.4 g N kg<sup>-1</sup> geconstateerd.

## Compost en champost productie 2003 voor toepassing in kasteelt 2004

In 2003 werd een tweede proces uitgevoerd waarbij minder gelet werd op de mineralenlast en gekozen werd voor een normaal stikstofniveau en de normale hoeveelheid gips. Zoals in de eerste proef werd Fase-I van het composteren overgeslagen. Fase-II kon ditmaal niet in een tunnel plaatsvinden en werd daarom op klassieke manier in dunne lagen in een cel uitgevoerd.

recept proef:

		droge stof	%N	N, kg
stro (75 % vocht)	2079 kg	520 kg	0.7	4
luzerne stro (10 % vocht)	260 kg	234 kg	4.4	10
water	560 L	0	-	-
gips	58 kg			

de totale hoeveelheid stikstof = 4 + 10 = 14 kg; de totale hoeveelheid droge stof = 520 + 234 = 754 kg;  
het stikstofgehalte = 1.86 % (geldt vóór het mengen met gips, composteren en teelt)

Na Fase-II was het N-kjeldahl gehalte van de droge stof in de compost 2.04 %. De teelt verliep niet naar wens door een hoogoplopende temperatuur gedurende een halve dag aan het begin van de teelt. Dit leverde problemen met de knopvorming op. De opbrengst was slechts 160 kg ton<sup>-1</sup>. Het relatief geringe aantal champignons dat uitgroeide rijpte tegen de verwachting in normaal snel af (ongebruikelijk bij lage aantallen op een goede compost). De lage opbrengst kan daarom niet alleen door de slechte knopvorming verklaard worden.

### Lage benuttingsgraad stikstof

Het is niet uit te sluiten dat de stikstof in luzerne zo 'gebonden' is dat de champignon dit niet optimaal kan benutten. Dit zou de lage champignonopbrengsten in beide proeven kunnen verklaren. Een lage benutting van stikstof uit champost wordt ook bij de paprikaproef geconstateerd (zie verder).

## 2.2.4 Waarnemingen

### Bodem

De grond werd vóór het bemesten bemonsterd. Tien dagen na het bemesten met de eenmalig toegediende meststoffen werd opnieuw bemonsterd en vervolgens elke drie weken tot het einde van de teelt.

De bemonsteringslaag was 0-25 cm. Tot 15 juli werden de analyses gedaan via 1:2 CaCl<sub>2</sub> extractie en daarna vervangen door in het 1:2 volume extract met water. Daardoor zijn de gegevens van kalium niet vergelijkbaar (§ 2.3.2). Tevens werd het watergetal en onderwaterdichtheid (resp. A en Y-getal) bepaald. Alle velden werden apart bemonsterd.

Ook de laag 50-55 cm werd vooraf, na tien dagen, na drie weken en na 6 weken bemonsterd. Hierna elke 6 weken. In tegenstelling tot de laagdikte 0-25 cm werden de analyses de gehele teelt via 1:2 CaCl<sub>2</sub> extractie uitgevoerd. Voorgaande aan de teelt, na tien dagen en na beëindiging werd C- en N-totaal van de laag 0-25 cm bepaald.

### Meststoffen

Van alle toegediende meststoffen werd de chemische samenstelling bepaald.

## Gewas

Bij aanvang van de teelt werden van de paprikaplanten, het versgewicht, het drooggewicht en de mineralengehalten bepaald. Tijdens de teelt werden in week 16 en 23 per veld van vier planten de lengte, het aantal bladeren en het aantal vruchten geteld. Het snoeiafval werd per veld verzameld en de mineralengehalten bepaald. Bij de oogst werd per veld het aantal vruchten (eerste en tweede soort), het aantal vruchten met neusrot en het aantal knoppen geteld. Tevens werd het gewicht van de vruchten bepaald. Op 3 juni werden per veld zes vruchten en op 25 augustus 4 vruchten verzameld om de mineralengehalten te bepalen. Aan het einde van de teelt werden per veld 10 planten gewogen voor bepaling van het plantgewicht. Daarvan werden drie planten met 6 takken gebruikt voor bepaling van de mineralengehalten.

## 2.3 Resultaten

### 2.3.1 Water en meststoffen

#### Meststoffen

In Tabel 2.2 worden van de gebruikte meststoffen de stikstof-, fosfaat- en kaligehalten en tevens de gegeven hoeveelheden vermeld.

De hoeveelheid benodigde meststoffen is gebaseerd op een opbrengst van 17 kg per m<sup>2</sup>. De opname voor N, P en K is vooraf geschat op basis van deze productie. Hiervoor is de regressielijn uit Sonneveld (1997) gebruikt. De behoefte aan N, P en K bedraagt respectievelijk 828, 131 en 1052 kg per ha.

Bij alle behandelingen werd stalmest gegeven tot de wettelijke norm. Vervolgens is de hoeveelheid N aangevuld uit de gekozen meststoffen zodat bij alle behandelingen, behalve de controle, 828 kg N per ha is gegeven.

Tegelijkertijd is de P en K aanvoer via deze meststoffen berekend. Aanvullend is patentkali gegeven. Er is geen extra P toegediend, omdat initieel voldoende voorraad in de bodem aanwezig was. Bij champost Horst en champost Waardenburg is meer gegeven dan de behoefte en bij de overige meststoffen minder.

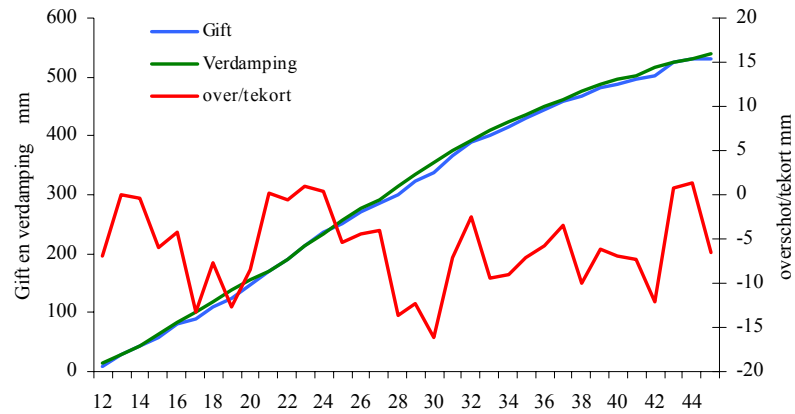
Tabel 2.2. Tabel gebruikte meststoffen met gehalten aan N, P, K en toegepaste hoeveelheden.

Meststof	Gehalte in vers materiaal			Behandeling	Stalmest ton/ha	Meststof ton/ha	Patentkali Kg/ha
	N g/kg	K g/kg	P g/kg				
Stalmest	12.1	8.0	4.3	Controle	14.0	0	3775
Champost Horst	6.4	4.8	0.6	Champost Horst	14.0	102.7	1788
Champost Waardenburg	10.1	8.5	2.1	Champost Waardenburg	14.0	65.3	1533
Luzernestro voorraad	30.2	25.6	2.7	Luzernestro voorraad	14.0	21.8	1531
Luzernestro bijmesten.	30.2	25.6	2.7	Luzernestro bijmesten	14.0	21.8	1531
Monterra Nitrogen	153.3	5.6	2.7	Bijmesten (Monterra)	14.0	4.3	3678
Wulpack	69.4	15.7	1.4	Wulpack	14.0	9.5	3176
Patentkali	0.0	249.0	0.0				

#### Watergift en bodemvochtigheid

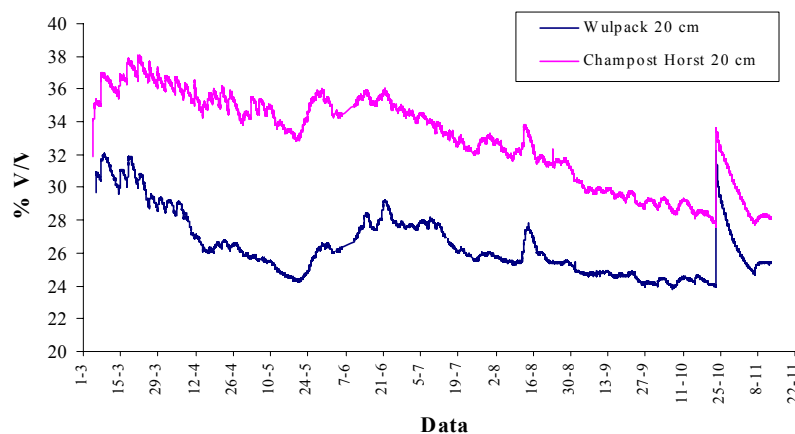
Er werd onder het gewas berekend via de regenleiding. De gegeven hoeveelheid water is gebaseerd op het watergeefmodel (Voogt *et al.*, 2000). In Figuur 2.1 wordt het verloop van de cumulatieve watergift en de cumulatieve berekende verdamping en het berekend overschot/te kort weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de verdamping over het algemeen iets hoger was dan de watergift. Het tekort liep uiteen van 0 tot 16 mm.





Figuur 2.1. Cumulatief watergift en verdamping en berekend overschot/tekort.

Ter controle van de bodemvochtigheid werden FD sensoren geplaatst om continu het watergehalte en de bodemtemperatuur te registreren in een aantal bodemlagen. De sensoren waren geplaatst op diepten van 10, 20, 40 en 60 cm. In Figuur 2.2 worden van de behandelingen wulpack en champost Horst het vochtgehalte op 20 cm diepte gedurende de teelt weergegeven.



Figuur 2.2. Gemiddeld vochtgehalte (Fd sensoren) laag 20 cm.

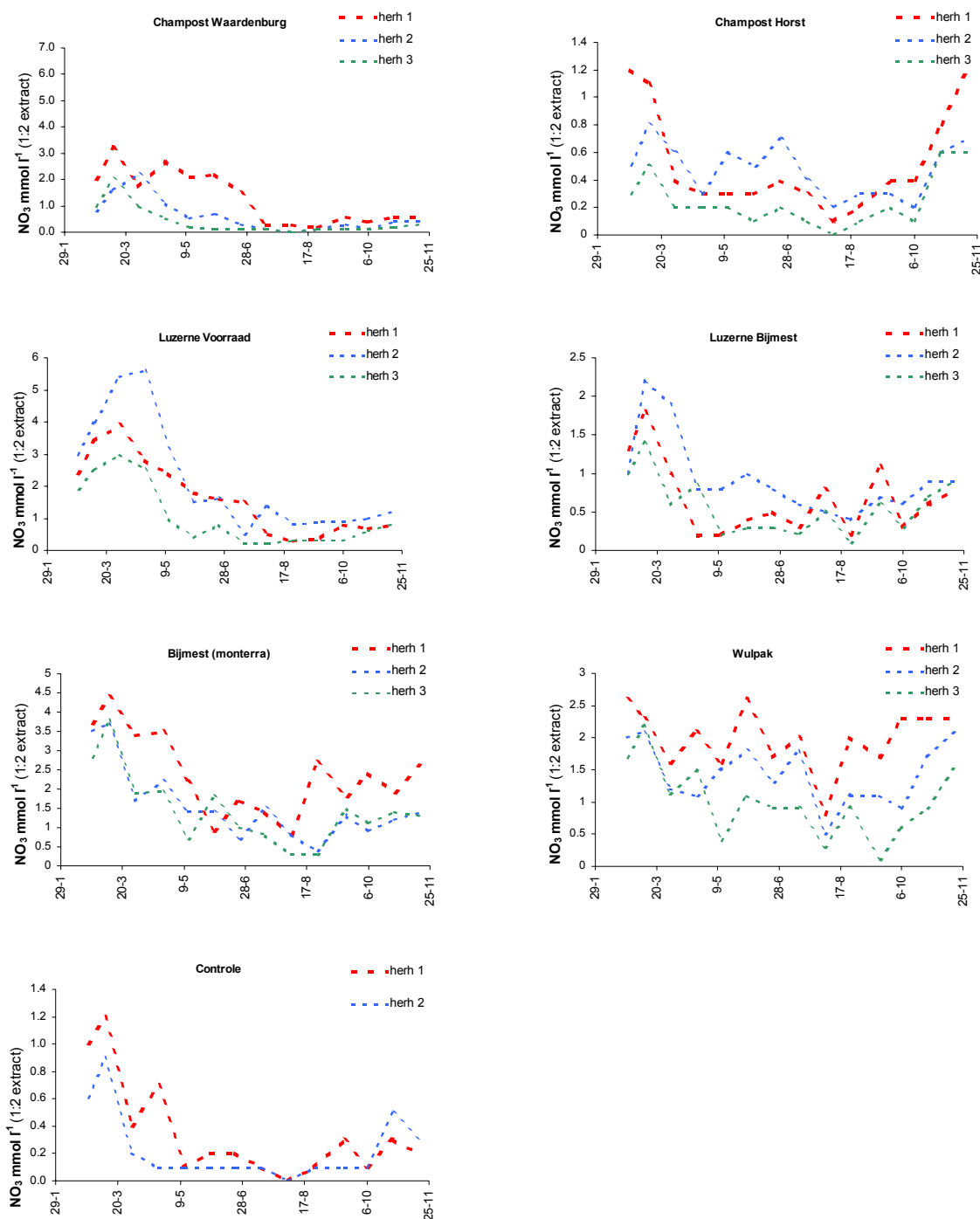
Uit de figuur blijkt dat het verloop van het vochtgehalte van beide behandelingen erg vergelijkbaar is. Daarentegen was bij wulpack het vochtgehalte veel lager dan bij champost Horst. Tot 24 mei daalde het vochtgehalte om daarna toe te nemen en na 21 juni langzaam te dalen. Op 25 oktober is een duidelijke piek te zien, veroorzaakt door een foutieve gietbeurt.

### 2.3.2 Analysecijfers

Uit het verloop van de  $\text{NO}_3^-$  -gehalten in de laag 0-25 cm blijkt dat er zeer grote verschillen zijn tussen de meststoffen (Figuur 2.3). Zelfs tussen de herhalingen per behandeling komen grote verschillen voor. De  $\text{NO}_3^-$  -gehalten waren gedurende de gehele teelt het laagst bij de controle behandelingen. Bij champost Waardenburg blijkt al snel een daling op te treden. Alleen bij herhaling 1 duurde het langer voordat het niveau van de herhalingen 2 en 3 werden benaderd. Champost Horst begon op een veel lager niveau en bleef laag om aan het einde weer iets toe te nemen.

Bij luzerne voorraad namen de  $\text{NO}_3$ -gehalten flink toe om in mei sterk te dalen. Echter er kwamen in de eerste periode grote verschillen tussen de herhalingen voor. Luzerne bijmest gaf in het begin ongeveer eenzelfde patroon te zien, op een lager niveau dan bij luzerne voorraad. Bij monterra bijmest was herhaling 1 hoger dan de overige herhalingen. Het effect van bijmesten kan enigszins worden teruggevonden. Bij wulpak was ook herhaling 1 het hoogst. Het verloop in N-min tussen de herhalingen komt redelijk goed met elkaar overeen, wel werden verschillen in de gehalten aangetroffen.

Het verloop van de  $\text{NO}_3$ -gehalten is bij vier behandelingen in de laag 50 - 55 cm gemeten.



Figuur 2.3. Verloop van de  $\text{NO}_3$ -gehalten in het 1:2 volume extract van de laag 0-25 cm.

De hoogste  $\text{NO}_3^-$  - gehalten komen voor bij luzerne voorraad, herhaling 3 bleef hier duidelijk achter (Figuur 2.4). Bij alle behandelingen zien we een daling van de gehalten in de loop van de teelt om aan het einde weer iets toe te nemen. Ook waren de gehalten bij herhaling 1 bij alle vier de behandelingen hoger.

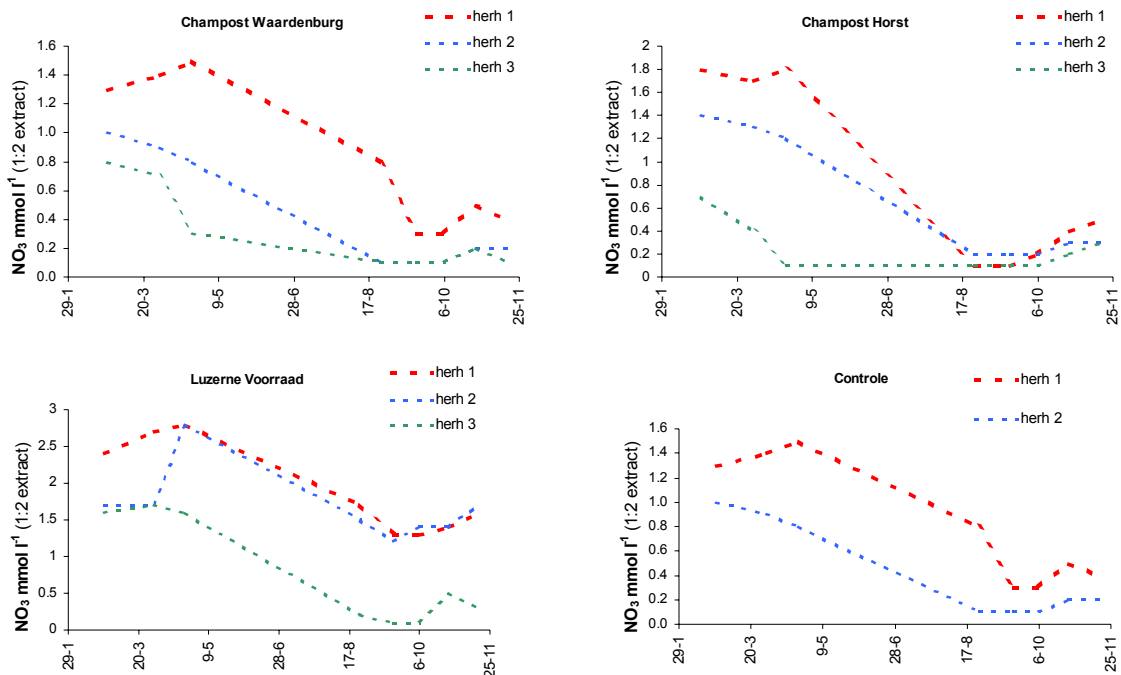
In Figuur 2.5 wordt het verloop van N -mineraal van de zeven behandelingen in 2 en 3 groepen vermeld. De gehalten zijn uitgedrukt in kg per ha voor de grond tussen 0 - 25 cm.

Bij de controle bleef N - mineraal onder 50 kg per ha. In het begin van de teelt lag het niveau bij monterra bijmest hoger dan bij wulpack. Vanaf begin mei is het niveau vrijwel identiek. Bij champost Horst bleef het niveau laag om aan het einde weer iets toe te nemen. Bij champost Waardenburg was tot juli het niveau beduidend hoger dan bij champost Horst. Bij luzerne voorraad lag het niveau tot eind mei beduidend hoger dan bij luzerne bijmest om daarna op een identiek niveau van ca. 50 kg N per ha te blijven.

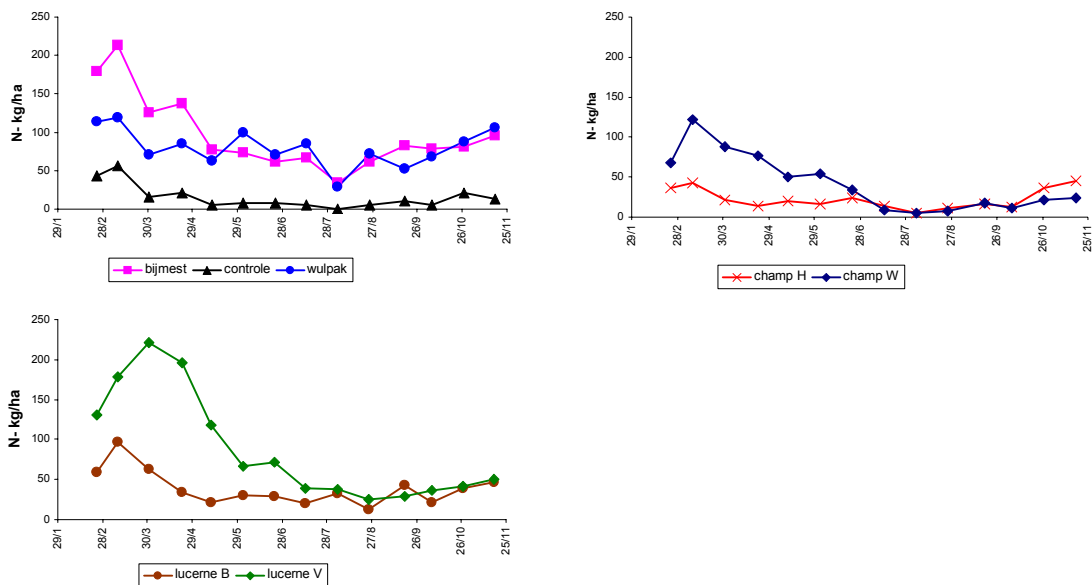
In Figuur 2.6 wordt de EC vanaf begin juni weergegeven, i.e. de periode waarin het 1:2 water extract werd gemonsterd.

De EC bij de controle was het laagst en bij wulpack en champost Waardenburg het hoogst. De EC bij de overige behandelingen lag hier tussen in. Bij alle behandelingen is voor K (Figuur 2.6) en ook voor Mg (Bijlage IV) eenzelfde patroon te zien. Bij alle behandelingen lag het niveau tot eind juni hoger dan erna. Dit was het gevolg van het gebruik van  $\text{CaCl}_2$  als extractiemiddel tijdens de eerste metingen.

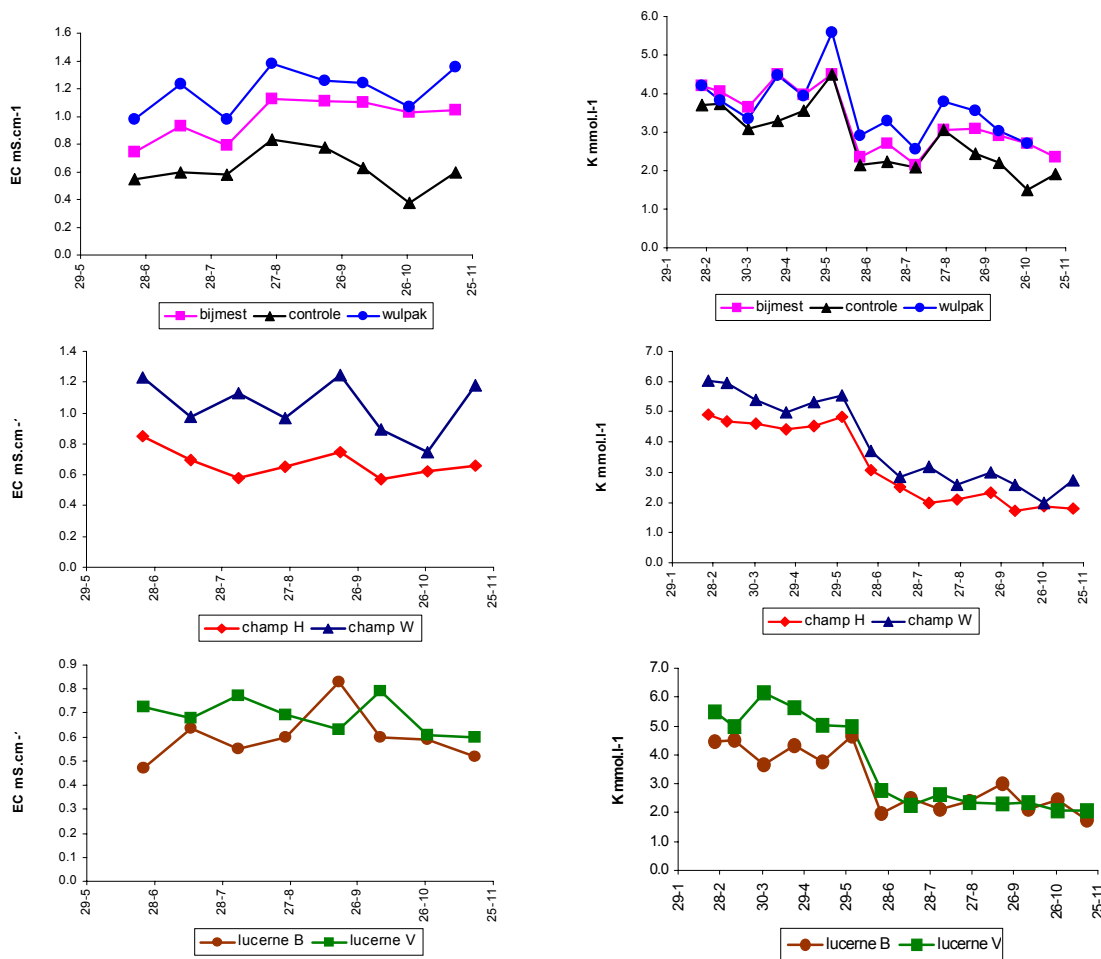
In Bijlage IV worden Na,  $\text{SO}_4$ , Mg en Cl grafisch weergegeven. Opvallend is hier dat ook Mg, net als K, bij alle behandelingen tot eind juni hoger is dan erna. Opmerkelijk is de stijging van Na door gebruik van wulpack. Champost Waardenburg had het hoogste  $\text{SO}_4$  -gehalte, later gevolgd door wulpack en monterra.



Figuur 2.4. Verloop  $\text{NO}_3^-$  - gehalten in het 1:2 volume extract van de laag 50-55 cm.



Figuur 2.5. Verloop N-mineraal uitgedrukt in kg ha<sup>1</sup>.



Figuur 2.6. Grafisch verloop EC (in mS cm<sup>1</sup>) en K (in mmol L<sup>-1</sup>).

### 2.3.3 Oogst

In Tabel 2.3 wordt de totale productie, productie klasse 1 en 2, neusrot en knopen vermeld.

Tabel 2.3. *Totale productie, productie klasse 1 en 2, neusrot en knopen, uitgedrukt in kg per m<sup>2</sup>.*

	Totale productie kg/m <sup>2</sup>	Klasse 1 kg/m <sup>2</sup>	Klasse 2 kg/m <sup>2</sup>	Neusrot kg/m <sup>2</sup>	Knopen kg/m <sup>2</sup>
Bijmest (Monterra)	13.4	12.3	0.59	0.42	0.03
Champost Horst	11.9	10.9	0.61	0.34	0.03
Champost Waardenburg	13.3	12.4	0.51	0.40	0.00
Controle	10.0	9.0	0.77	0.11	0.06
Luzernestro bijmest	13.9	12.9	0.50	0.37	0.09
Luzernestro voorraad	13.4	12.5	0.63	0.29	0.02
Wulpack	13.4	12.3	0.53	0.58	0.02

Bij controle en champost Horst bleef de productie achter, ten opzichte van de overige behandelingen, die onderling in productie slechts in geringe mate verschillen. Controle gaf iets minder neusrot en luzerne bijmest iets meer knopen.

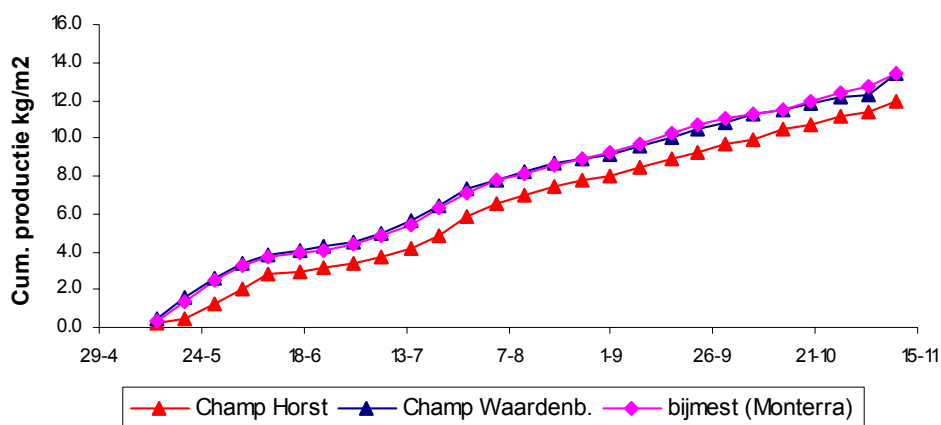
In Tabel 2.4 worden het aantal geoogste vruchten per m<sup>2</sup> vermeld. Het aantal geoogste vruchten geeft tussen de behandelingen hetzelfde beeld te zien als de productie.

Tabel 2.4. *Aantal geoogste vruchten per m<sup>2</sup>.*

	Totaal aantal/m <sup>2</sup>	Klasse 1 aantal/m <sup>2</sup>	Klasse 2 aantal/m <sup>2</sup>	Neusrot aantal/m <sup>2</sup>	Knopen aantal/m <sup>2</sup>
Bijmest (Monterra)	76.8	69.2	3.6	3.5	0.5
Champost Horst	67.3	61.1	3.4	2.4	0.4
Champost Waardenburg	74.5	68.3	3.1	3.0	0.0
Controle	55.7	50.0	4.1	0.9	0.7
Luzernestro bijmest	76.6	69.7	3.2	2.6	1.1
Luzernestro voorraad	73.7	68.0	3.4	2.0	0.2
Wulpack	75.4	67.5	3.3	4.3	0.3

Bij toetsing blijkt dat de verschillen in productie van de controle-behandeling met de wel bemeste behandelingen significant ( $P < 0.01$ ), voor zowel aantal vruchten als gewicht. De overige verschillen zijn niet significant; het verschil voor champost Horst ten opzichte van de bijmestbehandelingen komt wel dicht in de buurt van significantie. Als alleen de vroege productie wordt bekeken, tot en met 30 juni, dan blijkt champost Horst wel significant lager te zijn ten opzichte van de andere behandelingen (m.u.v. de controle).

Om zichtbaar te maken wanneer de productie bij champost Horst achter bleef bij de rest is de cumulatieve productie weergegeven van enkele behandelingen (Figuur 2.7). Het blijkt duidelijk dat champost Horst gedurende de gehele teelt achter blijft ten opzichte van de twee andere behandelingen.



Figuur 2.7. Cumulatieve vruchtproductie bij champost Horst, champost Waardenburg en monterra bijmest, uitgedrukt in kg ha<sup>-1</sup>.

### 2.3.4 Gewas

Uit Tabel 2.5 blijkt dat bij de vruchten het N-gehaltes bij controle iets lager is dan bij de overige behandelingen. Bij de elementen P en K zijn de verschillen gering. Bij afval was ongeveer hetzelfde beeld te zien. Bij gewas waren de N-gehaltes bij controle, champost Waardenburg en champost Horst lager ten opzichte van overige behandelingen. K bleef bij controle en in mindere mate bij champost Waardenburg iets achter.

Tabel 2.5. Gehaltes in vruchten (2 bemonsteringen), gewas (eind oogst) en afval (6 bemonsteringen), uitgedrukt in mmol per kg droge stof.

