



Lysimeter als meetinstrument voor emissies in grondgebonden glastuinbouw

Modelmatige inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten voor een robuuste en betrouwbare lysimeter voor emissiemeting

Alterra-rapport 2105
ISSN 1566-7197

G. Bakker, M. Heinen, F.B.T. Assinck en W. Voogt

Lysimeter als meetinstrument voor emissies in
grondgebonden glastuinbouw

In opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit op advies van de Werkgroep Emissienormen
Glastuinbouw (BO-12-03-006)

Lysimeter als meetinstrument voor emissies in grondgebonden glastuinbouw

Modelmatige inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten voor een robuuste en betrouwbare lysimeter voor emissiemeting

G. Bakker ¹⁾, M. Heinen ¹⁾, F.B.T. Assinck ¹⁾ en W. Voogt ²⁾

1 Wageningen UR - Alterra - Centrum Bodem

2 Wageningen UR - Glastuinbouw

Alterra-rapport 2105

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2010

Referaat

Bakker, G., M. Heinen, F.B.T. Assinck en W. Voogt, 2010. *Lysimeter als meetinstrument voor emissies in grondgebonden glastuinbouw - Modelmatige inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten voor een robuuste en betrouwbare lysimeter voor emissiemeting*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2105. 65 blz.; 26 fig.; 6 tab.; 20 ref.

In het Platform Duurzame Glastuinbouw is afgesproken om de doelstellingen van de Europese richtlijnen voor nitraat en water voor de glastuinbouw te realiseren via emissienormen. Om bedrijfseigen emissie te kwantificeren is het idee geopperd om dit met een lysimeter te registreren. Bij emissiemeting vanuit de teeltlaag is het overbodig onderscheid te maken tussen emissie naar grond- en oppervlaktewater. Bovendien kunnen telers invloed uitoefenen op de emissies door meetgegevens te gebruiken voor dosering van water en nutriënten. In deze studie zijn via modelberekeningen de werking en de randvoorwaarden voor een betrouwbare lysimeter geformuleerd. De belangrijkste zijn:

- De wand van een lysimeter moet altijd tot aan het maaiveld doorlopen.
- Een lysimeter met vrij drainerend vlak geeft aan het eind van een teelt betrouwbare informatie over uitspoeling bij gelijkblijvende irrigatie en klimatologische omstandigheden. Tussentijdse metingen zijn lastiger te beoordelen, maar niet onmogelijk.
- Een lysimeter met drukgeregelde drainageplaat geeft ook tussentijds betrouwbare informatie, maar een dergelijk systeem is nog niet in de praktijk getest.
- De lysimeterbodem moet bij voorkeur gepositioneerd zijn ter hoogte van de grondwaterstand.

Trefwoorden: drainwater, emissie, glastuinbouw, grondteelt, lysimeter, nutriënten, teeltlaag, uitspoeling.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2010 Alterra Wageningen UR, Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Telefoon 0317 48 07 00; fax 0317 41 90 00; e-mail info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra Wageningen UR.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2105

Wageningen, februari 2010

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond en probleemstelling	11
1.2 Projectdoelstelling en onderzoeksvragen	12
1.3 Opbouw van het rapport	13
2 Materiaal en methoden	15
2.1 Simulatiemodellen FUSSIM2 en MOTOR	15
2.2 Simulatiemodel FUSSIM2	15
2.3 Randvoorwaarden vanuit de chrysantenteelt	17
2.4 Onderzoeksvragen versus onderzochte varianten	20
3 Berekeningsresultaten	29
3.1 Grootte stroomdomein van het model	29
3.2 Drainagetype in lysimeter	31
3.3 Hoogte lysimeterwand	34
3.4 Grondsoort en grondwaterstand	35
3.5 Diepte lysimeter	42
3.6 Sturingsmogelijkheid tuinder	43
3.7 Beregeningsstrategie	46
4 Conclusies en aanbevelingen	49
Literatuur	53
Bijlage 1 Invoergegevens	55
Bijlage 2 Varianten naar afnemend belang voor achtereenvolgend onderzoek	57
Bijlage 3 Uitgangspunten en onderzoeksvragen	59
Bijlage 4 Bodemfysische eigenschappen	61

Samenvatting

In tegenstelling tot substraatteelten zijn emissiestromen bij teelten in kasgrond complex en vaak niet of nauwelijks te onderscheiden in de stromen naar grond- of oppervlaktewater. Controleerbaarheid en handhaafbaarheid van de emissienormen bij grondteelten lijken daarom op voorhand onuitvoerbaar. In het Platform Duurzame Glastuinbouw is afgesproken om de doelstellingen van de Europese richtlijnen voor nitraat en water voor de glastuinbouw te realiseren via emissienormen. Bij emissiemeting vanuit de teeltlaag is het overbodig onderscheid te maken tussen emissie naar grond- en oppervlaktewater. Bovendien kunnen telers invloed uitoefenen op het resultaat door meetgegevens te gebruiken voor dosering van water en nutriënten.

Bij grondgebonden teelten kan de emissie via drainage niet goed worden gemeten omdat de drain vaak ook bedrijfsvreemd water afvoert of omdat wegzijging naar het grondwater plaatsvindt. In situaties met diep grondwater is het zelfs onmogelijk drainagewater te verzamelen. Het meten van water- en stofstromen in de onverzadigde bodem is zeer lastig. Een voor de hand liggende methode is via het gebruik van een lysimeter. Een lysimeter is een ingegraven bak, waarin lokaal het beregeningsoverschot wordt verzameld, waarbij kwantiteit en kwaliteit kan worden gemeten.

Het doel van het project is te komen tot een inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten voor een robuuste en betrouwbare lysimeter ter bepaling van de uitspoeling van water en nutriënten. Aansluitend ligt er de wens vanuit de teler om de lysimeter te kunnen gebruiken als sturingselement voor water- en nutriëntengiften. In een eventueel vervolgproject kunnen potentieel bruikbare ontwerpen onder praktijkomstandigheden worden getoetst.

In deze studie is gebruik gemaakt van een simulatiemodel. De modelberekeningen zijn uitgevoerd met het bestaande tweedimensionale simulatiemodel FUSSIM2. De werking van enkele typen lysimeters is hiermee nagebootst. Daarbij is rekening gehouden met bedrijf- en teeltcondities, bodemtypen, grondsoorten, ontwaterings situatie, hydrologie en beregeningsstrategieën die zich in de praktijk kunnen voordoen. De emissies van elk gesimuleerd type lysimeter zijn steeds vergeleken met de berekeningen van dezelfde situatie zonder lysimeter: de referentiesituatie. Alleen wanneer beide situaties vergelijkbaar zijn, heeft de betreffende lysimeter potentie.

Alle berekeningen hebben betrekking op een chrysantenteelt, omdat daarmee een goede aansluiting te verkrijgen is op eerder onderzoek en omdat er in deze teelten al enige pogingen zijn gedaan om emissies te meten uit de teeltlaag met eenvoudige lysimeters. Bovendien is chrysantenteelt momenteel de belangrijkste grondgebonden kasteelt met relatief hoge emissies.

Uit de modelberekeningen zijn een aantal belangrijke conclusies te trekken. De conclusies zijn gegroepeerd per onderzoeksvraag. De belangrijkste conclusies zijn hieronder beschreven.

Wat is de referentiesituatie?

De netto neergaande water- en nutriëntenstroming (emissie) aan de onderkant van de teeltlaag willen we graag kwantificeren met een lysimeter. Door het aanbrengen van een lysimeter in de bodem wordt de natuurlijke waterbeweging ter plaatse verstoord. Een lysimeter geeft alleen een goede indicatie van de afvoer naar het grond- en oppervlaktewater als deze vergelijkbaar is met de afvoer op dezelfde diepte zonder aanwezigheid van een lysimeter, de referentiesituatie.

Welk drainagetype is het meest geschikt ?

Omdat het stromingsprofiel van water en nutriënten buiten de lysimeter nagenoeg verticaal is, is dat ook gewenst voor de lysimeter. Er zijn drie typen drainagesystemen onderzocht:

- a. Eén of meerdere vrij drainerende buizen: dit resulteert in gebogen stroomlijnen en is daarom niet gewenst.
- b. Vrij drainerende buizen ondergebracht in een vlak bed van kleikorrels die de gehele onderkant van de lysimeter bedekt. Dit levert de gewenste verticale stromingsprofielen. De waterafvoer gedurende de teelt op dagbasis is niet gelijk aan die van de referentiesituatie. De cumulatieve drainage aan het eind van de teelt is echter wel zo goed als gelijk aan die van de referentiesituatie op voorwaarde dat de vochttoestand aan het eind van de teelt gelijk is aan die aan het begin van de teelt. De uitspoeling van nutriënten kan door de vochtverschillen gedurende de teelt gaan afwijken van de referentiesituatie, omdat omzettingsprocessen als (de)nitrificatie en mineralisatie afhankelijk zijn van de temperatuur en het vochtgehalte. Verschillen tussen de cumulatieve eindafvoeren van water in de referentiesituatie en de lysimeter met vrije uitstroom kunnen ontstaan als tussen de teelten overgegaan wordt op een andere strategie van irrigeren, waardoor de vochtverdeling aan het eind van de teelt afwijkt van die aan het begin van de teelt.
- c. Keramische plaat met variabele onderdruk. De druk van de plaat wordt via een meet- en regelsysteem gelijk gehouden aan de waterdruk op gelijke hoogte in de referentiesituatie. Vooral voor de uitstroom van water geeft dit drainagetype in alle situaties dezelfde resultaten als de referentiesituatie. Als het technisch gezien geen moeilijkheden oplevert, verdient dit drainagetype verreweg de voorkeur boven elke andere vorm van drainage. Er is tot op heden echter nog geen ervaring met een dergelijke drukgeregelde plaat opgedaan. Als de grond boven de drukgeregelde plaat droger wordt, vindt er op gelijke hoogte in de referentiesituatie opwaartse stroming plaats van water en nutriënten. Voor een goede werking van de lysimeter met drukgeregelde plaat, moet de plaat ook in staat zijn de referentiesituatie na te bootsen door water en nutriënten met gelijke concentratie als de referentiesituatie terug te geven aan de bovenliggende bodem. Dit resulteert in een afnemende netto cumulatieve afvoer. Bezien moet worden of dit technisch realiseerbaar is.

Hoe hoog moet de lysimeterwand zijn?

De lysimeterwand moet tot aan maaiveld doorlopen. Op deze wijze is er geen laterale stroming mogelijk van water en nutriënten tussen de grond in de lysimeter en de kasgrond buiten de lysimeter. Als niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, kan de water- en nutriëntenafvoer niet zonder meer worden toegekend aan het oppervlak van de lysimeter, waardoor fouten in de interpretatie ontstaan. Deze voorwaarde geldt voor alle lysimetersituaties.

Welke invloed heeft de grondsoort bij een bepaald type lysimeter?

De grondsoort heeft voor alle drainagetypes weinig invloed op de uitspoelingsverschillen tussen die van de lysimeter en die van de referentiesituatie van de betreffende grondsoort.

Welke invloed heeft de grondwaterstand bij een bepaald type lysimeter?

Bij een lysimeter met drukgeregelde plaat wijken de vochttoestanden binnen en buiten de lysimeter bij diepe en ondiepe grondwaterstanden niet af, ongeacht de diepte van de lysimeter. Dit komt omdat de druk van de plaat via een meet- en regelsysteem te allen tijde gelijk gehouden wordt met die van de waterdruk op gelijke diepte in de referentiesituatie. Bij vrije drainage systemen is de cumulatieve waterafvoer van de lysimeter over langere termijnen eveneens gelijk aan die van de referentiesituatie, omdat het irrigatieoverschot (irrigatie - verdamping) niet varieert bij een andere grondwaterstand. De cumulatieve hoeveelheid uitgespoeld nitraat varieert daarentegen sterk bij de verschillende grondwaterstanden. Dit komt omdat de vochttoestanden binnen en buiten de lysimeter op gelijke hoogte wel wezenlijk verschillen, waardoor ook de nitraatomzettingen verschillen.

Wat moet de diepte van de lysimeter zijn?

Ondiepe lysimeters met vrije uitstroom hebben een hoge schijngroundwaterstand, waardoor het luchtgehalte over de wortelzone laag is. Teelttechnisch gezien kan de lysimeter daarom niet ondiep worden uitgevoerd. De beste lysimeters hebben een diepte die gelijk is aan de diepte van de gemiddelde grondwaterstand, zodat het vochtprofiel het meeste lijkt op die van de referentiesituatie. Er moet echter een optimum gevonden worden voor zeer diepe grondwaterstanden, vooral gezien vanuit het oogpunt van praktische toepasbaarheid. Daarvoor is op voorhand geen algemene uitspraak te doen.

Beregeningsstrategieën en sturingsmogelijkheden voor de tuinder

- Bij gebruik van de drukgeregelde plaat kan de tuinder de opgevangen waterhoeveelheid in de drain gebruiken om irrigatiemomenten en hoeveelheden vast te stellen. De dynamiek die in de referentiesituatie optreedt, treedt in gelijke mate op in de drukgeregelde plaat, ook gedurende de teelt. De uitspoelingsdynamiek van nutriënten in de lysimeter kan wel afwijken van de dynamiek in de referentiesituatie bij een plaat die een vaste concentratie nitraat terug geeft aan de bovenliggende grond. Deze vaste concentratie kan dan afwijken van de referentieconcentratie op die hoogte.
- Bij gebruik van vrije uitstroom drainage is er alleen bij verzadiging onderin de lysimeter drainafvoer. Omdat er alleen informatie vrij komt op het moment dat er drainage optreedt, kan de tuinder alleen op die momenten zijn irrigatiestrategie afstemmen op de afvoer. Als er echter voor wordt gezorgd dat gedurende de gehele teelt dusdanig wordt geïrrigeerd dat er een (geringe) hoeveelheid drainafvoer ontstaat, kan de teler de drainage-informatie gedurende de gehele teeltperiode gebruiken. Hierbij moet dan gestreefd worden naar minimalisatie van de afvoer. Geen drainafvoer kan betekenen dat er juist voldoende wordt gegeven, maar het kan ook betekenen dat er te weinig wordt gegeven. Geen drainafvoer moet daarom voor de vrije drainage lysimeter worden vermeden. Voor teeltwijzen en irrigatiestrategieën gericht op nul-drainafvoer is de vrije drainage lysimeter niet bruikbaar. Als de startgift van een volgende teelt dusdanig groot gemaakt wordt dat de uitdroging, die aan het eind van de vorige teelt is opgetreden, snel teniet wordt gedaan, zal ook snel drain gegenereerd worden. Bij kleinere startgiften vindt pas laat in de teelt afvoer plaats, omdat de tekorten dan nog niet zijn opgeheven.

Aanbevolen wordt de meest geschikte lysimeters onder praktijkomstandigheden te testen. Daarbij ligt het voor de hand eerst de lysimeters met vrije drainage te testen, omdat met dit type drainage al praktijkervaring is opgedaan. Drainage met een drukgeregelde plaat is een nieuw concept dat nog in de praktijk getest moet worden. Ten opzichte van vrije drainage biedt het meerdere voordelen, waardoor het een interessant alternatief kan zijn.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

Aanleiding

In het Platform Duurzame Glastuinbouw (voorheen GLAMI, Glastuinbouw en Milieu) is afgesproken om de doelstellingen van de Europese richtlijnen voor nitraat en water (Nitraatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water; European Commission, 1991; 2000) voor de glastuinbouw te realiseren via emissienormen voor nutriënten.

In tegenstelling tot de substraatteelten zijn de emissiestromen bij teelten in kasgrond complex en vaak niet of nauwelijks te onderscheiden in richting; naar grond- of oppervlaktewater. Controleerbaarheid en handhaafbaarheid van de emissienormen bij grondteelten lijken daarom op voorhand onuitvoerbaar.

De Werkgroep Emissienormen Glastuinbouw (WEG; ingesteld door GLAMI) heeft het idee ontwikkeld om de emissie controleerbaar te maken door deze vanuit de teeltlaag te gaan meten. Er hoeft dan ook geen onderscheid meer gemaakt te worden tussen emissie naar grondwater of naar oppervlaktewater. Om aan deze wens te kunnen voldoen is er behoefte ontstaan naar een robuuste methode die deze emissies kan meten. Het voordeel van het meten van emissies uit het bovenste bodemcompartiment is dat telers zelf invloed kunnen uitoefenen op het resultaat. Er moet daarom een meetinstrumentarium ontwikkeld worden dat door telers gebruikt kan worden met als doel de emissie te minimaliseren. Dit kan door ingrepen in de drijvende factoren achter de emissie zoals watergift en bemesting. Een belangrijke tweede motivatie voor het ontwikkelen van een dergelijk meetinstrument is dat het bevoegd gezag de daadwerkelijke emissie kan beoordelen.

Probleemstelling

Bij grondgebonden teelten kan de emissie via drainage niet goed worden gemeten omdat de drain vaak ook bedrijfsvreemd water afvoert of omdat wegzijging naar het grondwater plaatsvindt. In situaties met diep grondwater is het zelfs onmogelijk drainagewater te verzamelen. Het meten van water- en stofstromen in de onverzadigde bodem is zeer lastig. De meest voor de hand liggende methode is een lysimeter, waarmee water en opgeloste stoffen beneden de wortelzone worden afgevangen. Lysimeteropstellingen zijn meestal onderdeel van wetenschappelijke onderzoeksprojecten. Tot op heden was er nog geen kant-en-klaar concept waarmee emissies kunnen worden gemeten of dat gebruikt kan worden in het emissiemanagement. In de grondgebonden glasteelten is pas recent begonnen met het opdoen van de eerste ervaringen met één specifiek type lysimeter. Hierdoor was er nog onvoldoende kennis en ervaring beschikbaar over de representativiteit van de lysimeter en de betrouwbaarheid van de lysimeter met betrekking tot de gemeten emissie van N en P in de glastuinbouw. In dit onderzoek wordt nagegaan of de lysimeter een betrouwbaar instrument kan zijn om de bedrijfseigen belasting van het milieu te meten.

Bestaande kennis

(W. Voogt)

In de periode eind 2007 - 2010 is ervaring opgedaan met lysimeters in de praktijk. De aanleiding daartoe was de ophanden zijnde verandering in regelgeving rondom mest en mineralen voor glastuinbouw, zoals hierboven is aangeduid. Het eerste project met lysimeters betrof onderzoek bij biologische (groente-)telers, waar het doel was de uitspoeling van nutriënten te meten. Op vier bedrijven zijn telkens twee opvangsystemen van stoombaar folie ingegraven, de zogenaamde 'foliebakken'. De foliebakken hadden een oppervlak van 1.80×2 meter en een diepte van 0.9 meter, met onderin een laag van 5 cm kleikorrels. De folie liep door tot aan het

maaiveld. Het drainwater kon vrij uitstromen en werd via een slangenpompje afgevoerd en gemeten. Inmiddels is drie jaar ervaring opgedaan met deze bakken. Gebleken is dat de folie niet robuust is, na twee jaar zijn er tekenen van 'afbraak' c.q. slijtage geconstateerd aan de bovenrand. Ook blijkt de bovenrand tijdens de teelt enigszins te verzakken, zodat er capillair contact ontstaat met de grond buiten de foliebak. Doordat op deze bedrijven meestal zuinig water wordt gegeven, is er weinig en op sommige bedrijven in het geheel geen drainwater gemeten. Als geen of weinig drainwater wordt gemeten, is lastig te interpreteren hoever men afzit van 0-uitspoeling. Bovendien is in dat geval het risico op uitdroging in de foliebak groot. Planten in de rest van de kas kunnen via capillaire aanvoer of via diepe beworteling tekorten gedeeltelijk compenseren. Om die reden zijn in 2010 de lysimeters uitgerust met extra druppelaars om, daar waar nodig, drainwater te forceren. Deze voorziening heeft technisch goed gewerkt, maar door de introductie van deze extra factor wordt de uitkomst beïnvloed en als emissiemeting minder betrouwbaar.