Behandeling	Gewasdeel	N	P	K
Bijmest (Monterra)	Vruchten	1713	132	902
	Gewas	1564	63	1033
	Afval	3751	216	1832
Champost Horst	Vruchten	1678	131	911
	Gewas	1334	66	996
	Afval	3362	215	1779
Champost Waardenburg	Vruchten	1604	128	902
	Gewas	1140	60	911
	Afval	3636	215	1700
Controle	Vruchten	1350	123	900
	Gewas	976	61	853
	Afval	3318	199	1695
Luzernestro bijmest	Vruchten	1627	131	903
	Gewas	1517	62	1060
	Afval	3596	207	1793
Luzernestro voorraad	Vruchten	1743	135	951
	Gewas	1507	62	1033
	Afval	3744	216	1789
Wulpack	Vruchten	1686	128	927
	Gewas	1548	61	1027
	Afval	3743	205	1701

Ook Na, Ca, totaal afval (drogestof in g m<sup>-2</sup>) en de drogestofpercentages van vruchten en gewas zijn bepaald (zie Bijlage V). Natrium was in afval bij champost Waardenburg en wulpack duidelijk hoger dan bij de overige behandelingen. Dit is in overeenstemming met de hogere concentraties in de bodem.

### 2.3.5 Mineralenbalans

In Tabel 2.6 wordt de N - mineraal voorraad aan het begin en einde van de teelt en de berekende voorraadvorming in kg N per ha vermeld.

Tabel 2.6. *N - mineraal voorraad aan het begin en einde van de teelt en de berekende voorraadvorming in kg N ha<sup>-1</sup>.*

Behandelingen	Begin	Einde	Vershil
Bijmest (Monterra)	51.2	95.3	44.1
Champost Horst	51.2	44.9	-6.2
Champost Waardenburg	51.2	23.4	-27.8
Controle	51.2	13.5	-37.7
Luzernestro bijmest	51.2	46.8	-4.4
Luzernestro voorraad	51.2	50.4	-0.8
Wulpack	51.2	106.1	54.9

Uit de tabel blijkt dat bij wulpack en bij monterra bijmest sprake is van een ophoping. Bij controle en champost Waardenburg is sprake van een grotere daling dan bij champost Horst, luzerne voorraad en luzerne bijmest. In Tabel 2.7 wordt de mineralenbalans voor stikstof gegeven. De balans bestaat uit de aanvoer van organische meststoffen en afvoer van vruchten, afval en gewas en het berekende verschil.

Tabel 2.7. *Mineralenbalans N, alleen gebaseerd op aanvoer via organische en afvoer via bovengrondse delen van het gewas, totaal N kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.*

Behandeling	Bijmest Monterra	Champ. H	Champ. W	Controle	Luzerne bijmest	Luzerne voorraad	Wulpack
<b>Aanvoer</b>							
Stalmest	170	170	170	170	170	170	170
Voorraad	206	659	659	0	121	659	155
Bijmest	453	0	0	0	538	0	504
<b>Totaal</b>	829	829	829	170	829	829	829
<b>Afvoer</b>							
Vruchten	268	231	255	158	265	273	268
Afval	56	28	34	12	38	44	43
Gewas	145	111	99	61	135	136	148
<b>Totaal</b>	469	370	388	231	438	453	459
<b>Vershil +/-</b>	<b>360</b>	<b>459</b>	<b>441</b>	<b>-61</b>	<b>391</b>	<b>376</b>	<b>370</b>

Uit de tabel blijkt dat bij controle de afvoer via het gewas groter is dan de aanvoer via organische bemesting. Dat wijst er op dat er stikstof uit oud organisch materiaal vrijgekomen moet zijn. Bij de overige behandelingen werd meer stikstof aangevoerd dan afgevoerd. De afvoer bij champost Horst en champost Waardenburg bleef achter bij monterra bijmest, luzerne voorraad en luzerne bijmest en wulpack.

In Bijlage VI worden de mineralenbalansen voor P, K en Na vermeld. Voor S en Cl wordt alleen de aanvoer gegeven, daar deze elementen niet in de vruchten, afvoer en gewas werden bepaald.

Bij P komen grote verschillen voor tussen de behandelingen, veroorzaakt door grote verschillen bij de aanvoer.

K werd bij alle behandelingen hetzelfde toegediend. Bij de controle bleef door de lagere productie, de afvoer achter ten opzichte van de overige behandelingen. De aanvoer van Na bij wulpack was groot, het geen resulteerde in een groot overschot. De aanvoer van Na bij champost Horst en Waardenburg was ook behoorlijk, echter het overschot was minder groot dan bij wulpack. Opvallend was het geringe overschot bij monterra bijmest en bij luzerne voorraad en luzerne bijmest.

## 2.4 Discussie en conclusies

De gerealiseerde cumulatieve watergift komt vrij goed overeen met de cumulatieve berekende verdamping.

De verdamping was over het algemeen iets hoger dan de watergift. Het te kort liep uiteen van 0 tot maximaal 16 mm per week. Veel uitspoeling zal niet plaats gevonden hebben.

De FD -sensoren op 20 cm diepte bij de behandelingen wulpack en champost Horst gaven eenzelfde patroon van het vochtgehalte met de tijd te zien. Duidelijk was het hogere vochtgehalte bij champost Horst. Mogelijk veroorzaakt door de hoge organische stofgehalte en gift van deze meststof. Gedurende de teelt vond een dalende tendens bij beide behandelingen plaats, met uitzondering van een opleving in juni en een foutieve gift begin november.

Het verloop van de  $\text{NO}_3$  -gehalten in het 1:2 extract gaf grote verschillen tussen de behandelingen te zien. Zelfs tussen de herhalingen per behandeling. Uit de aanvankelijke  $\text{CaCl}_2$  extract blijkt opnieuw dat geen relevante  $\text{NH}_4$  aanwezig is.

Luzernestro voorraad leverde in het begin veel stikstof om in mei flink te dalen. Luzerne bijmesten gaf eenzelfde patroon te zien, echter op een lager niveau. champost Waardenburg leverde in het begin meer stikstof dan champost Horst, om later in de teelt op hetzelfde lage niveau uit te komen. Champost Horst leverde de gehele teelt weinig stikstof. Hier trad in de eerste maanden duidelijk stikstofgebrek op.

Monterra bijmest leverde de drie maanden meer stikstof dan wulpack. Daarna bleef stikstof op hetzelfde niveau.

De geschatte productie van 17 kg per  $\text{m}^2$  werd bij geen van de behandelingen behaald. De hoofdreden is de lage lichtdoorlatendheid van de kas, transmissiewaarde slechts 55%, waardoor de groeisnelheid sterk achterbleef bij de verwachting. De productie liep uiteen van 13,9 kg bij luzerne bijmest tot 10 kg bij controle. De productie bij champost Horst was 11,9 kg en bij de overige meststoffen 13,4 kg per  $\text{m}^2$ .

De lagere productie bij champost Horst is veroorzaakt door de lage mineralisatie in de eerste maanden van de teelt. Over het algemeen (niet bij controle) was de N-aanvoer veel groter dan de opname. Uit het verloop van de N-min gehalten bij wulpack, monterra bijmest en beide Luzerne behandelingen kan geconcludeerd dat stikstof niet beperkend is geweest voor de groei.

Op grond van de geschatte productie zou de opname aan N, 828 kg per ha moeten bedragen. De werkelijke opname liep uiteen van 469 kg bij monterra bijmest tot 231 kg bij controle. De opname bij champost Horst, champost Waardenburg, luzerne bijmest, luzerne voorraad en wulpack was respectievelijk; 370, 388, 438, 453 en 459 kg per ha.

Ingewerkte luzernestro leverde snel veel mineralen stikstof, het oppervlakkig bijmesten van deze meststof gaf onvoldoende mineralisatie. Champost Waardenburg voldeed beter dan champost Horst. De laatste meststof leverde weinig stikstof. In het begin van de teelt trad stikstof vastlegging op, met zichtbaar stikstofgebrek als gevolg.



De productie was 12% lager dan het gemiddelde van de overige bemeste behandelingen. De beide bijmest behandelingen monterra en wulpack voldeden goed.

De vraag of de in de proef gebruikte organische meststoffen in de biologische teelt kan worden gebruikt kan positief worden beantwoord. Voor voorraad bemesting kan champost Waardenburg en luzerne toegepast worden. Als bijmest kan monterra en wulpack gebruikt worden. Echter wulpack bevat veel Na en champost Waardenburg heeft als nadeel dat het  $\text{SO}_4$ -gehalte in de bodem wordt verhoogd.



## 3. Mineralisatie en denitrificatie: meting en modelparametrisatie

### 3.1 Mineralisatie

#### 3.1.1 Inleiding

De beschikbaarheid voor plantengroei van stikstof uit organische meststoffen is alleen experimenteel correct vast te stellen. De N-levering kan berekend worden uit de totale stikstofopname door het gewas, zoals beschreven is in een voorgaand hoofdstuk voor een chrysantengewas. De plantopname van stikstof is echter een netto-beschikbaarheid; de totale N-beschikbaarheid kan veel hoger zijn, maar gaat deels verloren, of blijft in de bodem als N-min achter. Om de totale beschikbaarheid te bepalen, zijn mineralisatiemetingen noodzakelijk. Bij de mineralisatie onderscheiden we potentiële en actuele mineralisatie.

De potentiële N-mineralisatie wordt in deze studie gedefinieerd als de hoeveelheid N die vrijkomt bij een temperatuur van 20 °C en voldoende vochtvoorziening. Deze potentiële mineralisatie is bepaald via labincubatie. Hierover wordt in dit hoofdstuk gerapporteerd.

De actuele mineralisatie is gelijk aan de hoeveelheid N die bij de actuele temperatuur- en vochtcondities in de kasgrond vrijkomt. Deze mineralisatie is bepaald via veldincubatie. De actuele mineralisatie kan nogal wat lager zijn dan potentieel, aangezien droogtestress de afbraak door micro-organismen sterk remt. De actuele mineralisatie wordt in hoofdstuk 4 berekend en vergeleken met de gemeten mineralisatie uit de veldincubatie.

Alvorens de mineralisatieberekeningen te rapporteren, komt eerst de karakterisering van de organische stof van grond en champosten aan de orde. Dit levert kwantitatieve informatie op die gebruikt kan worden ter beoordeling van de ouderdom van de organische stof en het onderscheid in stabiele en labiele fracties ten behoeve van verdere modellering.

De vrijgekomen N is niet geheel beschikbaar voor opname door de plant. De belangrijkste bestemmingen zijn, naast plantopname, vastlegging in de grond en verlies door denitrificatie en uitspoeling. In het tijdsbestek van enkele weken bestaat de vastlegging vooral uit N-opname in de weefsels van micro-organismen die betrokken zijn bij de mineralisatie. Deze vastlegging is in eerder onderzoek (Marcelis *et al.*, 2003) gekwantificeerd en niet weer uitgevoerd voor de in 2003 gebruikte meststoffen. De N-verliezen door denitrificatie zijn via steekproefsgewijze metingen (bij chrysantenteelt) en modelsimulaties (chrysanten- en paprikateelt) geschat. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de rekenregels die de basis vormen voor berekening van denitrificatie. In hoofdstuk 4 worden deze rekenregels gebruikt voor berekeningen van de N-dynamiek in de bodem.

#### 3.1.2 Methode

##### **Karakterisering organische stof**

Voor aanvang van lab- en kasproeven werd grond uit de bouwvoor (0-25 cm) en van de meststoffen champost Horst ('H') en champost Waardenburg ('W') apart gehouden voor karakterisering van de organische stof.

De C/N-ratio van elke meststof werd bepaald door analyse van C-gehalte en totaal N. Op basis van deze C/N-ratio is elke meststof uitgesplitst in 3 fracties die zich onderscheiden in afbraaksnelheid (DPM, SPM en RPM, zie hieronder) via de rekenwijze gebruikt in het model ROTASK (Jongschaap, 1996).

De organische stof is uitgesplitst naar deeltjesgrootte m.b.v. het zeven op de fracties 2mm en 150 µm, en naar dichtheid m.b.v. het oplossen in Ludox silica gel (dichtheden boven en onder 1.13 g cm<sup>-3</sup>).

## Labincubatie

De mineralisatie van de meststoffen uit de kasproef is bepaald onder geconditioneerde omstandigheden. Hiervoor is een incubatie-experiment verricht met kasgrond uit de bovenste 20 cm grond, optimaal gemengd met steeds 1 meststof waarbij de N-dosering bij alle meststoffen equivalent was aan 658 kg N ha<sup>-1</sup> (zie Tabel 3.2). Tevens werd grond zonder meststof geïncubeerd. De monsters werden geïncubeerd in het donker, bij optimale vochtcondities (60% van waterhoudend vermogen), bij een temperatuur van 20 °C en een bulkdichtheid van 1.0 (i.e. identiek aan die in de kas).

Koolstofafbraak werd gemeten door opvang van geproduceerde CO<sub>2</sub> in cuvetjes met NaOH-oplossing. Analyse en verversing van de oplossing vond elke 2 weken plaats.

N<sub>min</sub>-levering werd bepaald door oogst van 2 incubatiemonsters per meststof per bemonsteringsinterval.

Monstering vond plaats na 2, 5 en 12 weken. Analyse vond plaats aan NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> en totaal oplosbaar N in 0.01M CaCl<sub>2</sub>-extract.

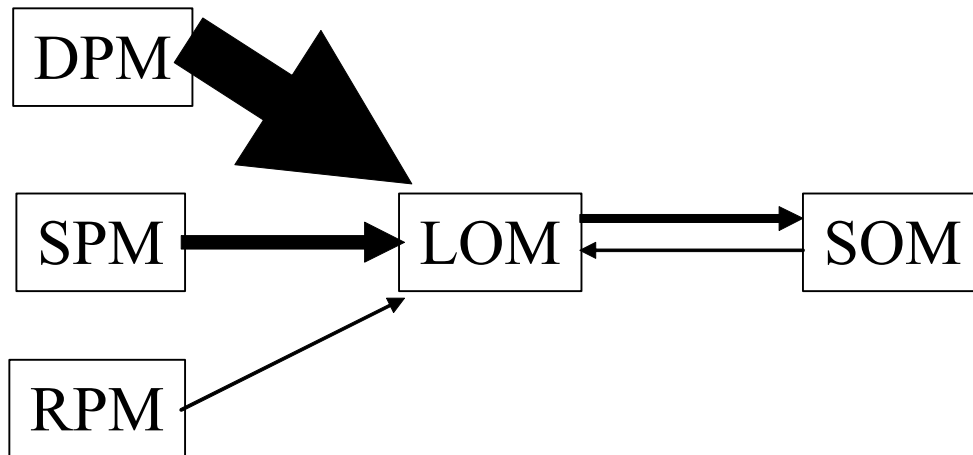
## Veldincubatie

In de kasproef werd de actuele, onder de heersende bodemcondities geleverde N bepaald. Deze metingen werden alleen verricht in de veldjes waar voorraadbemesting werd gerealiseerd, dus bij de controle en de mestvarianten champost Horst, champost Waardenburg en luzerne voorraad. Hiertoe werden 6 incubatiebuisjes (lengte 23 cm, diameter 5 cm) per veldje (3 veldjes per meststof) rechtstandig in de bovengrond gedrukt en na 6 weken gemonsterd en gepooled per veldje. De initiële N<sub>min</sub>-concentratie voorafgaand aan elke incubatieperiode werd bepaald aan gepoolde grond van 12 steken met een guts (lengte 20 cm), de geproduceerde N<sub>min</sub> na incubatie aan het poolmonster van de 6 buizen per veldje (CaCl<sub>2</sub>-extractie). De N<sub>min</sub> productie in de incubatiebuisjes is het netto resultaat van N<sub>min</sub>-ophoping na mineralisatie van organische stof, en de verliezen door (a) immobilisatie in microbiële vastlegging en (b) mogelijke vervluchtiging als N<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub> door denitrificatie van geproduceerd nitraat. De opgehoopte N<sub>min</sub> is een goede maat voor de N die beschikbaar is voor plantengroei.

## Mineralisatiemodel MOTOR

Het model voor simulatie van organische stof dynamiek in de bodem MOTOR (MODular description of the TurnOver of organic matter (Assinck & Rappoldt, 2004; Whitmore *et al.*, 1997)) berekent de organische stof afbraak middels organische stof fracties in toegediende meststoffen en bodem.

De organische meststof wordt onderverdeeld in de fracties DPM (decomposable plant material), SPM (structural plant material) en RPM (resistant plant material) De grootte van de DPM, SPM en RPM fractie is berekend aan de hand van de C/N-ratio in de gehele meststof via de rekenwijze gebruikt in ROTASK (Jongschaap, 1996). Hierbij worden vaste C/N-ratios per fractie verondersteld (DPM: 6, SPM: 150, RPM: 100). De bodemorganische stof wordt onderverdeeld in de fracties LOM (labile organic matter) en SOM (stabiele organic matter). De meststof wordt omgezet in LOM, en vervolgens kunnen LOM en SOM in elkaar transformeren (zie Figuur 3.1). Omzettingen worden beschreven met een eerste of tweede orde reactie, m.b.v. een R<sub>C</sub>-waarde (reactieconstante) en een efficiëntie, waarbij de verliezen plaats vinden in de vorm van CO<sub>2</sub> (afbraak van C-component) of N<sub>min</sub> (afbraak eiwit). R<sub>C</sub> en efficiëntie zijn voor C- en N-component in MOTOR identiek, maar inbouw in een nieuwe pool met lager N-gehalte betekent automatisch proportioneel meer N-verlies.



*Figuur 3.1. De organische stof pools zoals gemodelleerd in MOTOR. De aangewende meststof bestaat uit de fracties DPM, SPM en RPM, die omgezet worden in LOM en vervolgens SOM (zie tekst voor betekenis van deze acronyemen). Dikte van de pijlen geeft de grootte orde van het betreffende proces aan.*

### IJking van het mineralisatiemodel

Op basis van de berekende poolverdeling zijn een tweetal parameters geschat op basis van vergelijking tussen afbraakmetingen en modeluitkomsten. De gekozen parameters, RC (reactieconstante of 'k-waarde' voor afbraakreactie) en reactie-orde (1 of 2, alleen voor DPM), zijn aldus gecalibreerd. Calibratie bestond uit het handmatig wijzigen van parameterwaarden en het vinden van het kleinste verschil tussen meting en simulatie. De gemeten afbraak en N<sub>min</sub>-levering in de lab-incubatie zijn gebruikt om te ijken.

De correctiefactoren voor temperatuur en vochtgehalte zijn niet geijkt, aangezien er geen dataset beschikbaar was van mineralisatie bij verschillende temperaturen en vochtgehalten.

## 3.1.3 Resultaten

### Karakterisering organische stof

De fractionering van de kasgrond en de twee champosttypen op deeltjesgrootte en soortelijk gewicht resulteerde in de fractiegrootten zoals vermeld in Tabel 3.1.

*Tabel 3.1. Verdeling van organische stof in fracties.*

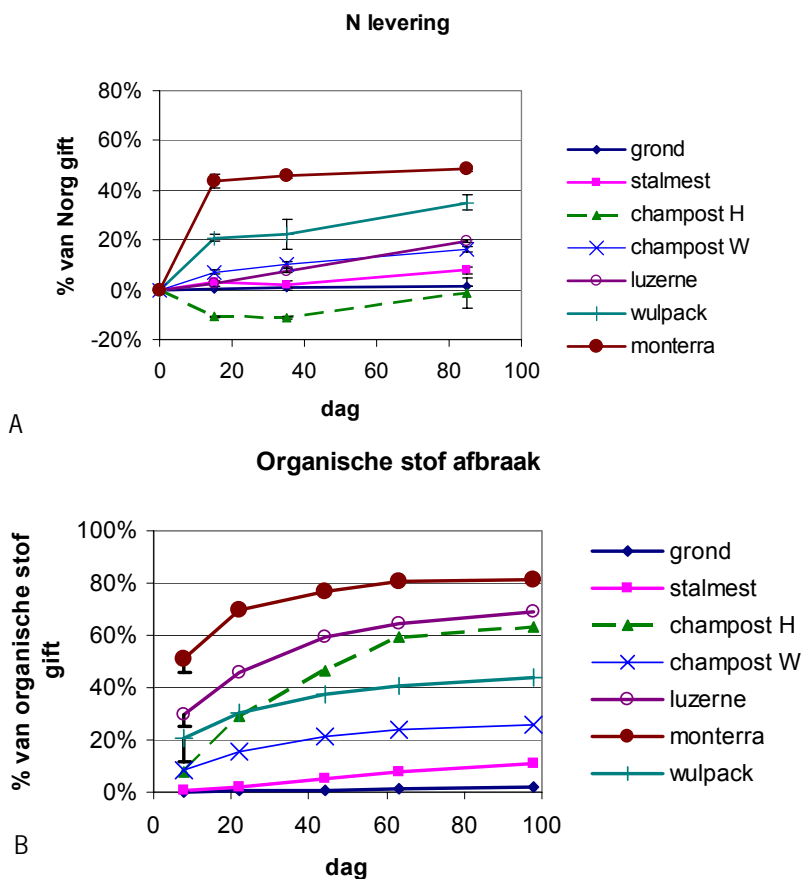
Grootte	Dichtheid g cm <sup>-3</sup>	Fractie	% OS van drooggewicht van materiaal					
			Grond		Champost H		Champost W	
			gem.	st.afw.	gem.	st.afw.	gem.	st.afw.
Aggregaat	n.v.t.	LOM	0.36	0.17	58.27	0.50	16.12	7.54
> 150 μm	< 1.13	LOM	0.83	0.05	4.33	0.51	12.43	5.92
< 150 μm	< 1.13	LOM	0.01	0.01	0.36	0.30	0.49	0.03
< 150 μm	> 1.13	SOM	0.96	0.07	2.46	0.20	4.96	0.31
> 150 μm	> 1.13	SOM	2.64	0.22	5.55	0.35	12.53	1.61
Totaal			4.81	0.02	70.96	0.15	46.53	3.51

De standaardafwijking is vrij gering, zodat de fractionering een betrouwbaar beeld oplevert. In alle monsters komt de kleinere fractiegrootte ( $< 150 \mu\text{m}$ ) duidelijk minder voor dan de grotere fractie. De LOM (labile organische matter) is de organische stof met een laag soortelijk gewicht, ofwel met geringe dichtheid ( $< 1.13 \text{ g cm}^{-3}$ ) en is de som van de fijne en grove, lichte deeltjes. De SOM (stabiele organische matter) is het totaal van deeltjes met een hoog soortelijk gewicht, dus hoge dichtheid ( $> 1.13$ ). In de grond is de verhouding LOM/SOM volgens de fractionering 0.25/0.75 van de totale organische stof. De fractie LOM is daarmee duidelijk groter dan in de naburige grond van het vorige experiment (zie Marcelis *et al.*, 2003). Aldus bestaat de bodemorganische stof van deze kasgrond voor  $9150 \text{ kg C ha}^{-1}$  uit LOM en voor  $27450 \text{ kg C ha}^{-1}$  uit SOM.

Beide champosten bevatten veel aggregaten, en dit geldt met name voor champost Horst waar dit 82% van de totale organische stof uit maakt. Deze grote hoeveelheid bij champost Horst resulteert tevens in het hoogste gehalte aan organische stof ( $\text{g kg}^{-1}$  droog materiaal) t.o.v. grond en champost Waardenburg. Net als in de grond zijn er in de champosten qua gewichtsverhouding meer grotere ( $> 150 \mu\text{m}$ ) dan kleinere deeltjes.

### Afbraak organische stof (labincubatie)

Het tijdsverloop van de  $\text{CO}_2$ -productie geeft het verloop van de bodemademhaling aan en daarmee de afbraak van organische stof. Uit de  $\text{CO}_2$ -productie is de afbraak van de gegeven C uitgerekend. De afbraaksnelheid neemt toe in de volgorde stalmest  $<$  champost Waardenburg  $<$  Wulpak  $<$  champost Horst  $<$  luzerne  $<$  monterra (Figuur 3.2a). Opvallend is de sterke stijging van de afbraak van champost Horst na het eerste meettijdstip. Na 60 dagen is de afbraak per meetinterval van de meeste stoffen al gedaald tot waarden onder 5% van de C-gift.



Figuur 3.2. Resultaten incubatie onder geconditioneerde omstandigheden (a) cumulatieve C-afbraak, bepaald via  $\text{CO}_2$ -productie uit incubatie-monsters; (b) cumulatief verloop van de N-mineralisatie. Bij C-afbraak is standaardafwijking slechts voor eerste sampling voor 3 hoogste waarden aangegeven ter indicatie.

Het percentage afgebroken organisch materiaal is samengevat in Tabel 3.2. Een rekenperiode van 85 dagen is aangehouden om de C-afbraak te kunnen vergelijken met de N-levering, die gemeten is tot maximaal 85 dagen.

Tabel 3.2. *Gift, samenstelling en afbraak van organische stof en N-levering per meststof in de lab-incubatie, afgeleid uit productie van CO<sub>2</sub> en N<sub>min</sub> gedurende 85 dagen.*

Meststof	Gift		Samenstelling		Afbraak, N-levering	
	C-gift	N <sub>tot</sub> -gift	Fractie N <sub>org</sub>	C/N <sub>org</sub>	% van C	% van N <sub>org</sub>
	kg ha <sup>-1</sup>					
Grond	73190	2600	0.985	28.6	1.6	1.3
Champost H	14444	658	0.971	22.6	61.2	-1.5
Luzerne	8703	ld	0.968	13.7	66.9	19.4
Stalmest	7786	ld	0.955	12.4	9.3	7.9
Champost W	7401	ld	0.940	11.9	24.6	16.3
Wulpack	3072	ld	1.000	4.7	42.1	35.1
Monterra	2046	ld	1.000	3.1	81.1	48.8

### Potentiële N-levering (labincubatie)

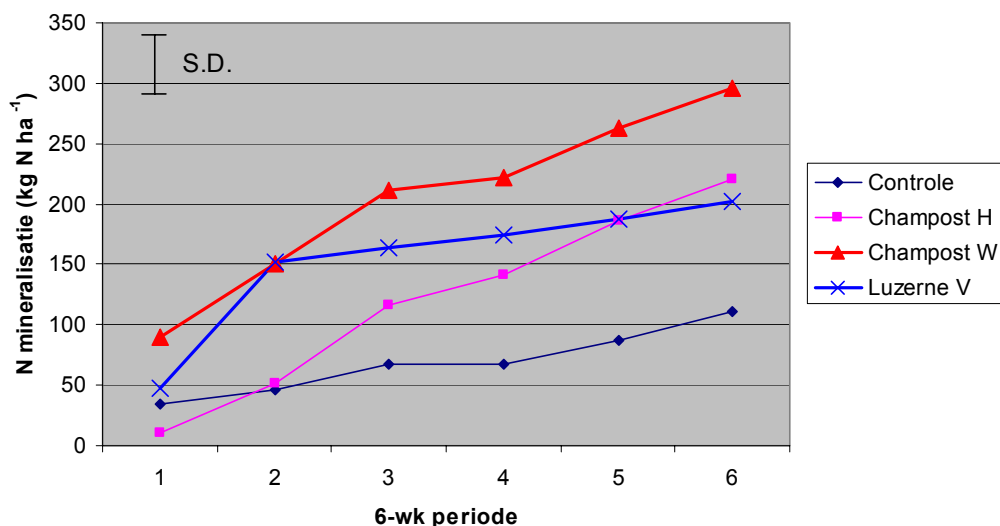
Door de grote voorraad aan organische N levert de grond een substantiële hoeveelheid minerale N. Indien de gemeten afbraak constant is gedurende het jaar, levert de gebruikte grond (diepte 0-20 cm) potentieel 147 kg N ha<sup>-1</sup> j<sup>-1</sup>. In Tabel 3.2 zijn de meststoffen gerangschikt naar afnemend C/N-ratio. De C/N-ratio is gemeten in de meststof alvorens deze werd toegediend. Gemeten C- als N-afbraak nemen proportioneel toe met afnemend C/N voor stalmest, champost W, wulpack en monterra, maar NIET voor champost H en luzerne. Het ontbreken van dit patroon voor de hele set van meststoffen wordt vooral veroorzaakt door (a) de hoge C-ademhaling bij champost Horst en luzerne, en (b) de relatief lage afbraak van stalmest bij een toch vrij lage C/N-ratio.

De levering van N<sub>min</sub> is verder overall minder dan de afbraak van organische stof, wat verklaard kan worden uit N-verliezen door denitrificatie en N-vastlegging in microbiële biomassa.

Het verloop van de N-mineralisatie (Figuur 3.2.B) lijkt voor luzerne, stalmest en champost Waardenburg vrijwel lineair in de tijd. Onder deze constante condities komt in de eerste weken blijkbaar steeds evenveel N per tijdseenheid vrij. In de eerste meetperiode komt al bijna al de afbreekbare N vrij bij monterra. Wulpack levert ook relatief snel stikstof. De N-levering van champost Waardenburg en luzerne is wat geleidelijker. Bij champost Horst wordt in de eerste 40 dagen alle vrijgekomen N vastgelegd, waarschijnlijk in microbiële biomassa. Door significante N-levering in de tweede 40 dagen is uiteindelijk de netto N-mineralisatie 'nul' en dus is er geen netto vastlegging.

### Actuele N-levering (veldincubatie)

De N-levering uit de buisjes in grond blijkt in de controle-behandeling het laagst (Figuur 3.3). De mineralisatie bij champost Horst start traag, wat ook bleek uit de lage N<sub>min</sub> in de rest van die behandeling (hoofdstuk 2) en de trage gewasgroei. Desalniettemin is het totaal van geleverde N aan het eind van de teelt gelijk aan die van luzerne-voor-raadbemesting. Luzerne leverde de gehele teelt voldoende N, hetgeen ook te zien is in de N-opname (hoofdstuk 2). Champost Waardenburg levert het meeste N van alle typen voorraadbemesting. Dit resultaat is in overeenstemming met de lage C/N-ratio van deze champost (zie Tabel 3.2).



Figuur 3.3. Netto N-mineralisatie (in kg N 6wk<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) volgens de veldincubatie, cumulatief over de periode 24/2/03-10/11/03.

### Simulatie afbraak onder geconditioneerde omstandigheden (labincubatie)

#### CHRYSANTENPROEF

IJking van de afbraakparameters van de 6 gebruikte meststoffen en de specifieke grond resulteerde in de volgende parameterwaarden (Tabel 3.3):

Tabel 3.3. Meststoffen uit chrysantenproef: gemeten C/N (alleen Norg), berekende procentuele verdeling in fracties DPM, SPM en RPM, gekozen reactieconstanten ( $R_c$ ), gekozen orde van reactievergelijking voor DPM.

	C/N	DPM (%)	SPM (%)	RPM (%)	$R_c$ _DPM (orde)	$R_c$ _SPM
Stalmest `02*	17.1	32.2	59.0	8.8	0.005 (2)	0.0005
Bloedmeel	3.5	99.5	0.0	0.5	0.03 (1)	0.0005
Luzerne `02	10.2	57.0	39.4	3.6	0.006 (2)	0.0049
Maltaflor	8.7	67.6	29.7	2.7	0.012 (1)	0.0049
Monterra `02	3.7	100.0	0.0	0.0	0.03 (1)	0.0005
Compost	15.8	37.4	55.5	7.1	0.0005 (2)	0.0005

\* Gebruikt in 2002. Voor de paprikaproef in 2003 is een andere samenstelling gebruikt.