Min of meer tegelijkertijd met het project op de biologische bedrijven is in twee andere projecten, bij chrysantenbedrijven, eveneens gestart met vergelijkbare foliebakken. Hiervan lagen er zes in Noord-Limburg. De grondwaterstand varieerde er van 1.5 tot meer dan 5 meter. Verder was er een bedrijf in de Bommelerwaard, met een sterk wisselende grondwaterstand, variërend van 0.5 tot 1.20 meter en een stoomdrainagesysteem op 55 centimeter. Tenslotte waren er twee bedrijven in het westen van Nederland. Beiden hadden een drainagesysteem met onderbemaling in de kas op een diepte van ongeveer 0.9 meter. Bij het ene bedrijf varieerde de grondwaterstand van 1 tot 1.20 meter. Bij het andere bedrijf was de grondwaterstand constant op drain niveau. De oppervlakte van de lysimeters was bij deze bedrijven 2×2.40 meter. De oppervlakte was gebaseerd op een standaard afstand tussen de regenleidingen van 4 meter en een dopafstand van 1.50 meter. De diepte van de lysimeters was 0.9 meter. Echter, in tegenstelling tot de biologische bedrijven, waar slechts eenmaal per jaar een teeltwisseling plaatsvindt, wordt bij de chrysantenteelt elke 10 tot 12 weken de teelt gewisseld, met de daarbij behorende grondbewerking en het mechanische planten. Voor de telers was een lysimeter met een bovenrand tot aan maaiveld een onoverkomelijk obstakel in verband met de benodigde grondbewerking tussen de teelten. Als compromis is de foliebak uitgevoerd met een bovenrand tot 0.4 meter onder het maaiveld. In voornoemd project zijn veel vragen en knelpunten naar voren gekomen. Deze waren voor een belangrijk deel aanleiding voor de studie waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan.

Al bij de eerste teelten bleek dat er veel minder drainwater werd gemeten, dan er op grond van berekeningen van het beregeningsoverschot zou moeten ontstaan. Op het bedrijf in de Bommelerwaard werd juist veel meer drainwater gemeten dan op grond van het beregeningsoverschot werd verwacht. Geconcludeerd werd dat het ontbreken van de bovenrand sterke interactie met de omgeving tot gevolg had. Door het verschil in waterpotentiaal op dezelfde hoogte binnen en buiten de bak vond in Limburg vochttransport plaats vanuit de lysimeter naar de omliggende grond en in de Bommelerwaard vanuit de omliggende grond naar de lysimeter toe. Op drie bedrijven is op enig moment handmatig een bovenrand, overlappend met de bestaande foliebak geplaatst, waarna de resultaten aanzienlijk verbeterden. Merkwaardig is echter dat op een bedrijf (met een grondwaterstand van meer dan 5 meter) waar de gehele bovenrand later met een woelpoot beschadigd is, desondanks drainwater gevonden bleef worden in de lysimeter. Opvallend is verder dat de vertraging tussen het moment van een beregeningsoverschot en verandering in de drainwaterproductie in de lysimeter (gebaseerd op veranderingen in de trends) circa 2 weken lijkt te bedragen. Een volledige weergave van de bevindingen is te vinden in Voogt et al. (2009).

1.2 Projectdoelstelling en onderzoeksvragen

Het doel van het project is te komen tot een inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten voor robuuste en betrouwbare (lysimeter)systemen voor emissiemetingen. In een eventueel vervolgproject kan hierop verder worden ingegaan door potentieel bruikbare ontwerpen onder praktijkomstandigheden te toetsen.

Op basis van het projectresultaat kan een beslissing genomen worden of het lysimetersysteem in de praktijk getest moet worden en of het daarna ingevoerd wordt als meetinstrumentarium voor emissiemetingen uit de teeltlaag. Deze beslissing kan worden gegrond op basis van gegevens over de robuustheid en representativiteit van het systeem, het effect van grondsoort en hydrologie en de gevoeligheid van het systeem voor bodemprocessen. Verder zal duidelijk zijn in welke mate het resultaat bruikbaar is als sturingsinstrument voor telers. Ook zal bekend zijn binnen welke randvoorwaarden alsook binnen welke bandbreedte uitspraken kunnen worden gedaan over de daadwerkelijke emissie bij bedrijven.

Vanwege de complexiteit van grondteelten, met veel bodemtypen en hydrologische situaties, zijn niet voor alle situaties en modelsimulaties uitgevoerd. De berekeningen zijn beperkt tot de chrysantenteelt.

Om te komen tot een inventarisatie van randvoorwaarden en knelpunten zijn een aantal deelvragen geformuleerd die als richtinggevend zijn beschouwd bij de uit te voeren modelberekeningen:

1. Hoe groot moet het stroomdomein van het model zijn om betrouwbare resultaten te kunnen genereren?
2. Welk drainagetype is het meest geschikt?
3. Hoe hoog moet de lysimeterwand zijn?
4. Welke invloed hebben de grondsoort en de grondwaterstand bij een bepaald type lysimeter?
5. Wat moet de diepte van de lysimeter zijn?
6. Onder welke voorwaarden geeft de lysimeter sturingsmogelijkheden voor de tuinder ten aanzien van water- en bemestingsstrategieën.
7. Welke invloed heeft de beregeningsstrategie op de resultaten?

Samengevat zijn de volgende criteria voor de beoordeling van het eindresultaat te geven:

- Referentiesituatie en drainagetypen in de lysimeter
- Hoogte lysimeterwand
- Grootte stroomdomein van het model
- Grondsoort en grondwaterstand
- Diepte lysimeter
- Beregeningsstrategie
- Sturingsmogelijkheid tuinder

Normering is geen onderdeel van dit rapport.

1.3 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 geeft aan op welke wijze de onderzoeksvragen worden ondergebracht in het FUSSIM2-model om te komen tot richtinggevende randvoorwaarden voor het ontwerp van een lysimeter in de praktijk. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten. Hoofdstuk 4 geeft conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Materiaal en methoden

In dit project is, uitgaande van de bestaande simulatiemodellen FUSSIM2 (Heinen en De Willigen, 1998, 2001; Heinen, 2001) en MOTOR 2.0 (Assinck en Rappoldt, 2004), de werking van enkele typen lysimeters nagebootst. De simulatiemodellen zijn daartoe enigszins aangepast en gevoed met realistische randvoorwaarden en interne condities. Voor een aantal voorbeeldsituaties zijn berekeningen uitgevoerd waarbij is nagegaan of de bodemcondities in de lysimeter en het afgevangen bodemvocht vergelijkbaar zijn met de natuurlijke situatie buiten de lysimeter. Alleen wanneer de situaties binnen en buiten de lysimeter redelijk vergelijkbaar zijn heeft de lysimeter potentie.

In overleg met de ambtelijke Werkgroep Emissienormen Glastuinbouw en in enkele interviews met telers zijn de systeemvereisten vastgesteld. Vervolgens is op basis van bestaande inventarisaties en huidige wetenschappelijke inzichten een nadere verkenning uitgevoerd. Daarin is onderzocht welke relevante situaties zich kunnen voordoen. Gedoeld wordt hierbij op bedrijf- en teeltcondities, bodemtypen, grondsoorten, ontwaterings situatie, hydrologie en berekeningssysteem.

Op basis van de opgedane kennis zijn randvoorwaarden benoemd waaraan een meetsysteem moet voldoen om betrouwbare schattingen te kunnen doen over de emissie uit de teeltlaag.

De lysimeterontwerpen die uit dit onderzoek mogelijk geschikt zijn gebleken, moeten in een vervolgproject in de praktijk worden getest. Daarbij vindt de beoordeling plaats op basis van expert judgement van zowel telers als onderzoekers.

2.1 Simulatiemodellen FUSSIM2 en MOTOR

Het onderzoek is uitgevoerd met een koppeling van de simulatiemodellen FUSSIM2 en MOTOR. Het model MOTOR berekent mineralisatie en immobilisatie van nutriënten. FUSSIM2 berekent het water- en nutriëntentransport in de bodem, de nitrificatie- en denitrificatieprocessen en water- en nutriëntenopname door wortels.

2.2 Simulatiemodel FUSSIM2

De simulatieberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het model FUSSIM2. Dit model is ontwikkeld door Heinen (1997, 2001) en Heinen en De Willigen (1998, 2001). FUSSIM2 is een 2-dimensionaal (rechthoekig of cilindrisch) simulatiemodel, waarmee waterbeweging, inert stoffentransport en de opname van water en nutriënten door wortels in poreuze media beschouwd kan worden. De belangrijkste processen voor dit rapport worden hier kort beschreven. Voor meer informatie wordt verwezen naar Heinen (1997, 2001) en Heinen en De Willigen (1998, 2001).

Waterbeweging

In FUSSIM2 wordt de algemene stromingsvergelijking (Richards-vergelijking) voor water in poreuze media numeriek opgelost voor een gegeven begintoestand en gegeven randvoorwaarden. De beweging van water in poreuze media is sterk afhankelijk van de niet-lineaire fysische eigenschappen van het medium. De waterretentievergelijking (Van Genuchten, 1980) en de doorlatendheidsvergelijking (Mualem, 1976) worden in

FUSSIM2 gebruikt om deze fysische eigenschappen te karakteriseren. Hierbij wordt rekening gehouden met hysteresis (Mualem, 1984).

Stoffentransport

Stoffentransport wordt berekend volgens de convectie-dispersievergelijking.

Opname van water door wortels

De gebruikte vergelijking voor waterbeweging houdt rekening met de opname van water door het wortelsysteem. FUSSIM2 is daarbij in staat om de wateropname voor meerdere planten afzonderlijk te beschouwen. Gebaseerd op de analyse van de opname door één wortel hebben De Willigen en Van Noordwijk (1987, 1994a,b) analytische oplossingen verkregen voor wateropname, die via opschaling toepasbaar zijn voor een compleet wortelstelsel.

Denitrificatie

Denitrificatie wordt beschreven door een veelvuldig gebruikt eenvoudig model (Heinen, 2006a). Voor een aantal Nederlandse omstandigheden zijn daarvoor parameters vastgesteld (Heinen, 2006b; Heinen et al., 2005) die in het voorliggende onderzoek worden toegepast.

2.2.1 Simulatiemodel MOTOR

MOTOR (MOdule describing the Transformations of ORganic matter and nutrients in the soil) berekent uitwisselingen tussen verschillende pools met organische stof en stikstof in de bodem. Bij toediening van organische mest wordt de mestsoort toegekend aan één of meerdere pools. Elke pool is gekenmerkt door een koolstof- en stikstofgehalte. De gebruiker geeft de omzettingssnelheid en efficiëntie aan die voor de omzetting van een specifieke pool naar een andere specifieke pool van toepassing is. Door deze opgaven per poolpaar kunnen transformaties tussen de pools worden berekend. Uiteindelijk resulteert dit in een berekende totale mineralisatie en eventuele immobilisatie die als bron- of puttermen in FUSSIM2 worden gebruikt.

2.2.2 Keuze cilindrisch of rechthoekig model

FUSSIM2 biedt twee mogelijke modelvormen:

1. Het 2-dimensionale rechthoekig model met randvoorwaarden aan de boven- en onderzijde en aan beide zijanten.
2. Het 2-dimensionale cilindrische model met randvoorwaarden aan de boven- en onderzijde plus een randvoorwaarde aan de buitencirkel en in het midden op de longitudinale as.

De chrysantenteelt met een lysimeterbak kan gezien worden als een raster netwerk van planten aan maaiveld. Evenwijdig daaronder bevindt zich in de bodem een driedimensionale bak. We hebben hier dus met een driedimensionaal systeem te maken. Omdat FUSSIM2 een 2D-model is, moet afgewogen worden met welke modelvorm we het beste in staat zijn om het probleem te analyseren. Kiezen we voor een 2D-rechthoekig model, dan ligt het voor de hand één van de dimensies parallel aan de plantrij of loodrecht op de plantrij te kiezen. Dit houdt automatisch in dat daarmee één van andere zijden van de lysimeter als oneindig lang wordt verondersteld. Er kan ook voor gekozen worden om de hoeveelheid grond in de lysimeter toe te kennen aan een equivalente cilindervormige lysimeter met dezelfde hoeveelheid grond. Als de situatie aan het maaiveld uniform is zal dit een goede benadering zijn. Uniformiteit geldt in dit geval voor de watergift en de gewasverdeling. In deze studie wordt de cilindervorm gebruikt.

Opgemerkt wordt nog dat modellen ontwikkeld worden om de werkelijkheid na te bootsen. Zij zijn echter altijd een vereenvoudiging van deze werkelijkheid.

2.3 Randvoorwaarden vanuit de chrysantenteelt

Elk gewas heeft eigen karakteristieken ten aanzien van wortelstelsel, transpiratie, groei en watergift. Dit onderzoek is toegespitst op de chrysantenteelt omdat daarmee een goede aansluiting te verkrijgen is op eerder onderzoek en omdat er in deze teelten al enige pogingen zijn gedaan om emissies te meten uit de teeltlaag met eenvoudige lysimeters. Bovendien is chrysantenteelt momenteel de belangrijkste grondgebonden kasteelt met relatief hoge emissies.

2.3.1 Belangrijkste eigenschappen chrysantenteelt

De chrysant wordt in bedden geteeld. Het pad tussen de bedden is minimaal en is alleen goed zichtbaar als de chrysant zich nog in het beginstadium van de groei bevindt. De plantdichtheid wisselt over de seizoenen en loopt uiteen van circa 50 tot bijna 70 planten per vierkante meter. De afstand tussen de rijen binnen een bed staat vast en bedraagt 11,5 cm. De plantafstand binnen de rij staat eveneens vast en bedraagt 13 cm. Toch is er over de verschillende seizoenen sprake van bewuste variatie in plantdichtheid binnen een bed. Dit kan gerealiseerd worden door het weglaten van een of enkele planten in de rijen. Bij de modellering uitgegaan van een uniforme plantafstand van 12 cm zowel tussen als in de rijen. Door de hoge plantdicht (figuur 2.1) mag aangenomen worden dat er zowel in horizontale als verticale richting een continue verdeling van het wortelstelsel is. De worteldiepte neemt toe met de groeitijd.

Voor de berekening wordt uitgegaan van een situatie waarin voor chrysanten de berekening van bovenaf plaats vindt met 6 meter breed sproeiende roterende sproeiers (type DAN). De onderlinge afstand tussen de sproeidoppen op de leidingen bedraagt 1,5 meter. De afstand tussen de leidingen is 4,8 meter (figuur 2.2).

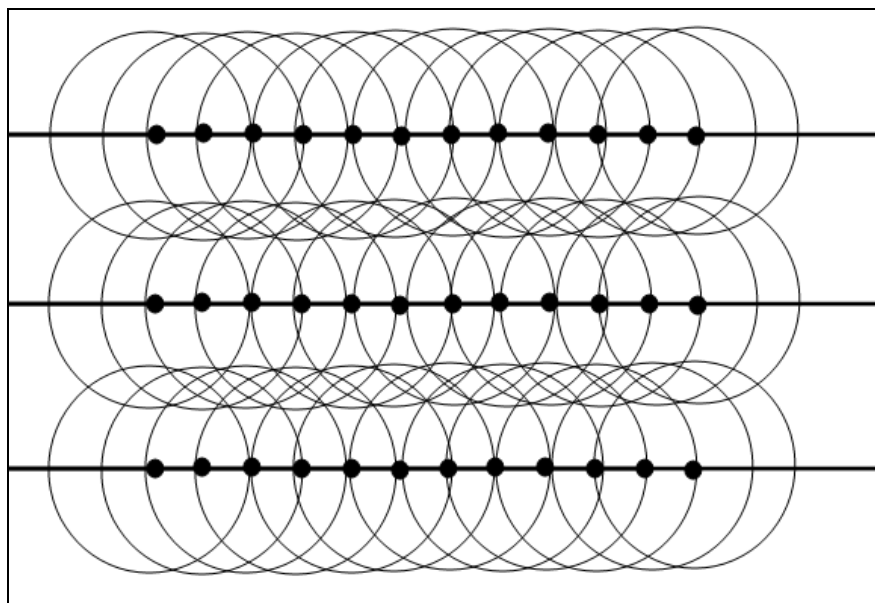
Uit onderzoek (Assinck et al., 2001) blijkt dat de sproeidruppels met bovenstaande configuratie redelijk uniform zijn verdeeld: de variatiecoëfficiënt bedraagt 0,15. Dit betekent dat op 95% van het besproeide oppervlak de druppelintensiteit minder dan 30% afwijkt van de gemiddelde druppelintensiteit.



Figuur 2.1

Een indruk van de plantdichtheid van chrysanten kort na de aanplant.

Omdat in de intensieve grondgebonden kasteelt voldoende water en nutriënten worden gegeven aan het gewas, is verondersteld dat het gewas optimaal (potentieel) groeit, verdampt en nutriënten opneemt. Omdat er van wordt uitgegaan dat er geen tekorten optreden is er voor gekozen om in dit onderzoek geen gedetailleerd gewasgroeimodel te beschouwen. De potentiële vraag (water, nutriënten) en de wortelverdeling wordt als bekend verondersteld en opgelegd aan het FUSSIM2 model (bijlage 1).



Figuur 2.2

Schematische voorstelling van de beregeningsinstallatie: sproeikoppen op 1,5 m (zwart), sproeibreedte 6 m (cirkels) en leidingafstand op 4,8 m (rechte lijnen). De overlap midden tussen de leidingen is wenselijk ivm de lagere druppelintensiteit aan het uiteinde van de sproeicirkel.

2.3.2 Grondsoort, grondwater en drainage

Door Wageningen UR Glastuinbouw is een inventarisatie verricht naar de meest voorkomende grondsoorten en hydrologische situaties in de grondgebonden teelt binnen Nederland (Voogt et al., 2008). Deze inventarisatie heeft betrekking op alle grondgebonden kasteelten en is dus niet specifiek op de chrysantenteelt gericht. In de inventarisatie worden zes bedrijfstypen onderscheiden op basis van grondsoort en de hydrologische situatie. Een overzicht van het areaal per grondsoort en hydrologietype is gegeven in tabel 2.1. In tabel 2.2 zijn de hydrologische eigenschappen van de verschillende hydrologietypen omschreven.

Tabel 2.1

Areaal grondgebonden teelt per grondsoort en hydrologische situatie. De hydrologietypen zijn omschreven in tabel 2.2 (bron: Voogt et al., 2008).

Grondsoort	Hydrologietype (zie tabel 2.2)						Totaal areaal
	1	2	3a	3b	4	5	
zand	3.8	19.9	14.1	229.5	152.4	135.9	555.6
Lichte zavel	0.9	29.3	5.3	415.6	64.0	16.6	531.6
Zware zavel	30.7	4.8	15.7	246.0	77.2	11.6	385.9
Lichte klei	33.9	6.4	28.8	45.0	87.6	21.3	222.9
Zware klei	34.4	7.1	9.4	88.7	31.0	13.8	184.4
Veen	66.9	23.4	4.7	7.5	20.6	0.4	123.5
Totaal areaal	181.1	99.4	81.8	1043.9	493.9	209.4	2109.5

Tabel 2.2

Hydrologische eigenschappen per hydrologietype (bron: Voogt et al., 2008).

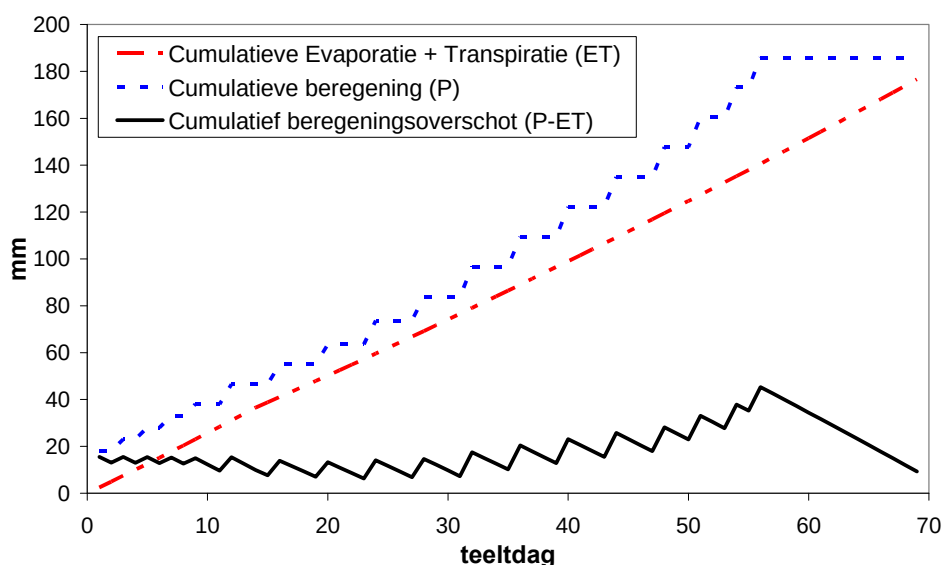
Hydrologie- type	Grond-water-trap	Drainage	Onder-bemaling	Inzijing	Kwel	Weg-zijging
1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee
2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee
3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk
3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk
4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja
5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja

2.4 Onderzoeksvragen versus onderzochte varianten

De geformuleerde onderzoeksvragen van paragraaf 1.2 zijn leidend geweest in de keuze van de te onderzoeken varianten.

In alle doorgerekende varianten zijn een aantal vaststaande situatie-eigenschappen beschouwd die in de rest van de tekst niet meer worden herhaald, tenzij er in specifieke gevallen van wordt afgeweken:

- Er worden drie identieke opeenvolgende voorjaars-chrysantenteelten van elk 69 dagen doorgerekend.
- De watergiften per teelt hebben zoals weergegeven in bijlage 1 en figuur 2.3 een totaal beregeningsoverschot van 5% van de totale gewasvraag: bij de start van elke teelt is er steeds eerst een grote gift, daarna kleinere giften om de drie dagen gevolgd door nog kleinere giften om de vijf dagen. Aan het eind van elke teelt is er steeds een uitdrogingsperiode van dertien dagen. Uiteraard wordt hiervan afgeweken bij de beantwoording van de vraag welke invloed de beregeningsstrategie heeft op het gedrag van de lysimeter.

**Figuur 2.3**

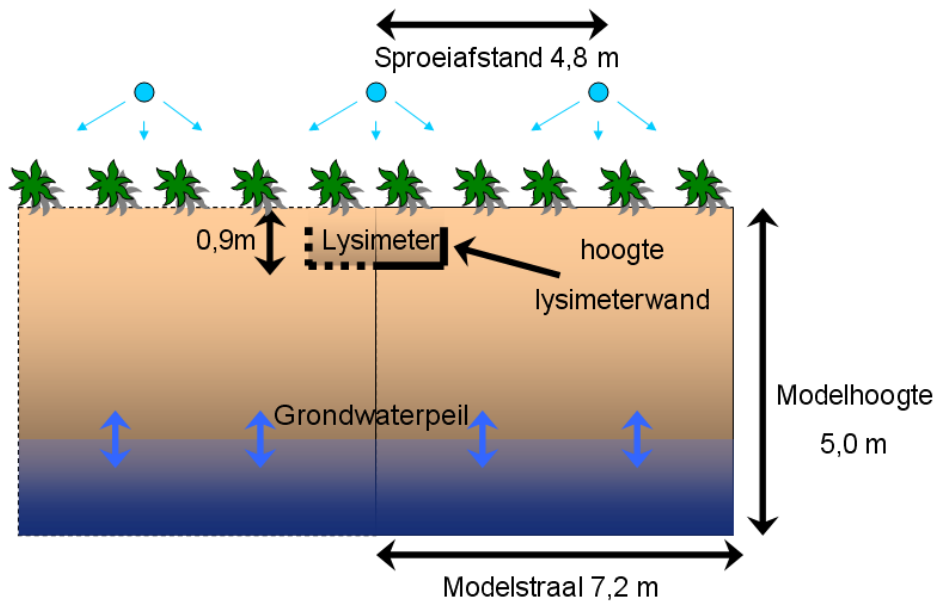
Gehanteerde evapotranspiratie en beregening voor de normale situatie (beregenvingsvariant 0) en het resulterende beregeningsoverschot.

2.4.1 Referentiesituatie en drainagetypen in de lysimeter

De waterbeweging in de kas is dominant verticaal georiënteerd omdat verdamping, irrigatie, grondwaterniveau en bodemeigenschappen uniform over het horizontale vlak zijn verdeeld. Aan de bovenzijde van de grond wordt regelmatig water gegeven en verdwijnt water via verdamping. In de grond vindt daardoor afwisselend neergaande en opgaande waterstroming plaats (figuur 2.4). Aan de onderkant van de teeltlaag treedt daardoor een netto neergaande afvoer op (emissie). Deze willen we graag kwantificeren met een lysimeter. Door het aanbrengen van een lysimeter in de bodem wordt de natuurlijke waterbeweging ter plaatse verstoord. Immers, aan de onderzijde van de lysimeter kan het water niet meer vrij op en neer bewegen door de aanwezigheid van de lysimeter bodem. Een lysimeter geeft alleen een goede indicatie van de afvoer naar het grond- en oppervlaktewater als deze afvoer vergelijkbaar is met de afvoer op dezelfde diepte zonder aanwezigheid van een lysimeter. Deze laatste situatie zonder lysimeter wordt de referentiesituatie genoemd. In de referentiesituatie wordt steeds de netto afvoer beschouwd. De netto afvoer is gelijk aan de neergaande flux verminderd met de opgaande flux ter hoogte van de onderzijde van de lysimeter.

Door het inbrengen van een lysimeter in de bodem met ondoorlatende onderrand en zijwanden, wordt het normale stromingspatroon en de waterverdeling in de bodem verstoord. Het type lysimeter dat tot op heden door Wageningen UR Glastuinbouw in de praktijk is toegepast, is gebaseerd op het principe van vrije uitstroom aan de onderzijde van de lysimeter, waarbij bovenop de ondoorlatende bodem een drain is aangebracht. In een poreus medium kan water alleen vrij uitstromen als ter plaatse het poreuze medium verzadigd is. Op het moment dat er uitstroming plaats vindt moet er daarom onder in de lysimeter een verzadigde zone aanwezig zijn. Als buiten de lysimeter (referentiesituatie) op gelijke diepte geen verzadigde toestand heerst, dan is op voorhand al duidelijk dat de waarneming in de lysimeter niet hetzelfde is als wat er in werkelijkheid buiten de lysimeter gebeurt. Naast het type lysimeter met vrije uitstroom¹ zijn enkele alternatieve lysimeterconcepten beschouwd (tabel 2.3; figuur 2.5), zoals hieronder besproken.

¹ In het simulatiemodel wordt een vrije uitstroom onderrand gemodelleerd als een 'no-flow' randvoorwaarde in onverzadigde toestand en als een opgelegde druk met waarde nul op het moment dat de grond onderin de lysimeter verzadigd is.



Figuur 2.4

Schematische weergave van de situatie en de keuze voor het modeldomein.

Lysimeter Dv (Drainerend vlak)

De vrije drainage lysimeter is hierboven kort besproken. Bij het drainerende vlak kan water over het hele oppervlak aan de onderzijde vrij uitstromen omdat de grond via kleikorrels is afgescheiden van de verzameldrainbuis.

Lysimeter Db (Drainerende buis)

Als de kleikorrels achterwege worden gelaten, kan alleen water rondom de verzameldrainbuis uitstromen. Hierdoor zal in de lysimeter de waterbeweging niet alleen verticaal gericht zijn, hetgeen wel het geval is buiten de lysimeter.

Lysimeter Pp (Poreuze plaat met geregelde onderdruk)

Zoals boven vermeld komt het vaak voor dat ter hoogte van de onderzijde van de lysimeter in de kasgrond buiten de lysimeter geen verzadigde toestand heerst. De zuigspanning (drukhoogte) varieert daar afhankelijk van de waterbeweging. Door onder in de lysimeter een poreuze plaat aan te brengen waarmee aan het water in de bovenliggende grond een onderdruk kan worden opgelegd, kan de drukhoogte onder in de lysimeter gelijk worden gehouden met de drukhoogte op gelijke diepte buiten de lysimeter.

In het simulatiemodel wordt de randvoorwaarde onder in de lysimeter gemodelleerd met een opgelegde drukhoogte. De opgelegde drukhoogte wordt daarbij gelijk gesteld aan de drukhoogte op dezelfde hoogte in de referentiesituatie.

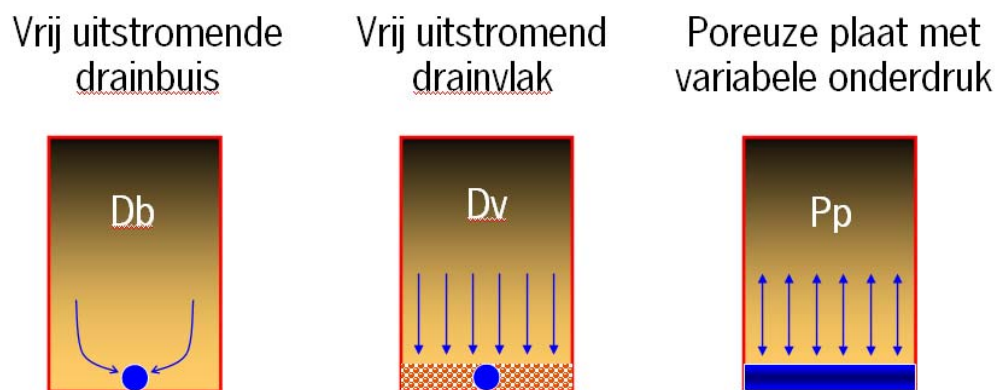
Op het moment dat de onderdruk van de drukplaat groter is dan die van de bovenliggende grond, zal water vanuit de bodem door de poreuze plaat worden afgevoerd. Het kan echter ook zijn dat de drukverdeling in de bodem zodanig is dat er opwaartse stroming optreedt. Dat betekent dat ook vanuit de poreuze plaat water aan de bodem moet kunnen worden teruggegeven. In het model wordt hier aan voldaan zonder stil te staan bij de technische aspecten die nodig zijn om dit in de praktijk te realiseren. De concentratie van het teruggegeven

water is constant verondersteld. In werkelijkheid zal de concentratie van het bodemvocht echter variëren, zodat deze veronderstelling bij benadering correct kan zijn.

Tabel 2.3

Drainageprincipe onderin de lysimeter.

Code	Drainageprincipe
Db	Drainagebuis onder in lysimeter zonder kleikorrels
Dv	Drainagevlak: lysimeter met vrij uitstromend vlak onderin (één drainagebuis in een bed van kleikorrels)
Pp	Poreuze plaat met geregelde onderdruk



Figuur 2.5

Schematische weergave van de onderzochte drainagesystemen van de lysimeter.

In dit project zijn bovenstaande drie typen drainagesystemen onderzocht voor een 90 cm diepe lysimeter, gelijk aan de diepte zoals gebruikt in eerder onderzoek. Van de poreuze plaat met variabele onderdruk zijn twee varianten beschouwd:

1. Poreuze plaat waarbij de afvoer wordt opgevangen in een reservoir, die niet in staat is nitraathoudend water terug te geven aan de bodem als deze droger wordt, en
2. Als 1. maar hier is als extra voorziening opgenomen dat er een oplossing met vaste concentratie aan de bovenliggende bodem kan worden teruggegeven. In dat geval zal de cumulatieve (netto-)belasting af gaan nemen. In het eerste geval kan hij alleen maar toenemen. De gekozen vaste concentratie van 7.2 mmol/l is gelijk aan de gemiddelde concentratie nitraat over de onderzijde van de lysimeter in de referentiesituatie.

2.4.2 Hoogte lysimeterwand

Een teler voert tussen twee teelten grondbewerking uit in de bovenste teeltlaag. In de chrysantenteelt moet grondbewerking in de bovenste 30 centimeter mogelijk blijven. Daarom is in het verleden gebruik gemaakt van lysimeters met zijwanden die niet tot aan maaiveld reikten. In dergelijke gevallen kan er echter uitwisseling van water en nutriënten plaatsvinden tussen de grond binnen en buiten de lysimeter. Dit heeft onder andere tot

gevolg dat niet zeker is welk bodemdeel invloed heeft op de waterstroming binnen de lysimeter. Dit bodemdeel moet in principe gelijk zijn aan het bodemoppervlak van de lysimeter, maar kan in dergelijke gevallen groter of kleiner zijn.

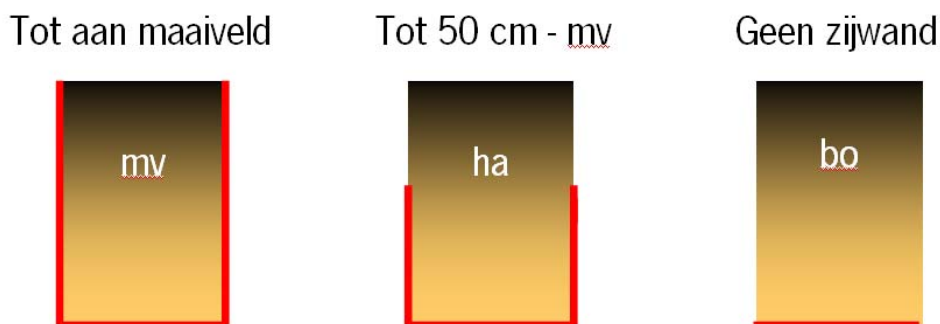
Om inzicht te verkrijgen in het effect van de zijwandhoogte is in deze studie gekeken naar drie situaties: a) wand tot aan maaiveld, b) wand tot halverwege maaiveld, of c) geen zijwand (tabel 2.4; figuur 2.6).

Om het effect van de situatie zonder wand op de drainage te kunnen testen is voor deze berekeningen uitgegaan van een grondwaterstand van 500 cm onder maaiveld. Een grondwaterstand op 90 cm zou in die situatie continu drainage hebben gegeven. Om een goede vergelijking met andere wandhoogten te kunnen maken zijn ook die uitgevoerd bij een grondwaterstand van 500 cm.

Tabel 2.4

Type lysimeterwand.

Code	Hoogte zijwand
mv	Tot aan maaiveld
ha	Halverwege: in de berekeningen 50 cm onder maaiveld
bo	Alleen een drainbodem, dus geen wand (in de berekeningen 90 cm onder maaiveld)



Figuur 2.6

Schematische weergave van de onderzochte zijwandhoogten van de lysimeter.

2.4.3 Grootte stroomdomein van het model

De benodigde minimale grootte van het totale stroomdomein (modelbreedte, figuur 2.4) is bepaald door te onderzoeken of bij een vergroting van het stroomdomein de resultaten nog wezenlijk veranderen. De minimale domeingrootte is die grootte waarbij de resultaten bij een verdere vergroting van het domein niet of nauwelijks meer veranderen.

Gestreefd wordt naar de minimale domeingrootte om rekentijden te minimaliseren. Een ingreep in het stroomdomein, bijvoorbeeld door het plaatsen van een lysimeter, geeft altijd een verstoring. Het totale domein moet zo groot zijn dat in de uiterste hoek van het domein een verticaal stromingsprofiel heerst. Bij een

verticaal stromingsprofiel aan de randen van het domein hebben deze randen geen invloed meer op het profiel in en nabij de lysimeter.

Het bodemoppervlak van de lysimeter is bij de berekeningen aangepast aan de praktijk. In de praktijk bedraagt deze ongeveer $2 \times 2.4 = 4.8 \text{ m}^2$. Zoals in paragraaf 2.1.3 al is aangegeven gaan we de modelberekeningen uitvoeren met een cilindervormige lysimeter. Deze lysimeter is zo groot gekozen dat deze dezelfde hoeveelheid grond bevat als de rechthoekige lysimeter uit de praktijk. De cilindrische modellysimeter heeft daarom een straal van 1,236 m.

Ter bepaling van de domeingrootte zijn doorgerekend:

- De referentiesituatie, dus zonder lysimeter, met een zandgrond en een grondwaterpeil van 90 cm onder maaiveld met een domeingrens van 7,2 meter.
- Idem, echter voorzien van een 90 cm diepe lysimeter met onderin een vrij drainerend vlak en een lysimeterwand van 25 cm hoogte ten opzichte van de onderzijde van de lysimeter.
- Beide vorige situaties zijn nogmaals doorgerekend, echter nu met een domeingrens op 21.6 meter.

2.4.4 Grondsoort en grondwaterstand

Uit de tabellen 2.1 en 2.2 blijkt dat een aantal bodem- en grondwatercombinaties in de praktijk nauwelijks voorkomt. Een zorgvuldige afweging tussen het voorkomen van grondsoorten, grondwaterstanden en mogelijke lysimetersamenstellingen heeft geleid tot een basisset van te onderzoeken varianten (tabel 2.5). Deze basis-set is gebruikt om antwoord te verschaffen op de onderzoeksvragen 1 t/m 4 zoals genoemd in paragraaf 1.2. De coderingen die in tabel 2.5 zijn gebruikt zijn terug te vinden in de tabellen 2.3 en 2.4.

Toenemende inzichten in onder andere de processen en drijvende krachten tijdens de uitvoering van het project gaven aanleiding tot het uitbreiden van de varianten om eveneens antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvragen 5 t/m 7.

Tabel 2.5

Overzicht van de uitgevoerde simulaties voor de onderzoeksvragen 1 t/m 4. Ten behoeve van de leesbaarheid zijn de coderingen uit de tabellen 2.3 en 2.4 overgenomen.

Grond-soort	Grondwaterstand (cm-maaiveld)					
	90		90 → 150 ¹		500	
Zand	Db, Dv, Pp	mv, ha, bo	Dv, Dp	mv	Db, Dv, Pp	mv, ha,bo
Zavel	Dv, Pp	mv	-	-	x	
Klei	Dv, Pp	mv	-	-	x	

¹ start op 90 cm en daalt vervolgens naar 150 cm gedurende de derde teelt

Db = Drainagebuis onder in lysimeter zonder kleikorrels
Dv = Drainagevlak: lysimeter met vrij uitstromend vlak onderin (één drainagebuis in een bed van kleikorrels)
Pp = Poreuze plaat met geregelde onderdruk

mv = Wand tot aan maaiveld
ha = Wand halfhoog (in de berekeningen 50 cm onder maaiveld)
bo = Alleen een drainbodem, dus geen wand (in de berekeningen 90 cm onder maaiveld)

x = Komt niet voor in praktijk
– = Niet uitgevoerd: levert relatief weinig toegevoegde informatie

De grondsoort zand is in het model ingevoerd op basis van metingen aan grondmonsters uit een kas in Helden. De overige grondsoorten, zavel en klei, zijn op basis van kentallen uit de Staringreeks (Wösten et al., 2001) in het model ingevoerd. De spreiding die er binnen een bodemeenheid in de Staringreeks aanwezig is, wordt alleen bij slecht doorlatende gronden gebruikt om de veelal betere doorlatendheid van de bovengrond in de grondgebonden teelt te kunnen modelleren. De waterdoorlatendheid in het natte traject is in deze gronden daarom hoger dan het gemiddelde genomen. De bodemfysische eigenschappen van de gronden zijn weergegeven in bijlage 4.

De zandgrond is van boven naar onder als volgt opgebouwd:

- 15 centimeter donkerbruin tot zwart, zwak tot matig siltig zand. De laag bevat veel organische stof met onverteerde resten. Aan het begin van de teelt heeft deze laag een zeer losse structuur (en een zeer lage dichtheid). In de loop van de teelt zakt deze laag in, waardoor de dichtheid toeneemt. De verzadigde waterdoorlatendheid van deze laag is zeer hoog.
- 15 centimeter donkerbruin tot zwart, zwak tot matig siltig zand. Deze laag bevat ook veel organische stof en onverteerde resten. Deze laag zakt echter niet in en heeft een hogere dichtheid dan er boven. De verzadigde waterdoorlatendheid van deze laag is hoog.
- 30 centimeter bruin, zwak tot matig siltig zand. De dichtheid is hoger dan de bovenliggende lagen.
- Vanaf 60 centimeter onder maaiveld zwak tot matig siltig zand. De bovenste 5 cm is grijsbruin, daaronder is de grond geel met bruine, zwarte en roestkleurige vlekken. De dichtheid van deze laag is zeer hoog.

De zavelgrond is van boven naar onder als volgt opgebouwd:

- 10 centimeter dikke zeer lichte zavel (B7) met verhoogde verzadigde waterdoorlatendheid en verhoogd vochtgehalte bij verzadiging. Voor de verhoging is uitgegaan van de maximale spreiding die er op de B7 grondsoort binnen de Staringreeks aanwezig is.
- 20 centimeter dikke matig lichte zavel (B8) met verhoogde verzadigde waterdoorlatendheid en verhoogd vochtgehalte bij verzadiging. De verhoging is gekozen op de spreidingsgrens van de B8 grondsoort.
- Vanaf 30 centimeter onder maaiveld een matig lichte zavel (O9).