Details over de simulatie van de labincubatie van de chrysant-meststoffen zijn te vinden in PRI-rapport 70 (Marcelis *et al.*, 2003).



## PAPRIKAPROEF

Hieronder volgt een beschrijving van de simulatie per meststof, zie Tabel 3.4 voor pool-verdeling en gecalibreerde afbraakparameters.

## Grond zonder meststof

De LOM/SOM verhouding zoals bepaald in de Ludox-fractionering (zie Tabel 3.1) zijn ingevoerd in het model. Bij de gemeten C/N-ratio van de totale organische stof van 28.6 volgt dan een C/N-ratio voor LOM van 21.7 en voor SOM van 30.

Simulatie van C-afbraak en N-levering van de Naaldwijk-grond zonder meststof was uitstekend (zie Figuur 3.4), indien een reactieconstante  $R_c$  (afbraakconstante) voor LOM naar SOM werd aangenomen van 0.00015 ( $\text{dag}^{-1}$ ). De omzetting van SOM naar LOM gaat 2x zo langzaam ( $R_c = 0.000075$ ).

*Tabel 3.4. Meststoffen uit paprikaproef: gemeten C/N (alleen Norg), berekende procentuele verdeling in fracties DPM, SPM en RPM, geijkte reactieconstanten ( $R_c$ ) en (tussenhaakjes) de gekozen orde van reactievergelijking voor DPM.*

	C/N	DPM (%)	SPM (%)	RPM (%)	$R_c$ _DPM (orde)	$R_c$ _SPM
Stalmest `03*	12.4	46.1	48.8	5.1	0.0005 (2)	0.0005
Champost W	11.9	48.3	47.0	4.8	0.0012 (1)	0.0012
Champost H	22.6	23.2	63.4	13.4	0.05 (2)	0.02
Monterra `03	3.1	99.6	0.0	0.4	0.05 (1)	0.02
Luzerne `03	13.7	41.3	52.6	6.1	0.0012 (2)	0.0005
Wulpak	4.7	99.2	0.0	0.8	0.0045 (2)	0.0045

\* Gebruikt in 2003. Voor de chrysantenproef in 2002 is een andere samenstelling gebruikt.

## Stalmest

De simulatie van de C-afbraak was goed te fitten aan de metingen door aanzienlijke reductie van de  $R_c$ -waarde voor de DPM-fractie (Tabel 3.4). De daaropvolgende simulatie van de  $N_{min}$  was ook goed vergelijkbaar met de metingen (Figuur 3.4).

## Luzerne

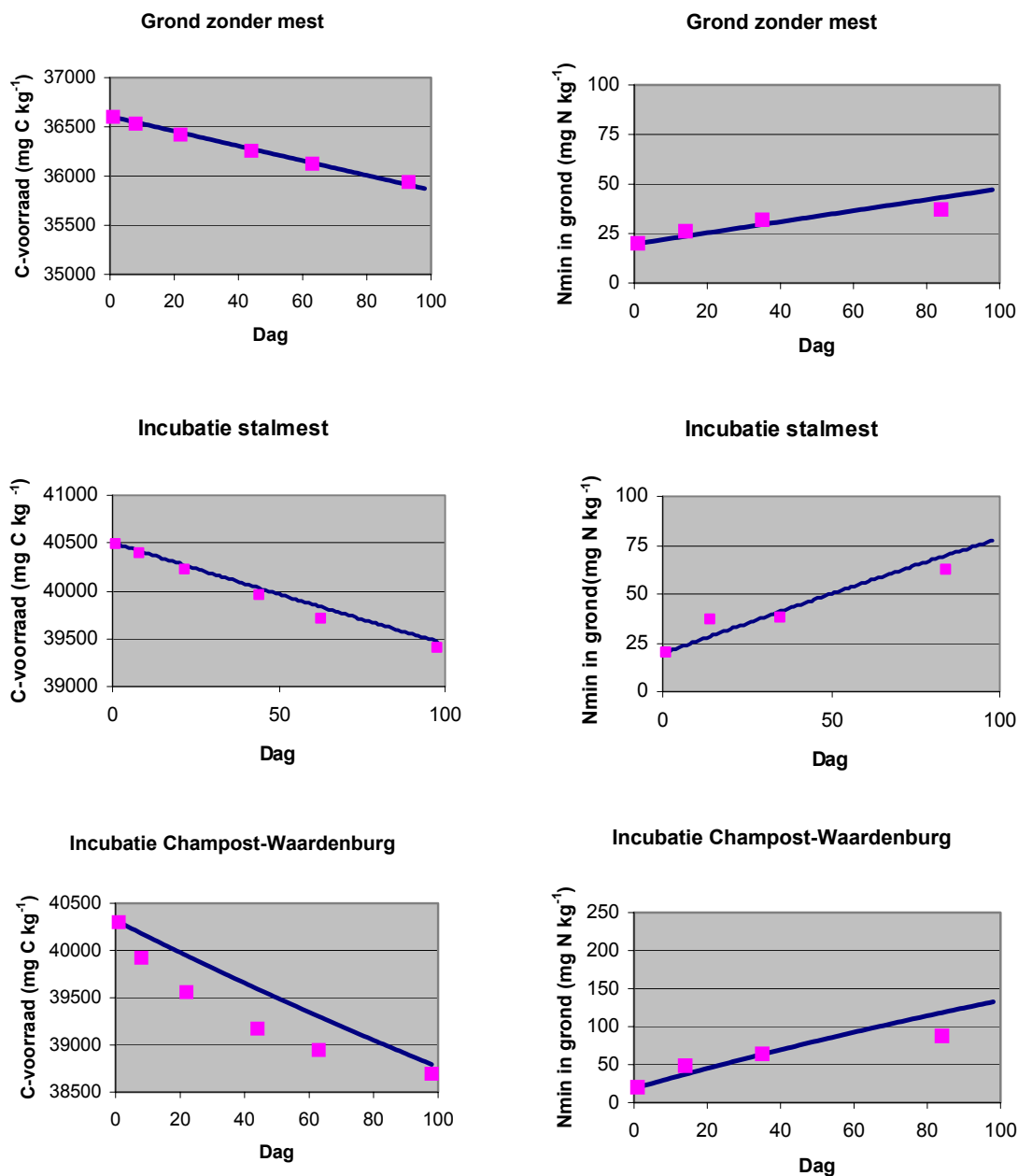
Het vinden van een goede modelfit van zowel C-afbraak als  $N_{min}$ -levering was niet mogelijk. De parameters in Tabel 3.4 zijn het resultaat van het fitten van de  $N_{min}$ -levering. Een correcte berekening van beschikbare  $N_{min}$  is van meer belang voor het projectdoel (kwantificeren N-dynamiek) dan berekening van C-afbraak. Het juist berekenen van de  $N_{min}$ -levering betekent dat de C-afbraak fors wordt onderschat (zie Figuur 3.4). Het correct simuleren van alleen de C-afbraak was overigens alleen mogelijk met de  $R_c$ -waarden 0.02 voor zowel DPM als SPM, wat tot gevolg heeft dat de N uit luzerne dan in 100 dagen geheel vrijkomt als  $N_{min}$ .

## Monterra

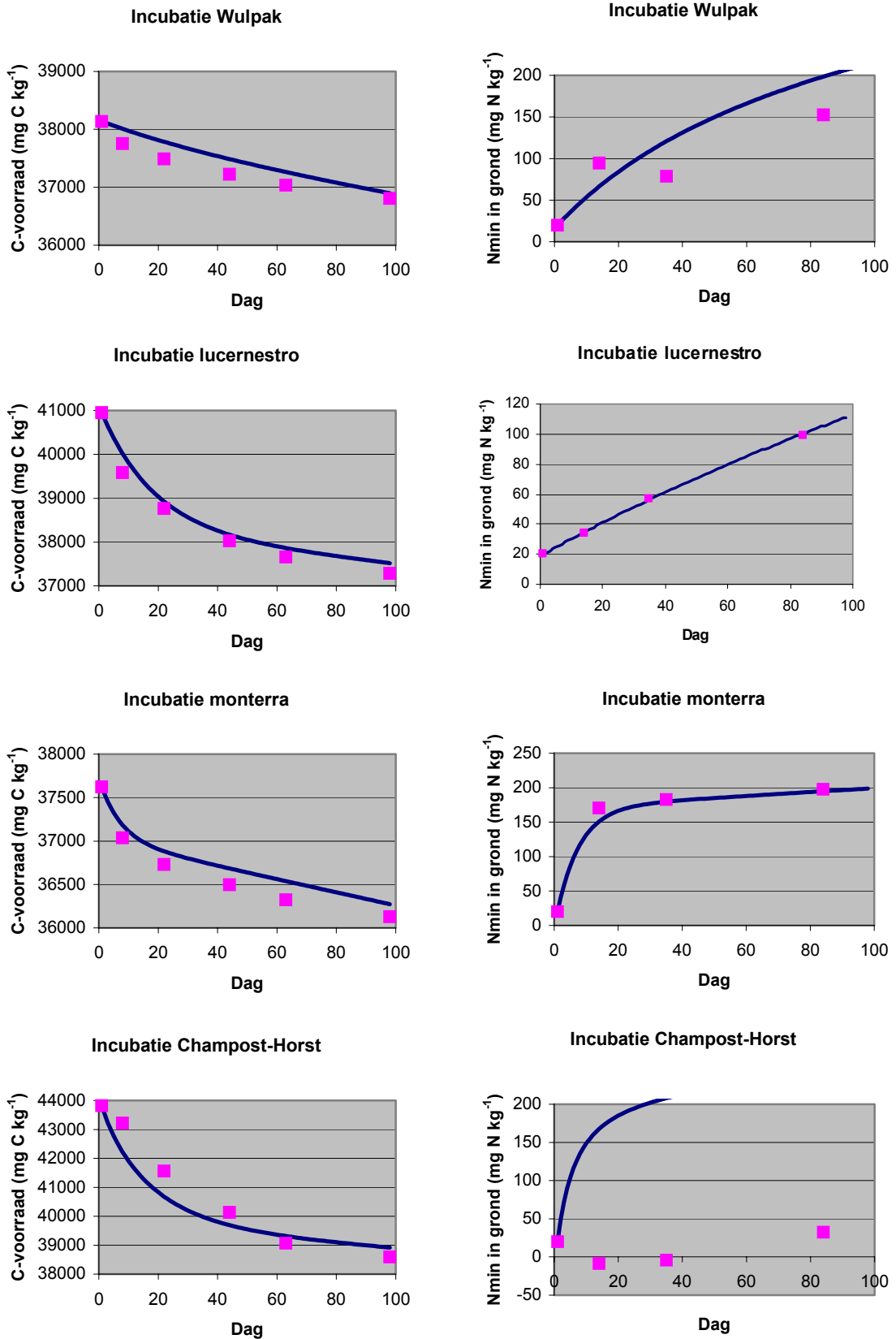
De beste fit voor de  $N_{min}$ -productie werd verkregen bij een  $R_c$ -waarde van 0.05 voor DPM. De gemeten C/N-ratio (3.1) is als input gebruikt, dit i.t.t. de aanname in MOTOR om voor de DPM-fractie een C/N-ratio van 6 aan te houden. De cumulatieve C-afbraak werd voor de gehele periode als totaal goed voorspeld, met slechts een lichte overschatting in de laatste weken (zie Figuur 3.4). De  $N_{min}$ -productie komt goed overeen tussen meting en simulatie.

## Champost Horst

De organische stof afbraak was goed te fitten met dezelfde  $R_C$ -waarden voor DPM en SPM als bij Monterra. Dit betekent dat deze champost veel snel afbreekbare koolhydraten bevat. Echter de gemeten  $N_{min}$ -levering is gedurende de eerste twee weken negatief (vastlegging van al aanwezige en gegenereerde  $N_{min}$ ) en is na 12 weken netto uiteindelijk positief maar erg laag. Door de fit op de hoge C-afbraak was het model niet in staat de lage  $N_{min}$ -productie te verklaren. Er zal waarschijnlijk gedurende enkele weken (tijdelijke) vastlegging van geproduceerde en reeds aanwezige  $N_{min}$  in microbiële biomassa plaats vinden. Dit proces is niet te kwantificeren, zodat het model hier niet voor aangepast kan worden. In het vorige rapport (Marcelis *et al.*, 2003) was dit wel mogelijk, omdat toen de toename aan microbiële biomassa gedurende de incubatie was bepaald.



Figuur 3.4. Verloop C- en  $N_{min}$ -voorraad gedurende de lab-incubatie bij grond alleen (boven) en grond+stalmeststof. Doorgetrokken lijn: MOTOR-simulatie; blokjes: metingen.



Figuur 3.4. (vervolg). Verloop C- en Nmin-voorraad gedurende de lab-incubatie bij de diverse meststoffen+grond. Doorgetrokken lijn: MOTOR-simulatie; blokjes: metingen.

### Champost Waardenburg

De C-voorraad aan het eind van de incubatie werd correct gesimuleerd, maar bij begin van de incubatie gaf de simulatie een minder snelle afbraak te zien. Daarentegen is de simulatie van N-productie in het begin juist correct en is de laatste waarde op dag 84 licht overschat door het model. Een mogelijke verklaring is dat het gebruikte MOTOR-model geen verliezen kan simuleren, welke mogelijk zijn opgetreden door denitrificatie en/of vastlegging van geproduceerde N<sub>min</sub>.

### Wulpak

De simulatie van de C-afbraak bij Wulpak was te fitten aan de metingen door een betrekkelijk hoge en voor DPM en SPM identieke R<sub>C</sub>-waarde. De gemeten N<sub>min</sub> leek niet eenduidig toe te nemen in de tijd; hierdoor is de simulatie moeilijk te calibreren en is een verloop tussen de waarnemingspunten aangenomen.

## 3.2 Denitrificatie bij chrysanthe- en paprikateelt

### 3.2.1 Inleiding

Denitrificatie is een microbiel proces waarbij nitraat wordt omgezet in het broeikasgas lachgas (N<sub>2</sub>O) en in stikstofgas (N<sub>2</sub>). De meest optimale omstandigheden waarbij hoge denitrificatie plaatsvindt (potentiële denitrificatie,  $D_p$ ) zijn: bij aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare organische stof, bij een hoog nitraatgehalte onder afwezigheid van zuurstof (bijvoorbeeld bij water verzadiging), en bij een hoge temperatuur. Bij niet optimale omstandigheden zal de denitrificatie veel geringer zijn (actuele denitrificatie,  $D_a$ ). In deze sectie wordt alleen het nitraatverlies beschouwd, en niet welk product gevormd wordt.

Een veel gebruikte denitrificatie rekenregel is toegepast in deze studie (Heinen, 2003):

$$D_a = D_p f_N f_S f_T = D_p \underbrace{\frac{N}{N + K_s}}_{f_N} \underbrace{\left( \frac{S - w_1}{1 - w_1} \right)^{w_2}}_{f_S} \underbrace{Q_{10}^{0.1(T - T_{ref})}}_{f_T}$$

waarin  $f_N$  een Michaelis-Menten reductiefunctie voor nitraat  $N$ -gehalte (mg kg<sup>-1</sup>) met parameter  $K_s$  (mg kg<sup>-1</sup>),  $f_S$  een machts-reductiefunctie voor verzadigingsgraad  $S$  met parameters  $w_1$  en  $w_2$ , en  $f_T$  een  $Q_{10}$  reductiefunctie voor temperatuur  $T$  (°C) volgens het  $Q_{10}$  concept bij een referentietemperatuur  $T_{ref}$  (°C; bijvoorbeeld 20°C). In dit model wordt verondersteld dat de textuur en structuur van de bodem zich vertaalt in de vorm van de reductiefuncties. Verschillen in organische stofgehalten en -kwaliteit zullen zich uiten in verschillen in  $D_p$ .

### 3.3.2 Methode

Denitrificatie tijdens de chrysanthe- en paprikateelt is gemeten in ringmonsters (100 cm<sup>3</sup>) volgens de acetyleen-inhibitie-methode (gebaseerd op Tiedje, 1982). Voor  $D_a$  werden de monsters bewaard en gemeten bij de heersende bodemtemperatuur. Voor  $D_p$  werden de monsters eerst verzadigd met een nitraatoplossing met een hoge nitraatconcentratie, en vervolgens werd de meting uitgevoerd bij een referentietemperatuur van 20 °C. Monsters zijn genomen circa één week na start van de eerste drie teelten chrysanthe, en de metingen zijn zo snel mogelijk na bemonstering uitgevoerd. Bij vier van de zes behandelingen (zie hoofdstuk 3.3 in Marcelis *et al.*, 2003) zijn op drie tijdstippen (22/4, 1/7, 1/10 2002)  $D_a$  (laag 2-7 cm) en  $D_p$  (lagen 2-7, 15-20, 50-55 cm) gemeten, namelijk bij bloeimeel, luzerne, maltaflor, en compost.

De meetresultaten zijn gebruikt om de parameters in de reductiefuncties te optimaliseren. Tevens zijn in aanvullende metingen de parameters gekalibreerd door alle omstandigheden ( $N$ ,  $S$ ,  $T$ ) optimaal te stellen en slechts één van hen te veranderen. Hiervoor is kasgrond gebruikt welke niet was opgenomen in de behandelingen.

Aan de hand van gedetailleerde metingen van vochtgehalte en bodemtemperatuur (drie dieptes, elk kwartier), van gemeten  $N_{min}$  (=  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) gehalten (twee dieptes, tweewekelijks) en van de gemeten  $D_p$  (drie dieptes, drie tijdstippen) is een schatting gemaakt op basis van de genoemde rekenregel van de totale denitrificatie van de vier teelten chrysant bij de vier behandelingen waarvoor  $D_p$  bekend was.

De stikstofbalans voor de vier chrysantenteelten zijn ook met een bodem-plantmodel doorgerekend (zie hoofdstuk 4). Daarin is de denitrificatiereguleerder ook toegepast, met de geoptimaliseerde parameters. Hier zullen de denitrificatieberekeningen getoond worden.

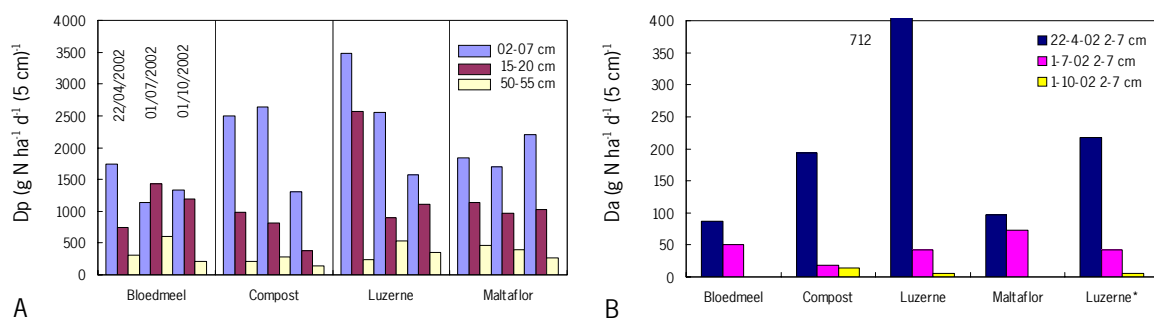
Voor de paprikateelt (2003) zijn geen aanvullende metingen voor denitrificatie uitgevoerd. Omdat de paprikateelt in dezelfde grondsoort is uitgevoerd als de chrysantenteelt, is verondersteld dat de reductiefuncties hetzelfde zijn. Voor paprika is denitrificatie derhalve alleen gemodelleerd met het bodem-plantmodel (zie hoofdstuk 4). Hier zullen de denitrificatieberekeningen getoond worden. Omdat slechts bij enkele behandelingen de organische mest werd ingewerkt, is alleen voor die behandelingen het bodem-plantmodel toegepast: controle, champost Waardenburg, luzerne. Bij de overige behandelingen is de organische mest oppervlakkig toegediend, hetgeen door het bodem-plantmodel niet kan worden beschouwd. Voor de controle-behandeling werden de laagste  $D_p$  waarden van de chrysantenteelt gebruikt, voor de champostbehandeling werden de gemiddelde  $D_p$  waarden van de chrysantenteelt gebruikt, en voor de luzernebehandeling werden de  $D_p$  waarden van luzerne bij de chrysantenteelt gebruikt.

### 3.3.3 Resultaten

#### **Chrysant (zie ook Marcelis *et al.*, 2003)**

In Figuur 3.5a zijn  $D_p$  en  $D_a$  per behandeling gegeven, steeds uitgedrukt in  $\text{g N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  per laagdikte van 5 cm. Luzerne, dat éénmalig aan begin van teelt 1 is toegediend, heeft initieel de hoogste  $D_p$ . Deze neemt af in de tijd. Voor maltaflor, daarentegen, dat regelmatig in de tijd wordt toegediend, blijft  $D_p$  vrij constant in de tijd.  $D_a$  is veel kleiner dan  $D_p$ , over het algemeen minder dan 5%. Daarbij moet in acht worden genomen dat de monsters voor  $D_a$  steeds genomen zijn vlak na een irrigatiebeurt, zodat de grond relatief nat was. Tussen twee irrigatiebeurten in daalt het watergehalte en daarmee  $D_a$ . Voor de eerste meting van  $D_a$  bij luzerne waren twee extreem hoge waarden en twee minder hoge waarden. Mogelijk dat de twee hoge waarden zijn veroorzaakt doordat in de monsters een extreem hoge concentratie aan slecht verdeelde luzerne aanwezig was. In Figuur 3.5b zijn de resultaten voor luzerne tevens gegeven bij achterwege laten van deze twee extreem hoge meetwaarden (luzerne\*).

De parameteroptimalisatie en de parameter calibratie leverden niet identieke schattingen op voor de parameters in de reductiefuncties (Tabel 3.5). Denitrificatie is een zeer ingewikkeld proces, en het gekozen rekenmodel is een sterke vereenvoudiging. In de literatuur worden ook grote verschillen in parameterwaarden aangetroffen. Daarom mag gesteld worden dat, omdat de parameterwaarden qua orde grootte overeenkomen, er toch een redelijke overeenkomst bestaat tussen beide methodes. Wel moet gesteld worden dat de overeenkomst tussen berekende en gemeten denitrificatie niet 100% is. Maar gegeven de complexiteit van het proces mag gesteld worden dat indien de orde grootte overeenkomt, de rekenregel toch gebruikt kan worden om orde groottes van denitrificatie te schatten.



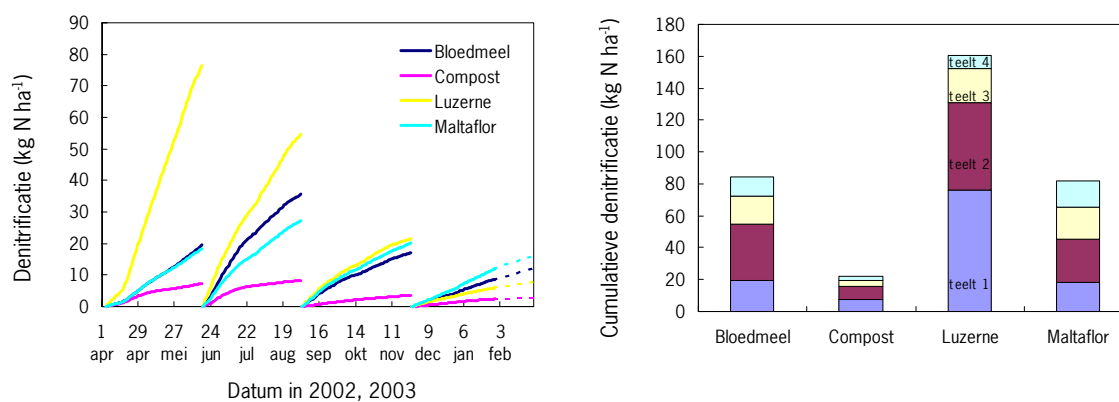
Figuur 3.5 a)  $D_p$  op drie dieptes en b)  $D_a$  op één diepte voor de vier behandelingen en de drie meettijdstippen. De eenheid is g N per ha per dag per laagdikte van 5 cm. Merk op dat de y-as in b) een factor 10 kleiner is dan in a).

Tabel 3.5. Schattingen van de parameters  $K_s$  ( $\text{mg N kg}^{-1}$ ),  $w_1$ ,  $w_2$  en  $Q_{10}$  uit de reductiefuncties verkregen via parameteroptimalisatie op basis van gemeten  $D_a$  en  $D_p$  en op basis van calibratie onder geconditioneerde omstandigheden.

Methode	$K_s$	$w_1$	$w_2$	$Q_{10}$
Optimalisatie	32	0.62	1.0	2.5
Optimalisatie zonder twee extreme $D_a$ luzernemetingen	73	0.46	2.1	2.5
Calibratie, laag 2-7 cm	2 <sup>#</sup>	0.55	1.0	5.4
Calibratie, laag 50-55 cm	0 <sup>#</sup>	0.0	1.0	2.8

<sup>#</sup> Metingen onbetrouwbaar.

De schatting van de totale denitrificatie voor de eerste drie teelten, alsmede een schatting inclusief extrapolatie voor de vierde teelt, is gegeven in Figuur 3.6. Luzerne levert de meeste denitrificatie. Compost levert de minste denitrificatie op, circa 10 á 15% van de hoeveelheid bij luzerne. Bloedmeel en maltaflor leveren een denitrificatie op van 40 á 50% van de waarde bij luzerne. Bij de interpretatie van deze cijfers dient rekening gehouden te worden met het feit dat ze volledig gebaseerd zijn op metingen en lineair geïnterpoleerde tussenwaarden. Fouten (al dan niet systematisch) in de metingen leiden tot foute voorspellingen.



Figuur 3.6. Schatting van de totale denitrificatie voor de vier behandelingen gedurende de vier teelten: a) verloop in de tijd, en b) cumulatief per teelt per behandeling. De waarden aan het eind van teelt 4 zijn geëxtrapoleerd.

De geoptimaliseerde parameters op basis van alle metingen (eerste regel Tabel 3.5) zijn gebruikt bij de denitrificatie-berekeningen in het bodem-plantmodel. De potentiële denitrificatie op elke diepte werd berekend via lineaire interpolatie tussen de drie meetdieptes, waarbij aanvullend is verondersteld dat op 1 m diepte  $D_p = 0$ . Bij de bodem-plant modelberekeningen zijn een tweetal parametrisaties voor de mineralisatie toegepast: in situatie B is gemiddeld over de vier behandelingen de totale mineralisatie ongeveer 0.66 keer de mineralisatie bij situatie A. Zonder daar verder op in te gaan worden de resultaten van beide parametrisaties getoond, om te laten zien hoe verschillen in andere processen kunnen doorwerken in de berekening van denitrificatie. De berekende denitrificatie voor de vier chrysantenteelten en de totale denitrificatie over de vier teelten (inclusief de tussenliggende braakperiodes) staan vermeld in Tabel 3.6. Indien er minder mineralisatie optreedt zal er minder nitraat beschikbaar zijn om gedenitrificeerd te worden. Uit de getoonde verschillen in denitrificatie blijkt dat bij een 0.66 keer minder mineralisatie er ongeveer 0.60 keer minder denitrificatie wordt geschat (NB, niet alle gevormde nitraat uit mineralisatie zal denitrificeren). Voor situatie A komen de verschillen tussen de behandelingen in de berekende denitrificaties redelijk overeen met de geschatte denitrificaties uit Figuur 3.6. De verschillen tussen berekende en geschatte denitrificaties zijn het gevolg van verschillen in berekende bodemcondities en gemeten bodemcondities (zie verder hoofdstuk 4). Derhalve dienen Figuur 3.6 en Tabel 3.6 niet direct met elkaar vergeleken te worden; de orde groottes komen redelijk overeen.

*Tabel 3.6. Met het bodem-plantmodel berekende denitrificatie ( $kg N ha^{-1}$ ) voor de vier afzonderlijke chrysantenteelten en voor het totaal over de vier teelten inclusief tussenliggende braakperiodes voor de vier behandelingen bloedmeel (BL), compost (CO), luzerne (LU) en maltaflor (MA). Er zijn 2 parametrisaties voor mineralisatie toegepast: A, B.*

Teelt		A				B			
		BL	CO	LU	MA	BL	CO	LU	MA
1	(70 d)	20	13	32	21	17	11	29	18
2	(70 d)	35	15	54	35	23	4	42	22
3	(77 d)	22	8	30	22	12	2	15	10
4	(93 d)	15	6	18	14	7	2	7	7
Totaal	(330 d)	96	44	139	96	61	19	97	60

## Paprika

De berekende denitrificatie voor de drie behandelingen controle, champost Waardenburg en luzerne zijn vermeld in Tabel 3.7.

*Tabel 3.7. Berekende denitrificatie ( $kg N ha^{-1}$  over 272 d) bij paprikateelt voor behandelingen controle, champost Waardenburg en luzerne.*

Controle	Champost Waardenburg	Luzerne
79	133	155

De bodemcondities tijdens de paprikateelt zijn gunstiger voor denitrificatie geweest dan tijdens de chrysantenteelt. De behandelingen champost Waardenburg en luzerne leiden tot vergelijkbare hoeveelheden denitrificatie die een kleine twee keer groter is dan bij de controle-behandeling. Dit is ongeveer ook de verhouding in mineralisatie tussen champost en luzerne enerzijds en controle anderzijds.

Omdat de berekeningen met het bodem-plantmodel (zie hoofdstuk 4) voor een aantal overige zaken niet overeenstemden met metingen (o.m., gewasopname,  $N_{min}$  in bodem) zijn diverse aanpassingen in invoer toegepast om na te gaan in hoeverre de prestatie van het bodem-plantmodel verbeterd kon worden. In sommige situaties leidde dit tot geringere berekende denitrificatie. Net zoals bij de chrysantenteelt blijkt een aangepast mineralisatie een grote invloed heeft op de berekende denitrificatie. Allerlei uitgevoerde aanpassingen met betrekking op aanpassingen in N opname en groeireductie op N tekorten hebben (o.m., non-zero sink opname, reductie in beschikbaarheid N i.v.m. initieel gering beworteld volume) niet of nauwelijks geleid tot anders berekende denitrificatie. Ofwel, die aanpassingen hebben geen grote invloed op het nitraatgehalte in de bodem gehad, zodat er geen invloed was op denitrificatie.

### 3.3.4 Conclusies

Op basis van de ervaringen tijdens de chrysanten- en paprikateelt zijn de volgende conclusies getrokken.

- In organische teelten onder glas zijn de bodemcondities  $N_{min}$ , vochtgehalte, bodemtemperatuur, en aanwezigheid gemakkelijk afbreekbare organische stof gunstig voor het vóórkomen van denitrificatie. Denitrificatie kan ettelijke tientallen kg tot 100 à 200 kg op jaarbasis bedragen.
- Voorraadbemestingen met snel afbreekbare organische mest leidt tot initieel veel  $N_{min}$  in de bodem welke niet nodig is voor opname. Dit overschot leidt tot grote verliezen, waaronder denitrificatie. Dit pleit ervoor om snel mineraliserende meststoffen in meerdere keren toe te dienen (bijmesten).
- Theoretisch gezien kan denitrificatie geminimaliseerd worden door de bodemomstandigheden te sturen (laag  $N_{min}$ , niet te nat, niet te warm).
- Bij modelberekeningen dient de mineralisatie (als bron voor  $N_{min}$ ) nauwkeurig berekend te worden.
- Indien mineralisatie geen gelijke tred houdt met de gewasopname zal overschot aan gemineraliseerd  $N_{min}$  verloren kunnen gaan o.m. door denitrificatie. Dus de keuze van mestsoort en de wijze van toepassing (voorraad, bijmesten) moet zo goed mogelijk op de gewasvraag worden afgestemd. Al het teveel aan mineralisatie kan in potentie denitrificeren (c.q. uitspoelen).

De ervaringen opgedaan in bovenstaande experimenten zijn niet voldoende om uitspraken te doen over de robuustheid of foutenmarges van de berekende denitrificatie. Enkele algemene eigenschappen van de toegepaste rekenregel zijn besproken in Heinen (2003) (via o.a. een gevoeligheidsanalyse). Tevens is gebleken dat de parameters van de reductiefuncties locatieafhankelijk zijn, en wel vooral grondsoort afhankelijk. De hier toegepaste parametrisatie kan dus niet zonder meer voor andere locaties worden toegepast.



## 4. Modelling water- en nutriëntenstromen in bodem en plant

### 4.1 Inleiding

Modelberekeningen zijn noodzakelijk om alle N-stromen in de actuele kassituatie te kwantificeren. Reden hiervoor is dat in een dergelijk teeltsysteem nooit alle N-stromen gemeten kunnen worden, o.a. omdat intensieve metingen de proef verstoren en zeer kostbaar zijn en bovendien voor sommige processen geen methoden beschikbaar zijn. In dit hoofdstuk worden de modelberekeningen gerapporteerd t.a.v. de chrysantenproef (april 2002 – maart 2003) en de paprikaproef (februari 2003 – november 2003). In deze twee experimenten (zie voor de meetresultaten respectievelijk Marcelis *et al.* (2003) en hoofdstukken 2 en 3 van dit rapport) is een reeks organische meststoffen ingezet. De twee gewassen werden op twee licht verschillende bodems geteeld.

De algemene werkwijze t.a.v. de gebruikte modellen is als volgt. Parameterwaarden van gesimuleerde processen worden onder geconditioneerde omstandigheden gecalibreerd (geijkt). De output van de gecalibreerde modules wordt aan metingen in bovengenoemde kasexperimenten geverifieerd en zonodig worden parameters bijgesteld. Uitkomsten voor de betreffende teelten worden gerapporteerd. Vervolgens worden de fluxen van N berekend. Het streven is om ook het zogenaamde 'N-gat' te herleiden tot aanwezige, kwantitatief te bepalen N-stromen. Dit 'N-gat' is de benaming voor de N die gemist wordt in de jaarbalans van inputs en outputs, hetgeen vaak voorkomt in het N-onderzoek aan bodem/plantsystemen.

Een dergelijk, voor de betreffende kas aangepast model kan met die parameterwaarden niet voor andere kassen een geldige berekening doen. Voor andere kassituaties zal het model opnieuw geparametriseerd moeten worden.

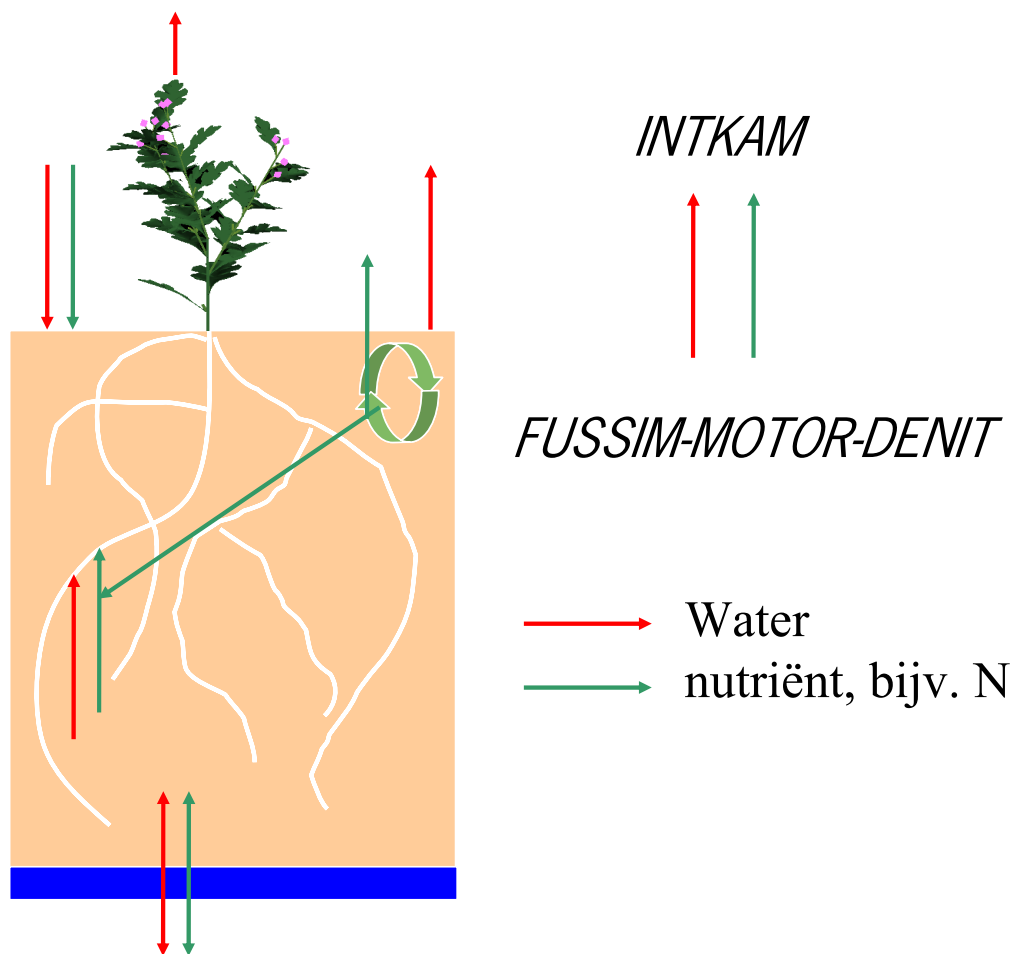
Het gekozen model bestaat uit de volgende functionele onderdelen (zie ook Figuur 4.1):

- FUSSIM, voor simulatie van waterstroming, nutriëntentransport en -opname door wortels
- INTKAM, voor simulatie van gewasgroei, en gewenste opname (water, nutriënten)
- MOTOR, voor simulatie van organische stof dynamiek (mineralisatie), en
- DENIT, voor berekening van de denitrificatie.

Het model berekent de levering (I) en bestemming (II) van N in bodem en plant, als volgt uitgesplitst:

- I. de N-levering door de mineralisatie van organische stof (zie §3.1)
- II. de bestemmingen van N zijn:
  - (1) opname door gewas (§4.2)
  - (2) bodemvoorraad  $N_{min}$  (§4.3)
  - (3) tijdelijke vastlegging in bodemorganismen (onbekend)
  - (4) vervluchtiging (ammoniak, denitrificatie) (§6.1)
  - (5) af- en uitspoeling (§6.1)

In de onderstaande paragrafen wordt de simulatie van water- en nutriëntenstromen in de subsystemen gewas en bodem separaat besproken. Het model voor gewasgroei is INTKAM, terwijl het bodemmodel uit bovengenoemde deelmodellen FUSSIM, MOTOR en DENIT bestaat. De werking en parametrisatie van de bodem-deelmodellen is al aan bod gekomen in hoofdstuk 3. In dit hoofdstuk worden deze deelmodellen gebruikt voor simulatie van de actuele situatie in beide kasproeven, te weten de chrysant- en de paprikateelt. Alle deelmodellen, incl. het gewasmodel, wisselen onderling informatie uit en zijn dus afhankelijk van elkaars berekeningen. De gekoppelde modellen leveren uiteindelijk een schatting van de N-fluxen op, die kunnen worden samengevat als jaartotalen in het bodem/gewas-systeem. Deze jaartotalen zijn voor het project een belangrijk eindresultaat, en deze bevindingen m.b.t. modelleerwerk (dit hoofdstuk) en experiment (hoofdstuk 2) worden in hoofdstuk 6 geëvalueerd.



Figuur 4.1. Water- en nutriëntenstromen in gewasmodel (Intkam) en bodem(deel)modellen.

## 4.2 Gewasgroei, -nutriëntenopname en -transpiratie

### 4.2.1 Algemeen

Het gewasgroeimodel INTKAM is een mechanistisch model dat de toename van vers- en drooggewicht van de verschillende plantendelen (wortel, stengel etc.), de transpiratie en de nutriëntenbehoefte van een gewas simuleert. Deze processen worden berekend op basis van klimaatgegevens (straling, temperatuur, CO<sub>2</sub> en luchtvochtigheid en evt. assimilatiebelichting) en teeltgegevens (plantafstand, lichtdoorlatendheid kas e.a.). Voor algemene informatie t.a.v. de modelwerking wordt verwezen naar Gijzen (1994).

Een aantal specifieke zaken ten behoeve van de simulatie van een chrysantenteelt zijn aan INTKAM toegevoegd. Deze toevoegingen staan beschreven in Assinck *et al.* (2002). Voor de simulatie van paprikagroei is uitgegaan van het bestaande PRI-paprikamodel, dat een uitbreiding bevat t.o.v. het basismodel (Gijzen, 1994) op basis van studies van o.a. Marcelis *et al.* (2000) en Marcelis & Heuvelink (1999).

### 4.2.2 Parametrisatie

#### CHRYSANT

De opbrengsten van de behandelingen zijn onderling niet significant verschillend, m.u.v. de compostbehandeling. De gemiddelde opbrengst bij de 1<sup>ste</sup> teelt van chrysant bij de luzernebehandeling is gebruikt als richtwaarde om groei-parameters van het groeimodel voor chrysant te calibreren. De waarden voor J<sub>max</sub> (maximale electrontransport-

snelheid) en  $V_{max}$  (maximale carboxylatiesnelheid) werden aangepast om het modelresultaat kloppend te maken met gemeten groei. Gemeten straling, temperatuur,  $CO_2$ , relatieve luchtvochtigheid en kastransmissie (55%) werden hierbij als invoer gebruikt.

Simulatie van transpiratie werd geïjkt door aanpassing van de waarde van  $G_{smax}$  (maximale huidmondjesgeleidbaarheid), om de totale gesimuleerde gewasverdamping overeen te laten stemmen met de verdamping zoals berekend met het reguliere PPO-verdampingsmodel (Voogt *et al.*, 2000). Dit model berekent de verdamping o.a. op basis van inkomende straling.

De gemeten N-gehalten in de biomassa zijn als invoer gebruikt in het gewasgroeimodel. In de kortedag periode wijzigt in het model de drogestofverdeling t.o.v. de lange dag (ontleend aan Willits *et al.* (1992). Deze wijziging treedt op na een temperatuursom van 420 graaddagen (bij een basistemperatuur van 5 graden Celsius). De aanvang van de kortedag wordt dus niet gekoppeld aan de wijzigingen in kasbelichting (i.e. verkorting van de dag).

Verdere invoerparameters bleven ongewijzigd en behielden de waarde die hiervoor in het basismodel voor tomaat zijn ingevoerd.

#### PAPRIKA

De parameterwaarden in het gewasmodel zijn zodanig aangepast dat de gesimuleerde en de gemeten totale bovengrondse drogestofproductie overeenstemden m.b.t. de behandeling Monterra-bijbemesting. In deze behandeling is de N-beschikbaarheid optimaal verondersteld, zodat het gewas altijd N kon opnemen conform de N-vraag. Deze optimale N-voorziening kan afgeleid worden uit resultaten in hoofdstuk 2, waar bij de behandeling Monterra-bijbemesting de hoogste opbrengsten en de hoogste N-gehalten in het gewas zijn waargenomen.

De gewasverdamping is op identieke wijze als bij chrysant geïjkt op resultaten van het verdampingsmodel.

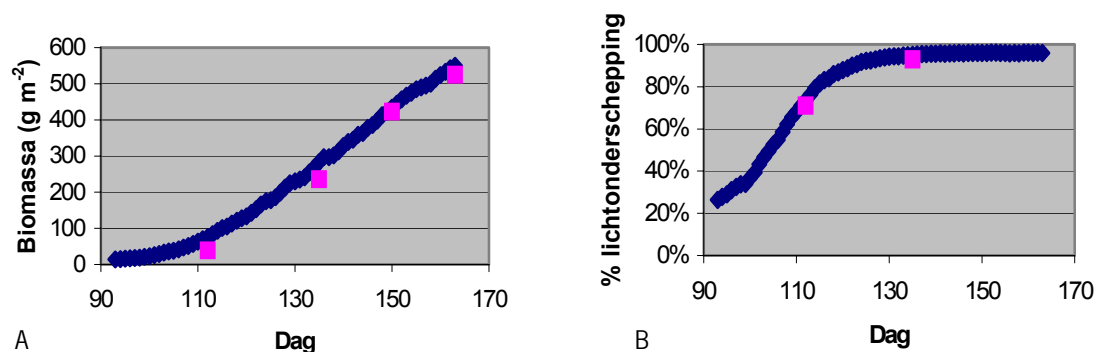
De kastransmissie van de betreffende kas was bekend (50%) en is ingevoerd in het model.

De plantdichtheid in het model was  $2.92 \text{ pl m}^{-2}$ , conform de kasproef. Minimum N-gehalte van bladeren en stengels is gesteld op 2.1%, het maximum op 3% van de drogestof, conform de metingen (hoofdstuk 2). Ook conform de metingen is het N-gehalte van de paprikavrucht op minimaal 2.4% en maximaal 2.5% gesteld.

## 4.2.3 Resultaten

#### CHRYSANT

De gemeten bovengrondse gewasproductie bij de luzerne-behandeling ( $525 \text{ g DS m}^{-2}$  voor de eerste teelt) werd redelijk gesimuleerd ( $550 \text{ g DS m}^{-2}$ )(zie ook Figuur 4.2a). Hiervoor werden parameterwaarden als volgt gewijzigd. Verlaging van de  $J_{max}$  tot  $110 \mu\text{mol e}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en de  $V_{cmax}$  tot  $75 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  gaven al een substantiële verlaging van de groei. De gesimuleerde groei was echter nog steeds hoger dan de gemeten groei. Aangezien ons inziens deze  $J_{max}$  en  $V_{cmax}$  waarden al als erg laag mogen worden beschouwd, werd vervolgens alleen nog een aanpassing van de groeiademhaling uitgevoerd. De groeiademhaling werd verhoogd van 1.2 (default waarde) tot  $1.5 \text{ g CH}_2\text{O per gram drogestof}$ . Dit resulteerde vervolgens in een correcte simulatie van de gemeten opbrengst. De ontwikkeling van de LAI werd op grond van 4 tussentijdse oogsten in teelt 1 gemeten en het model werd hierop geïjkt door aanpassing van de SLA (specific leaf area) naar een waarde van  $0.036 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ DS}$ . De gesimuleerde LAI gaf vervolgens een goede voorspelling van de lichtonderschepping, hoewel deze slechts 2x is gemeten (Figuur 4.2b).



Figuur 4.2. (a) Biomassatoename (bovengronds, in  $g DS m^{-2}$ ) en (b) lichtonderschepping van chrysantengewas bij luzerne-behandeling in eerste teelt. Blokjes: metingen; ruitjes: simulatie.

De potentiële transpiratie werd d.m.v. aanpassing van de  $G_{max}$  tot  $0.0095 m s^{-1}$  berekend op 586 mm voor de 4 teelten samen. Deze watervraag leidde tot een daadwerkelijke, actuele transpiratie die ongeveer gelijk is aan de transpiratieberekeningen met het verdampingsmodel dat de irrigatie stuurt (zie §4.3).

#### PAPRIKA

##### Biomassaberekeningen

De gesimuleerde drogestofgehalten van groene delen en vruchten kwamen overeen met de metingen, en hadden geen modelaanpassing tot gevolg.

Het default model overschatte de vruchtproductie en onderschatte de eindbiomassa van de groene delen (stengels en bladeren). Om een meer vegetatieve groei te realiseren is de volgende parameter aangepast: de sinksterkte van de vegetatieve delen (VEGSINK) werd verhoogd met 50% (default 2.7).

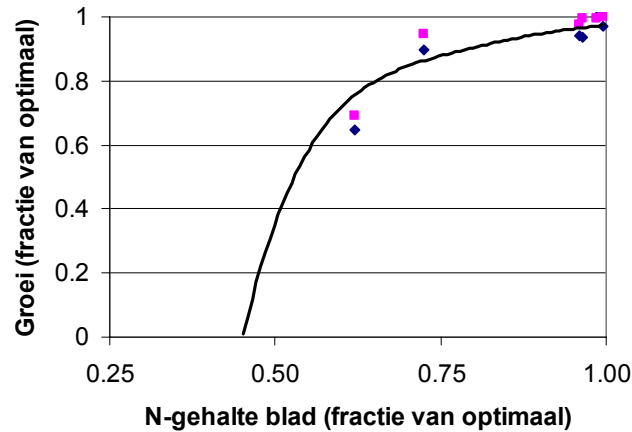
Uit Tabel 4.1 blijkt dat de totale gesimuleerde bovengrondse biomassa overeenstemde met de meting bij behandeling Monterra. De vruchtproductie werd nog licht overschat, maar een verdere reductie zou een overschatte simulatie van de eindbiomassa tot gevolg hebben. Een goede simulatie van de totale drogestofproductie is een voorwaarde voor een correcte simulatie van de N-opname.

Tabel 4.1. Drogestofproductie paprikagewas volgens meting en model (in  $g m^{-2}$  drogestof), behandeling Monterra bijbemesting.

	Meting	Model
Productie bovengronds (cumulatief)	1910 $g m^{-2}$	1920
Vruchtproductie (cumulatief)	1140	1258
Eindbiomassa bovengronds	663	670
Oud blad	106	-
Wortels	-	75

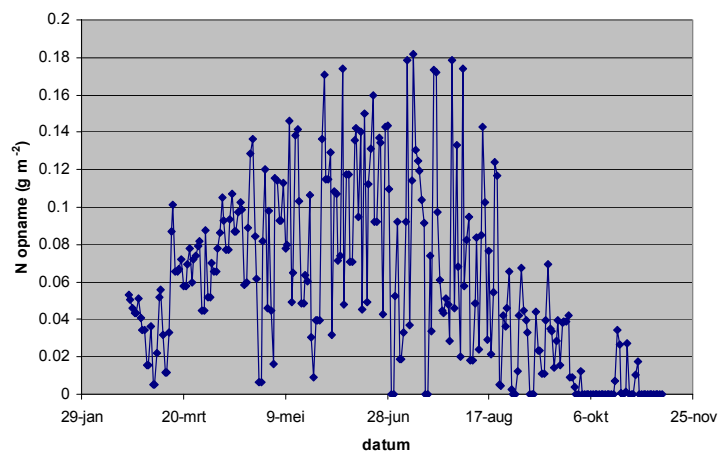
##### N-opname

De verschillen tussen de mestbehandelingen in drogestofproductie en N-gehalten van het gewas waren significant (hoofdstuk 2). Deze verschillen maakten het mogelijk een relatie te kwantificeren tussen N-gehalte in het blad en de gewasgroei. De gemeten gehalten en opbrengst werden in fracties uitgedrukt t.o.v. optimaal, i.e. de Monterra-bijmestbehandeling. In deze relatie is de champost Horst behandeling uitgezonderd, omdat die een vrij afwijkend beeld te zien gaf. Door de meetpunten kon een curve gefit worden op basis van 3 parameters, zoals gebruikt voor een tomatengewas door Elings *et al.* (2004). Voor een goede curve-fit werden beginpunt en helling aangepast (Figuur 4.3).



Figuur 4.3. Biomassagroei als functie van N-gehalte in blad (relatief t.o.v. optimale N-gehalte). Lijn: geijkt model; ruit-symbolen: plantbiomassa; vierkantjes: vrucht- en plantbiomassa

Met het gecalibreerde model kon vervolgens de N-vraag per dag worden berekend. Deze potentiële N-vraag (zie Figuur 4.4 voor luzerne-behandeling) wordt naar het bodemmodel gestuurd, waarna berekening van de actuele N-opname op grond van beschikbare anorganische N wordt uitgerekend. Deze actuele opname wordt beschreven in hoofdstuk 6.



Figuur 4.4. Gesimuleerde N-opname ( $g\ m^{-2}$ ) door paprika bij de behandeling luzerne-voorraadbemesting.

## 4.3 Water- en nutriëntentransport in het bodem-compartiment

### 4.3.1 Inleiding

In dit deel van het onderzoek wordt het transport van water en stikstof en de omzettingen van stikstof in de bodem beschouwd aan de hand van een aantal gekoppelde modellen. De beschrijvingen van de modellen INTKAM en DENIT staan respectievelijk in 4.2.1 en 3.3.1.

## Grondwaterstroming- en stoftransportmodel FUSSIM2

FUSSIM2 is een 2-dimensionaal simulatiemodel, waarmee waterbeweging, stoftransport en de opname van water en nutriënten door wortels in poreuze media gesimuleerd kan worden. De belangrijkste processen worden hier kort beschreven.

De algemene stromingsvergelijking voor water in poreuze media wordt in FUSSIM2 numeriek opgelost voor een gegeven begintoestand en gegeven randvoorwaarden. De beweging van water in poreuze media is sterk afhankelijk van de fysische eigenschappen van het medium, die beschreven worden met behulp van de waterretentie- en doorlatendheidsvergelijking. Met hysteresis wordt rekening gehouden.

Transport van opgeloste stof in poreuze media wordt beschreven met behulp van de convectie-dispersie/diffusie vergelijking. In FUSSIM2 kan bovendien rekening gehouden worden met nitrificatie, denitrificatie (zie 3.3) en met adsorptie van stoffen aan poreuze media.

De vergelijkingen voor waterbeweging en stoftransport houden rekening met de opname van water en nutriënten door het wortelsysteem. Voor de opname van water en nutriënten door het wortelsysteem zijn oplossingen beschikbaar, die zijn verkregen door opschaling van de analytische oplossing voor de opname door één wortel.

Voor meer informatie over FUSSIM2 wordt verwezen naar Heinen & De Willigen (1998, 2001).

## Organische stofmodel MOTOR

Het organische stofmodel MOTOR (Assinck & Rappoldt, 2004) kan zelfstandig (stand-alone) rekenen zoals gebruikt in 3.1. MOTOR kan ook geïntegreerd worden als module in FUSSIM2, waardoor informatie over de omzetting van stikstof en de toestand in de bodem tussen de modellen uitgewisseld kan worden. Deze geïntegreerde versie van MOTOR is gebruikt in de rest van deze sectie (§4.3) en hoofdstuk 6.

## Afbakening en aannamen

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

- Binnen dit modelonderzoek wordt 1-dimensionaal gerekend. Er zijn onvoldoende invoergegevens en meetresultaten beschikbaar om een goede 2-dimensionale analyse uit te voeren. Met laterale in- of uitstroming van water en stoffen wordt dan ook geen rekening gehouden. Voor chrysant geldt dat de planten relatief dicht op elkaar staan. Hierdoor zullen de wortels zich binnen afzienbare tijd min of meer exponentieel met de diepte gaan verdelen en zal de gradiënt in horizontale richting minimaal zijn. Bij paprika staan de planten verder uit elkaar. Hierdoor zal de wortelverdeling in het begin van de groeiperiode wel een duidelijke gradiënt in horizontale en verticale richting hebben. Aangezien de wortelgradiënt in horizontale richting in een 1-dimensionaal model niet beschouwd kan worden, is bij een aantal berekeningen voor paprika een correctiefactor voor de opname ingebouwd. Deze correctiefactor reduceert voor een bepaalde op te geven periode de hoeveelheid stikstof, die beschikbaar is voor opname.
- Dierlijke mest bevat anorganische en organische stikstof. Afhankelijk van de toedieningsmethode verdwijnt een bepaald percentage van de anorganische stikstof als ammoniakvervluchtiging. Met deze ammoniakvervluchtiging is in dit modelonderzoek geen rekening gehouden.
- Met grondbewerking wordt alleen rekening gehouden als het in combinatie is met het inwerken van organische mest.
- De modellen houden geen rekening met het transport van opgelost organisch materiaal.

### 4.3.2 Modelinvoer voor chrysant en paprika

De modelberekeningen voor chrysant hebben betrekking op het experiment in PPO-kas 402-3 te Naaldwijk (zie Bijlage II) en de teeltperiode 3 april 2002 tot en met 1 maart 2003. In deze periode zijn met tussenpozen

4 chrysantenteelten uitgevoerd (namelijk van 4 april – 13 juni, 18 juni – 27 augustus, 3 september – 19 november en van 27 november – 28 februari).

De modelberekeningen voor paprika hebben betrekking op het experiment in PPO-kas 206-3 (zie Bijlage III) en de teeltperiode 12 februari 2003 tot en met 11 november 2003. Het betreft hier één paprikateelt van 18 februari tot en met 11 november.

## Weer

In de betreffende kassen zijn elk kwartier automatisch de globale straling, de luchttemperatuur in de kas, de temperatuur van de verwarmingsbuizen, de dampdruk in de lucht, het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht en de luchttemperatuur buiten de kas gemeten.

Op basis van de gemeten luchttemperaturen in de kas zijn de minimum en maximum temperatuur per dag afgeleid. Deze dienen als invoer voor de modellen FUSSIM2 en MOTOR en worden gebruikt bij de berekening van de temperatuurprofielen in de bodem.

De irrigatiegiften in de kassen zijn geregistreerd en worden gebruikt als invoer voor de modelberekeningen.

## Bodem

Het bodemprofiel van de PPO-kassen te Naaldwijk bestaat uit een humeuze tot humusarme zandgrond en is geclasificeerd als een vlakvaaggrond. Ten behoeve van dit onderzoek is het bodemprofiel onderverdeeld in een viertal lagen (0-10, 10-40, 40-65, 65-100 cm-mv.). Voor elk van deze lagen uit kas 402 zijn in het laboratorium bodemfysische metingen uitgevoerd. Hierbij is rekening gehouden met hysteresis. Op basis van de meetresultaten zijn de Van Genuchten en Mualem parameters voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken gefit.

De gefitte parameters voor verzadigde doorlatendheid en het volumetrische watergehalte bij verzadiging zijn vervolgens geoptimaliseerd door de resultaten van een modelberekening voor chrysant qua orde grootte te vergelijken met de gemeten watergehalten in de diverse lagen. De geoptimaliseerde bodemfysische parameters worden geacht representatief te zijn voor de modelberekeningen met chrysant en met paprika.

In Marcelis *et al.* (2003) staat algemene informatie over de bodem van kas 402. In Bijlage VII van dit rapport staat specifieke informatie over het bodemprofiel, de bodemlagen en bodemfysische parameters, die gebruikt is bij de modelberekeningen.

## Randvoorwaarden en grondwaterstand

In dit onderzoek wordt gerekend met een 1-dimensionale bodemkolom van 1 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 geen rekening gehouden met een depositie vanuit de atmosfeer.

De kassen zijn voorzien van een drainagesysteem. Hierdoor is de grondwaterspiegel zeer constant met fluctuaties van hooguit enkele cm's. In de modelberekeningen is aan de onderrand een vaste grondwaterstand van 95 cm-mv. opgelegd.

De geregistreerde irrigatiegiften worden opgelegd op de bovenrand. Met deze giften worden geen voedingsstoffen aangevoerd, alleen maar water.

De temperatuur aan het oppervlak van de bodem is gelijk gesteld aan het gemiddelde van de minimum en maximum luchttemperatuur in de kas. De temperatuur op 1 m diepte is gelijk gesteld aan de minimum luchttemperatuur in de kas van die dag. Op basis van de temperatuur aan het oppervlak en op 1 m diepte wordt een temperatuurprofiel in

de bodem berekend. Voor één berekening van paprika is gerekend met temperatuurprofiel, die gebaseerd is op gemeten temperatuurwaarden.

Met de stand-alone versie van INTKAM is vooraf de potentiële evapotranspiratie (ET<sub>pot</sub>) berekend voor het betreffende weer en een gewas met een LAI van 3. Bij de berekeningen met de gekoppelde modellen wordt door INTKAM de potentiële transpiratie (T<sub>pot</sub>) berekend. Het verschil tussen de vooraf berekende ET<sub>pot</sub> en de T<sub>pot</sub> is gelijk aan de potentiële evaporatie. De potentiële evaporatie kan echter nooit kleiner zijn dan 0.

## Initiële toestand

De initiële verdeling van water is bij chrysant vooraf berekend met behulp van FUSSIM2. Hierbij is uitgegaan van een situatie waarin 14 dagen lang geen irrigatie heeft plaatsgevonden maar wel 0.5 mm d<sup>-1</sup> bodemverdamping. Hierdoor was vooral bovenin het profiel (tot 20 cm diepte) sprake van een verdroogde situatie. Beneden de 40 cm diepte was er bij benadering sprake van een evenwichtssituatie met een grondwaterstand op 95 cm-mv.

Bij paprika is de initiële verdeling van water gemakshalve in evenwicht gesteld met een grondwaterstand op 95 cm-mv.

De initiële verdeling van minerale stikstof in de bodem is zo veel mogelijk gebaseerd op meetgegevens. Bij de modelberekeningen zijn de gemeten hoeveelheden minerale stikstof gelijkmatig verdeeld over de bijbehorende lagen. Voor de overige lagen zijn hoeveelheden minerale stikstof aangenomen. Bovendien is aangenomen dat alle initiële minerale stikstof aanwezig is in de vorm van nitraat.

Zowel in de kas met chrysant als met paprika is het organische stofgehalte in de verschillende bodemlagen gemeten. Ten behoeve van de modelberekeningen wordt deze organische stof verdeeld over verschillende organische stofpools. Aangenomen is dat de gemeten organische stof niet bestaat uit gewasresten en resten van organische mest maar alleen uit de pools LOM en SOM. Uit de resultaten van het chrysanten-experiment (Marcelis *et al.*, 2003) blijkt dat 20% van de bodemorganische stof uit de bouwvoor bestaat uit LOM en 80% uit SOM. Uit paragraaf 3.1.3 blijkt dat bij paprika 25% van de bodemorganische stof uit de bouwvoor bestaat uit LOM en de rest uit SOM.

Bij de modelberekeningen voor chrysant en paprika is aangenomen dat deze fractie van 20% respectievelijk 25% LOM geldt in de laag 0-40 cm-mv. De rest van de bodemorganische stof in deze laag bestaat uit SOM. De bodemorganische stof in de lagen beneden 40 cm-mv zal beduidend minder actief zijn, aangezien hier geen grondbewerking plaatsvindt en ook geen verse organische stof toegediend wordt. Aangenomen is dat 2% van de bodemorganische stof in deze lagen bestaat uit LOM en 98% uit SOM. Bij de start van de modelberekeningen zijn de overige organische stofpools (DPM, SPM, RPM) leeg.