De kleigrond is van boven naar onder als volgt opgebouwd:

- 10 centimeter dikke lichte klei (B10) met verhoogde verzadigde waterdoorlatendheid en verhoogd vochtgehalte bij verzadiging. De verhoging van het vochtgehalte is gekozen op de spreidingsgrens van de B10 grondsoort. De verzadigde waterdoorlatendheid is een stuk hoger gekozen in verband met de rulle toestand van de bovengrond (70 cm/d).
- 20 centimeter dikke zeer zware klei (B12) met verhoogde verzadigde waterdoorlatendheid en verhoogd vochtgehalte bij verzadiging. De verhoging van het vochtgehalte is gekozen op de spreidingsgrens van de B12 grondsoort. De verzadigde waterdoorlatendheid is een stuk hoger gekozen in verband met de rulle toestand van de bovengrond (50 cm/d).
- 20 centimeter dikke matig zware klei (B11).
- Vanaf 50 centimeter onder maaiveld een lichte klei (O11).

2.4.5 Diepte lysimeter

De grondwaterstand heeft bij een gesloten lysimeter (zijwand tot aan maaiveld) geen effect op de waterstroming binnen de lysimeter. Wel kan, afhankelijk van de situatie, meer onderscheid ontstaan tussen de referentiesituatie en de situatie in de lysimeter. Als drainage optreedt in een lysimeter met vrije drainage, is de bodem onderin de lysimeter juist verzadigd (schijngrondwaterspiegel). Als buiten de lysimeter de grondwaterstand dieper is dan de onderzijde van de lysimeter, dan zal duidelijk zijn dat ter hoogte van de onderzijde van de lysimeter de bodem in de rest van de kas onverzadigd is. Een lysimeter met een diepte van 90 cm heeft de schijngrondwaterspiegel op 90 cm liggen, terwijl de werkelijke grondwaterstand bijvoorbeeld op 5 meter ligt. Het ligt in de verwachting dat het stromingsprofiel binnen de lysimeter in dat geval meer op de referentiesituatie lijkt als de lysimeter dieper is, liefst even diep als de grondwaterstand. Daarom is onderzocht in hoeverre een diepere lysimeter beter overeen komt met de referentiesituatie.

De onderzochte lysimeterdiepten bij een grondwaterstand van 5 meter zijn 90, 125, 150, 200 en 300 cm onder maaiveld. De varianten zijn alleen onderzocht met een zandgrond omdat diepe grondwaterstanden bij zavel en kleigronden nauwelijks voorkomen. De wanden lopen steeds door tot aan maaiveld.

2.4.6 Beregeningsstrategie

De standaard beregeningsstrategie (zie 2.3), de zogenaamde nulvariant, heeft een totaal neerslagoverschot van 5%, ofwel er wordt gemiddeld gedurende de teelt 5% meer water gegeven dan dat er verdampt door plant en bodem. De verdamping is daarbij vastgesteld op basis van het gewasverdampingsmodel van Wageningen UR Glastuinbouw. De startgift was 18 mm, maar dit is minder dan het verdampingsoverschot gedurende de laatste irrigatieloze periode aan het eind van de voorafgaande teelt.

Om te onderzoeken welke effecten te verwachten zijn bij andere beregeningsstrategieën zijn een aantal extra varianten doorgerekend, gebaseerd op in de praktijk voorkomende situaties. Daarbij wordt uitgegaan van een lysimeter met vrij drainerend vlak met een diepte van 90 cm. De wanden lopen daarbij door tot aan maaiveld. De grondwaterstand is 90 cm onder maaiveld.

Er worden varianten doorgerekend met een totaal beregeningsoverschot van 7, 8, 10, en 20%, elk met een grote startgift van 25 mm om de droge periode aan het eind van de vorige teelt voor een groot deel teniet te doen (tabel 2.6).

Tabel 2.6

Berekening (mm) of berekeningsoverschot (%) ten opzichte van de verdamping in de betreffende periode, dus:

$\{(P - ET) / ET\} * 100\%$. De giften zijn steeds om de drie dagen, tenzij anders aangegeven. Om onderling vergelijk tussen de varianten mogelijk te maken zijn de periodetijden steeds gelijk gehouden. Dit kan enigszins afwijken van de exacte perioden per variant zoals weergegeven in bijlage 1.

Variant	0	1	2	3	4
Startgift dag 1	18 mm	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm
13 dagen	-16%	0% dagelijks	0%	10%	25%
28 dagen	12%	25%	25%	10%	25%
18 dagen	35%	10%	10%	10%	25%
9 dagen uitdrogen	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Totaal overschot	5%	10%	8%	7%	20%

2.4.7 Sturingsmogelijkheid tuinder

De lysimeter wint aan waarde indien deze voor de tuinder ook geschikt is als sturingsinstrument voor irrigatie. De vraag is met welke opbouw en dimensies van de lysimeter de drainafvoer in dit kader voldoende informatie in de tijd oplevert zodat hiermee bijvoorbeeld de irrigatiemomenten en/of -hoeveelheden bepaald kunnen worden.

Een ondiepe lysimeter heeft minder waterbufferend vermogen. Het is voor te stellen dat een ondiepe lysimeter daarom meer dynamiek vertoont dan een diepe lysimeter. In dat geval is deze meer geschikt als sturingsinstrument voor de tuinder. Het nadeel van een ondiepe lysimeter is dat het stromingsprofiel sterker kan gaan afwijken van de referentiesituatie vanwege de ondiepere schijngrondwaterspiegel.

Onderzocht zijn de lysimeterdieptes 50, 70 en 90 cm onder maaiveld bij een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld in een zandgrond met een lysimeterwand die doorloopt tot aan maaiveld. De irrigatie is uitgevoerd volgens variant 0 (tabel 2.6).

3 Berekeningsresultaten

3.1 Grootte stroomdomein van het model

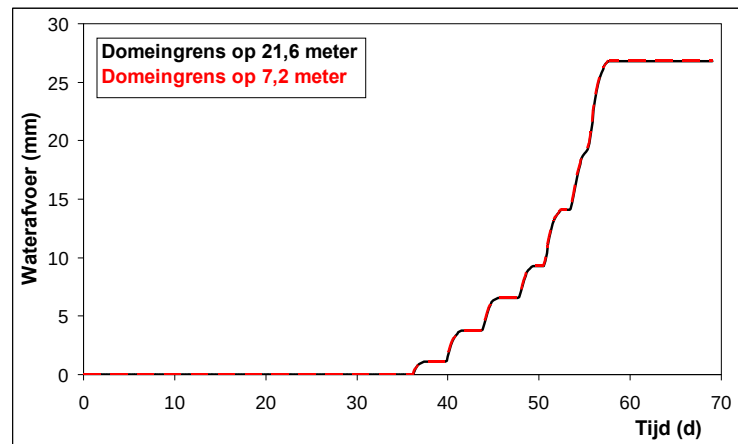
In figuur 3.1A is de waterafvoer gegeven op een hoogte van 90 cm-mv voor een model waarbij de domeingrens op 21,7 meter is gelegd en voor een model waarbij de domeingrens op 7,2 meter is gelegd (zie 2.3.3). Weergegeven is de waterafvoer tijdens de derde teelt op een diepte van 90 cm bij vrije drainage. De rode lijn valt volledig samen met de zwarte lijn. Dit betekent dat er geen verschil in waterafvoer is berekend tussen beide modellen.

De nitraatafvoer voor de verschillende domeinen is weergegeven in figuur 3.1B. Er is een lichte afwijking te constateren tussen de beide modellen. Dit komt vooral door het niet volledig verticaal gerichte stroomprofiel dat optreedt als gevolg van de lysimeterwand die niet tot aan maaiveld doorloopt. Hierdoor ontstaat interactie tussen de grond binnen en buiten de lysimeter. Omdat de meeste berekeningen toegespitst zijn op verticale stroomprofielen binnen of buiten een gesloten lysimeter (zijwand tot aan maaiveld) is deze afwijking acceptabel geacht.

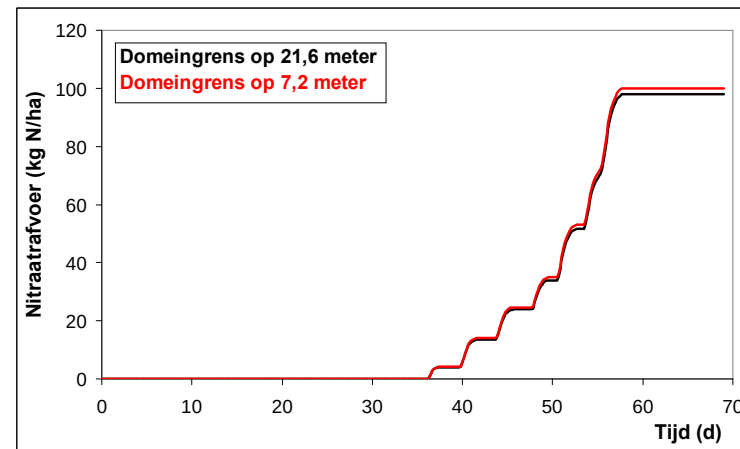
Figuur 3.1C geeft het drukhoogteprofiel op twee punten vanaf het midden van de lysimeter. De zwarte lijnen zijn berekend in een stroomdomein met een straal van 21,6 meter. De rode lijn is berekend in een stroomdomein met een straal van 7,2 meter. Alle lijnen lopen over elkaar. Dit betekent dat ook voor wat betreft de drukhoogteprofielen geen verschillen van betekenis optreden bij het gebruik van beide modellen.

Omdat het stroomdomein met een straal van 21,6 meter geen noemenswaardige verschillen geeft ten opzichte van het stroomdomein met een straal van 7,2 meter, zijn alle volgende modelberekeningen uitgevoerd in een stroomdomein met een straal van 7,2 meter en een lysimeter met een straal van 1,236 meter. In dat geval is de modelbreedte 5 à 6 keer groter dan de lysimeterstraal.

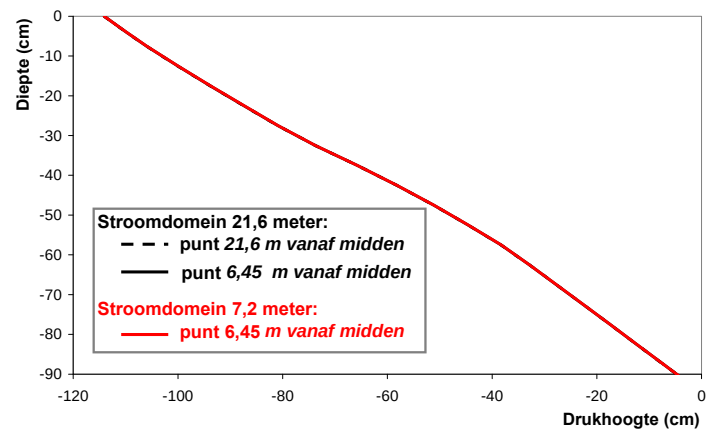
a



b



c

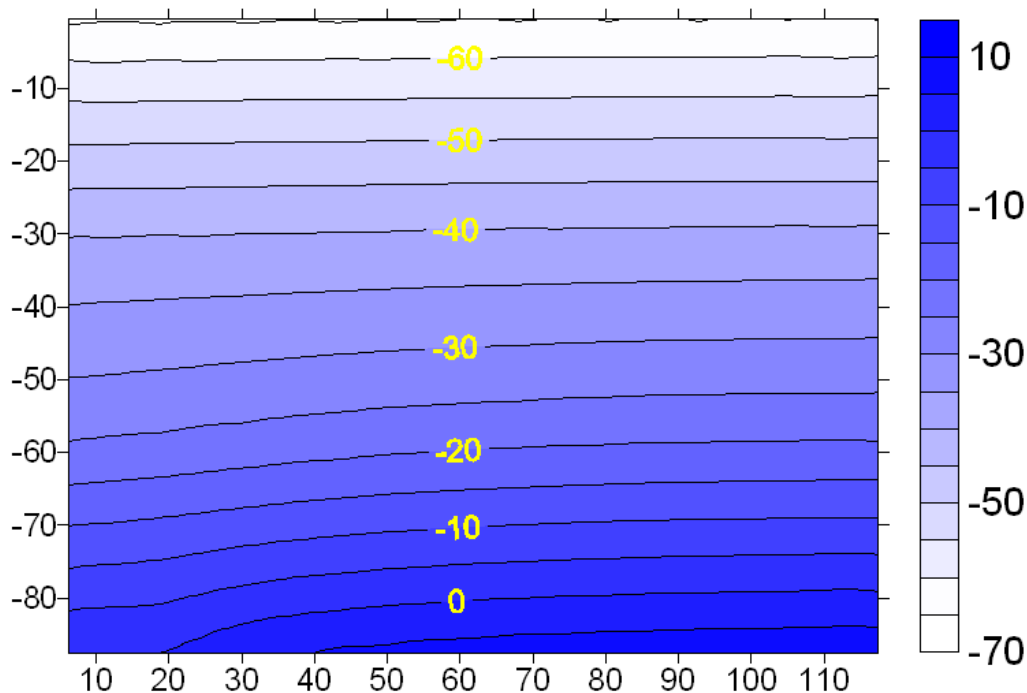


Figuur 3.1 a)

Waterafvoer, b) nitraatrafvoer, en c) drukhoogteprofiel als functie van het aantal teeltdagen op een zandgrond bij verschillende domeingroottes van het model (zie paragraaf 2.3.3). De zijwand van de lysimeter loopt door tot 25 cm boven de onderzijde van de lysimeter.

3.2 Drainagetype in lysimeter

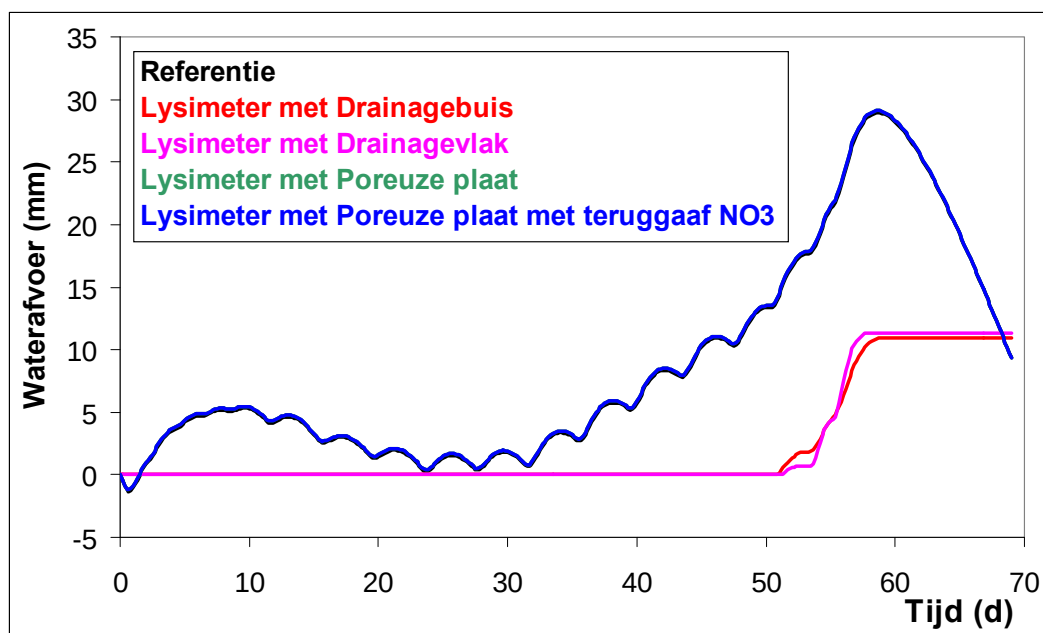
Figuur 3.2 toont het drukhoogteprofiel van een lysimeter met wanden tot aan maaiveld en een enkele drainbuis in de linker onderhoek. De stroombanen zijn ten tijde van afvoer niet verticaal gericht, maar buigen af naar de drainagebuis. De gemiddelde lengte van de stroombanen is door de kromming iets langer waardoor er gedurende iets langere tijd drainafvoer zal worden gemeten.



Figuur 3.2

Drukhoogteprofiel op de 5^e dag, horende bij het lysimetermodel met drainbuis. De drainbuis is geplaatst in de linkeronderhoek van het model (in het midden van de werkelijke lysimeter). Linkeras: diepte tov maaiveld; Horizontale as: breedte van de lysimeter; Labelindex: drukhoogte in cm.

In figuur 3.3 is de waterafvoer weergegeven voor de verschillende drainagetypes. Zoals verwacht is het verloop van de afvoer van de poreuze plaat met variabele onderdruk voor wat betreft de waterafvoer gedurende de gehele teeltperiode exact gelijk aan die van de referentiesituatie. De blauwe en zwarte lijn vallen vrijwel exact over elkaar en zijn daardoor niet van elkaar te onderscheiden. De waterafvoer van de vrij drainerende buis en het vrij drainerende vlak is alleen aan het eind van de teelt gelijk aan de cumulatieve drainafvoer van de referentiesituatie.



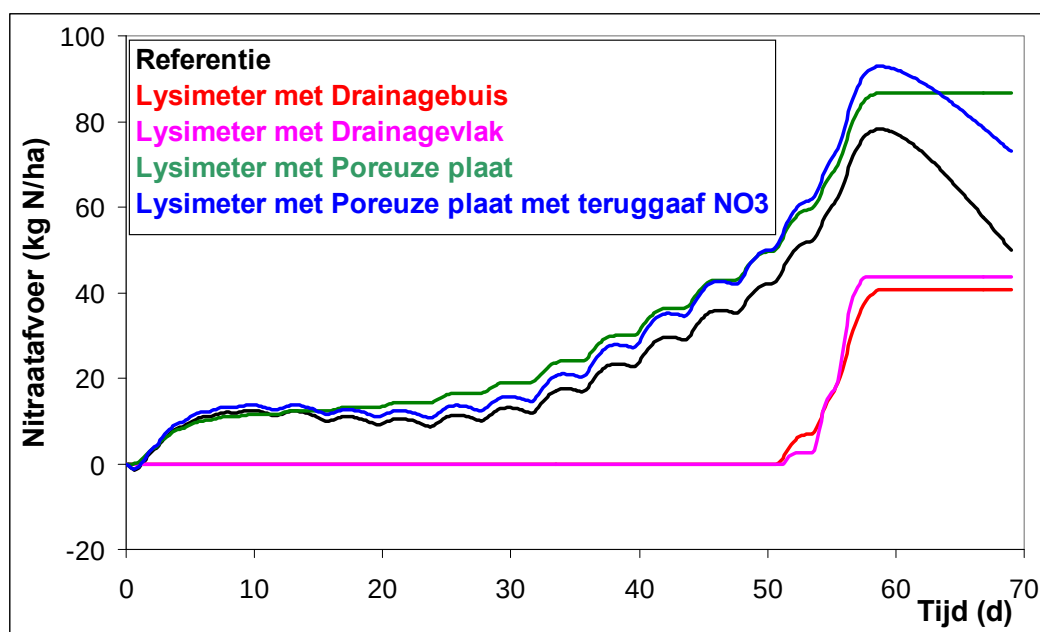
Figuur 3.3

Waterafvoer bij verschillende drainagetypes in een zandgrond met grondwaterstand 90 cm onder maaiveld en de lysimeterwand tot aan maaiveld

In de simulaties is de cumulatieve waterafvoer in de lysimeter aan het eind van de teelt steeds gelijk aan de afvoer van de referentiesituatie. Dit komt omdat voorafgaande aan het weergegeven simulatieresultaat achtereenvolgens meerdere volledig identieke teelten zijn doorgerekend. Dit resulteert erin dat voor elk lysimetertype een dynamisch evenwicht is bereikt waardoor de vochttoestand aan het eind van iedere teelt eindigt met hetzelfde eindvochtgehalte en drukhoogteverdeling. Feitelijk betekent dit dat er tussen de verschillende teelten netto geen toename of afname van de waterberging optreedt in de bodem. In de referentiesituatie heerst dit evenwicht eveneens, waardoor de cumulatieve eindafvoeren van de lysimeter en de referentiesituatie gelijk zijn. Gedurende de teelt is dit niet het geval omdat het vochtprofiel van de bodem binnen en buiten de lysimeter verschilt, waardoor ook de afvoer in de tijd verschilt. In de praktijk zal een tuinder de grond in de loop der tijd niet bewust laten uitdrogen of vernatten, dus ook daar zal gemiddeld gezien ongeveer een dynamisch evenwicht bestaan.