In 3.3.3 is aangegeven dat bij een aantal bemestingsbehandelingen van chrysant de potentiële denitrificatie ( $D_p$ ) als functie van de diepte is gemeten. Deze  $D_p$ -profielen zijn invoergegeven voor de modelberekeningen van chrysant. De  $D_p$ -profielen zijn ook gebruikt bij de modelberekeningen voor paprika aangezien de betreffende profielen beschouwd kunnen worden als karakteristieken, die horen bij een bepaalde bemestingsbehandeling. Voor de controle-behandeling (alleen stalmest) zijn de laagste  $D_p$ -waarden van de chrysantenteelt gebruikt, voor de champostbehandeling gemiddelde  $D_p$ -waarden en voor de luzerne-behandeling van paprika de  $D_p$ -waarden van luzerne bij de chrysantenteelt.

## Wortelgroei

Van zowel chrysant als paprika is het tijdsverloop van de specifieke worteldiepte bekend danwel geschat waarboven zich 98% van de wortels bevinden. Op basis van deze specifieke worteldiepte en de wortelbiomassa kan een wortelengtedichtheids-verdeling als functie van de diepte berekend worden. Uitgangspunt hierbij is dat de wortelengtedichtheid exponentieel verdeeld is over de diepte. Bij de modelberekeningen voor chrysant is er van uitgegaan dat de maximale specifieke worteldiepte van 60 cm bereikt wordt halverwege elke teelt. Bij paprika is er van uitgegaan dat de maximale specifieke worteldiepte van 70 cm bereikt wordt 78 dagen na de start van de teelt.



## Bemesting

In de experimenten met chrysant zijn verschillende organische bemestingsbehandelingen toegepast (zie Marcelis *et al.*, 2003). Bij elke bemestingsbehandeling is 170 kg N/ha stalmest gegeven en in totaal (over de 4 teelten) 430 kg N/ha van een andere organische mestsoort. Voor vier van deze bemestingsbehandelingen zijn modelberekeningen uitgevoerd, namelijk voor:

- stalmest en een éénmalige voorraadbemesting Compost,
- stalmest en een éénmalige voorraadbemesting Luzerne,
- stalmest en voorafgaand aan elke teelt bloedmeel,
- stalmest en voorafgaand aan elke teelt maltaflor.

In de experimenten met **paprika** zijn ook verschillende organische bemestingsbehandelingen toegepast (zie hoofdstuk 2). Bij elke behandeling is ten minste 170 kg N/ha stalmest gegeven en eventueel een andere organische mestsoort. Voor drie van deze bemestingsbehandelingen zijn modelberekeningen uitgevoerd, namelijk voor:

- stalmest (ook wel controle genoemd),
- stalmest en éénmalig 659 kg N/ha champost Waardenburg,
- stalmest en éénmalig 659 kg N/ha luzerne (voorraad).

Alle bovenstaande meststoffen voor zowel chrysant als paprika zijn ingewerkt in de laag 0-10 cm-mv. Aangezien van alle meststoffen de samenstelling bekend is, kan een verdeling van het organische deel van de mest over de organische stofpools DPM, SPM en RPM berekend worden.

Op basis van de bekende samenstelling is bepaald hoeveel N organisch danwel anorganisch van aard is. Bovendien is de verhouding organisch C en organisch N (C/N-ratio) berekend. De verdeling van organisch C over de organische stofpools DPM, SPM en RPM is gebaseerd op de C/N-ratio volgens Verberne *et al.* (1995). Uit de verdeling van organisch C over de diverse pools en de C/N-ratio van de diverse pools volgt een verdeling van de organische N. Aangezien bekend is hoeveel N er in totaal gegeven is per bemesting en aangezien de verdelingen over de diverse fracties en pools ook bekend zijn, kunnen de absolute hoeveelheden van de diverse fracties en pools per bemesting berekend worden.

De afbraaksnelheden van de pools zijn voor de diverse meststoffen bepaald via incubatieproeven. De resultaten van deze proeven staan in 3.1.3 en zijn gebruikt in de modelberekeningen.

## Scenario's

Voor de boven genoemde bemestingsbehandelingen van chrysant en paprika zijn modelberekeningen uitgevoerd (standaard). Om het effect van bepaalde invoerparameters beter te kunnen beoordelen zijn op basis van de 'standaard'-berekeningen ook een aantal varianten doorgerekend. Tijdens de behandeling van de resultaten komen deze varianten aan de orde.

### 4.3.3 Resultaten

#### Gemeten en berekende watergehaltes

Bij chrysant en paprika zijn op een aantal diepten in het bodemprofiel bij een aantal behandelingen volumetrische watergehalte-metingen uitgevoerd met FD-sensoren. Met behulp van de metingen bij chrysant zijn de verzadigde doorlatendheden en de volumetrische watergehaltes bij verzadiging van de bodemlagen zodanig aangepast dat de orde van grootte van de berekende watergehaltes overeenkomt met die van de metingen. Deze geoptimaliseerde watergehaltes bij verzadiging en de verzadigde doorlatendheden zijn vervolgens toegepast in de modelberekeningen voor chrysant en paprika.

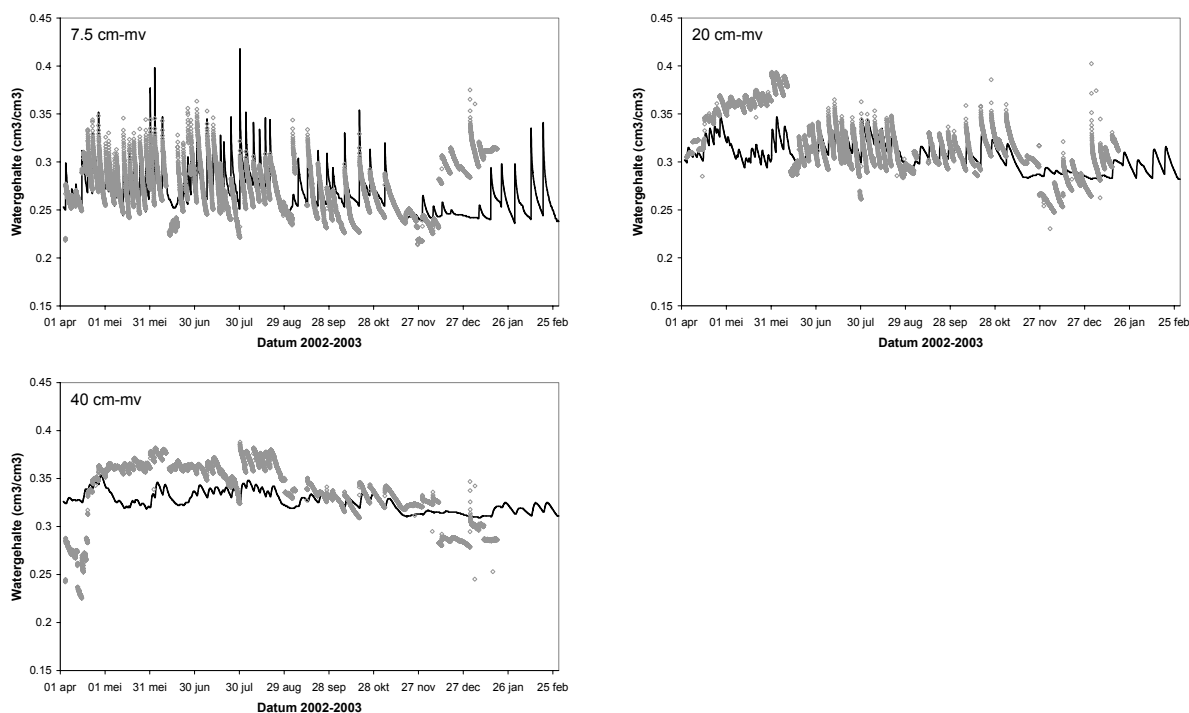
In Figuur 4.5 zijn de berekende en gemeten watergehalten op verschillende diepten als functie van de tijd weergegeven voor chrysan.

Uit Figuur 4.5 blijkt dat de berekende orde van grootte, met name op 7.5 en 20 cm diepte, goed is. Van een perfecte fit is echter geen sprake met name omdat de gemeten watergehalten discontinuïteiten bevatten. Deze discontinuïteiten zijn niet te verklaren op basis van klimatologische omstandigheden en/of gegeven irrigatiegiften.

Bij controleberekening voor paprika (alleen bemest met stalmest) komt de berekende orde van grootte voor het watergehalte op 7.5 cm diepte goed overeen met de metingen. Op 20 en met name 40 cm diepte is er een structureel verschil tussen de berekende en gemeten watergehalten. De berekende watergehalten zijn hierbij ongeveer 5 respectievelijk 10 volumeprocenten natter dan de gemeten waarden.

Hoewel de verschillen op deze twee diepten aanzienlijk zijn, is de verwachting dat de invloed van deze verschillen op processen als denitrificatie en met name mineralisatie mee kunnen vallen. Wanneer uit de gemeten en berekende volumetrische vochtgehalten namelijk een watergevuuld poriënvolumen (WFPS) worden berekend, dan blijkt dat de gemeten en berekende WFPS zich bijvoorbeeld in hetzelfde traject bevinden van de WFPS-reductiefunctie voor mineralisatie. Met andere woorden: fouten in berekende watergehalten hebben niet altijd grote fouten in watergehalteafhankelijke processen tot gevolg.

Bij champost Waardenburg- en luzerne voorraad-behandeling van paprika zijn geen watergehaltemetingen uitgevoerd.



Figuur 4.5. Berekende en gemeten watergehalten (-) op 7.5, 20 en 40 cm-mv als functie van de tijd voor chrysan (bloedmeel-behandeling). De symbolen geven meetwaarden weer, de getrokken lijn berekende waarden.

## Gemeten en berekende temperatuur

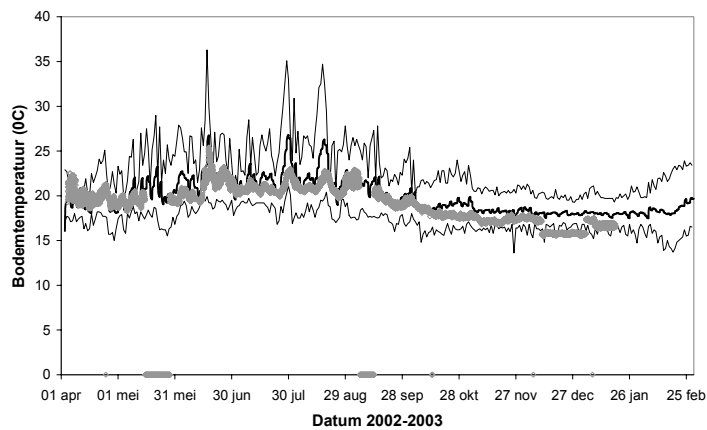
Naast het volumetrische watergehalte hebben de FD-sensoren ook de bodemtemperatuur meten. Door het verloop van de temperatuur-reductiefuncties voor mineralisatie en denitrificatie is het belangrijk om de temperatuur zo goed

mogelijk te simuleren. Een fout in de berekende temperatuur van 10°C betekent namelijk dat de mineralisatie en denitrificatie een factor 2.5 groter of kleiner is.

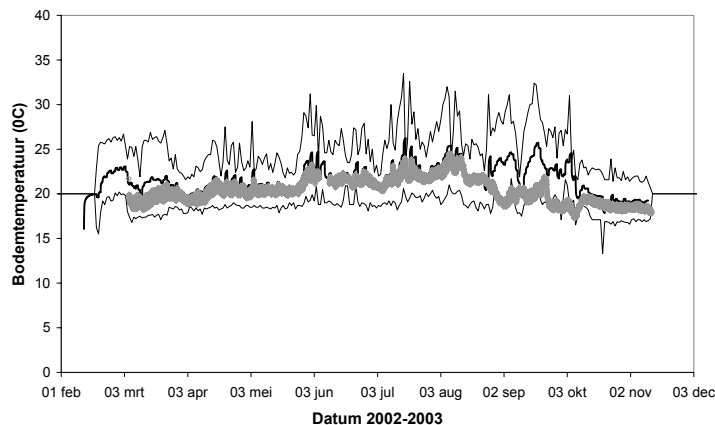
Over het algemeen komen de berekende en gemeten orden van grootte op de diverse diepten goed met elkaar overeen. Bij de bloedmeel-behandeling van chrysant zijn de berekende waarden op 7.5 cm diepte over het algemeen gelijk of iets hoger dan de meetwaarden. Op 20 cm diepte zijn ze nagenoeg identiek en op 40 cm diepte zijn de berekende waarden iets lager dan de meetwaarden. Tijdens extreem warme dagen zijn de berekende temperaturen duidelijk groter dan de meetwaarden. Dit is een direct gevolg van de manier waarop de temperatuurprofielen in de bodem berekend worden. Op die dagen kunnen de berekende mineralisatie en denitrificatie dus flink afwijken van de werkelijkheid.

Bij de controle-behandeling van paprika komen de berekende temperaturen op de verschillende diepten goed overeen met de metingen. Alleen in september zijn de berekende waarden aanzienlijk hoger.

In Figuur 4.6 en 4.7 zijn de gemeten en berekende temperaturen op 7.5 cm diepte voor respectievelijk chrysant (bloedmeel-behandeling) en paprika (controle-behandeling) weergegeven.



*Figuur 4.6. Gemeten (grijze symbolen) en berekende (zwarte lijn) temperatuur op 7.5 cm diepte voor de bloedmeel-behandeling van chrysant als functie van de tijd. De minimum en maximum luchttemperatuur zijn als dunne zwarte lijnen weergegeven.*



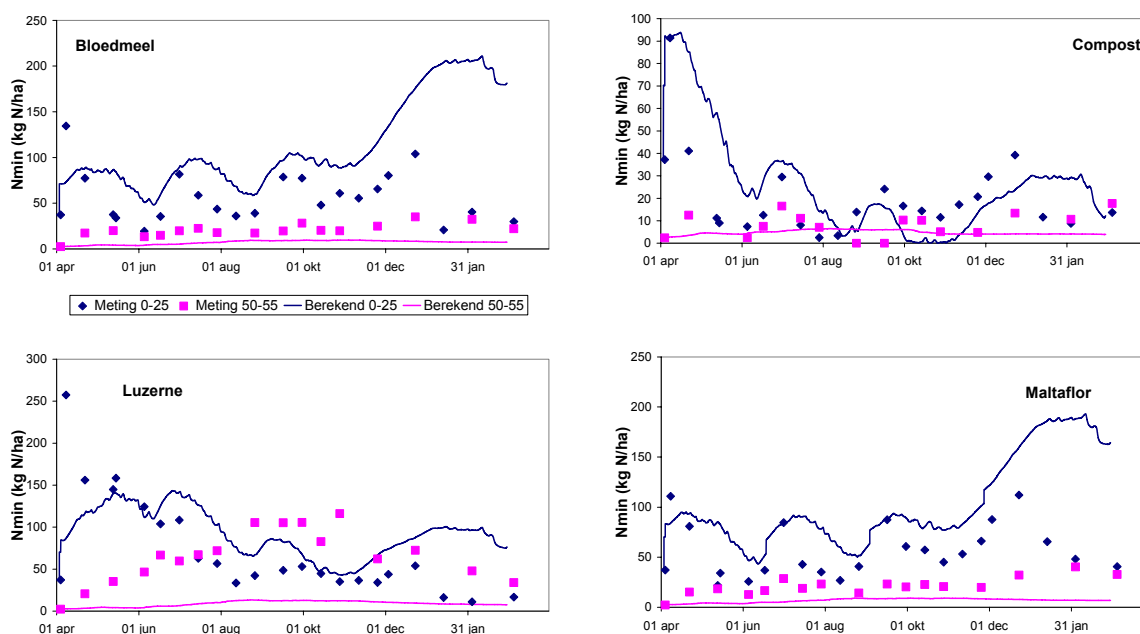
*Figuur 4.7. Gemeten (grijze symbolen) en berekende (zwarte lijn) temperatuur op 7.5 cm diepte voor de controle-behandeling van paprika als functie van de tijd. De minimum en maximum luchttemperatuur zijn als dunne zwarte lijnen weergegeven.*

Uit Figuur 4.6 en 4.7 blijkt dat de temperatuur in de bodem van de kassen rond de 20°C ligt. De temperatuur in de vollegrond ligt gemiddeld in Nederland rond de 9 à 10°C. De temperatuurafhankelijke processen (mineralisatie, denitrificatie) zijn in de kassen met chrysant en paprika dus veel groter dan in de vollegrond.

Om het effect van een fout berekende bodemtemperatuur te bepalen is één extra berekening gedaan voor de controle-behandeling van paprika. Bij deze berekening is de bodemtemperatuur gebaseerd op gemeten waarden in de bodem en niet op de minimum en maximum luchttemperatuur in de kas. Bij gebruik van de gemeten bodemtemperatuur blijkt de mineralisatie met 17 kg N/ha af te nemen. Hierdoor was er 6 kg N/ha minder beschikbaar voor opname door de paprika. Het is wel belangrijk om te beseffen dat bij deze behandeling er alleen maar mineralisatie van bodemorganische stof en van stalmest op kan treden. Het is niet ondenkbaar dat bij een andere behandeling het effect van de bodemtemperatuur groter is.

## Gemeten en berekende Nmin-gehalten voor chrysant

In Figuur 4.8 zijn de gemeten en berekende Nmin-gehalten voor de standaardberekeningen van chrysant als functie van de tijd weergegeven. Weergegeven zijn de waarden voor de lagen 0-25 en 50-55 cm-mv.



*Figuur 4.8. Gemeten en berekende Nmin-gehalten als functie van de tijd voor de standaardberekeningen van chrysant. De symbolen zijn metingen, de lijnen berekeningen. De donkere lijnen en symbolen hebben betrekking op de laag 0-25 cm-mv, de lichtere lijnen en symbolen hebben betrekking op de laag 50-55 cm-mv. Weergegeven zijn de bemestingsbehandelingen met bloedmeel, compost, luzerne en maltaflor.*

Uit Figuur 4.8 blijkt dat de overeenkomst tussen gemeten en berekende waarden matig is. De berekende waarden in de laag 50-55 cm zijn bijna constant terwijl de metingen wel dynamiek aangeven. De onderschatting is bij luzerne zeer groot. De gemeten dynamiek in de tijd in de laag 0-25 cm-mv wordt wel enigszins gesimuleerd (met name bij bloedmeel en maltaflor), maar van een perfecte overeenkomst is zeker geen sprake. De berekende waarden voor de laag 0-25 cm-mv zijn bij bloedmeel, maltaflor en luzerne (op het begin na) te hoog.

Om het verloop van de gemeten Nmin met name op 0-25 cm diepte beter te simuleren is voor elke chrysant-behandeling ook een berekening gedaan met aangepaste afbraaksnelheden voor LOM en SOM. Het vermoeden bestond namelijk dat de berekende mineralisatie van bodemorganische stof nogal groot was. In plaats van een afbraaksnelheid voor LOM van  $5E-4 \text{ d}^{-1}$  is een waarde van  $1E-4 \text{ d}^{-1}$  gebruikt. Voor SOM is de waarde aangepast van  $1.4E-5$  naar  $5E-6 \text{ d}^{-1}$ .

De aanpassing leidt tot een afname van de mineralisatie met een waarde van gemiddeld 227 kg N/ha. De berekende Nmin-waarden in de laag 0-25 cm-mv dalen als gevolg van deze lagere mineralisatie bij alle behandelingen onder de metingen. De orde van grootte wordt bij bloedmeel nu redelijk voorspeld. Bij compost en luzerne onderschatten de berekeningen de meetwaarden aanzienlijk. Vanaf juni respectievelijk oktober is er in de laag 0-25 cm-mv nagenoeg geen Nmin meer aanwezig. De gemeten dynamiek wordt bij maltaflor redelijk voorspeld, het niveau is echter zeker bij de laatste twee teelten te laag.

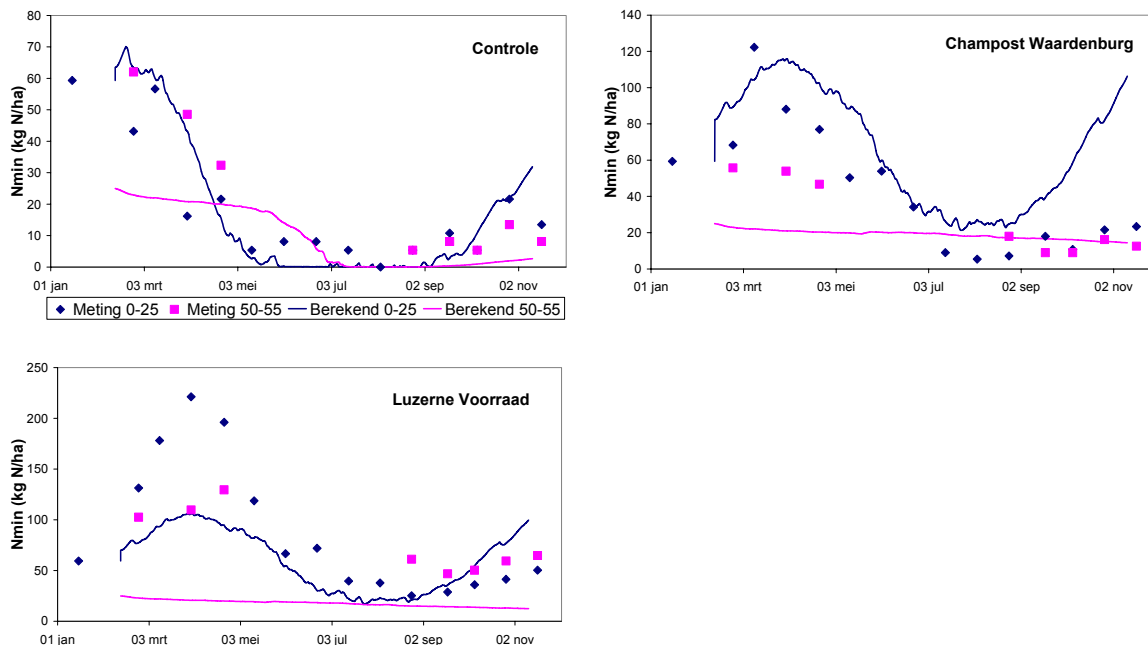
### **Gemeten en berekende Nmin-gehalten voor paprika**

In Figuur 4.9 zijn de gemeten en berekende Nmin-gehalten voor de standaardberekeningen van paprika als functie van de tijd weergegeven. Weergegeven zijn de waarden voor de lagen 0-25 en 50-55 cm-mv.

De voorspelling van de gemeten Nmin-waarden in de laag 50-55 cm-mv is slecht. De berekende waarden zijn te laag. Het verloop van de Nmin in de laag 0-25 cm-mv wordt bij de controleberekening redelijk benaderd. Wel is er een periode van mei tot september waarin geen Nmin aanwezig is in de betreffende laag. De gemeten Nmin-waarden zijn dan echter ook laag. Ondanks de afwezigheid van Nmin in de laag 0-25 cm-mv wordt de opname bij de controle-behandeling nauwelijks geremd. Dit betekent dat de opname uit lagen dieper dan 25 cm plaatsvindt en/of dat de mineralisatiesnelheid de opnamesnelheid redelijk benadert.

Opvallend bij de champost Waardenburg-behandeling is dat de berekende eindwaarde voor Nmin in de laag 0-25 cm-mv veel te hoog is. Vanaf september neemt de berekende Nmin toe terwijl de metingen relatief constant blijven.

Bij de luzerne voorraad-behandeling wordt de rond april gemeten Nmin-piek bij lange na niet benaderd door de modelberekening.



Figuur 4.9. Gemeten en berekende Nmin-gehalten als functie van de tijd voor de standaardberekeningen van paprika. De symbolen zijn metingen, de lijnen berekeningen. De donkere lijnen en symbolen hebben betrekking op de laag 0-25 cm-mv, de lichtere lijnen en symbolen hebben betrekking op de laag 50-55 cm-mv. Weergegeven zijn de bemestingsbehandelingen controle, champost Waardenburg en luzerne-voorraad.

#### 4.3.4 Enkele conclusies naar aanleiding van de modelberekeningen

Hieronder volgen enkele conclusies m.b.t. het simuleren van de toestand (watergehalte, temperatuur, Nmin) in de bodem. Conclusies t.a.v. het berekenen van N-stromen komen in hoofdstuk 6 aan bod.

- De berekende watergehalten komen bij chrysant redelijk overeen met de metingen. Bij paprika nemen de afwijkingen tussen metingen en berekeningen toe met de diepte.
- De voor chrysant vastgestelde bodemfysische parameters zijn niet zonder meer te vertalen naar de situatie met paprika en kunnen leiden tot aanzienlijke afwijkingen in de watergehalten.
- De berekende bodemtemperaturen komen, op extreme dagen na, goed overeen met de metingen.
- Vanwege de vorm van de temperatuur-reductiefunctie en de WFPS-reductiefunctie voor mineralisatie en denitrificatie leiden fouten in de berekende bodemtemperatuur tot grotere fouten in de berekende mineralisatie en denitrificatie dan fouten in de berekende vochtgehalten.
- De bodemtemperatuur is veel hoger dan in de vollegrond. Temperatuurafhankelijke processen worden hier sterk door beïnvloed.
- De Nmin-gehalten in de laag 50-55 cm-mv worden slecht berekend. De berekende Nmin-gehalten in de laag 0-25 cm-mv lijken bij een aantal bemestingsbehandelingen redelijk op de metingen.

Gelet op bovenstaande conclusies, zal bij modellering van de N-stromen een zekere foutenmarge en onzekerheid betrokken moeten worden.

Desalniettemin zijn de foutenmarges het kleinst in de meest belangrijke bodemlaag (bouwvoor) en in het meest belangrijke temperatuurtraject (20 tot 25 °C). Zo wordt aangenomen dat voor deze meest relevante condities de orde van grootte van de uiteindelijke N-stromen redelijk goed gesimuleerd wordt (zie verder hoofdstuk 6).

## 5. Ziektewerendheid

### 5.1 Inleiding

Bodemziekten kunnen een belangrijke opbrengstreducerende factor zijn in de biologische kasteelten mede omdat geen chemische bestrijdingsmiddelen worden gebruikt en de gewasrotaties meestal krap zijn. Stomen is niet wenselijk en in de toekomst mogelijk nog maar beperkt toegestaan. Door verhoging van de ziektewerendheid van de bodem kan het risico op bodemziekten worden verlaagd. Organische (mest)stoffen kunnen zowel een positief als een negatief effect hebben op de ziektewerendheid van de bodem (Hoitink & Fahy, 1986; Tuitert *et al.*, 1998; Postma *et al.*, 2003). Hierover is echter onvoldoende kennis beschikbaar om in diverse praktijksituaties tot een gerichte en betrouwbare advisering te komen (Elsas & Postma, in press). Ook het Handboek 'Mest en Compost' (Bokhorst & Ter Berg, 2001) beschrijft enkele voorbeelden, maar concrete adviezen ten aanzien van mestsoort, dosis en toepassingwijze tegen bepaalde pathogenen worden niet gegeven.

De kwaliteit en hoeveelheid organische stof beïnvloeden de leefomstandigheden van de bodemmicroflora. Dit geldt zowel voor eventueel aanwezige bodempathogenen als voor hun antagonisten. Daarom is de invloed van de toediening van verschillende typen organische (mest)stoffen op de ziektewerendheid van de bodem bepaald. Hiervoor zijn biotoetsen gebruikt, waarbij de aantasting in het toetsgewas bepaald werd onder geconditioneerde omstandigheden, enige tijd nadat een bepaald pathogeen aan de grond is toegevoegd. Het ging hierbij om de plantpathogeen combinaties *Phytophthora nicotianae* – tomaat en *Meloidogyne incognita* – tomaat. Verder is nagegaan of er een verschuiving in de samenstelling van de bodemmicroflora optrad. Dit is onderzocht met behulp van een moleculaire techniek, PCR-DGGE. Bovendien is de activiteit van de bodemmicroflora gemeten aan de hand van de bodemademhaling. Gelijksoortig onderzoek is in 2002 uitgevoerd, maar merendeels met andere (mest)stoffen en zonder de plantpathogeen combinatie *Meloidogyne incognita* – tomaat. Wat betreft de ziektewerendheid tegen *P. nicotianae* heeft het onderzoek in 2002 slechts geringe verschillen in ziektewering laten zien. Zo leverden luzerne en maltaflor een iets hogere ziektewerendheid op dan een schrale compost (Marcelis *et al.*, 2003). In 2003 is het onderzoek naar de ziektewerendheid uitgebreid met *M. incognita*, omdat wortelknobbelaaltjes een van de belangrijkste pathogenen is in de biologische kasteelten. Widmer *et al.* (2002) geven in een overzichtartikel aan dat het door de grond mengen van organisch materiaal een bijdrage kan leveren aan een afname van het aantal plantenparasitaire wortelaaltjes en een toename van saprofage aaltjes in de grond. Deze bijdrage komt tot stand door een verbetering van de fysische, chemische en biologische eigenschappen van de grond, maar is sterk afhankelijk van de grondsoort, soort organisch materiaal en ouderdom van het organisch materiaal.

### 5.2 Doelstelling

Nagaan in welke mate organische meststoffen verschillen veroorzaken in ziektewerendheid tegen de bodemschimmel *Phytophthora nicotianae* en het wortelknobbelaaltje *Meloidogyne incognita*. Daarnaast is vastgesteld in hoeverre organische meststoffen een verschuiving in de samenstelling van de bodemmicroflora veroorzaken en van invloed zijn op de bodemactiviteit van de bodemmicroflora.

### 5.3 Materialen en methoden

#### Kasproef

In een kas op PPO-locatie Naaldwijk is bij een paprikateelt in grond een bemestingsproef aangelegd de organische meststoffen champost, luzerne en Wulpak. Meer informatie over de behandelingen met deze meststoffen is te vinden in hoofdstuk 2. De meststoffen zijn op 12 februari 2003 ingewerkt, terwijl de paprikaplanten een week later op 19 februari (week 8) zijn geplant.

## Bemonstering van de bodem

In het kader van het onderzoek naar ziekteverendheid, en samenstelling en activiteit van de bodemmicroflora is de grond op vier tijdstippen na het planten met een grondboor bemonsterd tot op 25 cm diepte. Dit is gebeurd in week 10 (3/3), 20 (12/5), 33 (11/8) en 47 (17/11) 2003. In totaal werden per bemonsteringstijdstip zes behandelingen in drie herhalingsbemonsteringen en één behandeling in twee herhalingsbemonsteringen (= 20 monsters). Per herhalingsveldje is ca. 12 liter grond verzameld. Met deze monsters zijn biotoetsen ingezet in de kas om de ziektevering te bepalen. Een deel van de monsters, namelijk 250 g grond werd gekoeld (4 °C) naar Wageningen vervoerd voor het bepalen van de bodemademhaling. Bovendien werd 5 g grond bij -20 °C ingevroren voor de op een later tijdstip uitgevoerde PCR-DGGE analyses.

## Biotoetsen

Om het effect van de meststoffen te toetsen op de ziekteverendheid van de grond zijn twee biotoetsen gebruikt met *Phytophthora nicotianae* en *Meloidogyne incognita*. Beide pathogenen zijn bij tomaat getoetst.

De opzet van de biotoetsen was grofweg de volgende:

1. *P. nicotianae* bij tomaat (9 zaden/pot), met drie potten per herhaling.
2. *M. incognita* bij tomaat (1 plant/pot), met vier planten per behandeling.

Voor de biotoets met *P. nicotianae* werden de potten gevuld met 300 ml grond. Bij elke herhaling werden drie potten gevuld met besmette grond en drie potten met onbesmette grond. De besmetting is tot stand gebracht door de grond tijdens het vullen van de potten te besmetten met een hoeveelheid inoculum van 0,3% (v/v). In Bijlage VIII is de bereidingswijze van het inoculum opgenomen. De eerste dagen na het zaaien werden de potjes afgedekt met plastic om de kieming te bevorderen. Na 21 dagen incubatie in de kas bij circa 20°C vond de eindbeoordeling plaats aan de hand van het aantal gezonde planten per pot.

Voor de biotoets met *M. incognita* is per behandeling de grond van de herhalingsveldjes bij elkaar gevoegd en gemengd. Hiermee zijn acht 2 liter-containers gevuld waarvan er vier kunstmatig zijn besmet met wortelknobbelaaltjes. Per container zijn 4000 J2 (2<sup>de</sup> juveniele larvenstadium) van *M. incognita* door de grond gemengd. De onbesmette containers dienden als controles om vast te stellen of er van nature al wortelknobbelaaltjes in de grond aanwezig waren. De containers zijn beplant met vier weken oude tomatenplantjes (1 plantje/container). Twaalf weken later is de aantasting beoordeeld op basis van de wortelknobbeldindex volgens een schaal van 0-10. Een verklaring van deze schaal is opgenomen onder Tabel 5.2.

Naast de bemonsterde grond is in beide biotoetsen een standaardpotgrond (Finnpeat) meegenomen, voornamelijk bedoeld als controle van de vitaliteit van de toegevoegde pathogenen. Als toetsplant is gebruikt het tomatenras Aromata. Gedurende de toetsperiode vanaf begin maart tot begin november 2003 is een gemiddelde temperatuur van de kaslucht gerealiseerd van 21,4 °C. Vanaf begin november is een nieuwe computer geïnstalleerd en zijn de klimaatgegevens verloren gegaan.

## Microbiologische activiteit in grondmonsters

De bodemademhaling is in alle grondmonsters van de eerste drie monsterdata in tweevoud per veldje bepaald. De bodemademhaling werd gedurende 3 dagen in hermetisch afgesloten flessen met een druksensor gemeten (Sensomat-System van Aqualytic). De CO<sub>2</sub> die ontstaat uit de omzetting van organische stof en zuurstof, wordt weggevangen door een KOH oplossing. De sensor in de dop registreert de hierdoor ontstane onderdruk in de fles. Formule voor omrekening van de gemeten onderdruk naar bodemademhaling is als volgt (Robertz *et al.*, 1999):

$$BA = \Delta p \times M(O_2) \times V_{\text{lucht}} / R \times T \times m_{\text{grond}}$$

waarbij de symbolen de volgende betekenis hebben:

- BA = bodemademhaling (mg O<sub>2</sub>/kg droge grond)
- Δp = gemeten drukverschil (hPa)
- M(O<sub>2</sub>) = molekulgewicht O<sub>2</sub>; 32000 (mg/mol)
- V<sub>lucht</sub> = vrij gasvolume in de fles



- R = algemene gasconstante; 83144 (L.mbar.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)
- T = incubatietemperatuur (°K)
- m<sub>grond</sub> = massa droge grond (kg)

## Microbiologische karakterisering met PCR-DGGE

Voor het karakteriseren van de microflora is ingevroren grond gebruikt van de tweede monsternamen (15 mei). Hierbij is sinds enkele jaren in het onderzoek toegepaste techniek gebruikt, namelijk PCR-DGGE. Deze afkorting staat voor: polymerase chain reaction - denaturing gradient gel electrophoresis. Microbieel DNA is uit de grond geëxtraheerd, gezuiverd en vervolgens zodanig vermeerderd (geamplificeerd d.m.v. PCR) dat het op een speciale gel (DGGE) gezet kon worden, waarbij de verschillende soorten micro-organismen verschillend migreren. Op deze wijze ontstaat er een bandenpatroon, een zogenaamde 'fingerprint', die representatief is voor de schimmel- of bacteriesoorten die dominant aanwezig zijn in het betreffende grondmonster. Naast de totale bacterie- en schimmelpopulatie zijn ook subpopulaties van de bacteriën geanalyseerd, namelijk Pseudomonaden en Bacillus-soorten. Uitgebreide methodebeschrijving is elders gepubliceerd (Postma *et al.*, 2000; Garbeva *et al.*, 2003 en 2004). De DGGE-gels zijn gedigitaliseerd en vervolgens geanalyseerd met behulp van een computerprogramma (Molecular Analyst Fingerprinting, Bio-Rad Laboratories). Het aantal banden en de Shannon Weaver-diversiteitsindex H' zijn in de verschillende DGGE-gels voor alle monsters bepaald, waarbij n<sub>i</sub> de piek-intensiteit en N de som van alle pieken is.

$$H' = - \sum \{ n_i/N \times \ln(n_i/N) \},$$

De relatie tussen de microbiële samenstelling en factoren zoals ziektevering en mestgegevens, is geanalyseerd met multivariate analyse-technieken. De door de factoren verklaarde variatie in de pieklocaties en bijbehorende intensiteiten van de bodemonsters zijn met canonische correspondentie-analyse van het programma CANOCO (versie 4.5) berekend. Met de Monte Carlo Permutation Test is nagegaan welke factoren de microbiële samenstelling significant beïnvloeden (zie Salles *et al.*, in press).

## 5.4 Resultaten

### Ziekteverendheid *Phytophthora nicotianae*

De grondmonsters, die op vier tijdstippen in de paprikateelt zijn genomen, zijn met behulp van biotoetsen geanalyseerd op ziekteverendheid tegen de bodemschimmel *P. nicotianae*. Het aantal gezonde planten in de biotoetsen zonder *P. nicotianae* verschilde per bemonsteringstijdstip, o.a. als gevolg van het verschil in opkomst van de zaden. Vooral in de laatste biotoets was de opkomst relatief laag. Dit had echter geen invloed op de onderlinge verschillen tussen de behandelingen, m.a.w. er was geen interactie tussen het bemonsteringstijdstip en de behandeling. Daarom zijn in Tabel 5.1 de gemiddelde waarden van de vier biotoetsen per behandeling weergegeven. Voor de data per bemonsteringstijdstip wordt verwezen naar Bijlage IX.

De vitaliteit van *P. nicotianae* is goed geweest getuige het feit dat in de vier biotoetsen het aantal gezonde planten in de standaardgrond Finnpeat uitkwam op gemiddeld 2,4 met een minimum van 1,7 en een maximum van 3,7 gezonde planten. Zonder toegevoegd pathogeen leverde Finnpeat gemiddeld 7,8 gezonde planten op met een minimum van 6,7 en een maximum van 8,7 gezonde planten.

Wat betreft de behandelingen met organische meststoffen, maar zonder pathogeen was het aantal gezonde planten significant het hoogste bij de behandelingen met champost (Beh. 2 en 3) en Wulpak (Beh. 7), maar niet significant hoger ten opzichte van Onbehandeld (Beh. 1) waarbij geen organische meststoffen zijn toegediend (Tabel 5.1 en Figuur 5.1). Opvallend was het significant geringe aantal gezonde planten bij beide behandelingen met luzerne (Beh. 4 en 5) ten opzichte van alle andere behandelingen. Onderzoek toonde aan dat dit te maken had met de aanwezigheid van pathogenen in de grond. Dit is geconstateerd door een deel van de Luzerne-grond wel en niet te pasteuriseren en hierin tomaten te zaaien. In de gepasteuriseerde grond waren 8,7 gezonde planten aanwezig, terwijl in de niet-gepasteuriseerde grond dit aantal bleef steken op 2,4. Dit betekent een afname van het aantal gezonde planten van 72% als gevolg van reeds in de grond aanwezige pathogenen.

Op dezelfde wijze is ook bij behandeling 6 en 7 de invloed van reeds in de grond aanwezige pathogenen onderzocht. Bij deze behandelingen was de pathogeen-invoel respectievelijk 32% en 23%. Luzerne heeft dus een duidelijk negatief effect op de ziekteverendheid. Ook in 2002 is luzerne in het onderzoek opgenomen, maar gaf toen geen aanleiding te veronderstellen dat dit negatief zou werken (Marcelis *et al.*, 2003).

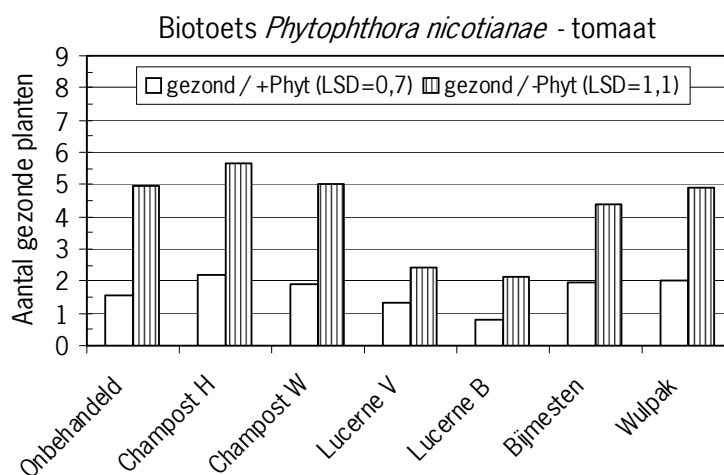
Tabel 5.1. Aantal (n) en percentage gezonde planten in grond met verschillende organische meststoffen met en zonder toegevoegde *Phytophthora nicotianae* (Phyt) inoculum (9 tomaten zaden per pot). (Gemiddelde waarden van vier biotoetsen).

Organische Meststof	Behandeling nr.	n gezond -Phyt (controle)	n gezond +Phyt	% gezond +Phyt t.o.v. -Phyt <sup>1)</sup>
Onbehandeld	1	5,0 ab <sup>2)</sup>	1,6 ab <sup>2)</sup>	35
Champost H	2	5,6 a	2,2 a	42
Champost W	3	5,0 ab	1,9 ab	42
Luzerne V	4	2,4 c	1,3 bc	90
Luzerne B	5	2,1 c	0,8 c	40
Bijmesten	6	4,4 b	1,9 ab	47
Wulpak	7	4,9 ab	2,0 a	44
LSD (0,05)		1,1	0,7	n.s. <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> % gezond =  $(n \text{ gezond} + \text{Phyt} \times 100) / (n \text{ gezond} - \text{Phyt})$ .

<sup>2)</sup> Gemiddelden in een kolom gevolgd door verschillende letters zijn significant verschillend ( $P \leq 0,05$ ).

<sup>3)</sup> n.s. = niet significant verschillend ( $P \leq 0,05$ ).



Figuur 5.1. Aantal gezonde planten in grond met verschillende organische meststoffen met en zonder toegevoegd *Phytophthora nicotianae* (Phyt) inoculum (9 tomatenzaden per pot).

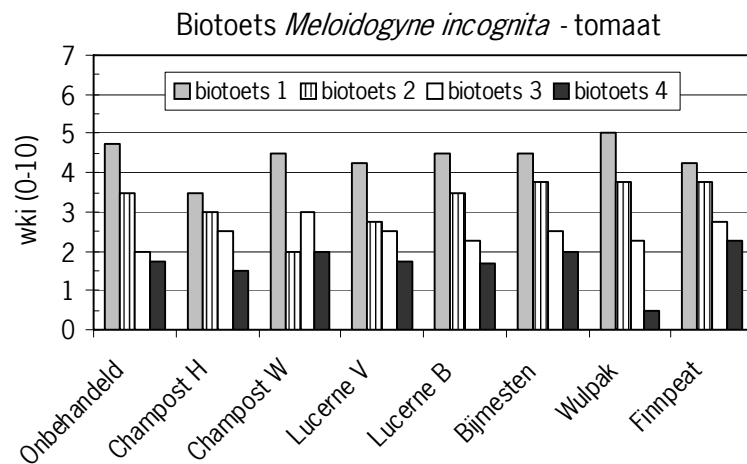
In de behandelingen met toegevoegd pathogeen hadden wederom de behandelingen met champost en Wulpak (Beh. 2, 3 en 7) de meeste gezonde planten, maar niet significant meer dan bij Onbehandeld. Ook nu leverde luzerne weer het minste aantal gezonde planten op.

Het percentage gezonde planten in de met *P. nicotianae* geïnfecteerde grond ten opzichte van de behandelingen zonder toegevoegd pathogeen is een maat voor de ziekteverendheid. Dit percentage bleek te variabel als gevolg

van het op elkaar delen van twee variabele waarden. Hierdoor waren de verschillen niet significant. Zo was zelfs het percentage van 90% bij luzerne V niet significant verschillend ten opzichte van de andere behandelingen. Dit vanwege de grote verschillen in percentages tussen de herhalingen waaruit het gemiddelde van 90% is opgebouwd: zo stond tegenover een minimumpercentage van 7% een maximum van 300% en werd een standaardafwijking genoteerd van 96%.

### Ziektewerendheid *Meloidogyne incognita*

De grondmonsters, die op vier tijdstippen in de paprikateelt zijn genomen, zijn met behulp van biotoetsen geanalyseerd op ziekteverendheid tegen het wortelknobbelaaltje *M. incognita*. Dit is gebeurd op basis van de wortelknobbindex WKI met een schaal van 0 tot 10. Bij vergelijking van de WKI tussen de vier biotoetsen valt op dat de WKI gaandeweg steeds verder afnam (Figuur 5.2). Omdat dit verschijnsel niet alleen optrad bij de behandelingen met organische meststoffen, maar ook bij Onbehandeld en in de standaardgrond Finnpeat, mag hieruit niet worden afgeleid dat de afname een gevolg is geweest van toenemende ziekteverering tegen het wortelknobbelaaltje. De omstandigheden waaronder de vier biotoetsen zijn uitgevoerd, zijn blijkbaar dermate verschillend geweest dat de wki afnam. De juiste reden hiervan kon niet precies worden achterhaald. Verschillende oorzaken zijn mogelijk, zoals verschillen in temperatuur en watergift. In de vier biotoetsen zijn respectievelijk de volgende gemiddelde kasluchttemperaturen gerealiseerd: 21,4; 22,8; 19,7 en 18,3°C. Met name temperaturen lager dan 19°C zijn ongunstig voor het warmteminnend wortelknobbelaaltje *M. incognita* om tot een goede aantasting te komen. Mogelijk is in de tweede biotoets, die is uitgevoerd in de maanden mei-augustus, de grond aan de droge kant geweest. Anders is niet goed verklaarbaar waarom deze biotoets, ondanks de relatief hoge kasluchttemperatuur van gemiddeld 22,8°C, een lagere wki heeft laten zien dan de eerste biotoets in de maanden maart-mei. Maar ook verschillen in een vitaliteit van de geïnoculeerde wortelknobbelaaltjes mogen niet als oorzaak worden uitgesloten.



Figuur 5.2. Wortelknobbindex WKI bij tomaat in grond met verschillende organische meststoffen en toegevoegd *Meloidogyne incognita* (*Melo*) inoculum.

Tabel 5.2. Wortelknobbelindex (WKI) bij tomaat in grond met verschillende organische meststoffen met en zonder toegevoegd *Meloidogyne incognita* (*Melo*) inoculum. (Gemiddelde waarden van vier biotoetsen).

Organische Meststof	Behandeling nr.	Wki 0-10 <sup>1)</sup> -Melo (controle)	Wki 0-10 +Melo	% Wki +Melo t.o.v. onbehandeld (+Melo) <sup>2)</sup>
Onbehandeld	1	0,13	3,00	100
Champost H	2	0,00	2,63	93
Champost W	3	0,13	2,88	104
Luzerne V	4	0,00	2,81	98
Luzerne B	5	0,00	2,98	101
Bijmesten	6	0,06	3,19	110
Wulpak	7	0,00	2,88	88
LSD (0,05)		n.s.	n.s.	n.s.

<sup>1)</sup> Wortelknobbelindex 0-10: 0 = geen knobbels; 1 = enkele kleine, moeilijk te vinden knobbeltjes; 2 = kleine knobbeltjes, duidelijk zichtbaar; 3 = enkele grotere knobbels; 4 = meer grote knobbels; 5, 6, 7 en 8 = knobbels op resp. 25%, 50%, 75% en 90% van de wortels; 9 = knobbels op 100% van de wortels, plant gaat dood; 10 = alle wortels met knobbels, nog nauwelijks wortels, plant is dood.

<sup>2)</sup> % wki = (wki +Melo x 100)/(wki +Melo Onbehandeld).

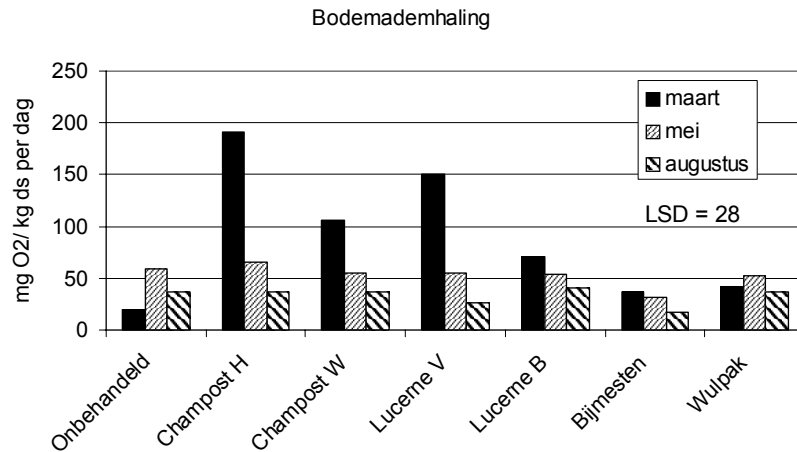
Hoewel de biotoetsen onderling wel een significante invloed hadden op de WKI, waren in iedere biotoets de behandelingen niet significant verschillend, m.a.w. er was geen interactie tussen het bemonsteringstijdstip en de behandeling. Daarom zijn de gemiddelden van de vier biotoetsen per behandeling in Tabel 5.2 weergegeven. De data per bemonsteringstijdstip zijn opgenomen in Bijlage IX.

Uit Tabel 5.2 blijkt dat wanneer er geen wortelknobbelaaltjes zijn aangebracht, er niettemin bij drie behandelingen sprake is geweest van wortelknobbeltjes. Een herbesmetting vanuit andere potten is daarbij niet uitgesloten. Maar de aantasting was dermate gering dat dit niet van invloed is geweest op het uiteindelijke effect. Het effect op de ziekteverendheid tegen *M. incognita* is te vinden in de laatste twee kolommen. Uit de kolom 'wki +Melo' blijkt dat de behandelingen met organische meststoffen (Beh. 2-7) ten opzichte van elkaar niet hebben geresulteerd in significante verschillen. Ook ten opzichte van de behandeling zonder organische meststoffen (Beh. 1) was dit niet het geval. De relatieve resultaten (% wki), die zijn berekend door de resultaten van de geïnoculeerde behandelingen met meststoffen te relateren aan de resultaten van de geïnoculeerde behandeling zonder meststoffen (Onbehandeld), laten geen significante effecten zien en daarmee dus ook geen ziekteverendheid tegen *M. incognita*.

### Microbiologische activiteit in grondmonsters

De bodemademhaling op het eerste monstertijdstip (maart) is bij de organische meststoffen die als voorraadbemesting zijn toegediend (champost H, champost W en luzerne V) sterk verhoogd ten opzichte van de onbehandelde bodem (Figuur 5.3). Luzerne B liet een lichte verhoging van de bodemademhaling zien, terwijl Bijmesten en Wulpak niet significant verschilden van Onbehandeld.

Tijdens de tweede en derde monsternamen (mei en augustus) was de bodemademhaling voor alle behandelingen gelijk. Dat wil zeggen dat het effect van de organische meststoffen op de bodemademhaling van tijdelijke aard was. Wel lijkt het algehele niveau van de bodemademhaling in mei hoger dan in maart. Dit kan het gevolg zijn van verhoogde activiteit van het bodemleven door een toegenomen wortelmasse en uitscheiding van wortellexudaten.

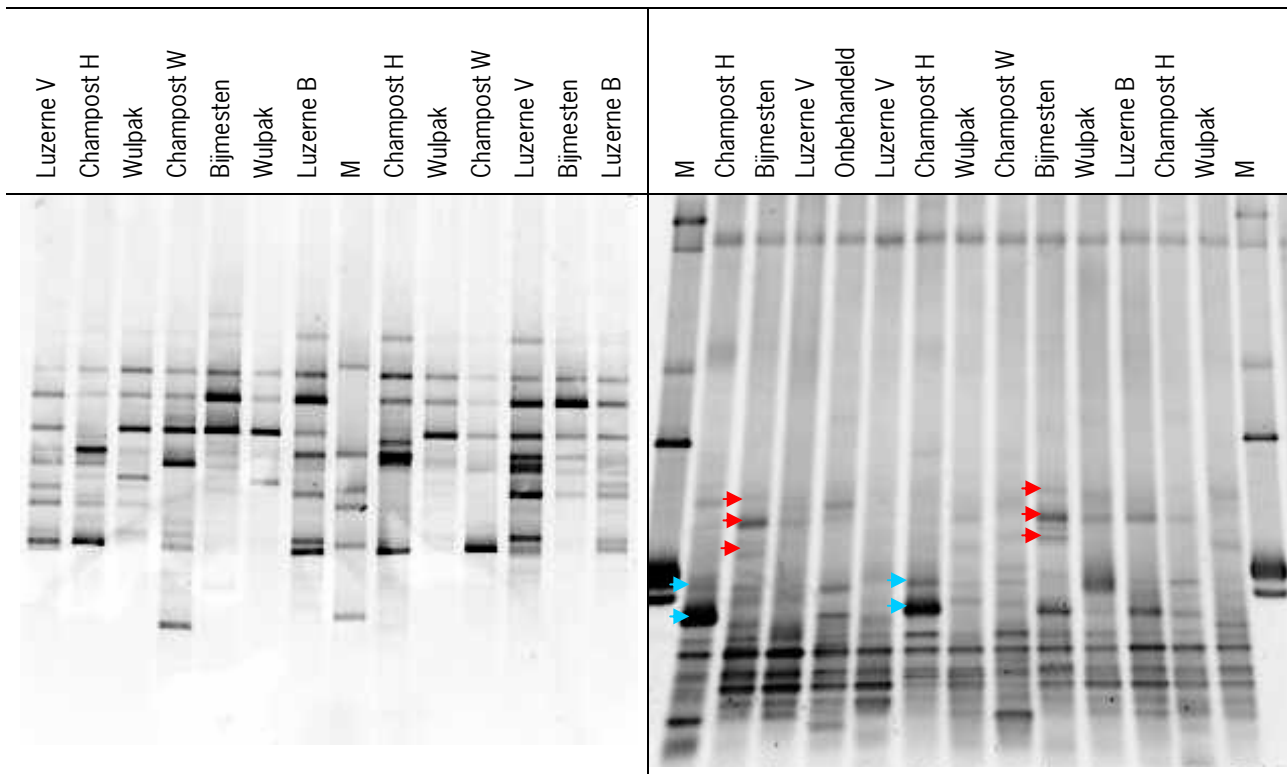


Figuur 5.3. Microbiële activiteit in de bodem na toevoeging van de verschillende organische meststoffen, bepaald door meting van de bodemademhaling.

### Microbiologische karakterisering met PCR-DGGE

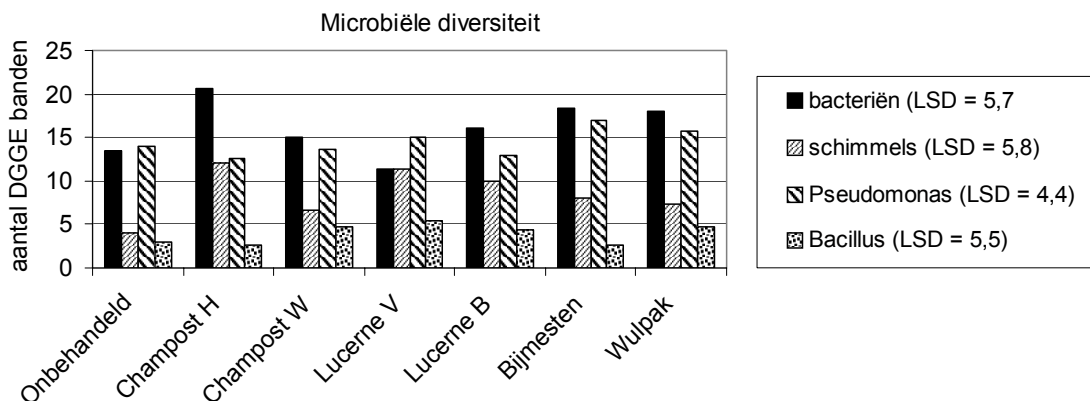
Toevoeging van verschillende organische meststoffen had effect op de samenstelling van de microflora. Dit is te zien aan de DGGE-patternen (Figuur 5.4), aan de aantallen banden in de DGGE-gels (Figuur 5.5) en met behulp van multivariate analyses (Figuur 5.6).

In Figuur 5.4 zijn de fingerprints van de schimmel- en *Pseudomonas*-populaties van een gedeelte van de bemonsterde veldjes weergegeven, omdat hieraan het duidelijkst te zien was dat er verschuivingen in de microflora optraden. Bij de schimmel-fingerprint valt op dat bijvoorbeeld Wulpak en Bijmesten over het algemeen minder banden bevatten dan de andere organische stoffen. De pijltjes in de *Pseudomonas*-fingerprint geven een aantal banden aan die voor bepaalde mestsoorten (champost H, Bijmesten) karakteristiek waren. Bij de bacterie- en *Bacillus*-populaties waren de verschuivingen minder zichtbaar.



Figuur 5.4. Fingerprint van de schimmel- (links) en *Pseudomonas*-populatie (rechts) in de bodem na toevoeging van de verschillende organische meststoffen tijdens de tweede monstername (mel) (PCR-DGGE methode). M is een standaard marker. Pijlen geven banden aan die karakteristiek zijn voor bepaalde behandelingen.

Van alle gels is het aantal banden en de Shannon Weaver diversiteitsindex  $H'$  per behandeling uitgerekend. Het aantal bacteriebanden was significant hoger in champost H dan in Onbehandeld (Figuur 5.5). Alle andere behandelingen zaten er tussenin. Voor schimmels gold dat champost H, luzerne V en luzerne B een significant hoger aantal banden hadden dan Onbehandeld. Bij *Pseudomonaden* en *Bacillus* waren er geen significante verschillen tussen aantallen banden. De Shannon Weaver index gaf vergelijkbare trends, en is daarom niet apart weergegeven.

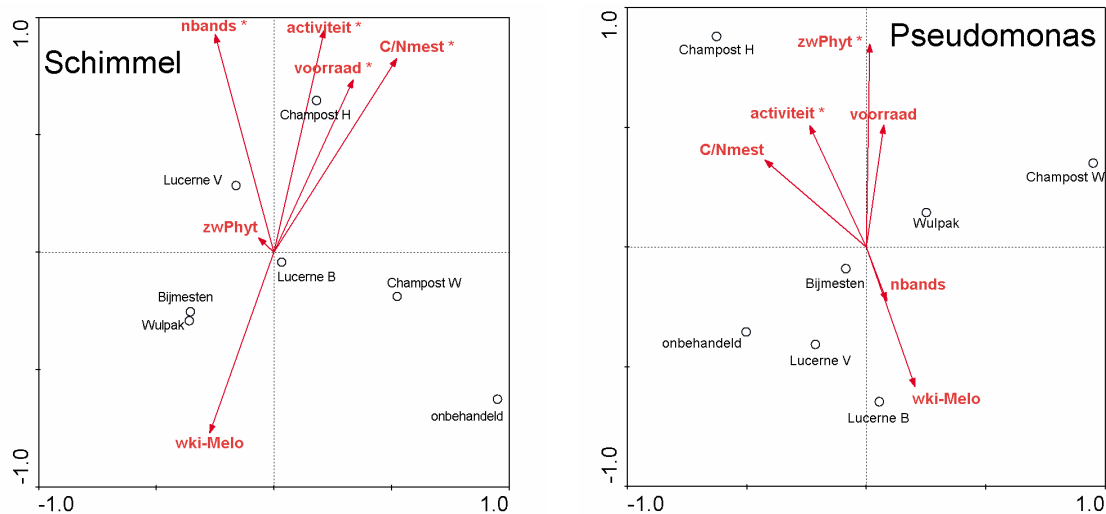


Figuur 5.5. Aantal banden in de DGGE-patternen voor de verschillende organische stof behandelingen en microbiële groepen.

De relatie tussen de veranderingen in microbiële samenstelling en verschillende omgevingsfactoren is onderzocht met Canonische correspondentie-analyse (CCA). Bij de schimmelpopulatie had het C/N quotiënt van de mest, bodemademhaling (activiteit) en de voorraadbemesting een significante invloed op de samenstelling (Figuur 5.6). Voorraadbemesting en hoog C/N-quotiënt van de mest gingen gepaard met een hoge bodemademhaling (activiteit), en het aantal schimmelbanden was hoog. Voor de behandeling champost H waren al deze waarden hoog (punt ligt in de richting van deze vier pijlen in Figuur 5.6)

Bij de *Pseudomonas*-populatie waren de bodemademhaling (activiteit) en de ziekteverendheid van *Phytophthora* (zwPhyt) significante factoren (Figuur 5.6). Vermeerdering van nematoden (wki-Melo) wees juist de andere kant op (hoewel factor niet een significante invloed had).

Bij de totaal bacterie- en *Bacillus*-populatie had alleen de voorraadbemesting een significante invloed (data niet weergegeven).



Figuur 5.6. Canonische correspondentie-analyse van de schimmel en *Pseudomonas* DGGE-profielen. Factoren zijn weergegeven als pijlen; \* geeft aan dat factor significant is. De monsters zijn weergegeven als punten.

## 5.5 Discussie en conclusies

### Ziekteverendheid

De geteste organische meststoffen hebben ten opzichte van grond zonder deze stoffen niet geresulteerd in een verhoging van het aantal gezonde planten en hebben derhalve geen bijdrage geleverd aan verhoging van de ziekteverendheid van de bodem tegen de bodemschimmel *P. nicotianae*. Bij luzerne was zelfs het tegenovergestelde het geval. Daarbij waren minder gezonde planten aanwezig dan bij de behandeling zonder organische meststoffen. Het is geen onbekend verschijnsel dat een organische meststof problemen met ziekten verergert in plaats van vermindert. In de biotoetsen ging het om kiemplantenziekte(n). Waardoor dit is veroorzaakt, is niet nader onderzocht. Het onderzoek naar ziekteverendheid is enigszins ongunstig beïnvloed door de variatie in opkomst van de tomatenzaden. Dit zou verbeterd kunnen worden door in plaats van zaad te starten met verspeembare plantjes. Wordt wel van zaad uitgegaan, dan kan de variatie worden vermeden door voldoende zaden te zaaien en vanaf bijvoorbeeld een week na opkomst het aantal plantjes uit te dunnen tot een gelijk aantal per pot en het vervolg van deze plantjes gedurende een aantal weken te volgen.