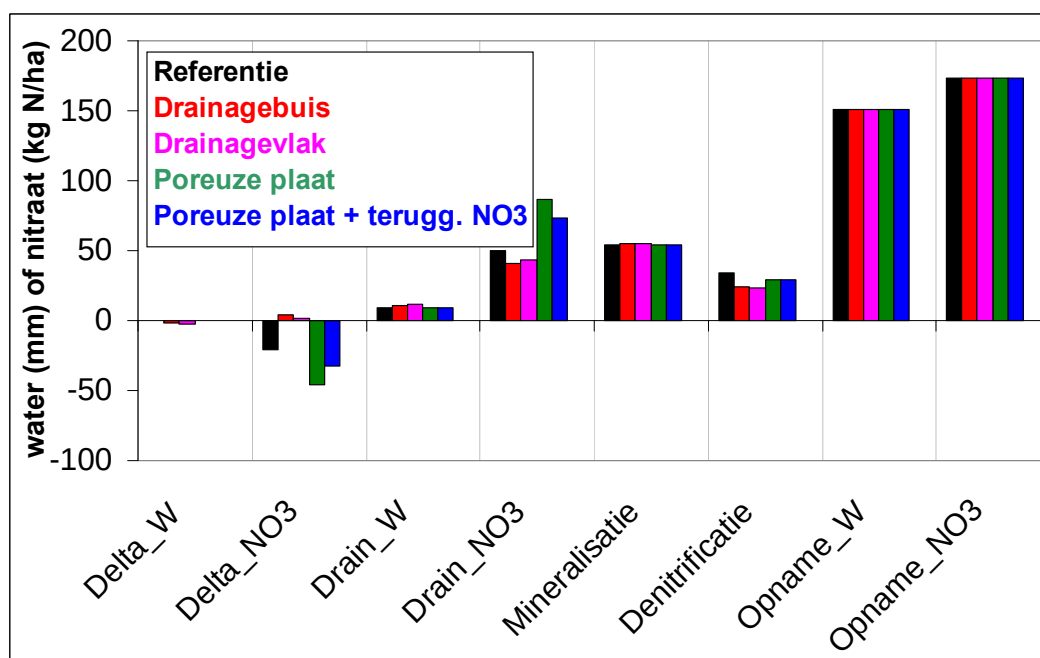
Afwijkingen tussen de cumulatieve eindwaterafvoer van de referentiesituatie en die van de situatie binnen de lysimeter kunnen ontstaan als dit evenwicht wordt verstoord. Dat kan bijvoorbeeld door een veranderde watergeefstrategie tussen de teelten of andere klimatologische omstandigheden tussen de teelten. Dergelijke situaties zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

In figuur 3.4 is de nitraatafvoer gegeven van de verschillende typen lysimeters. De nitraatafvoer van de poreuze plaat met variabele onderdruk heeft een verloop dat het meeste lijkt op die van de referentiesituatie. De situatie waarin vanuit het reservoir geen teruggaaf van nitraat aan de bodem mogelijk is, is te herkennen aan de trapsgewijze ophoging van de cumulatieve afvoer. In perioden waarin teruggaaf logisch zou zijn vanwege lagere bodemwaterpotentialen boven de drukplaat blijft de cumulatieve afvoer constant: er komt dan geen afvoer meer bij. Bij de lysimeter waarbij wel teruggaaf mogelijk is (hier met een constante concentratie van 7.2 mmol/l nitraat-N) neemt op die momenten de cumulatieve afvoer wel af, waardoor de werkelijke afvoer van de referentiesituatie beter wordt benaderd.



Figuur 3.4

Nitraatafvoer bij de verschillende drainagetypes in een zandgrond met grondwaterstand 90 cm onder maaiveld en de lysimeterwand tot aan maaiveld.



Figuur 3.5

Balansposten van water of nitraat bij de verschillende drainagetypes in een zandgrond met grondwaterstand 90 cm onder maaiveld en de lysimeterwand tot aan maaiveld. Delta_W = neergaande hoeveelheid water verminderd met de opgaande hoeveelheid water, Delta_NO3 = neergaande hoeveelheid nitraat verminderd met de opgaande hoeveelheid nitraat, Drain_W = neergaande hoeveelheid water, Drain_NO3 = neergaande hoeveelheid nitraat, Mineralisatie = gemineraliseerde hoeveelheid stikstof, Denitrificatie = gedenitrificeerde hoeveelheid nitraat, Opname_W = door het gewas opgenomen hoeveelheid water, Opname_NO3 = door het gewas opgenomen hoeveelheid nitraat.

Het verloop van de nitraatafvoer bij de overige lysimeters verloopt gelijkvormig met de waterafvoer.

Verschillen in vochtverdeling binnen en buiten de lysimeters zijn van invloed op diverse omzettingsprocessen en in het bijzonder voor mineralisatie en denitrificatie. Figuur 3.5 geeft diverse belangrijke balansposten weer voor water en nitraat horende bij de diverse lysimeters en de referentiesituatie. In geen geval zijn er problemen met water- en nutriëntenopname waargenomen. Er worden verschillen in denitrificatie in de lysimeters berekend ten opzichte van de referentiesituatie. Hierdoor ontstaan verschillen in concentraties in de bodem. Dat heeft uiteindelijk geleid tot verschillen in drainafvoer. In tegenstelling tot water, waarvan de veranderingen in de bodem nihil zijn, is er voor nitraat geen sprake van een dynamische evenwichtsituatie: in de vrije uitstroombysimeters is er sprake van een lichte toename van de nitraatberging, en in de overige situaties is er sprake van uitputting.

Om ook tijdens de teelt beter inzicht in de nitraatafvoer te kunnen krijgen is de drukgeregelde plaat beter geschikt, echter er moet dan gezocht worden naar een methode waarbij teruggaaf van nitraat mogelijk is. Daarbij moet er naar gestreefd worden dat de terug te geven concentratie gelijk is aan die van de referentiesituatie. In dat geval zal ook de cumulatieve afvoer de referentiesituatie beter benaderen.

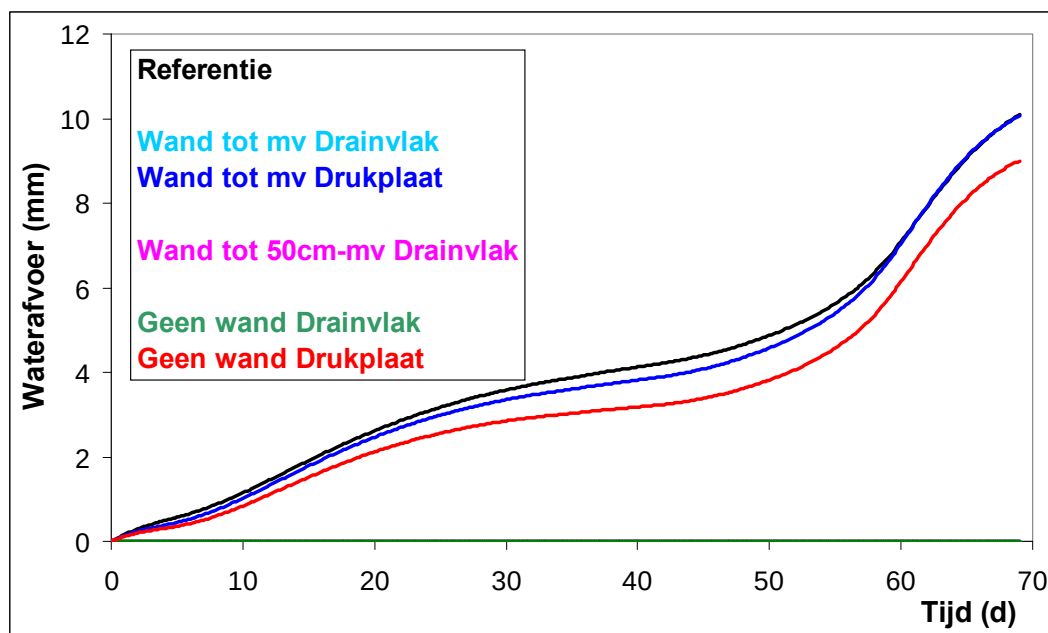
3.3 Hoogte lysimeterwand

Uit figuur 3.6 blijkt dat er geen drain wordt gevonden in de situatie met een vrij drainerend vlak waarbij de lysimeterwand zich 50 centimeter onder maaiveld bevindt of geheel afwezig is. De grondwaterstand is 500 cm – maaiveld. Bij vrije drainage is het nodig dat verzadiging optreedt ter plaatse van de drain. Dit gebeurt alleen als de grondwaterstand zich op of boven het niveau van de drain bevindt. In het bodemgedeelte boven de wand vindt uitwisseling van vocht en nutriënten plaats tussen de grond in de lysimeter en daarbuiten. In de uitgevoerde berekeningen zijn in de lysimeter met vrij een drainerend vlak geen verzadigde situaties ontstaan, zodat geen drain is berekend.

De niet-verticale stromingsprofielen en de daardoor optredende water- en nutriëntenuitwisseling met de grond buiten de lysimeter resulteert per definitie in een onbetrouwbare meting van de drainafvoer. De eventueel waargenomen drain heeft namelijk betrekking op een groter (onbekend) oppervlak dan alleen het oppervlak van de lysimeter. In dat geval is opschalen naar emissie op kasniveau niet meer mogelijk.

Omdat bij de drukgeregelde plaat ook afvoer plaats kan vinden bij drukhoogten kleiner dan nul, zal er in de situatie zonder wand met drukgeregelde keramische plaat wel drainafvoer op kunnen treden bij grondwaterstanden lager dan het drainageniveau. Bij dit type lysimeter is verzadiging dus niet nodig.

In de vrije drainagesituatie waarbij de wand doorloopt tot aan maaiveld treedt eveneens nog geen drainage op, terwijl dit wel de verwachting was. Er is immers een netto neerslagoverschot van 5%. Dit is te wijten aan de droge startsituatie door de diepe grondwaterstand. Het vochtprofiel bij de start van de berekeningen is binnen de lysimeter steeds hetzelfde genomen als in de referentiesituatie. Blijkbaar is het profiel in de lysimeter nog onvoldoende opgeladen om onderin verzadigd te raken. Pas na vijftien teelten blijkt de waterafvoer vergelijkbaar te zijn met die van figuur 3.3.



Figuur 3.6

Effect van de hoogte van de lysimeterwand op de waterafvoer (mm) in een zandgrond met een grondwaterstand van 500 cm onder maaiveld gedurende de 9e teelt. De lysimeters met vrije drainage geven geen van allen waterafvoer. Pas na het doorrekenen van vijftien teelten of meer gaat de lysimeter met wand tot aan maaiveld drain gaan afvoeren gelijk aan die van figuur 3.3.

3.4 Grondsoort en grondwaterstand

In de figuren 3.7 t/m 3.12 zijn de verschillen weergegeven tussen de verschillende grondsoorten (zand, zavel en klei) bij een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de situatie waarbij gebruik wordt gemaakt van een keramische plaat met variabele onderdruk (figuren 3.7, 3.9 en 3.11) en de situatie met een vrij drainerend vlak (figuren 3.8, 3.10 en 3.12). De lysimeters hebben alle een wand die doorloopt tot aan maaiveld.

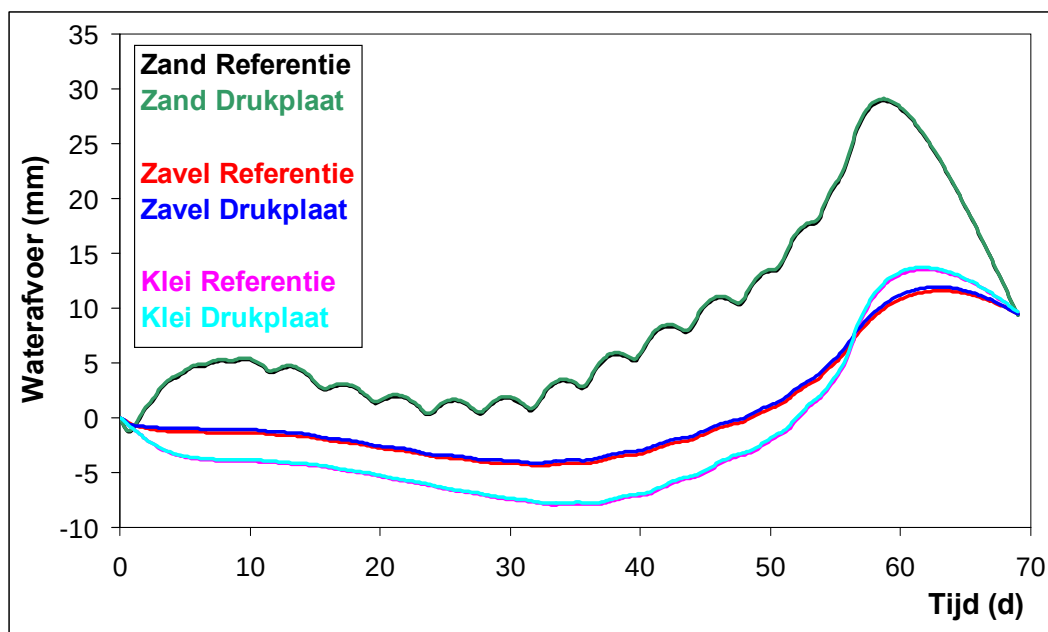
In de figuren 3.13 t/m 3.15 zijn de effecten weergegeven van de verschillende grondwaterstanden (uitgaande van een zandgrond en een lysimeterdiepte van 90 cm). Ook daarbij is onderscheid gemaakt tussen de situatie waarbij gebruik wordt gemaakt van een keramische plaat met variabele onderdruk (figuur 3.13) en de situatie met een vrij drainerend vlak (figuren 3.14 en 3.15).

3.4.1 Grondsoorten

Grondsoorten - waterafvoer

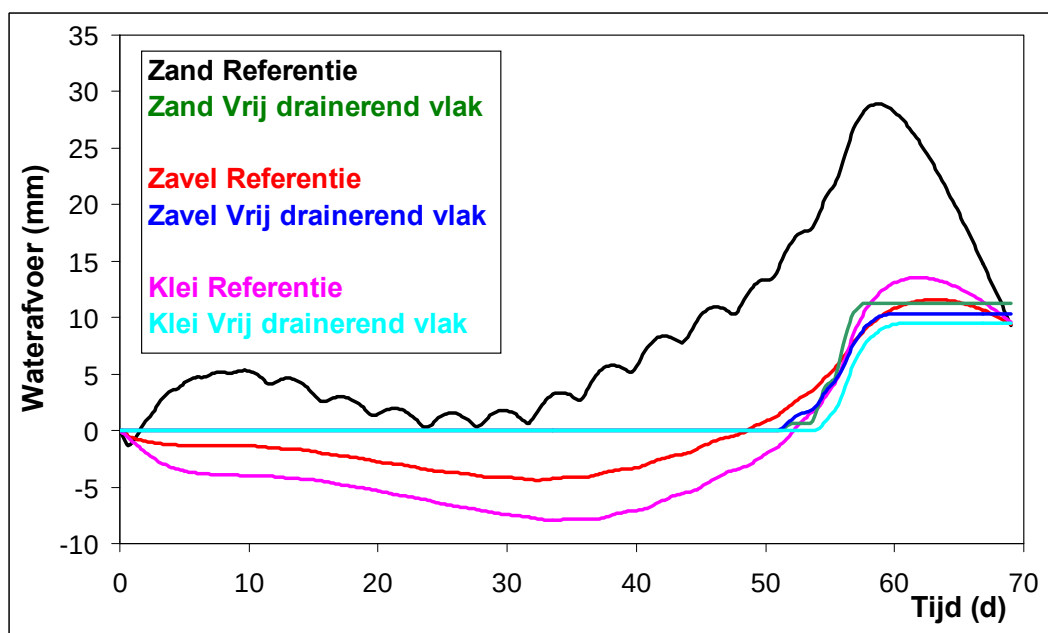
De referentiesituaties van zavel en klei (figuren 3.7 en 3.8) vertonen in het begin van de teelt een negatieve waterafvoer. Dat betekent dat er een opwaartse waterflux over het grensvlak van 90 cm diepte optreedt. Aan het eind van de voorafgaande teelt is het bodemprofiel bovenin uitgedroogd. Dat geeft aanleiding tot capillaire aanvulling vanuit het grondwater die vooral bij zavel- en kleigronden optreedt.

Logischerwijs is bij drainage met een geregelde drukplaat de lysimetersituatie gelijk aan die van de referentiesituatie (figuur 3.7), omdat de drukhoogte van het water via een meet- en regelsysteem in beide situaties gelijk gehouden wordt.



Figuur 3.7

Effect van verschillende grondsoorten op de waterafvoer (mm) bij drainage met een drukgeregelde plaat, een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld en lysimeterwand loopt tot aan maaiveld. De referentiesituaties van de verschillende gronden vallen steeds samen met de geregelde drukplaat situaties.



Figuur 3.8

Effect van verschillende grondsoorten op de waterafvoer (mm) bij een vrij drainerend vlak, een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld en een lysimeterwand tot aan maaiveld.

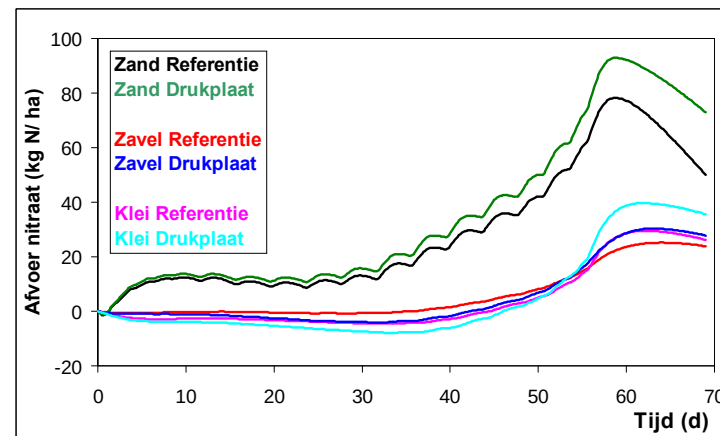
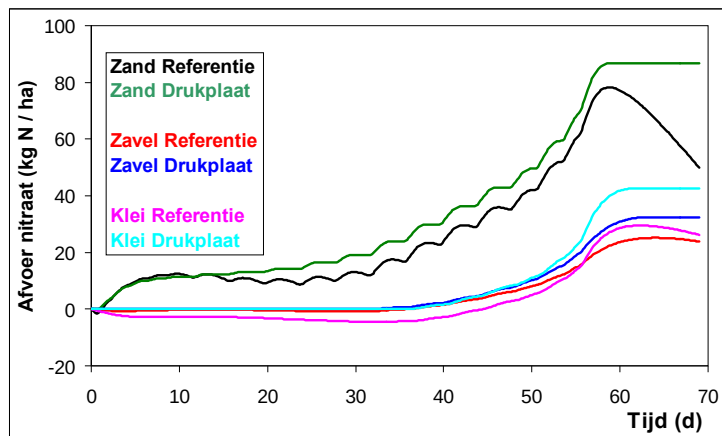
In de situatie met vrije drainage (figuur 3.8) treedt bij de verschillende grondsoorten waterafvoer vrijwel op hetzelfde moment op. Rond dag 30-35 neemt de cumulatieve waterafvoer op 90 cm diepte in de

referentiesituatie bij alle grondsoorten weer toe. Vanaf dat moment is er een netto neerwaartse waterafvoer, hetgeen rond dag 50 leidt tot afvoer in de vrij drainerende lysimeters. Het bergingstekort dat er aan het begin van de teelt was, wordt vanaf dag 30 langzaamaan opgeheven. Dit komt vooral door de forse toename van het neerslagoverschot die voor alle drie de situaties op hetzelfde moment leidt tot een netto neerslagoverschot.