Evenals tegen *P. nicotianae* hebben de organische meststoffen ook tegen het wortelknobbelaaltje *M. incognita* geen ziekteverendheid laten zien. Het was wel opvallend dat de aantasting door *M. incognita* in elke volgende biotoets geringer werd. Dit kan te maken hebben met verschillen in temperatuur en bodemvochtigheid. Ook de aanwezigheid van antagonisten in de kasgrond en een toename daarvan in de tijd mag zeker niet worden uitgesloten. Maar gelet op het feit dat ook in Finnpeat de aantasting met elke biotoets geringer werd, wordt het aanvoeren van antagonisten als reden erg twijfelachtig. Ook verschillen in vitaliteit van de aaltjes op het moment van inoculeren in de vier biotoetsen kan een rol hebben gespeeld. Ondanks de gaandeweg geringer wordende aantastingen, hebben de organische meststoffen geen bijdrage geleverd aan een verhoging van de ziekteverendheid van de bodem tegen *M. incognita*.

Op basis van dit onderzoek kan gesteld worden dat de onderzochte organische meststoffen weinig of geen perspectief bieden op ziekteverendheid tegen *Phytophthora* en *Meloidogyne*. Hierbij moet echter wel worden opgemerkt dat de biotoetsen slechts de situatie weergeven van de ziekteverendheid op het moment van monsternamen en dus niet van het hele traject vanaf toedienen van de organische meststoffen. Het kan dus zijn dat de rol van bepaalde afbraakproducten reeds is uitgespeeld op het moment dat de grondmonsters werden genomen. Dit euvel kan worden voorkomen door de proef uit te voeren in een kas met wortelknobbelaaltjes en de populatieontwikkeling van dit aaltje te volgen door de grond frequent te onderzoeken op aantallen aaltjes.

### **Microbiologische samenstelling**

Hoewel de toegevoegde organische stof geen significant effect had op de ziekteverendheid, zijn er wel duidelijke effecten op de microflora:

1. verhoging van de bodemademhaling,
2. verschuiving van de microbiële samenstelling,
3. toename in diversiteit van dominante soorten.

De drie behandelingen waar de organische meststof als voorraadbemesting was toegediend, vertonen alledrie een sterke verhoging van de bodemademhaling. Deze verhoging was van tijdelijke aard en was zeer significant 1 week na toediening en na 2 maanden niet meer meetbaar.

De meststoffen veroorzaakten een duidelijke verschuiving in microbiologische samenstelling. Dit was het beste af te lezen aan de DGGE profielen van de schimmel- en de *Pseudomonas*-populaties, terwijl de totale bacteriepopulatie en *Bacillus*-populatie weinig veranderden. De multivariate analyse toonde aan dat de schimmelpopulatie significant beïnvloed werd door bodemademhaling, voorraadbemesting en C/N-quotiënt van de mest.

Het is bekend dat schimmels het beste in staat zijn om organische materialen met een hoog C/N-quotiënt af te breken.

De beïnvloeding van *Pseudomonas*-populatie is interessant, omdat dit bacteriegeslacht veel antagonisten bevat (Garbeva *et al.*, 2004). Ondanks de geringe verschillen in ziektevering van *Phytophthora* als gevolg van de meststoffen, was er toch een significante relatie met de *Pseudomonas*-populatie. Dit biedt perspectieven voor verder onderzoek naar relaties tussen ziektevering en de microflora.



## 6. Integratie en evaluatie

### 6.1 Inleiding

#### N-stromen in de kas

Een belangrijk onderzoeksdoel in dit project was de toepassing van alternatieve N-bronnen om aan de gewasvraag van een testgewas naar N te voldoen. Om het lot van de gegeven N te traceren, zijn de meest relevante N-stromen in het kassysteem gemeten danwel berekend.

Tussen de diverse geteste meststoffen blijken verschillen te bestaan in N-levering, hetgeen resulteerde in verschillen in groei en nutriëntensamenstelling in het gewas. Zo resulteert een gift van 420 kg N middels schrale compost in een groeireductie bij chrysant, en een gift van 660 kg N champost (herkomst Horst) in een lichte groeireductie en een duidelijke N-limitering bij paprika.

Deze N-limitering kan het gevolg zijn van met name (1) gebrekkige mineralisatie van de meststof, of (2) N-verliezen die optreden alvorens het gewas de N gaat onttrekken. Dit onderzoek wil deze vragen beantwoorden om met die kennis een verbeterd bemestingsadvies te kunnen genereren.

Hieronder zullen de bestaande metingen en modelresultaten hopelijk deze antwoorden verschaffen. De betreffende cijfers worden ontleend aan voorgaande hoofdstukken en aan het vorige rapport (Marcelis *et al.*, 2003).

Hieronder volgt een kwantificering van de N-stromen, uitgesplitst in:

- Aanvoer: meststof, N-fixatie
- Afvoer: geoogste gewasdelen, uitspoeling, run-off, vervluchtiging (denitrificatie)
- Voorraad: minerale N, levende biomassa, bodemorganische stof

N-fixatie en run-off zijn te verwaarlozen in de betreffende kas. De balans van aan- en afvoerstromen van N zijn voor het merendeel van de mestbehandelingen gekwantificeerd. Hieronder volgt eerst een rapportage van de gesimuleerde N-stromen (§6.2.1 en §6.2.2). Hierna worden de meetresultaten gebruikt voor het 'finale' plaatje van de N-balans, waarvoor nog enkele berekeningen nodig zijn (§6.2.3).

#### Beheer van bodemorganische stof en mogelijke ziekteverendheid

Naast levering van stikstof en overige nutriënten, is bodemorganische stof ook van belang voor het instand houden van een gunstig fysisch-chemisch en biotisch milieu rond de plantenwortels. Een te laag organisch stofgehalte is o.a. ongunstig voor het watervasthoudend vermogen, de adsorptiecapaciteit van nutriënten, de structuur en het leven in de bodem. Om deze reden zou organisch stofbeheer zich moeten richten op het realiseren en behouden van een voldoende hoog niveau van bodemorganische stof. Mineralisatiemodellen kunnen behulpzaam zijn bij het opstellen van een bemestingsstrategie die dergelijke doelen kan bereiken. Hiervoor zijn enkele scenario's doorgerekend (§6.2.4).

Het aanvoeren van grote hoeveelheden organische stof kunnen gunstig zijn voor de ziekteverendheid vanuit de bodem. Mits hiervoor bepaalde richtgetallen gegeven worden, kunnen m.b.v. modellen hier ook scenario's voor doorgerekend worden (§6.2.4).

### 6.2 De jaarbalans van stikstof

#### 6.2.1 Stikstofbalans modelsimulatie chrysantenproef

In Tabel 6.1 zijn de gesimuleerde stikstofbalansen voor de standaardbehandelingen (Standaard) van chrysant en voor de berekeningen met de aangepaste afbraaksnelheden voor LOM en SOM (Aangepast) weergegeven. De balansen geven de totalen weer over alle teelten.

Uit Tabel 6.1 blijkt dat bij de standaardbehandelingen de opname en bij benadering de uitspoeling overal gelijk is. Wel is er bij de standaardbehandelingen een groot verschil tussen de denitrificatie en de verandering van de voorraad N<sub>min</sub> in de bodem (IN-OUT).

Tabel 6.1. De berekende stikstofbalansen voor de standaardbehandelingen (Standaard) van chrysant en de stikstofbalansen voor de berekeningen met de aangepaste afbraaksnelheden voor LOM en SOM (Aangepast). De balansen geven de totalen weer over alle teelten. De waarden staan in kg N ha<sup>-1</sup>. De bemestingsbehandelingen zijn bloedmeel (BL), compost (CO), luzerne (LU) en maltaflor (MA).

	Standaard				Aangepast			
	BL	CO	LU	MA	BL	CO	LU	MA
Anorg deel mest	37	55	48	87	37	55	48	87
Mineralisatie	807	489	709	731	583	264	477	504
<b>Som IN</b>	<b>844</b>	<b>545</b>	<b>757</b>	<b>818</b>	<b>619</b>	<b>319</b>	<b>524</b>	<b>590</b>
Opname	513	513	513	513	513	369	493	513
Denitrificatie	96	44	139	96	61	19	97	60
Uitspoeling	5	6	5	5	5	5	5	5
<b>Som UIT</b>	<b>614</b>	<b>563</b>	<b>657</b>	<b>613</b>	<b>579</b>	<b>394</b>	<b>595</b>	<b>577</b>
<b>IN – UIT</b>	<b>229</b>	<b>-19</b>	<b>100</b>	<b>204</b>	<b>40</b>	<b>-74</b>	<b>-70</b>	<b>14</b>

Bij de aangepaste waarden voor LOM en SOM is de mineralisatie een stuk lager (gemiddeld 227 kg N/ha). Hierdoor is er bij compost en luzerne onvoldoende N<sub>min</sub> beschikbaar voor opname. Bovendien neemt de voorraad N<sub>min</sub> in de bodem bij deze behandelingen flink af. De uitspoeling verandert nauwelijks ten opzichte van de standaardbehandelingen. De denitrificatie is wel duidelijk lager, de relatieve verschillen in denitrificatie tussen de bemestingsbehandelingen blijven gehandhaafd.

De resultaten uit Tabel 6.1 zijn niet direct te vergelijken met de meetresultaten uit Tabel 4.4 van Marcelis *et al.* (2003). Met name de in-posten zijn iets anders gedefinieerd. De uit-posten zijn wel te vergelijken met elkaar. Het niveau van de gesimuleerde en de op basis van het fertigatiemodel (Marcelis *et al.*, 2003) geschatte uitspoeling is vergelijkbaar behalve voor de luzerne-behandeling. De berekende opname is bij de standaardbehandelingen duidelijk hoger dan de gemeten opname. De gemeten en berekende denitrificatie verschillen ook, het algemene patroon is wel vergelijkbaar. Luzerne levert de meeste denitrificatie, compost de minste. Bloedmeel en maltaflor leveren een vergelijkbare denitrificatie op.

De aangepaste simulaties leveren dus voor alle behandelingen een goede schatting op van de N-opname (minder dan 10% verschil met meting). T.a.v. de verliezen geven de aangepaste simulaties een minder juiste en ruwe schatting (minder dan 25% verschil met meting), waarbij luzerne nog slechter scoort. Alleen het gesimuleerde nitraatverlies wordt in de volgende sectie gebruikt voor het uiteindelijke N-budget.

## 6.2.2 Stikstofbalans modelsimulatie paprikaproef

In Tabel 6.2 zijn de stikstofbalansen, zoals gesimuleerd met het bodem/gewas-model, voor de standaardbehandelingen van paprika weergegeven. De balansen geven de totalen weer over de hele teelt.

Tabel 6.2. De berekende stikstofbalansen voor de standaardbehandelingen van paprika. De balansen geven de totalen weer over de hele teelt. De waarden staan in kg N ha<sup>-1</sup>. De bemestingsbehandelingen zijn controle, champost Waardenburg en luzerne-voorraad.

	Controle	Champost Waardenburg	Luzerne-voorraad
Anorg deel mest	4	23	11
Mineralisatie	336	594	599
<b>Som IN</b>	<b>340</b>	<b>617</b>	<b>610</b>
Opname	479	500	500
Denitrificatie	79	133	155
Uitspoeling	11	11	11
<b>Som UIT</b>	<b>568</b>	<b>644</b>	<b>666</b>
<b>IN – UIT</b>	<b>-228</b>	<b>-27</b>	<b>-56</b>

Uit Tabel 6.2 blijkt dat bij alle drie de behandelingen de voorraad N<sub>min</sub> in de bodem afneemt omdat de som van de uitgaande balansposten groter is dan de som van de ingaande posten. Uit de gegeven champost en luzerne komt volgens de modelberekeningen respectievelijk 258 en 263 kg N ha<sup>-1</sup> vrij door mineralisatie. Bij beide behandelingen is de gesimuleerde groei niet gereduceerd door N-gebrek: alle gevraagde N wordt opgenomen (i.e. 500 kg).

Ondanks de geringe bemesting is bij de simulatie van de controle-behandeling de N-opname slechts iets lager (-21 kg N ha<sup>-1</sup>) dan bij luzerne en champost Waardenburg. De hoge N-beschikbaarheid komt voort uit de voorraad N<sub>min</sub> aan het begin van de teelt (ca. 50 kg) en de grote hoeveelheid N<sub>min</sub>, die volgens de simulatie is vrijgekomen bij de mineralisatie van bodemorganische stof. Dit leidt volgens de simulatie tot een grote uitputting van de bodem-voorraad aan N (-228 kg).

De uitspoeling wordt niet beïnvloed door de bemestingsbehandeling, de berekende hoeveelheid denitrificatie wel.

Vergelijking van de berekende opname met de totale afvoer van Tabel 2.7 laat zien dat de berekende opname veel hoger is dan de meetwaarden. Oftewel de N-vraag van het gewas en in ieder geval de voor opname beschikbare hoeveelheid N<sub>min</sub> zijn te hoog bij de modelberekeningen. De beschikbare hoeveelheid N<sub>min</sub> kan om een aantal redenen te hoog zijn, namelijk (1) de voorraad N<sub>min</sub> in de bodem is te groot, (2) de mineralisatie uit bodemorganische stof en/of organische mest is te groot, (3) de verliezen door uitspoeling en denitrificatie zijn te laag.

Helaas zijn er geen directe metingen waaruit afgeleid kan worden dat de berekende verliezen te laag zijn.

De initiële voorraad N<sub>min</sub> in de bodem is voor een deel gebaseerd op metingen en voor een deel op schattingen. Nu is het heel goed mogelijk dat de geschatte waarden te hoog zijn. Echter de schattingen hebben vooral betrekking op diepere lagen. Lagen waar, zeker in het begin van de berekeningen, de opname van N minimaal zal zijn. Het lijkt dus niet aannemelijk dat de voorraad N<sub>min</sub> in de bodem aan het begin van de modelberekeningen de grote oorzaak is van de te hoge N-opname. Het speelt echter wel mee.

Via diverse aanpassingen van de invoer is geprobeerd om de N-opname door de paprika te reduceren. Gebruik van een non-zero sink opname term resulteerde in slechts 4 kg N/ha minder opname bij de controleberekening. De overige balansposten werden nauwelijks beïnvloed. Inbouwen van een sterkere reactie van de N-opname en de groei van paprika op (tijdelijke) N<sub>min</sub>-tekorten leidde niet tot een lagere N-opname. Daarnaast is een reductiefactor op de beschikbare N voor een bepaalde periode vanaf de start van de teelt ingebouwd om daarmee het geringere bewortelde volume aan het begin van de teelt te simuleren (zie 'Afbakening en aannamen'). Deze reductiefunctie leidde nauwelijks tot een afname van de opname.

Gebruik van aangepaste waarden voor de afbraaksnelheid van LOM en SOM (respectievelijk  $1E-4 d^{-1}$  en  $5E-6 d^{-1}$ ) leidde bij een modelberekening voor de controle tot 200 kg N/ha minder mineralisatie (uit de bodemorganische stof). De N-opname door paprika daalde met 110 kg N/ha, de denitrificatie met 11 en de uitspoeling met 1 kg N/ha.

In hoofdstuk 4 (§4.3.3) was al aangegeven dat het effect van de niet helemaal correcte berekende bodemtemperaturen leidde tot een hoge mineralisatie (17 kg N/ha) en opname (6 kg N/ha).

De voor afbraaksnelheid aangepaste simulaties leveren dus voor alle 3 berekende behandelingen een goede schatting op van de N-opname (minder dan 10% verschil met meting). Op basis van deze aanpassing zijn de berekende verliezen ook minder. Deze gesimuleerde verliezen zijn gebruikt voor het uiteindelijke N-budget (Tabel 6.3).

Enkele conclusies ten aanzien van de gesimuleerde N-stromen:

- Bij de modelberekeningen voor chrysant en paprika worden over het algemeen een hoge mineralisatie en een hoge N-opname voorspeld.
- De berekende N-opname kan bij bijna alle standaard-berekeningen worden gerealiseerd.
- Berekeningen met aangepaste (verlaagde) mineralisatiesnelheden resulteren in een redelijke schatting van de N-opname en de N-verliezen (voor zover te vergelijken met metingen)
- Gesimuleerde N-verliezen met aangepast model zijn goed bruikbaar bij schatting van het jaarlijkse N-budget van het bodem/gewas-systeem, met inachtneming van een zekere foutenmarge
- De gemeten N-gehalten in het gewas zijn mogelijk onderschat, en dus de N-opname. Verlies van N tijdens het gewasdrogen, alvorens te analyseren, is namelijk niet geheel uit te sluiten (pers.comm. W. Voogt). Dit kan voor een klein deel verklaren waarom de oorspronkelijke parameterwaarden m.b.t. mineralisatie tot te hoge Nmin-gehalten in de bodem leidden.

### 6.2.3 N-werking van de organische meststof

In Tabel 6.3 zijn de metingen en simulaties (voorzover het proces niet te meten was) de voorgaande teksten en uit Marcelis *et al.* (2003) verwerkt. De behandelingen waarvoor geen denitrificatieberekeningen voorhanden waren zijn niet vermeld. Tabel 6.3 geeft een inschatting van het lot van de toegediende meststof-N.

Bij de chrysantenproef is een netto gewasopname vanuit stalmest en grond van 300 kg berekend op basis van MOTOR-berekeningen met als aanname optimale vochtcondities (zie Marcelis *et al.*, 2003). N-opname in een mest-behandeling boven de 300 kg is aldus te danken aan de N-levering door de aanvullende meststof. In Tabel 6.3 laat compost slechts een lichte toename aan N-opname zien t.o.v. 300 kg, en is op basis van de balans te berekenen dat maar ca. 17% van de N uit compost geleverd wordt aan uitgaande N-fluxen. Bij de andere 3 meststoffen bij chrysant is dat ca. 45%, hetgeen lijkt op de eerdere schatting van 50% aan beschikbare N (Marcelis *et al.*, 2003), maar nu is nitraatuitspoeling en denitrificatie daadwerkelijk gesimuleerd.

Bij paprika kan de netto opname uit stalmest en grond benaderd worden via de metingen: het is hierbij de afvoer van N met het gewas in de controlebehandeling. Deze behandeling geeft aan dat er 113 kg N is onttrokken aan de organische N van stalmest en bodem. Het is niet relevant te weten hoeveel stalmest in de proef gemineraliseerd is: het netto effect van stalmest- en bodemmineralisatie op de bodemN voorraad is dus negatief. Het verschil in balansrest tussen controle en mestbehandeling geeft een inschatting van de hoeveelheid mest die niet gemineraliseerd is. De berekende balansrest van 438 kg N bij champost (Tabel 6.3) betekent dus dat  $438/659 = 66\%$  van de mestN niet afgebroken is. De fractie afgebroken materiaal (33%) is in dezelfde orde van grootte als de afbraak in het lab (25%) die weliswaar maar voor 85 dagen geldt en onder optimale vochtcondities (zie hoofdstuk 3). De berekende N-mineralisatie bij luzerne voorraad bedraagt 51% ( $1 - 322/659$ ).

Tabel 6.3 *N-balans (kg ha<sup>-1</sup> periode<sup>-1</sup>) in de kas door aanvoer met meststof en afvoer door uitspoeling en denitrificatie, opname door chrysan danwel paprika, berging in bodemNmin, alsmede balansrest (in – uit). Benutte en onbenutte deel van N uit meststof is indirect berekend door vergelijking met de behandeling met alleen grond en stalmest (gemeten bij paprika, gesimuleerd voor chrysan).*

	Chrysan - Bloedmeel	Chrysan – Compost	Chrysan - Luzerne	Chrysan - Maltaflor	Paprika – controle	Paprika - ChampostW	Paprika – Luzerne
<i>MeststofN In</i>	600	600	600	600	170	829	829
<i>N Uit:</i>							
Uitspoeling (sim)*	5	5	5	5	11	11	11
Denitrificatie (sim)	84 <sup>#</sup>	22 <sup>#</sup>	161 <sup>#</sup>	82 <sup>#</sup>	79	133	155
Opname (meting)	468	387	467	476	231	388	453
BodemNm (meting)	1	-16	-13	11	-38	-28	-1
<i>Som Uit (ber.)</i>	558	398	620	574	283	504	619
<i>In – Uit (ber.)</i>	42	208	-20	26	-113	325	210
N-meststof benut, (kg en % van gift)	234 kg (54%)	74 (17%)	296 (69%)	250 (58%)		221 (33%)	335 (51%)
N-meststof onbenut	196	356	134	180	0	438	322

\* *sim, volgens simulatiemodel; # berekend uit gemeten bodemcondities; ber., berekend uit bovenstaande cijfers.*

Het N-overschot bij de meeste behandelingen laat zien dat een aanzienlijk deel van de meststof 'onbenut' is, en de bodem heeft verrijkt met een voorraad organische N, of is opgeslagen in levende microbiële biomassa. Deze N kan na omzetting ten goede komen aan volgende teelten. Een negatief balanstotaal is gevonden voor luzerne-chrysan door de hoge schattingen van de denitrificatie en voor controle-paprika vanwege de (uiteraard) te lage mestgift.

## 6.2.4 Scenarioberekeningen beheer van bodemorganische stof en ziekteverendheid

Het hier gebruikte bodem/plant-model kan ook voor simulatie van een toekomstige bemestingsstrategie gebruikt worden. Als we de betreffende paprikateelt als uitgangspunt nemen, kan het hiervoor aangepaste model het effect van een strategie op bodem en gewas berekenen. Als voorbeeld nemen we hier de ontwikkeling van het organische stofgehalte in de bodem. De bemesting met organische meststoffen zal de bodemvoorraad aan organische stof wijzigen. Om een inschatting te maken van de balans tussen gift, bestaande bodemorganische stof en mineralisatie van alle organische stoffen zijn modelsimulaties hulpzaam.

Twee behandelingen van de paprikaproef, i.e. stalmest/monterra en stalmest/luzerne, zijn doorgerekend voor een periode van 10 jaar om de lange termijn gevolgen van deze bemestingsstrategie op de OS-bodemvoorraad te voorspellen. Hiervoor is aangenomen dat de bodemtemperatuur constant 20 graden is, de vochtvoorziening t.b.v. mineralisatie optimaal is en de giften elk jaar 170 kg stalmest-N en 780 kg N uit luzerne danwel Monterra zijn. Tevens is alleen tot een diepte van 60 cm gerekend. De resultaten voor beide scenario's staan in Tabel 6.4.

Uit de aanvoerposten is te zien dat luzerne veel meer C aanvoert in de bodem dan monterra. Dit heeft tot gevolg dat de totale bodemvoorraad-C (LOM + SOM) na 10 jaar 2x zo sterk daalt bij monterra dan bij luzerne. Ook bij luzerne daalt dus de hoeveelheid organische stof (met name de labiele fractie LOM), dus zijn extra giften met organische stof nodig om de bodemvoorraad organische stof op peil te houden.

Tabel 6.4. Gesimuleerde aanvoer en aanrijking van C en N volgens twee scenario's organische stof toediening (in kg ha<sup>-1</sup>). SOM, stabiele bodemorganische stof; LOM, labiele bodemorganische stof.

0-60 cm	Meststof	Stalmest & Luzerne		Stalmest & Monterra	
		C	N	C	N
Aanvoer/jaar	Stalmest	2346	170	2346	170
	Overige mest	7800	780	2886	780
	Som	10146	950	5232	950
Verschil na 10 jaar	SOM	+2168	+87	-936	-37
	LOM	-8850	-412	-11607	-540
	Totaal C SOM+LOM	-6682	-325	-12543	-577

Vrij grote giften organische stof kunnen resulteren in een significante ziektevering (Hoitink & Fahy, 1986; Postma *et al.*, 2003; Blok *et al.*, 2002). Dit lijkt bevestigd te worden door onze proeven met champost Horst, waar vrij veel C werd toegediend en een licht significante ziektevering optrad (hoofdstuk 5). Dus los van mogelijke chemische eigenschappen van de betreffende organische stof, zou een grote hoeveelheid van bijvoorbeeld compost reeds ziekteverend kunnen zijn. Eerder onderzoek (Postma *et al.*, 2003) gaf aan dat een OS-gift van  $\geq 20\%$  van bodemvoorraad-OS significant helpt als ziektevering, hetgeen logistiek bijna onmogelijk is in de kas en alleen reëel lijkt in containerteelten. Indien de totale gift in jaarlijkse porties gedurende 3 jaar gegeven kan worden, ontstaat echter een haalbaar scenario, met giften die vergelijkbaar zijn met die van bedrijf Verbeek te Velden. Met een mineralisatiemodel is het effect van dit scenario op de organische stofvoorraad in de bodem te berekenen (data niet gepresenteerd).

## 6.3 Evaluatie

### Kasproef

Uit de vergelijking tussen gerealiseerde watergift en berekende verdamping blijkt dat er over het geheel van de onderzoeksperiode sprake is van evenwicht tussen vraag en aanbod. Neerwaarts transport van betekenis van water en stoffen is er dus niet geweest. Door de berekeningswijze (op dagbasis) kunnen mogelijk momenten gemist zijn waar wel een relevante N-hoeveelheid verdwijnt. Op grond van de balansberekeningen in paragraaf 6.3 zou wellicht extra uitspoelingsverlies bij de snel afbreekbare meststoffen verwacht kunnen worden. De irrigatiehoeveelheid was goed afgestemd op de vraag, dus reductie van de uitspoeling van N zal in dit systeem meer gezocht moeten worden in vermindering van de N<sub>min</sub>-gehalten in de bodem.

Door ziektevering en een vrij donkere kas was de groei van paprika minder dan verwacht. De totaalproductie viel lager uit dan de schatting vooraf (paragraaf 2.3.2). De uiteindelijke nutriëntenopname bedroeg maximaal 469 kg N, 67 kg P en 739 kg K per hectare gedurende de totale proefperiode van 334 dagen.

### Modellering N-stromen

De aanvoer van N<sub>min</sub> in het bodemcompartiment via mineralisatie is kwantitatief van groot belang voor de N-dynamiek. De mineralisatie, i.e. de levering van N door microbiologische afbraak van organische stof, blijkt slecht voorspelbaar. Enerzijds laat ons onderzoek een overschatting zien indien de lab-incubaties als maatstaf voor mineralisatie in de kasgrond worden gebruikt, hetgeen blijkt uit de te hoge N<sub>min</sub>-concentraties in de simulatie vergeleken met de metingen. Anderzijds laten de labincubaties consequent een lagere N-levering zien dan op grond van de gemeten C-afbraak en C/N-ratio van de stof verwacht wordt, zodat mogelijk N reeds in de incubatie vervluchtigd is of in organische N is vastgelegd.

Continue vergelijken van simulaties met veldwaarnemingen blijft noodzakelijk om uitspraken te doen over de N-dynamiek van het betreffende bodem/gewas-systeem.

## Verlies van toegediende organische N

Al in het voorgaande rapport (Marcelis *et al.*, 2003) is gebleken dat bij een grote, eenmalige gift van een snel afbreekbare meststof grote verliezen door denitrificatie kunnen optreden. Als de giften in kleinere doses over het jaar gegeven worden, lijkt het verlies door denitrificatie relatief minder, zoals was te zien bij bloedmeele en maltaflor. In de paprikaproef is bijbemesting experimenteel met voorraadbemesting vergeleken. Het verschil in N-verlies tussen bijbemesting en voorraadbemesting is niet direct meetbaar, maar een hogere opname duidt op minder verlies. Dit opnameverschil is bij de paprikaproef niet gevonden tussen bijbemesting en voorraadbemesting. De duidelijk hogere gemeten nitraatgehalten in de bodem bij voorraad- t.o.v. bijbemesting verhogen het risico op uitspoeling en denitrificatie. Deze mogelijk grotere N-verliezen zouden in theorie gesimuleerd kunnen worden. Deze simulatie was echter niet mogelijk aangezien de bijbemeste luzerne veelal aan het bodemoppervlak bleef liggen en slecht mineraliseerde (hoofdstuk 2), hetgeen een moeilijk te modelleren afbraakproces is.

Voor beperking van de N-verliezen uit het systeem blijft het van groot belang om zowel de plantvraag als de N-levering uit bodem en meststof vooraf goed in te schatten.

## Alternatieven voor dierlijke mest

De bij de paprikaproef geteste meststoffen bleken allen goed bruikbaar als alternatieve N-bron voor dierlijke mest. Alleen bij champost Horst, en in mindere mate champost Waardenburg, was er sprake van te weinig beschikbaar N in de tijd. Luzerne leverde in deze proef weinig N per gewichtseenheid, i.t.t. de proef bij chrysant in 2002.

De opname-efficiëntie lijkt niet verbeterd te zijn door luzerne frequent bij te mesten in plaats van een éénmalige voorraadbemesting.

Met het aanwenden van alternatieve meststoffen gaat een extra hoeveelheid arbeid gepaard. Met name het frequent bovengronds toedienen en vervolgens inwerken van de meststof is tijdrovend. Dit moet bij advisering aan tuinders meegenomen worden.

## Ziektewerendheid van organische meststoffen

Uit het meetjaar 2002 kwam luzerne (en in mindere mate maltaflor) als de meest veelbelovende meststof naar voren ten aanzien van ziektevering tegen de bodemschimmel *Phytophthora nicotianae*. In het jaar 2003 is in de biotoetsen geen significante ziektevering gevonden bij luzerne. Ook de meeste nieuw gebruikte meststoffen vertoonden geen significanties, dit geldt zowel voor wering tegen *Phytophthora* als tegen *Meloidogyne*.

Uitzondering hierop vormt champost met herkomst Horst. Deze champost gaf bij de biotoetsen en de microbiologische metingen de meest uitgesproken veranderingen: iets meer gezonde planten in de *Phytophthora* biotoets, iets geringere maar niet significante WKI (wortelknobbelaaltjes index), sterkste verhoging van de bodemademhaling, en significante verhoging van diversiteit van dominante bacteriën en schimmels.

Er is bij champost Horst echter een significant lagere gewasopbrengst door een duidelijk optredend N-tekort. Het vermoeden bestaat dat deze meststof een zodanig verhoogde microbiële activiteit veroorzaakt dat, in de competitie om nutriënten, dit ten koste ging van beschikbare nutriënten voor het gewas. De positieve invloeden van de vrij grote hoeveelheden organische stof, gegeven met champost Horst, lijken enigszins op resultaten uit eerder onderzoek met grote hoeveelheden compost: combinatie van een grote gift compost (OS-gift van  $\geq 20\%$  van bodemvoorraad-OS, alleen reëel in containerteelten) en een hoger gehalte aan bodemorganische stof resulteerde in significante ziektevering (Hoitink & Fahy, 1986; Postma *et al.*, 2003; Blok *et al.*, 2002).