In alle situaties (figuren 3.7 en 3.8) geldt dat aan het einde van de teelt de totale waterafvoer in de lysimeters gelijk is aan die van de referentiesituaties.

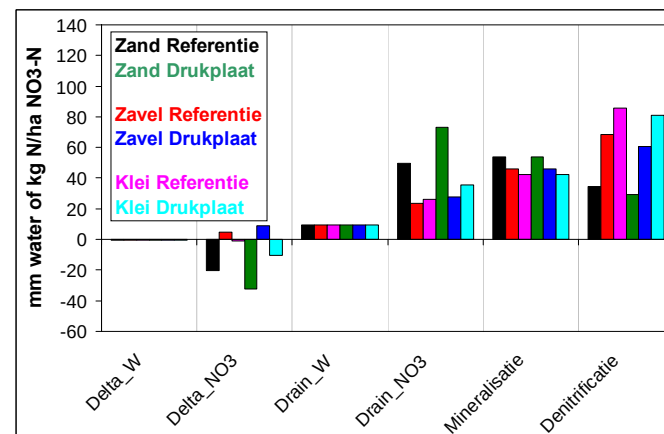
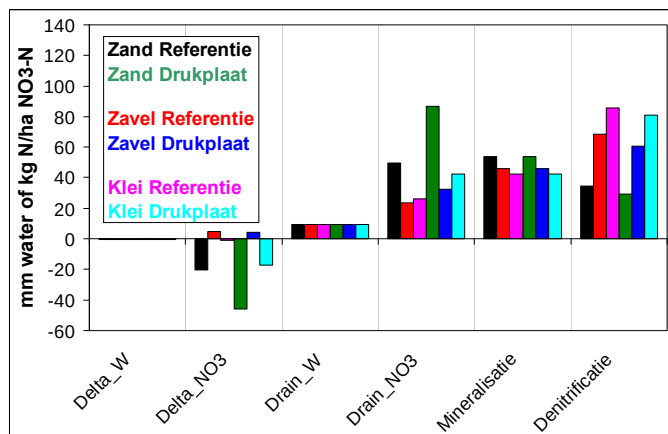
Grondsoorten - nitraatafvoer

De nitraatafvoer in de situatie met drukgeregelde plaat varieert per grondsoort (figuur 3.9). Dit geldt voor zowel de situatie zonder als met teruggaaf van nitraat vanuit de drukgeregelde plaat. Klei- en zavelgronden zijn over het algemeen natter dan zandgronden, waardoor meer van het toegevoerde nitraat zal denitrificeren, hetgeen resulteert in een lagere cumulatieve nitraatafvoer via de drain. Een zandgrond denitrificeert minder dan een zavelgrond; een zavelgrond minder dan een kleigrond. De balansposten voor de lysimeter met drukgeregelde plaat (figuur 3.10) laten dit duidelijk zien. Aanvullend vindt mineralisatie plaats van het in de bodem aanwezige organisch materiaal. Een grond met veel poriën is in het algemeen droger en kan daardoor in warmere perioden sneller opwarmen. Mineralisatie, dat optreedt bij temperaturen vanaf circa 10 °C, kan daardoor beter en sneller plaats vinden. Het samenspel van de diverse processen leidt uiteindelijk tot een stikstofverdeling met de diepte die verschillend is voor de diverse grondsoorten en lysimeterconcepten. Uiteindelijk leidt dit ook tot een verschil in nitraatafvoer.



Figuur 3.9

Effect van verschillende grondsoorten op de nitraatafvoer (kg N/ha) bij drainage met een geregelde drukplaat en een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld. Links: zonder teruggaaf nitraat; Rechts: met teruggaaf nitraat (7.2 mmol N/l).

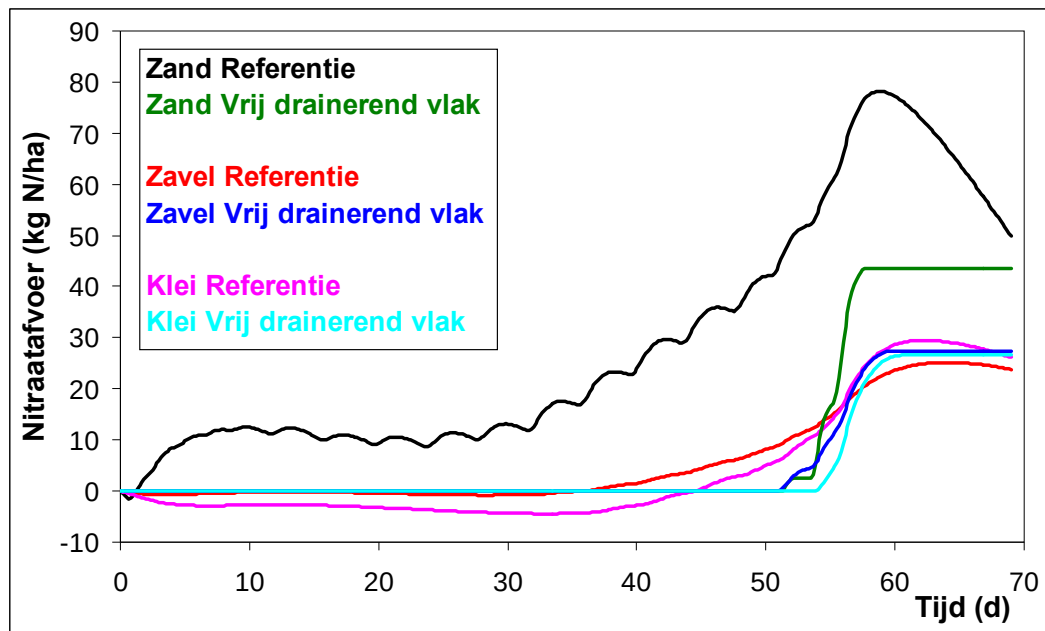


Figuur 3.10

Balansposten (mm water of kg N/ha) behorende bij resultaten uit figuur 3.9, Links: zonder teruggaaf nitraat; Rechts: met teruggaaf nitraat (7.2 mmol N/l).

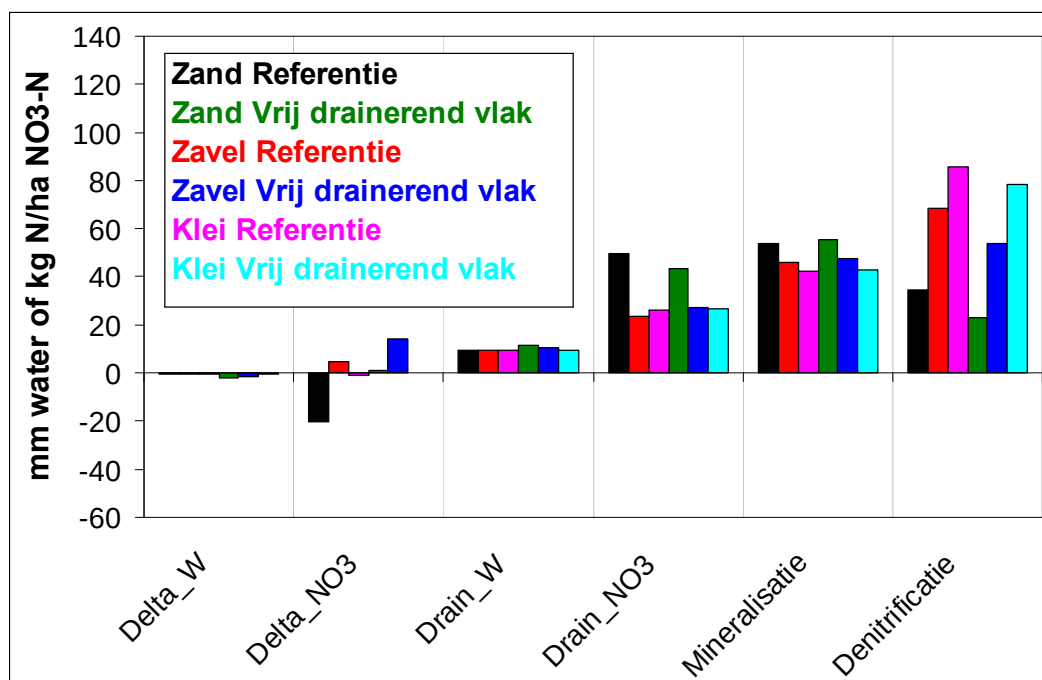
De figuren 3.9 en 3.10 laten zien dat bij alle drie de grondsoorten de lysimeter met drukplaat meer nitraat afvoert dan de referentiesituatie. Blijkbaar wijken de omstandigheden in de lysimeter net iets af van de referentiesituatie waardoor vooral de denitrificatie minder is in de lysimetersituatie, waardoor er meer voor uitspoeling beschikbaar is. Opmerkelijk is wel dat het verschil in drainafvoer groter is dan het verschil in denitrificatie. Het is mogelijk het gevolg van het slechts gedeeltelijk aanwezige dynamische evenwicht voor nitraat. Deze gevolgtrekking is gebaseerd op de verschillen in bergingsveranderingen die nog aanwezig zijn.

De cumulatieve nitraatafvoer bij vrije drainage verloopt minder geleidelijk dan die van de afvoer met drukgeregelde plaat, maar is verder redelijk goed vergelijkbaar (figuren 3.9 en 3.11). De balansposten voor vrije drainage zijn weergegeven in figuur 3.12.



Figuur 3.11

Nitraatafvoer (kg N/ha) voor verschillende grondsoorten bij vrije drainage en een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld.



Figuur 3.12

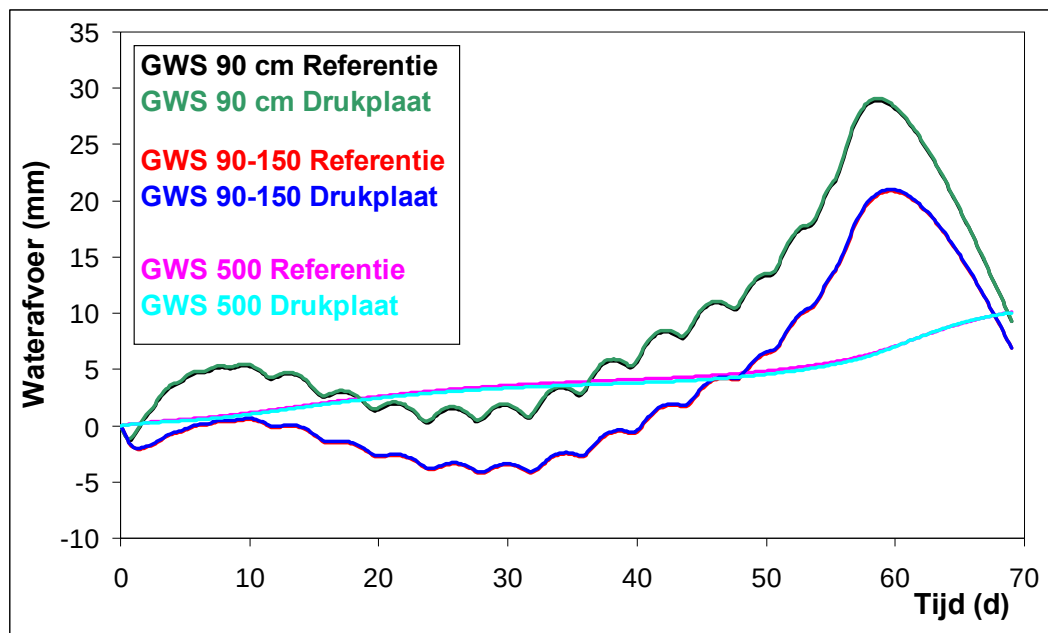
Balansposten (mm water of kg N/ha) bij verschillende grondsoorten in een lysimeter met vrije drainage en een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld.

3.4.2 Grondwaterstand

In de figuren 3.13 en 3.14 is de waterafvoer weergegeven bij verschillende grondwaterstanden. De bodem van de lysimeter bevindt zich steeds op 90 cm onder maaiveld.

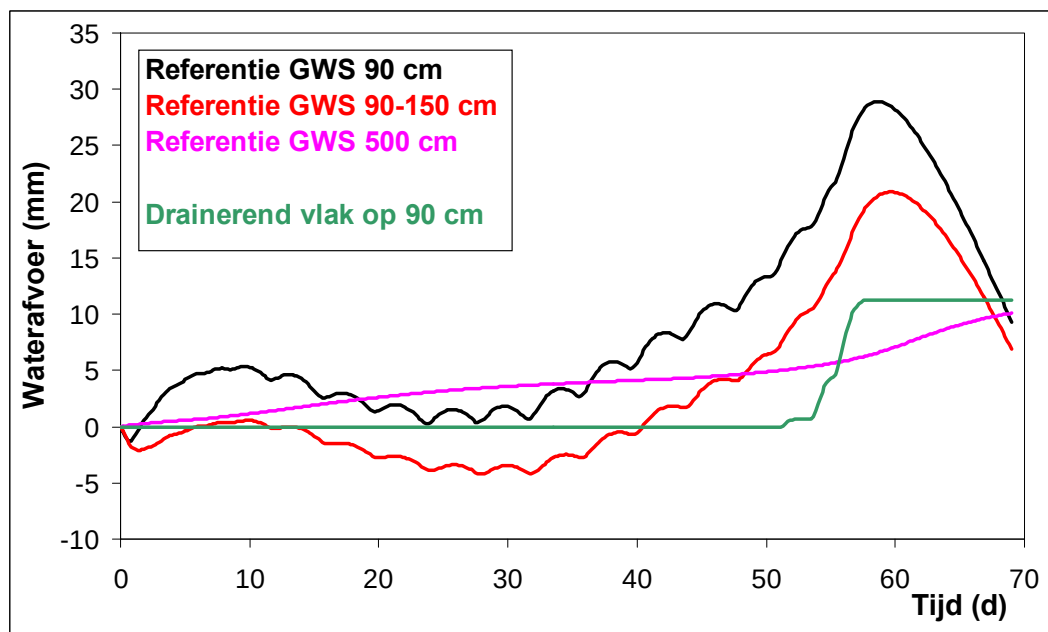
Figuur 3.13 (lysimeter met een drukgeregelde plaat) laat een afnemende dynamiek zien in de waterafvoer bij toenemende grondwaterstanddiepte. De afzonderlijke irrigatiegiften zijn bij een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld nog waarneembaar, maar bij een grondwaterstand van 5 meter niet meer. Ondanks dat de bodem van de lysimeter zich op 90 cm onder maaiveld bevindt wordt de dynamiek van de drukhoogte onderin de lysimeter bepaald door de dynamiek buiten de lysimeter (via de drukregeling die gekoppeld is aan de drukhoogte buiten de lysimeter). De situaties binnen en buiten de lysimeter wijken met de drukgeregelde plaat niet af.

De referentiesituaties van de verschillende grondwaterstanden bij een vrij drainerende lysimeter met lysimeterwand tot aan maaiveld (figuur 3.14) zijn identiek aan die van de lysimeter met drukgeregelde plaat uit figuur 3.13. Omdat de lysimeter in alle vrije drainagesituaties hetzelfde is, is daarvoor slechts één lijn opgenomen. De cumulatieve waterafvoer is aan het eind van de derde teelt in de drie referentiesituaties ongeveer gelijk aan die van de vrije drainafvoer. De cumulatieve hoeveelheid nitraat die aan het eind van de derde teelt in de referentiesituaties over het vlak ter hoogte van de onderzijde van de lysimeter stroomt (figuur 3.15) varieert daarentegen sterk bij de verschillende grondwaterstanden. De cumulatieve nitraatafvoer in de lysimeter met vrije drainage is wel ongeveer gelijk aan de referentiesituatie waarbij de grondwaterstand zich op 90 cm onder maaiveld bevindt. Dit is te verwachten omdat de schijngrondwaterstand in de lysimeter dan het meest overeenkomt met de werkelijke grondwaterstand buiten de lysimeter.



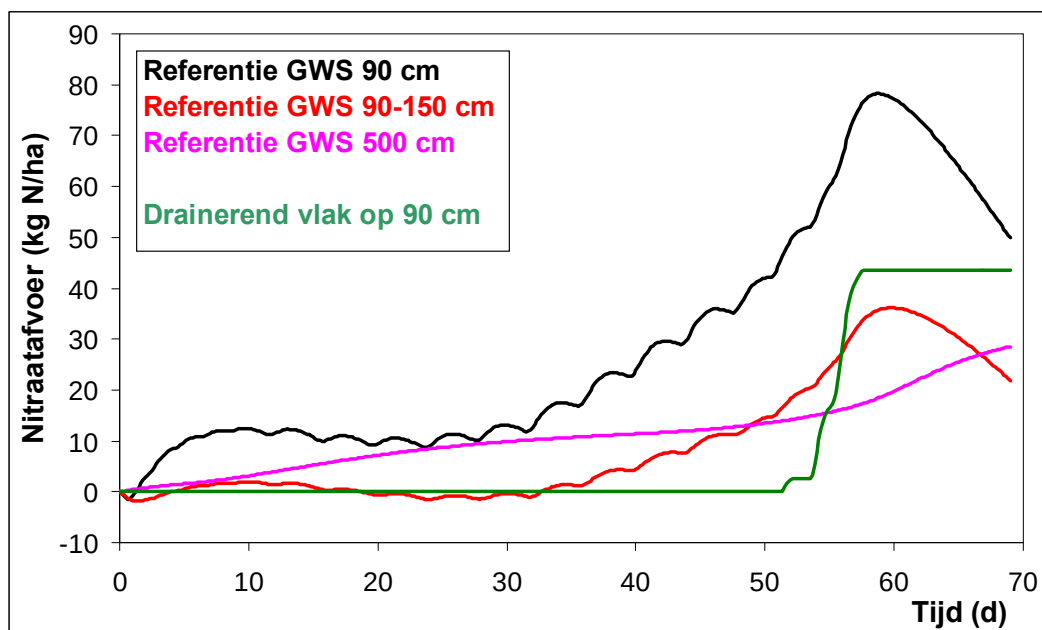
Figuur 3.13

Effect van de grondwaterstand op de waterafvoer (mm) bij de lysimeter met drukgeregelde plaat. De lysimeter is gevuld met een zandgrond, heeft een diepte van 90 cm en wanden tot aan maaiveld.



Figuur 3.14

Effect van de grondwaterstand op de waterafvoer (mm) bij de lysimeter met vrije drainage. De lysimeter is gevuld met een zandgrond, heeft een diepte van 90 cm en wanden tot aan maaiveld.



Figuur 3.15

Effect van de grondwaterstand op de nitraatafvoer (kg N/ha) bij de lysimeter met vrije drainage. De lysimeter is gevuld met een zandgrond, heeft een diepte van 90 cm en wanden tot aan maaiveld.

3.5 Diepte lysimeter

Uit figuur 3.16 blijkt dat de drainafvoer steeds meer afvlakt bij een dieper wordende lysimeter. De situatie zoals berekend bij de 3 meter diepe lysimeter geeft echter een vertekend beeld. Hier is namelijk de derde teelt weergegeven. Deze bevindt zich nog niet in een dynamisch evenwicht. Als veel meer teelten met dezelfde beregeningsstrategie worden doorgerekend, is het de verwachting dat de afvoer van deze lysimeter gaat lijken op die van de 2 meter diepe lysimeter. Dat betekent dat er geen afvoer tijdens het begin van de teelt zal zijn, gevolgd door een korte periode waarin er wel drainafvoer is. De periode met afvoer zal ongeveer op hetzelfde moment beginnen als bij een 90 cm en 200 cm lysimeter, maar zal langzamer naar dezelfde eindwaarde lopen. Het blijkt ook dat in de referentiesituatie het drukhoogteprofiel ter hoogte de drain nauwelijks nog onder invloed staat van de driedaagse frequentie in de watergiften: het drukhoogteprofiel neemt nagenoeg lineair toe in de tijd. Bij een steeds terugkerend positief irrigatieoverschot, hoe klein ook, gaat elke lysimeter uiteindelijk toch drain opleveren. Het moment waarop dit optreedt hangt af van de beregeningsstrategie: eerst moet het tekort van de voorafgaande teelt zijn aangevuld, en in de huidige teelt moet sprake zijn van een overschot sinds de start van de teelt. Het dynamisch gedrag is vrijwel geheel afwezig bij een diepe lysimeter, waardoor de toepasbaarheid als sturingsinstrument voor de watergift minder voor de hand ligt. Indien dergelijke lysimeters in de praktijk worden gebracht, dan verdient het de voorkeur om de grond in de lysimeter eerst te verzadigen door langdurig ter plaatse water te geven totdat de eerste drain wordt opgevangen. Nadeel is dan wel dat ook het aanwezige nitraat voor een deel vanuit de boven gelegen lagen met het water meegenomen wordt naar de lager gelegen lagen van de lysimeter.

3.5.1 Sturingsmogelijkheid tuinder

Uit voorgaande berekeningen is gebleken dat op basis van een lysimeter met geregelde drukplaat gedurende de gehele teelt dynamische informatie over de afvoer beschikbaar is. Deze informatie kan goed gebruikt worden om de irrigatiemomenten te bepalen.

Uit berekeningen met een vrij drainerende lysimeter is gebleken dat voor de hier gehanteerde beregeningsstrategie pas aan het einde van de teelt drainafvoer wordt gemeten. Op dat moment raakt de grond onderin verzadigd en wordt vrije drainage mogelijk. Volgens de berekeningen stijgt de *cumulatieve* afvoer dan snel en blijft vervolgens, afhankelijk van de diepte van de lysimeter, constant vanwege het uitblijven van extra drainage. Het uitblijven van extra drainage wordt veroorzaakt door de irrigatiestop aan het eind van de teelt.

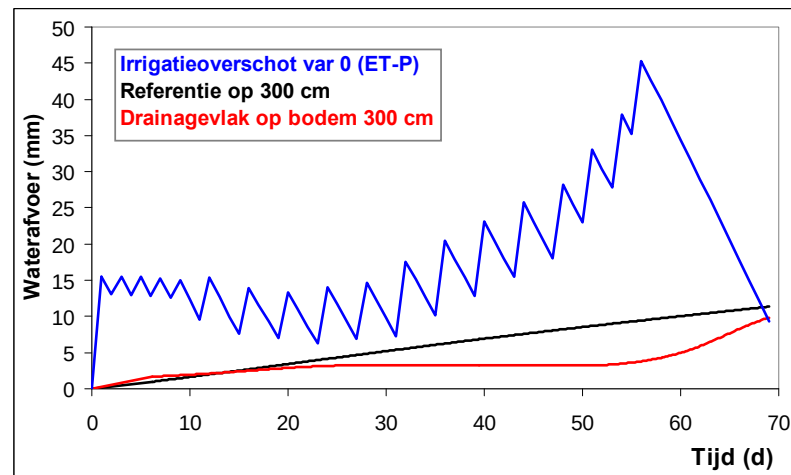
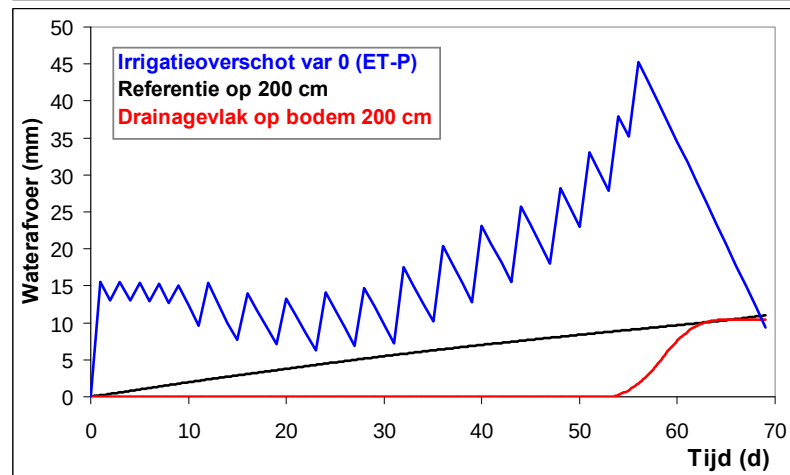
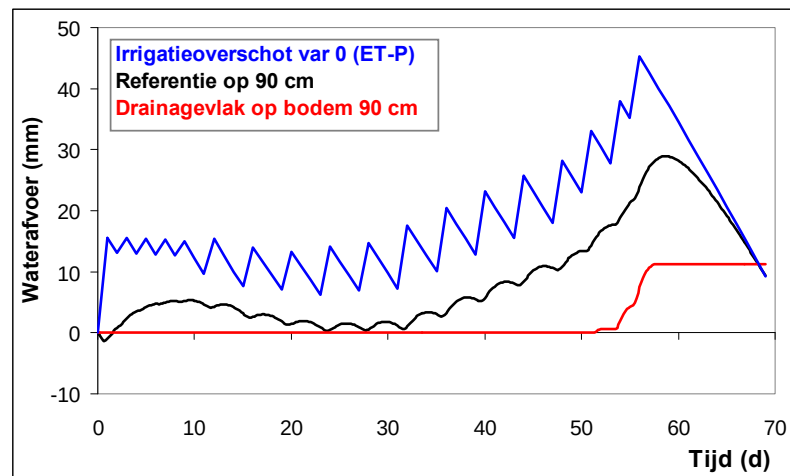
Uit de resultaten van figuur 3.17 blijkt dat ondiepere lysimeters met vrij drainerend vlak met de gegeven irrigatiestrategie geen wezenlijke verbetering in de drainafvoer teweeg brengen, zodanig dat deze door de telers gebruikt kan worden als sturingsinstrument. Ook bij deze ondiepere lysimeters is het neerslagoverschot in ongeveer de eerste vijftig dagen te gering om onderin de lysimeter de bodem te verzadigen. De afvoer van een ondiepe lysimeter lijkt qua dynamiek meer op de dynamiek van de irrigatie. Door de geringere bufferende werking van een ondiepe lysimeter vindt er minder demping tussen de aan- en afvoer plaats. Uit de resultaten blijkt echter dat afvoer pas plaats vindt als het profiel te maken krijgt met een langduriger neerslagoverschot zoals in de tweede helft van de teelt. Dit komt omdat het watertekort dat ontstaat in de eerste helft van de teelt eerst zover aangevuld moet worden dat onderin verzadiging optreedt.

3.6 Sturingsmogelijkheid tuinder

Uit voorgaande berekeningen is gebleken dat op basis van een lysimeter met geregelde drukplaat gedurende de gehele teelt dynamische informatie over de afvoer beschikbaar is. Deze informatie kan goed gebruikt worden om de irrigatiemomenten te bepalen.

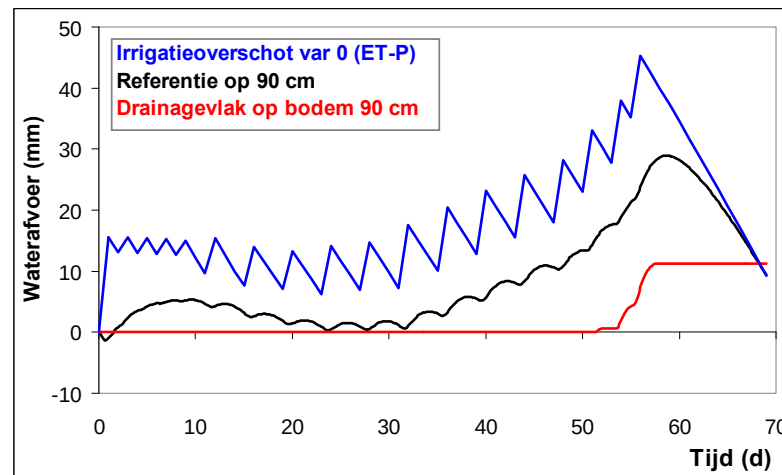
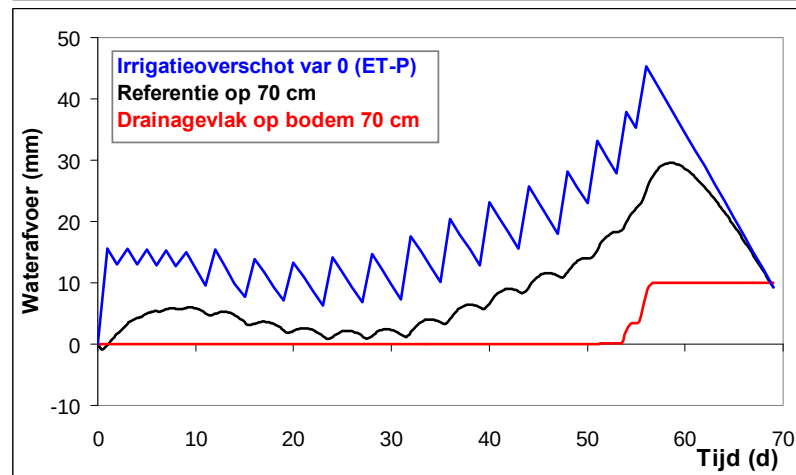
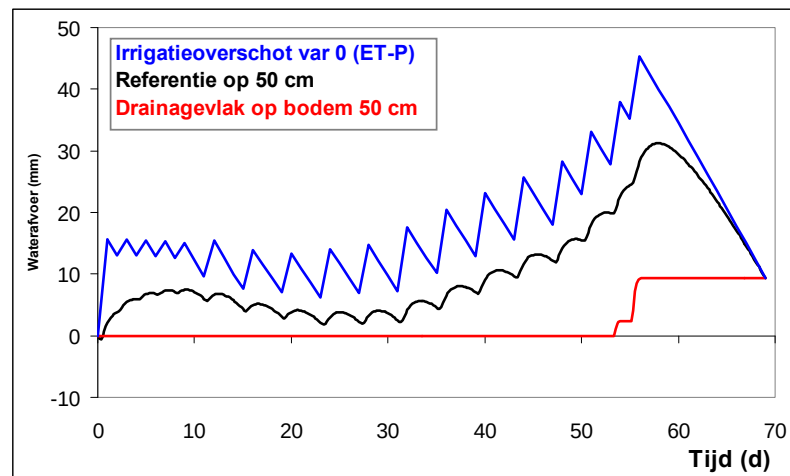
Uit berekeningen met een vrij drainerende lysimeter is gebleken dat voor de hier gehanteerde beregeningsstrategie pas aan het einde van de teelt drainafvoer wordt gemeten. Op dat moment raakt de grond onderin verzadigd en wordt vrije drainage mogelijk. Volgens de berekeningen stijgt de *cumulatieve* afvoer dan snel en blijft vervolgens, afhankelijk van de diepte van de lysimeter, constant vanwege het uitblijven van extra drainage. Het uitblijven van extra drainage wordt veroorzaakt door de irrigatiestop aan het eind van de teelt.

Uit de resultaten van figuur 3.17 blijkt dat ondiepere lysimeters met vrij drainerend vlak met de gegeven irrigatiestrategie geen wezenlijke verbetering in de drainafvoer teweeg brengen, zodanig dat deze door de telers gebruikt kan worden als sturingsinstrument. Ook bij deze ondiepere lysimeters is het neerslagoverschot in ongeveer de eerste vijftig dagen te gering om onderin de lysimeter de bodem te verzadigen. De afvoer van een ondiepe lysimeter lijkt qua dynamiek meer op de dynamiek van de irrigatie. Door de geringere bufferende werking van een ondiepe lysimeter vindt er minder demping tussen de aan- en afvoer plaats. Uit de resultaten blijkt echter dat afvoer pas plaats vindt als het profiel te maken krijgt met een langduriger neerslagoverschot zoals in de tweede helft van de teelt. Dit komt omdat het watertekort dat ontstaat in de eerste helft van de teelt eerst zover aangevuld moet worden dat onderin verzadiging optreedt.



Figuur 3.16

De waterafvoer van lysimeters met verschillende bodemdieptes in een zandgrond. Drainage vindt plaats met een vrij drainerend vlak. De grondwaterstand bevindt zich op 5 meter bij de lysimeters met 200 en 300 cm diepe bodems en op 90 cm bij de lysimeter met een 90 cm diepe bodem.



Figuur 3.17

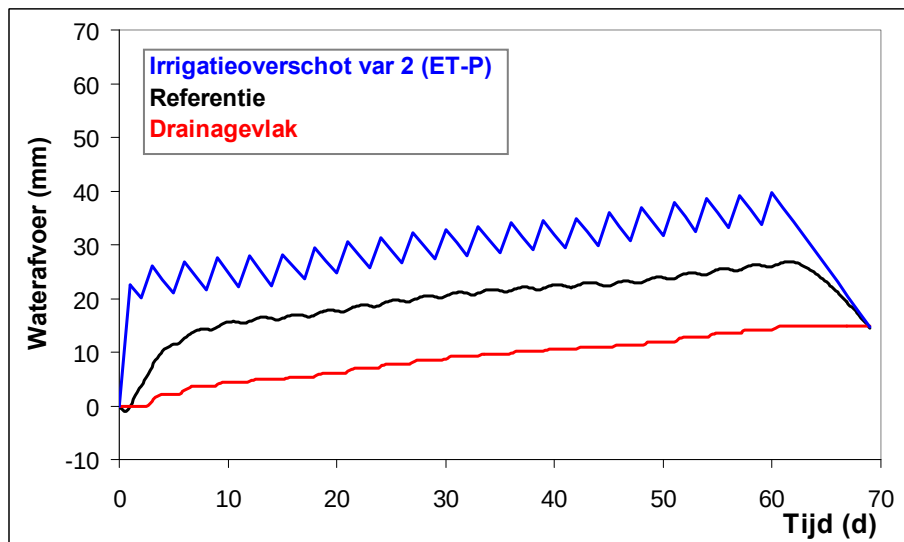
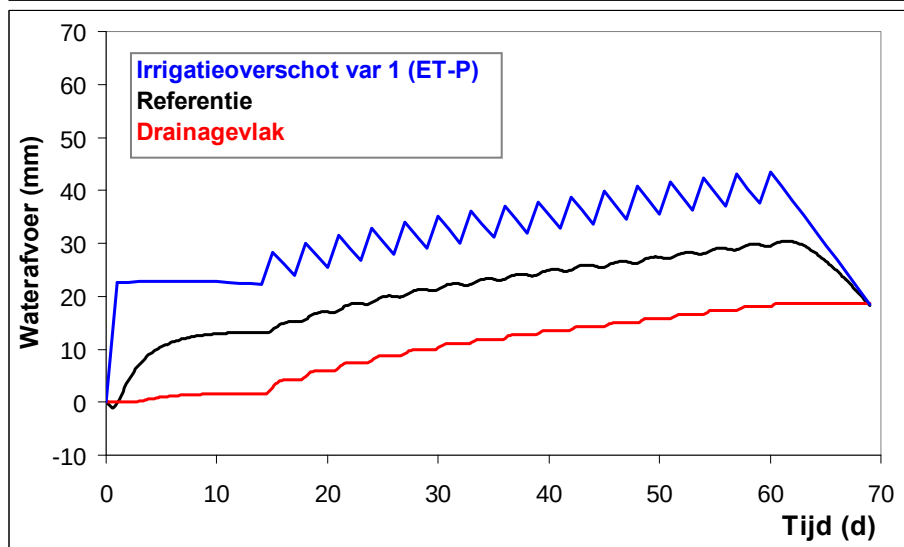
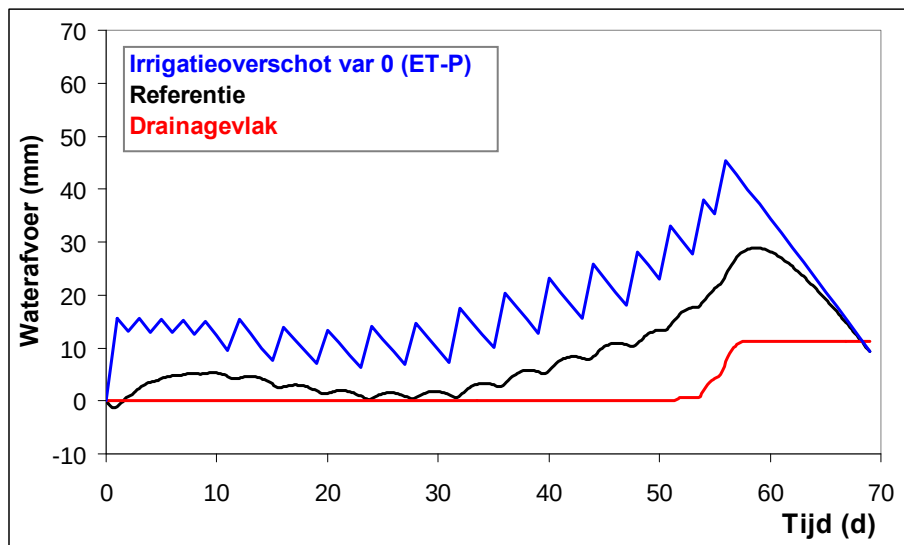
De waterafvoer van lysimeters met verschillende bodemdieptes in een zandgrond. Drainage vindt plaats met een vrij drainerend vlak. De grondwaterstand bevindt zich op 90 cm diepte.

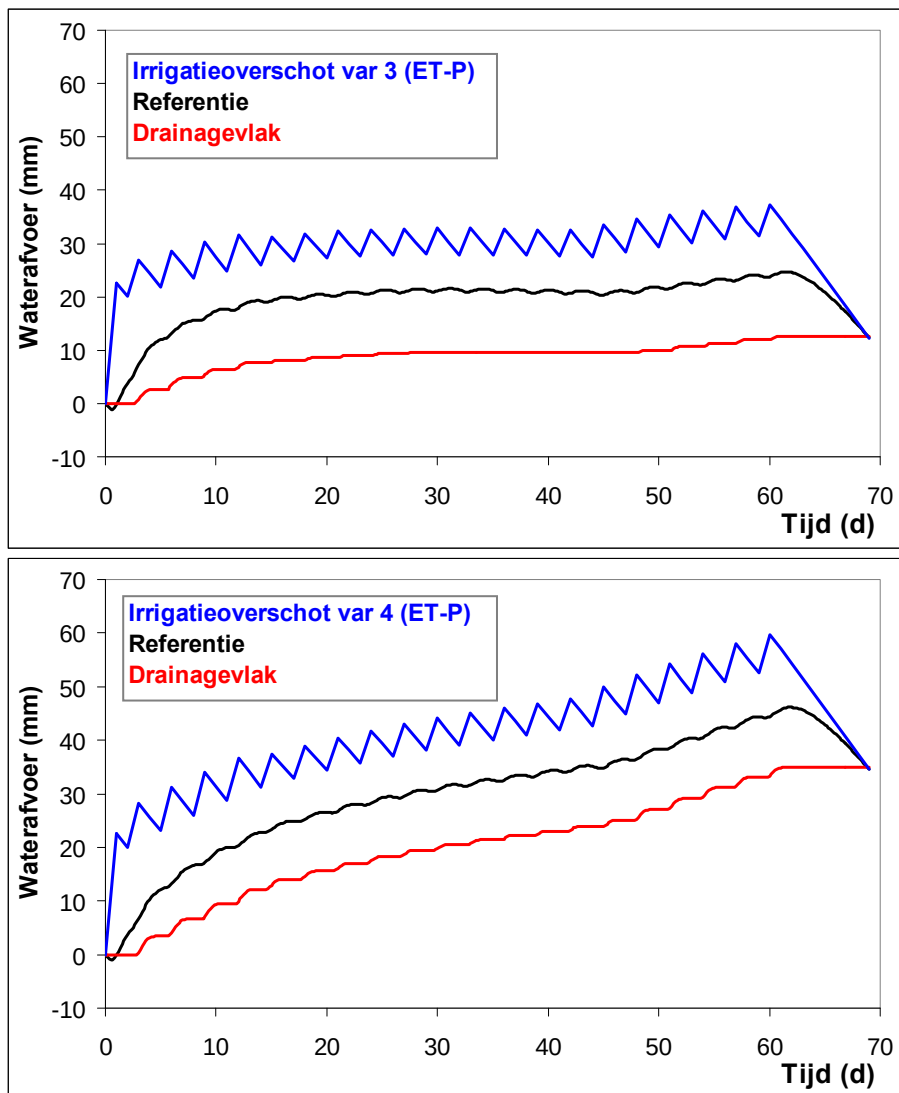
3.7 Beregeningsstrategie

In figuur 3.18 is te zien dat de lysimeter met vrije drainage in de berekeningssituaties anders dan variant 0 vrijwel meteen gaat draineren. Dit is ook het geval in de situatie met een beregeningsoverschot van 7%. Dit komt door de grotere startgift, waarmee het initiële vochttekort volledig wordt opgeheven. Daarna is de drain goed te volgen gedurende de rest van de teelt. Hierdoor is de drainafvoer van de lysimeter in principe geschikt te maken als input voor sturing van de beregening door telers. Echter, het zal altijd zo zijn dat het drainagesignaal op grotere diepte meer gedempt zal zijn dan het signaal dicht bij maaiveld.