Een verhoogde bodemademhaling correleerde met een iets toegenomen ziektevering tegen *Phytophthora* (meer gezonde planten) en *Meloidogyne* (een lichte maar niet significante afname van aantal nematoden). Dit resultaat geldt voor deze grond en deze meststoffen. Voor uitspraken m.b.t. grond bij een specifieke tuinder zal dit opnieuw getoetst moeten worden.





## 7. Referenties

- Assinck, F.B.T., P. de Willigen, P.H.B. de Visser, A. Elings & M. Heinen, 2002.  
Effect van (an)organische mest op de nutriëntenopname door chrysant (intern rapport Alterra).
- Assinck, F.B.T. & C. Rappoldt, 2004.  
MOTOR 2.0: Module for transformation of organic matter and nutrients in soil. Alterra rapport 933, 47 pp.
- Blok, W.J., G.C.M. Coenen, A.S. Pijl & A.J. Termorshuizen, 2002.  
Disease suppression and microbial communities of potting mixes amended with biowaste compost.  
Proceedings of the International Symposium on Composting and compost utilization, Univ. Ohio, Columbus.
- Bokhorst, J. & C. ter Berg, 2001.  
Handboek Mest en Compost; behandelen, beoordelen en toepassen. Louis Bolk Instituut, LD 8, 292 p.
- Elsas, J.D. van, P. Garbeva & J. Salles, 2002.  
Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil-borne plant pathogens. *Biodegradation* 13: 29-40.
- Elsas, J.D. van & J. Postma.  
Suppression of soil-borne phytopathogens by compost. In: M. De Bertoldi, *Handbook of Compost Sciences and Technology*, Elsevier Sciences Ltd. (in press).
- Garbeva, P., J.A. van Veen & J.D. van Elsas, 2003.  
Assessment of the diversity and antagonism against *Rhizoctonia solani* AG3 of *Pseudomonas* species in soil from different agricultural regimes. *FEMS Microbial Ecology* (in press).
- Garbeva, P., J.A. van Veen & J.D. van Elsas, 2004.  
Assessment of the diversity, and antagonism towards *Rhizoctonia solani* AG3, of *Pseudomonas* species in soil from different agricultural regimes. *FEMS Microbiology Ecology* 47:51-64.
- Gijzen, H., 1994.  
Ontwikkeling van een simulatiemodel voor transpiratie en wateropname en van een integraal gewasmodel.  
AB-rapport 18, Plant Research International, Wageningen, 89 p. + bijlagen.
- Heinen, M., 2003.  
A simple denitrification model? Literature review, sensitivity analysis, and application. Alterra-rapport 690, Alterra, Wageningen, 131 p.
- Hoitink, H.A.J. & P.C. Fahy, 1986.  
Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24: 93-114.
- Jongschaap, R.E.E., 1996.  
ROTASK 1.0 – A dynamic simulation model for continuous cropping and tillage systems.  
AB-rapport 70, Haren, NL.
- Marcelis, L.F.M., W. Voogt, P.H.B. Visser, J. Postma, M. Heinen, R. de Werd & G. Straatsma.  
Organische stofmanagement in biologische kasteelt. Chrysantenproef 2002. Rapport 70, Plant Research International, Wageningen, 50 p. + bijlagen.
- Marcelis, L.F.M., R. van den Boogaard & E. Meinen, 2000.  
Control of crop growth and nutrient supply by the combined use of crop models and plant sensors.  
Proceedings Int. Conf. Modelling and control in agriculture, horticulture and post-harvested processing.  
IFAC 351-356.
- Marcelis, L.F.M. & E. Heuvelink, 1999.  
Modelling fruit set, fruit growth and dry matter partitioning. *Acta Horticulturae* 22: 39-49.
- Postma, J., M. Montanari & P.H.J.F. van den Boogert, 2003.  
Microbial enrichment to enhance the disease suppressive activity of compost. *European Journal of Soil Biology* (in press).
- Postma J., M.J.E.I.M. Willemsen-de Klein & J.D. van Elsas, 2000.  
Effect of the indigenous microflora on the development of root and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rockwool. *Phytopathology* 90: 125-133.

- Robertz, M., T. Muckenheim, S. Eckl & L. Webb, 1999.  
Kostengünstige Labormethode zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung nach DIN 19737.  
Wasser & Boden 51: 48-53.
- Salles, J.F., J.D. van Elsas & J.A. van Veen, 2004.  
Multivariate analyses of Burkholderia species in soil: effect of crop and land use history. Applied and Environmental Microbiology ( in press).
- Sonneveld, C., 1997.  
Mineralenopname bij teelten onder glas. Intern verslag 81. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk.
- Tiedje, J.M., 1982.  
Denitrification, *in* Methods of Soil Analysis part 2, pp.1011-1026, ASA-SSSA, Madison, WI.
- Tuitert, G., M. Szczech & G.J. Bollen, 1998.  
Suppression of *Rhizoctonia solani* in potting mixtures amended with compost made from organic household waste. Phytopathology 88: 764-773.
- Voogt, W., J.A. Kipp, R. de Graaf & L. Spaans, 2000.  
A fertigation model for glasshouse crops grown in soil. Acta Hort, 537, ISHS 2000, 495-502.
- Whitmore, A.P., H. Klein Gunnewiek, G.J. Crocker, J. Klír, M. Körschens & P.R. Poulton, 1997.  
Modelling the turnover of carbon in soil using the Verberne/MOTOR model. Geoderma 81: 137-151.
- Widmer, T.L., N.A. Mitkowski & G.S. Abawi, 2002.  
Soil organic matter and management of plant-parasitic nematodes. Journal of Nematology 34 (4): 289-295.
- Willits, D.H., P.V. Nelson, M.M. Peet, M.A. Depa & J.S. Kuehny, 1992.  
Modelling nutrient uptake in Chrysanthemum as a function of growth rate. J. Americ. Soc. Hort. Sci. 117 (5): 769-774.

## Bijlage I.

### Gegevens over de gebruikte meststoffen

#### Chrysantenproef

Meststof	Herkomst	Type	% d.s.	% o.s.	Gehalte in droge stof			Gehalte in vers materiaal		
					N g/kg	K g/kg	P g/kg	N g/kg	K g/kg	P g/kg
Stalmest	V/d Valk	Verteerde rundermest	40,0%	55%	24,5	18,5	8,7	9,80	7,40	3,47
Compost	Elzinga	Groencompost	59%	17%	6,6	3,9	0,9	3,91	2,31	0,55
Fontana	Memon	Potassium	63%	60%	59,0	99,2	5,4	37,19	62,49	3,40
Lucernestro	Hartog		93%	86%	44,6	24,9	4,3	41,29	23,03	3,99
Maltaflor	Memon	Monterra malt	95%	82%	56,4	40,1	6,0	53,43	38,03	5,70
Bloedmeel	DCM		95%	84%	151,2	5,9	3,8	143,61	5,65	3,59
Monterra	Memon	Nitrogen plus	94%	98%	144,3	3,9	2,4	136,18	3,69	2,22

Meststof	Analyse mmol/kg										umol/kg			
	K	Na	Ca	Mg	P-tot	N-tot	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	C-tot %	C/N
Stalmest	473	60,4	352,2	402,5	280	1750	72,8	4,7	2,2	3	745	50	33,71	13,76
Compost	100	10	241,1	140,6	30	472	108,5	4,5	1,2	2,5	314	10	9,9	14,98
Fontana	2537	1258	111,6	50,7	174	4216	10	1,7	0,2	2	329	0	38,4	6,51
Lucernestro	636	40,4	464,5	90,9	139	3185	12,7	0,8	0,4	4,8	247	20	44	9,87
Maltaflor	1026	251	271,5	110,6	194	4026	13,1	1,5	1,7	0,5	357	10	39,7	7,04
Bloedmeel	152	152	182	51	122	10798	69,8	0,5	1	1,6	354	<10	56,4	3,73
Monterra	100	40	80	30	76	10304	4,1	0,3	1,6	0,5	273	< 10	52,7	3,65

## Paprikaproef

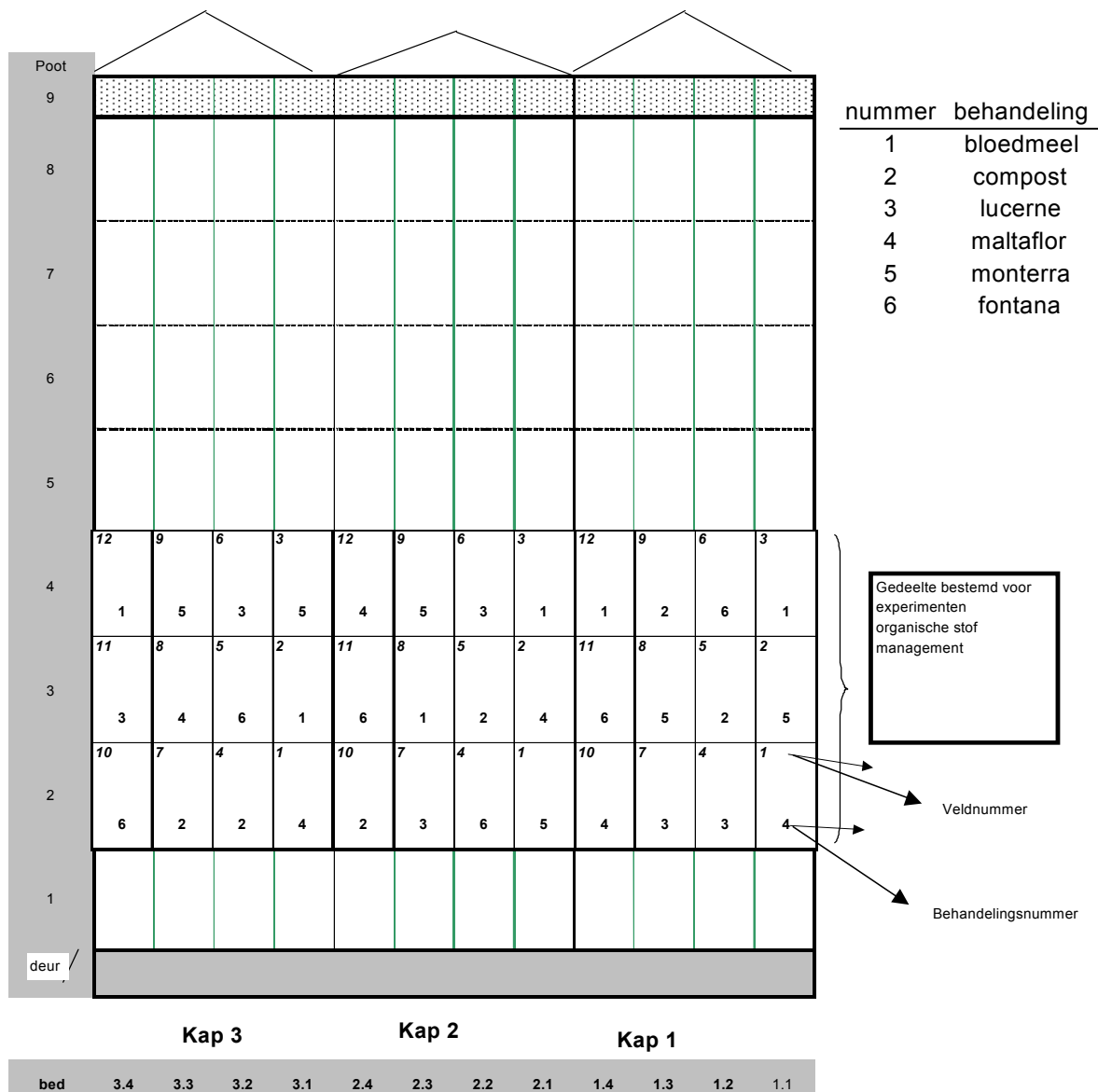
Meststof	% o.s.		gehalte in drogestof			gehalte in vers materiaal			umol/kg			
	% d.s.	% o.s.	N g/kg	K g/kg	P g/kg	N g/kg	K g/kg	P g/kg	C/N	C-tot %	Cu	Mo
Stalmest '03	44.2%	40%	27.5	18.1	9.8	12.1	8.0	4.3	11.8	32.5	734	60
Champost Horst	36.0%	39.1%	17.8	13.4	1.8	6.4	4.8	0.6	21.9	39.05	183	20
Champost Waardenburg	35.6%	31.8%	28.3	24.0	5.8	10.1	8.5	2.1	11.2	31.82	715	40
Luzernestro '03	90.6%	89.7	33.4	28.3	3.0	30.2	25.6	2.7	13.2	44.1	203	40
Monterra '03	95.3%	96.3	160.8	5.9	2.8	153.3	5.6	2.7	3.1	49.95	260	9
Wulpack	90.9%	70.7	76.3	17.3	1.6	69.4	15.7	1.4	4.7	35.6	381	9

analyse  
mmol/kg

Meststof	K	Na	Ca	Mg	P-tot	N-tot	Fe	Mn	Zn	B	Cl	S-tot
Stalmest '03	462	60.3	432	442	316	1963	97.3	5.8	2.8	3	130	130
Champost Horst	342	50.3	503	141	58	1272	18.5	1.1	0.6	2.4	80.5	228
Champost Waardenburg	614	70.5	1400	302	187	2023	29.9	5.6	2.5	2.6	90.5	640
Luzernestro '03	724	10.1	331.9	60.3	96	2384	6.7	0.5	0.4	3.4	297	59
Monterra '03	150	40	150	70	90	11489	5.4	0.6	1.9	0.4	71	331
Wulpack	442	642	311	201	50	5453	123.4	4.1	2.7	2.6	647	266

# Bijlage II.

## Plattegrond proefvakken chrysantenproef







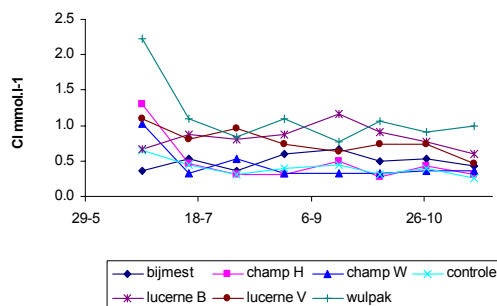
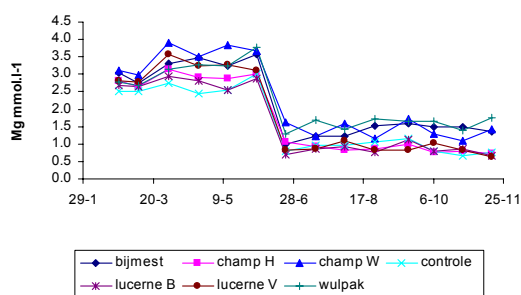
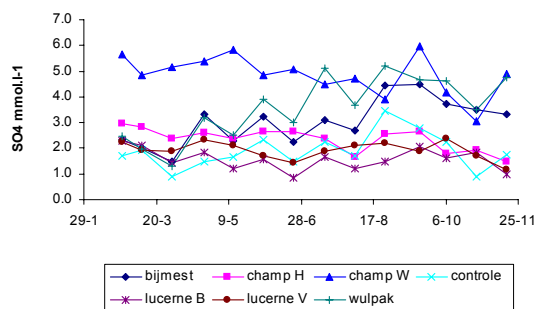
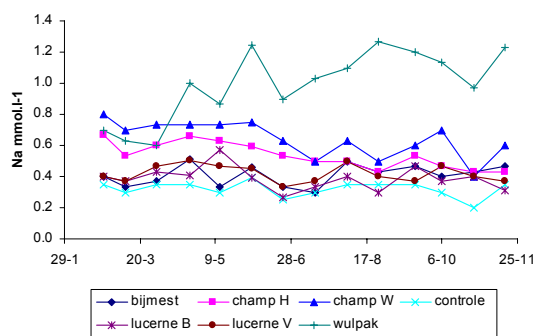




## Bijlage IV.

### Verloop van Na, Mg, SO<sub>4</sub> en Cl in bodem

Verloop bodemvochtsamenstelling in de paprikateelt bij alle behandelingen (triplo meting) in de laag 0-25 cm, in mmol l<sup>-1</sup> in het 1:2 CaCl<sub>2</sub> extract.





## Bijlage V.

### Analyses afval, vruchten en gewas paprika

Afval Gegevens	Behandelingen						
	bijmest	champ H	champ W	controle	luzerne B	luzerne V	wulpack
Drooggewicht g/m <sup>2</sup>	105.7	60.3	66.8	26.3	76.3	83.2	81.4
N mmol/kg	3751	3362	3636	3318	3596	3744	3743
P mmol/kg	216	215	215	199	207	216	205
K mmol/kg	1832	1779	1700	1695	1793	1789	1701
Na mmol/kg	8	9	16	9	10	8	22
Ca mmol/kg	566	592	613	527	615	594	585

Vruchten Gegevens	Behandelingen						
	bijmest	champ H	champ W	controle	luzerne B	luzerne V	wulpack
% Droge stof	8.4	8.2	8.6	8.4	8.4	8.3	8.5
N mmol/kg	1713	1678	1604	1350	1627	1743	1686
P mmol/kg	132	131	128	123	131	135	128
K mmol/kg	902	911	902	900	903	951	927
Na mmol/kg	9	10	9	9	9	10	9
Ca mmol/kg	31	30	26	26	29	28	26

Gewas Gegevens	Behandelingen						
	bijmest	champ H	champ W	controle	luzerne B	luzerne V	wulpack
% Droge stof	17.4	18.1	19.1	19.0	16.7	17.2	17.6
N mmol/kg	1564	1334	1140	976	1517	1507	1548
P mmol/kg	63	66	60	61	62	61	61
Na mmol/kg	7.2	8.0	6.5	5.8	7.2	7.3	9.4
K mmol/kg	1033	996	911	853	1060	1033	1027
Ca mmol/kg	732	717	678	685	768	731	804
Mg mmol/kg	235	202	203	167	233	227	247



## Bijlage VI.

### Mineralenbalansen paprikateelt

#### Mineralenbalans P (kg/ha)

Behandeling	Bijmest Monterra	Champ. H	Champ. W	Controle	Luzerne bijmest	Luzerne voorraad	Wulpack
<b>Aanvoer</b>							
Stalmest	61	61	61	61	61	61	61
Voorraad	3.6	67	135	0	11	59	3.1
Bijmest	7.9	0	0	0	48	0	10.2
<b>Totaal</b>	72.5	128	196	61	120	120	74.3
<b>Afvoer</b>							
Vruchten	47	41	47	33	49	48	46
Afval	7.3	4.2	4.3	1.7	5.0	5.7	5.3
Gewas	12.6	11.5	11.1	8.3	12.5	12.6	12.7
<b>Totaal</b>	66.9	56.7	62.4	43.0	66.5	66.3	64.0
<b>Vershil +/-</b>	<b>5.6</b>	<b>71.3</b>	<b>133.6</b>	<b>18</b>	<b>53.5</b>	<b>53.7</b>	<b>10.3</b>

#### Mineralenbalans K (kg/ha)

Behandeling	Bijmest Monterra	Champ. H	Champ. W	Controle	Luzerne bijmest	Luzerne voorraad	Wulpack
<b>Aanvoer</b>							
Stalmest	112	112	112	112	112	112	112
Voorraad	267	753	818	259	361	818	294
Bijmest	672	186	122	681	578	122	645
<b>Totaal</b>	1051	1051	1052	1052	1051	1052	1051
<b>Afvoer</b>							
Vruchten	394	350	401	294	410	416	411
Afval	76	42	44	17	54	58	54
Gewas	268	230	219	149	265	259	274
<b>Totaal</b>	738	622	664	460	729	733	739
<b>Vershil +/-</b>	<b>312</b>	<b>429</b>	<b>388</b>	<b>592</b>	<b>322</b>	<b>319</b>	<b>312</b>

*Mineralenbalans Na (kg/ha)*

Behandeling	Bijmest Monterra	Champ. H	Champ. W	Controle	Luzerne bijmest	Luzerne voorraad	Wulpack
<b>Aanvoer</b>							
Stalmest	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
Voorraad	1.2	42.7	37.7	0	0.9	4.6	29.9
Bijmest	2.6	0	0	0	3.7	0	97.4
<b>Totaal</b>	12.4	51.3	46.3	8.6	13.2	13.2	135.9
<b>Afvoer</b>							
Vruchten	2.3	2.2	2.4	1.7	2.4	2.6	2.3
Afval	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4
Gewas	1.0	0.9	0.8	0.5	0.9	1.0	1.4
<b>Totaal</b>	3.5	3.2	3.4	2.3	3.5	3.8	4.1
<b>Verschil +/-</b>	<b>8.9</b>	<b>48.1</b>	<b>42.9</b>	<b>6.3</b>	<b>9.7</b>	<b>9.4</b>	<b>131.8</b>

*Mineralenbalans S (kg/ha)*

Behandeling	Bijmest Monterra	Champ. H	Champ. W	Controle	Luzerne bijmest	Luzerne voorraad	Wulpack
<b>Aanvoer</b>							
Stalmest	26	26	26	26	26	26	26
Voorraad	222	479	686	208	215	246	226
Bijmest	557	149	98	547	128	98	483
<b>Totaal</b>	805	654	810	781	369	370	735
<b>Afvoer</b>							
Vruchten	-	-	-	-	-	-	-
Afval	-	-	-	-	-	-	-
Gewas	-	-	-	-	-	-	-
<b>Totaal</b>	-	-	-	-	-	-	-

*S in vruchten, afval en gewas niet bepaald*

*Mineralenbalans Cl (kg/ha)*

Behandeling	Bijmest Monterra	Champ. H	Champ. W	Controle	Luzerne bijmest	Luzerne voorraad	Wulpack
<b>Aanvoer</b>							
Stalmest	29	29	29	29	29	29	29
Voorraad	3.2	106	75	0	38	208	47
Bijmest	7.1	0	0	0	170	0	152
<b>Totaal</b>	39.2	135	104	29	237	237	228
<b>Afvoer</b>							
Vruchten	-	-	-	-	-	-	-
Afval	-	-	-	-	-	-	-
Gewas	-	-	-	-	-	-	-
<b>Totaal</b>	-	-	-	-	-	-	-

*S in vruchten, afval en gewas niet bepaald*

## Bijlage VII.

# Bodemprofiel en bodemfysische eigenschappen

### Bodemfysische eigenschappen

In de onderstaande tabel staan de geoptimaliseerde en in de modelberekeningen gebruikte parameters voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de diverse bodemlagen. De parameters  $\theta_r$  en  $\theta_s$  zijn respectievelijk het residuele volumetrische watergehalte en het volumetrische watergehalte bij verzadiging (-),  $K_s$  is de doorlatendheid bij verzadiging (cm/d). De  $\alpha_d$  en  $\alpha_w$  zijn vormparameters voor respectievelijk de uitdrogings- en vernattingscurve (cm<sup>-1</sup>). De parameters n en l zijn vormparameters (-). De waarden tussen haakjes zijn fitresultaten, dus vóór optimalisatie.

Naam	Bemonsterde Laag (cm-mv)	$\theta_r$ (-)	$\theta_s$ (-)	$\alpha_d$ (cm <sup>-1</sup> )	N (-)	$\alpha_w$ (cm <sup>-1</sup> )	L (-)	$K_s$ (cm/d)
LaagA	2 – 7	0.04185	0.48034 (0.55034)	0.06166	1.36666	0.1196	0.5	120.0 (110.0)
LaagB	15 – 20	0.04933	0.4985	0.03824	1.44702	0.07011	0.5	50.0
LaagC	50 – 55	0.03276	0.48725 (0.42725)	0.05977	1.35049	0.11396	0.5	50.0
LaagD	70 – 75	0.0	0.34462	0.01456	1.28465	0.01644	0.5	50.0

### Bodemprofiel

In de onderstaande tabel zijn de beschouwde bodemprofielen voor de berekeningen met Chrysant en paprika 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) en de gebruikte droge bulkdichtheid (g/cm<sup>3</sup>). Achter de waarde voor de droge bulkdichtheid staat tussen rechte haken het aantal rekenlaagjes waarvoor de waarde geldt. De waarden zijn afgeleid uit diverse meetresultaten met uitzondering van de waarden voor paprika voor de lagen dieper dan 35 cm-mv. Dit betreffen schattingen. Het gehele profiel is opgedeeld in rekenlaagjes van 5 cm.

Laagdiepte (cm-mv)	Bodemfysische eigenschappen gelijk aan	Droge bulk-dichtheid (g/cm <sup>3</sup> ) * [aantal laagjes]	
		Chrysant	Paprika
0 – 10	LaagA	1.18 [*2]	0.897 [*2]
10 – 40	LaagB	1.28 [*6]	0.897 [*1] 0.970 [*2] 1.034 [*2] 1.10 [*1]
40 – 65	LaagC	1.59 [*5]	1.30 [*5]
65 – 100	LaagD	1.68 [*7]	1.50 [*7]

### Organische stofgehalte

De gemeten organische stofgehalten verschillen tussen de Chrysant en paprika percelen. In de onderstaande tabel zijn de gemeten en gebruikte gehalten weergegeven per laag.

Laagdiepte (cm-mv)	Organische stofgehalte (%) chrysant-perceel	Laagdiepte (cm-mv)	Organische stofgehalte (%) paprika-perceel
0 – 10	4.4	0 – 25	7.0
10 – 40	2.6	25 – 40	2.8
40 – 65	1.9	40 – 65	1.9
65 – 90	0.9	65 – 90	0.9

### Grondwater

De kas is voorzien van een dubbeldrainagesysteem. Het eerste net bevindt zich op 80 cm, het tweede op 95 cm diepte. Beiden zijn aangesloten op een voor beide systemen gescheiden hoofddrainage. Beide systemen zijn aangesloten op een centrale afvoerput, met onderbemaling. Het bovenste net wordt uitsluitend gebruikt voor het stomen, waarbij afzuiging plaatsvindt door onderdruk te realiseren op de verzamelput. De grondwaterspiegel is zeer constant, fluctuaties beperken zich tot slechts enkele cm.



## Bijlage VIII.

# Productie *Phytophthora*-inoculum

### Productie *Inoculum*

- Ent 7-9 dagen voor het beënten van de aardemeelcultuur (AMC) de *Phytophthora nicotianae* (isolaat 9/99) op een schaal met PDA ( Potato Dextrose Agar) + antibiotica en plaats de schaal bij 24°C
- Bereidingswijze AMC
  - Ingrediënten AMC
    - o - gezeefde (4 mm zeef) Finnpeat
    - o gemalen haverhout (2% w/w)
    - o dolokal (8 g/l)
    - o PG-mix (0,8 g/l)
  - Alle ingrediënten mengen en kraanwater toevoegen tot het mengsel tot een bal is samen te drukken zonder dat er water uitloopt
  - Verdeel dit mengsel over 500 ml-Erlenmeyer kolven (300 ml AMC per kolf) en sluit de kolven af met een stevige wattenprop met daarover heen aluminiumfolie tegen het uitdrogen
  - De kolven worden 2x geautoclaveerd (20-30 minuten bij 121°C) op opeenvolgende dagen
  - Kolven inoculeren met *P. nicotianae*
- Voeg per kolf met afgekoelde AMC drie 1,5 cm<sup>2</sup>-stukjes uit de rand van de *P. nicotianae*kweek op PDA toe
- Incubeer de AMC-kolven 2-3 weken in het donker bij 24°C. Regelmatig controleren op onzuiverheden en een week voor gebruik de kolven goed schudden
- Voor het inoculeren van de grond in de biotoets de AMC uit de kolven halen, mengen en verkruiden



# Bijlage IX.

## Resultaten biotoetsen

### *Biotoets Phytophthora nicotianae - tomaat*

	Aantal gezonde planten -Phyt							Gemiddeld
	Onbehandeld	Champost H	Champost W	Luzerne V	Luzerne B	Bijmesten	Wulpak	
Biotoets 1	5,3	4,9	5,3	2,4	1,3	4,1	4,2	4,0
Biotoets 2	4,8	6,6	4,9	2,8	2,0	4,1	4,8	4,3
Biotoets 3	6,7	6,6	6,6	2,6	2,4	5,3	6,8	5,3
Biotoets 4	3,0	4,6	3,2	1,9	2,7	4,0	3,9	3,3
Gemiddeld	5,0	5,7	5,0	2,4	2,1	4,4	4,9	

	Aantal gezonde planten +Phyt							Gemiddeld
	Onbehandeld	Champost H	Champost W	Luzerne V	Luzerne B	Bijmesten	Wulpak	
Biotoets 1	0,8	2,0	1,7	1,8	0,8	1,1	0,7	1,3
Biotoets 2	1,7	1,4	1,9	1,1	0,1	2,0	2,0	1,5
Biotoets 3	2,2	2,7	2,0	1,2	1,2	2,3	2,3	2,0
Biotoets 4	1,7	2,6	2,0	1,1	1,1	2,4	3,1	2,0
Gemiddeld	1,6	2,2	1,9	1,3	0,8	2,0	2,0	

	% Gezond + Phyt t.o.v. -Phyt							Gemiddeld
	Onbehandeld	Champost H	Champost W	Luzerne V	Luzerne B	Bijmesten	Wulpak	
Biotoets 1	15,5	41,0	30,6	105,6	61,1	27,1	15,8	42,4
Biotoets 2	33,1	26,4	36,5	38,1	4,8	47,6	42,4	32,7
Biotoets 3	34,4	40,7	29,4	85,7	52,2	50,9	35,1	46,9
Biotoets 4	55,6	59,5	69,5	129,1	43,1	62,3	83,3	71,8
Gemiddeld	34,6	41,9	41,6	89,6	40,2	47,0	44,2	

**Biotoets Meloidogyne incognita - tomaat**

<b>Wortelknobbelindex (0-10) -Melo</b>								
	Onbehandeld	Champost H	Champost W	Luzerne V	Luzerne B	Bijmesten	Wulpak	Gemiddeld
Biotoets 1	0	0	0,25	0	0	0	0	0,04
Biotoets 2	0,5	0	0,25	0	0	0,25	0	0,14
Biotoets 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Biotoets 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Gemiddeld	0,13	0	0,13	0	0	0,06	0	

<b>Wortelknobbelindex (0-10) +Melo</b>								
	Onbehandeld	Champost H	Champost W	Luzerne V	Luzerne B	Bijmesten	Wulpak	Gemiddeld
Biotoets 1	4,8	3,5	4,5	4,3	4,5	4,5	5,0	4,4
Biotoets 2	3,5	3,0	2,0	2,8	3,5	3,8	3,8	3,2
Biotoets 3	2,0	2,5	3,0	2,5	2,3	2,5	2,3	2,4
Biotoets 4	1,8	1,5	2,0	1,8	1,7	2,0	0,5	1,6
Gemiddeld	3,0	2,6	2,9	2,8	3,0	3,2	2,9	

<b>% Wortelknobbelindex +Melo t.o.v. +Melo Onbehandeld</b>								
	Onbehandeld	Champost H	Champost W	Luzerne V	Luzerne B	Bijmesten	Wulpak	Gemiddeld
Biotoets 1	100	74	95	90	95	95	105	92
Biotoets 2	100	86	57	79	100	107	107	89
Biotoets 3	100	125	150	125	113	125	113	125
Biotoets 4	100	86	114	100	97	114	29	90
Gemiddeld	100	93	104	98	101	110	88	