Het lijkt tegenstrijdig om een grotere gift te geven om drainafvoer te kunnen meten, terwijl men ernaar streeft de drainafvoer te minimaliseren. Echter, om te kunnen sturen is slechts een kleine drainafvoer voldoende. Door het geven van een voldoende grote startgift kan ervoor gezorgd worden dat vooral in het begin een kleine hoeveelheid drainwater wordt gegenereerd, waardoor direct een koppeling van het meetsignaal met de komende giften kan worden gemaakt. Door meting van de drainafvoer en vervolgens gerichte sturing van de volgende giften, kan gestreefd worden naar een zo klein mogelijke helling van de drainafvoer in de tijd. Daardoor kan bij goede sturing een gewenste minimale totale drainafvoer aan het eind van de teelt worden verkregen. Zodra de helling nul wordt (vlak gaat lopen) weet men niet meer of de grond aan het uitdrogen is, of dat de verdamping juist in evenwicht is met de gift. Enige mate van drain, ook al is deze heel klein, blijft dus nodig om op basis van de drainafvoer van de lysimeter te kunnen sturen.

De grootste moeilijkheid ontstaat aan het eind van de teeltcyclus waar de beregening geheel stopgezet wordt. Vanaf het moment dat de irrigatie wordt stopgezet, is er in de vrije drainagesituatie geen drainage meer. Als in de droge periode aan het eind van de teelt de uitdroging anders verloopt dan verwacht, is aan het begin van de volgende teelt niet duidelijk hoeveel de startgift moet zijn om het vochttekort op te heffen. Een standaard startgift kan leiden tot teveel of te weinig drainage. Met een verdampingsmodel kan eventueel bijgehouden worden wat de verdamping zou zijn geweest. Deze hoeveelheid kan als schatting gebruikt worden voor de startgift van de volgende teelt. Het doel is om op een verwaarloosbare hoeveelheid drainage uit te komen. Om een extra handvat aan de tuinder te bieden, verdient het daarom de aanbeveling om binnen en buiten de lysimeter een watergehaltesensor op te nemen, zodat op basis van dat signaal kan worden nagegaan in hoeverre de grond uitdroogt. Dit is feitelijk een controle op verdampfingsverandering.





Figuur 3.18

De waterafvoer bij verschillende watergeefstrategieën in een zandgrond met grondwaterstand 90 cm-mv. De lysimeterdiepte is steeds 90 cm. Drainage vindt plaats met een vrij drainerend vlak.

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit de modelberekeningen zijn een aantal belangrijke conclusies te trekken ten aanzien van de randvoorwaarden die van belang zijn voor een goed werkende lysimeter. Daarbij geldt de algemene regel dat de stroming van water en nutriënten in de lysimeter in het ideale geval volledig identiek is aan die in de bodem elders in de kas bij gelijke groeiomstandigheden van het gewas (referentiesituatie). De conclusies zijn gegroepeerd per onderzoeksvraag.

Wat is de referentiesituatie?

De waterbeweging in de kas is dominant verticaal georiënteerd omdat verdamping, irrigatie, grondwaterniveau en bodemeigenschappen regelmatig over het oppervlak zijn verdeeld. Aan de bovenzijde van de grond wordt regelmatig water gegeven en verdwijnt water via verdamping. In de grond vindt daardoor afwisselend neergaande en opgaande waterstroming plaats. De netto neergaande water- en nutriëntenstroming (emissie) aan de onderkant van de teeltlaag willen we graag kwantificeren met een lysimeter. Door het aanbrengen van een lysimeter in de bodem wordt de natuurlijke waterbeweging ter plaatse verstoord. Immers, aan de onderzijde van de lysimeter kan het water niet meer vrij op en neer bewegen door de aanwezigheid van de lysimeter bodem. Een lysimeter geeft alleen een goede indicatie van de water- en nutriëntenafvoer naar het grond- en oppervlaktewater als die vergelijkbaar is met de afvoer op dezelfde diepte zonder aanwezigheid van een lysimeter. Deze laatste situatie, zonder lysimeter, wordt de referentiesituatie genoemd. In de referentiesituatie wordt steeds de netto afvoer beschouwd. De netto afvoer is gelijk aan de neergaande flux verminderd met de opgaande flux ter hoogte van de onderzijde van de lysimeter.

Welk drainagetype onder in de lysimeter is het meest geschikt?

- Omdat het stromingsprofiel van water en nutriënten buiten de lysimeter nagenoeg verticaal is, is dat ook gewenst voor de lysimeter. Lysimeterdrainage met een enkele drainagebuis resulteert in gebogen stroomlijnen. Bij voorkeur wordt de lysimeter daarom gedraineerd met een verzamel-drainagebuis ondergebracht in een vlak bed van kleikorrels (vrije drainage over de gehele onderzijde van de lysimeter). Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van een keramische plaat met variabele onderdruk. De druk van de plaat wordt via een meet- en regelsysteem gelijk gehouden aan de waterdruk op gelijke hoogte in de referentiesituatie. Bij gebruik van vrije drainage is er alleen bij verzadiging onderin de lysimeter drainafvoer. Bij de drukgeregelde plaat kan ook bij niet-verzadiging afvoer plaats vinden, net als in de referentiesituatie.
- Uit berekeningen blijkt dat bij vrije drainage de waterafvoer gedurende de teelt op dagbasis niet gelijk is aan die van de referentiesituatie. De cumulatieve drainage *aan het eind van de teelt* is echter wel zo goed als gelijk aan die van de referentiesituatie. De uitspoeling van nutriënten kan door de vochtverschillen gedurende de teelt gaan afwijken van de referentiesituatie, omdat omzettingsprocessen als (de)nitrificatie en mineralisatie afhankelijk zijn van de temperatuur en het vochtgehalte.
- Verschillen tussen de cumulatieve *eindafvoeren* van water in de referentiesituatie en de lysimeter met vrije uitstroom kunnen ontstaan als tussen de teelten overgegaan wordt op een andere strategie van irrigeren, waardoor de vochtverdeling aan het eind van de teelt afwijkt van die aan het begin van de teelt.
- In het bijzonder voor de uitstroom van water geeft de drukgeregelde poreuze plaat in alle situaties dezelfde resultaten als de referentiesituatie. Als het technisch gezien geen moeilijkheden oplevert, verdient dit drainagetype verreweg de voorkeur boven elke andere vorm van drainage. Er is tot op heden echter nog geen ervaring met een dergelijke drukgeregelde plaat opgedaan.
- Als de grond boven de drukgeregelde plaat droger wordt, vindt er op gelijke hoogte in de referentiesituatie opwaartse stroming plaats van water en nutriënten. Voor een goede werking van de lysimeter met drukgeregelde plaat, moet de plaat ook in staat zijn de referentiesituatie na te bootsen door water en

nutriënten met gelijke concentratie als de referentiesituatie terug te geven aan de bovenliggende bodem. Dit resulteert in een afnemende netto cumulatieve afvoer. Bezien moet worden of dit technisch realiseerbaar is.

Hoe hoog moet de lysimeterwand zijn?

De lysimeterwand moet tot aan maaiveld doorlopen. Op deze wijze is er geen laterale stroming mogelijk van water en nutriënten tussen de grond in de lysimeter en de kasgrond buiten de lysimeter. Als niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, kan de water- en nutriëntenafvoer niet zonder meer worden toegekend aan het oppervlak van de lysimeter, waardoor fouten in de interpretatie ontstaan. Deze voorwaarde geldt in alle lysimetersituaties.

Welke invloed heeft de grondsoort bij een bepaald type lysimeter?

- Voor de lysimeter met drukgeregelde plaat geldt dat de **waterafvoer** op dagbasis voor alle bodemtypen gelijk is aan die van de referentiesituatie van dat bodemtype.
- Voor de lysimeter met vrije drainage geldt dat de cumulatieve waterdrainage *aan het eind van de teelt* voor alle bodemtypen ongeveer gelijk is aan die van de betreffende referentiesituatie. Vrije drainage treedt bij de verschillende grondsoorten vrijwel op hetzelfde moment op. Deze drainagemomenten zijn het gevolg van de irrigatieoverschotten. Netto neerwaartse waterstroming en waterafvoer vinden dan plaats als het irrigatieoverschot de neerslagtekorten uit het verleden opheft.
- In de situatie waarin de lysimeter voorzien is van een drukgeregelde plaat die voorzien is van teruggaaf met een constante concentratie vanuit de plaat, geldt dat voor alle bodemtypen de **nitraatafvoer** redelijk vergelijkbaar is met die van de referentiesituatie.
- De cumulatieve nitraatafvoer *aan het eind van de teelt* is bij vrije drainage vergelijkbaar met die van de afvoer in de lysimeter met drukgeregelde plaat.

Welke invloed heeft de grondwaterstand bij een bepaald type lysimeter?

- De afzonderlijke irrigatiegiften zijn bij een grondwaterstand van 90 cm onder maaiveld nog te onderscheiden in de dynamiek van de waterafvoer, maar bij een grondwaterstand van 5 meter niet meer.
- De onderkant van de lysimeter bevindt zich op 90 cm onder maaiveld. De vochttoestanden binnen en buiten de lysimeter met drukgeregelde plaat wijken bij een grondwaterstad van 5 meter niet af, omdat de druk van de plaat via een meet- en regelsysteem gelijk gehouden wordt met die van de waterdruk op gelijke diepte in de referentiesituatie.
- Omdat de irrigatiehoeveelheid bij de berekeningen van de verschillende grondwaterstanden niet is gewijzigd, is de cumulatieve waterafvoer van de referentiesituaties ongeveer gelijk aan die van de lysimeters met vrije drainage. Het irrigatieoverschot (irrigatie - verdamping) varieert immers niet bij een andere grondwaterstand. De cumulatieve hoeveelheid uitgespoeld nitraat varieert daarentegen sterk bij de verschillende grondwaterstanden. Dit komt omdat de vochttoestanden binnen en buiten de lysimeter op gelijke hoogte wel wezenlijk verschillen, waardoor ook de nitraatomzettingen verschillen.

Wat moet de diepte van de lysimeter zijn?

- De irrigatiepieken zijn beter zichtbaar in de drainafvoer als de lysimeter minder diep is. Ondiepe lysimeters met vrije uitstroom hebben een hoge schijngrondwaterstand, waardoor het luchtgehalte over de wortelzone laag is. Teelttechnisch gezien kan de lysimeter daarom niet ondiep worden uitgevoerd. Hierdoor valt het voordeel van een grotere dynamiek bij een ondiepere lysimeter voor een deel weg.
- Ondiepe lysimeters met vrije uitstroom hebben het probleem dat zij een hoge schijngrondwaterstand hebben en daardoor afwijkend gedrag vertonen ten opzichte van de referentiesituatie. Daarbij gaat het met name om de stikstofdynamiek in de bodem. Deze lysimeters kunnen daarom beter niet worden toegepast.
- De beste (vrije uitstroom) lysimeters hebben een diepte die gelijk is aan de diepte van de grondwaterstand, zodat het vochtprofiel het meeste lijkt op die van de referentiesituatie. De waterafvoer zal bij gelijkblijvende giften en klimaatcondities voor de verschillende diepten gelijk zijn per teelt, maar de nitraatafvoer gaat bij

afwijkende grondwaterstanden verschillen doordat de vochtcondities over het profiel in de lysimeter dan wel afwijken van de referentiesituatie. Er moet echter een optimum gevonden worden voor zeer diepe grondwaterstanden, vooral gezien vanuit het oogpunt van praktische toepasbaarheid. Daarvoor is op voorhand geen algemene uitspraak te doen.

Beregeningsstrategieën en voorwaarden waaronder de lysimeter sturingsmogelijkheden biedt voor de tuinder ten aanzien van water- en bemestingsstrategieën

- Bij gebruik van de drukgeregelde plaat kan de tuinder de opgevangen waterhoeveelheid in de drain gebruiken om irrigatiemomenten en hoeveelheden vast te stellen. De dynamiek die in de referentiesituatie optreedt, treedt in gelijke mate op in de drukgeregelde plaat, ook gedurende de teelt. De uitspoelingsdynamiek van nutriënten in de lysimeter kan wel afwijken van de dynamiek in de referentiesituatie bij een plaat die een vaste concentratie nitraat terug geeft aan de bovenliggende grond. Deze vaste concentratie kan dan afwijken van de referentieconcentratie op die hoogte.
- Bij gebruik van vrije uitstroom drainage is er alleen bij verzadiging onderin de lysimeter drainafvoer. Omdat er alleen informatie vrij komt op het moment dat er drainage optreedt, kan de tuinder alleen op die momenten zijn irrigatiestrategie afstemmen op de afvoer. Als er echter voor wordt gezorgd dat gedurende de gehele teelt dusdanig wordt geïrrigeerd dat er een (geringe) hoeveelheid drainafvoer ontstaat, kan de teler de drainage-informatie gedurende de gehele teeltperiode gebruiken. Hierbij moet dan gestreefd worden naar minimalisatie van de afvoer. Geen drainafvoer kan betekenen dat er juist voldoende wordt gegeven, maar het kan ook betekenen dat er te weinig wordt gegeven. Geen drainafvoer moet daarom voor de vrije drainage lysimeter worden vermeden. Voor teeltwijzen en irrigatiestrategieën gericht op 0-drainafvoer is de vrije drainage lysimeter niet bruikbaar.
- In alle gevallen geldt dat het beregeningsoverschot dat aan maaiveld optreedt, gedempt zichtbaar is op grotere diepte. Dit hoeft geen probleem te zijn voor het gebruik als irrigatie-indicator. De helling van de cumulatieve afvoer in de tijd biedt in principe voldoende informatie om de beregening op af te kunnen stemmen.
- Bij beregeningsstrategieën waarbij de startgift dusdanig is dat de uitdroging, die aan het eind van de vorige teelt is opgetreden, teniet wordt gedaan, wordt snel drain gegenereerd bij gebruik van een vrije drainage lysimeter. Dit levert mogelijkheden op voor de tuinder om te sturen op uitspoeling en beregening. Bij kleinere startgiftten vindt pas laat in de teelt afvoer plaats, omdat de tekorten dan nog niet zijn opgeheven. Tot die tijd heeft de tuinder geen sturingsmogelijkheden die gebaseerd zijn op de afvoer.
- De grootste moeilijkheid ontstaat aan het eind van de teeltcyclus waar de beregening geheel stopgezet wordt. Vanaf dat moment is er bij de lysimeter met vrije drainage geen afvoer meer. Als in de droge periode aan het eind van de teelt de uitdroging anders verloopt dan verwacht, is aan het begin van de volgende teelt niet duidelijk hoeveel de startgift moet zijn om het vochttekort op te heffen.

Algemene conclusie

De wanden van de lysimeter moeten altijd tot maaiveld doorlopen en de diepte van de lysimeter moet zoveel mogelijk overeenkomen met de grondwaterstand van de referentiesituatie. Theoretisch gezien is het meest geschikte drainagetype de drukgeregelde plaat met mogelijkheid voor teruggave van water en nutriënten. Het watertransport is dan identiek aan die van de referentiesituatie. Het nutriëntentransport is alleen dan gelijk aan de referentiesituatie als de plaat in staat is nutriënten met gelijke concentratie als de referentiesituatie aan de bodem terug te geven. Bij teruggaaf van een vaste concentratie daarentegen is alleen een benadering van de netto-afvoer mogelijk. Er is nog geen ervaring met een dergelijk drainagetype opgedaan en de kosten zijn niet bekend. Als men zich kan beperken tot de cumulatieve afvoer *aan het eind van de teelt*, of een reeks van teelten, dan is de lysimeter met vrije drainage een goed alternatief. Deze lysimeter is vrij eenvoudig te realiseren, maar kan afwijkingen ten opzichte van de referentiesituatie geven in de cumulatieve eindafvoer. Dit kan gebeuren als bij sterk wijzigende klimatologische omstandigheden de irrigatiestrategieën tussen de opeenvolgende teelten niet goed op elkaar zijn afgestemd. De lysimeter met vrije drainage kan alleen als sturingsinstrument voor de teler worden ingezet als op elk moment van de teelt een (minimale) hoeveelheid

drain wordt gegenereerd. Het streven moet dan zijn de afvoer te minimaliseren, maar niet nul te laten worden. Omdat de lysimeter met vrije drainage altijd enige mate van drain moet genereren om gebruikt te kunnen worden als sturingsinstrument, is de lysimeter met deze drainagevorm geen instrument waarbij een nul-drain situatie bereikt kan worden.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt onder praktijkomstandigheden te onderzoeken in hoeverre de genoemde randvoorwaarden ook werkelijk tot de gewenste resultaten leiden. Daarbij is het aan te bevelen in eerste instantie uit te gaan van gangbare drainagesystemen, zoals het vrij drainerende vlak (drainagebuizen ondergebracht in een vlak bed van kleikorrels). Met name interessant en van belang is de vraag hoe groot het verschil mag zijn tussen de diepte van een lysimeter en het (gemiddelde) grondwater bij diepe grondwaterstanden voor er relevante verschillen in nutriëntenuitspoeling optreden.

Vanwege het grote voordeel van een drukgeregelde plaat is het interessant om te onderzoeken of een dergelijk systeem in de praktijk gerealiseerd kan worden en hoe het systeem zich gedraagt op langere termijn. Hierbij moet in het bijzonder aandacht besteed worden aan de kostprijs ten opzichte van de vrije drainagetypen, aan de kans op dichtslibben van de poriën door gronddeeltjes of door aangroei van micro-organismen en aan de wijze van teruggave van de juiste concentratie aan de bodem.

Literatuur

Assinck, F.B.T. en M. Heinen, 2001. *Modelverkenning naar het effect van niet-iniform verdeelde watergiftten op de opname van chrysanten onder glas*. Alterra-rapport 393, Alterra, Wageningen.

Assinck, F.B.T. en C. Rappoldt, 2004. *MOTOR 2.0 - Module for transformation of organic matter and nutrients in soil*. Alterra-rapport 993, Alterra, Wageningen.

EU, 1991. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal of the European Communities*, nr. L375: 1-8.
<ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/directiv.html>

EU, 2000. Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, nr. L327: 1-73.
<ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html>

Genuchten, M.Th. van, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.

Heinen M., 1997. *Dynamics of water and nutrients in closed, recirculating cropping systems in glasshouse horticulture. With special attention to lettuce grown in irrigated sand beds*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands, 270 p.

Heinen, M. en P. de Willigen, 1998. *FUSSIM2 – A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport, and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media*. Wageningen, AB-DLO Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility, Quantitative approaches in systems analysis, no. 20.

Heinen M., 2001. FUSSIM2: brief description of the simulation model and application to fertigation scenarios. *Agronomie* 21: 285-296.

Heinen, M. en P. de Willigen, 2001. *FUSSIM2 version 5 – New features and updated user's guide*. Alterra-rapport 363, Alterra, Wageningen.

Heinen, M., K.B. Zwart en E.W.J. Hummelink, 2005. *Calibratie van de reductiefuncties in een eenvoudig denitrificatiemodel*. Alterra-rapport 1216. Alterra, Wageningen.

Heinen, M., 2006a. Application of a widely used denitrification model to Dutch data sets. *Geoderma* 133, 464-473.

Heinen, M., 2006b. Simplified denitrification models: overview and properties. *Geoderma* 133, 444-463.

Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12: 513-522.

Mualem, Y., 1984. A modified dependent-domain model for hysteresis. *Soil Science* 137: 283-291.

Voogt, W., F. Sterk en T. Vermeulen, 2008. *Teelt in kasgrond; Nederland anno 2007*. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Voogt, W., A. van Winkel en B. Houter, 2009. *Ontwikkeling en toetsing van de lysimeter voor chrysantenbedrijven met diep grondwater*. Rapport 295, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Willigen, P. de en M. van Noordwijk, 1994. *Roots, plant production and nutrient use efficiency*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands,

Willigen, P. de en M. van Noordwijk, 1994. Mass flow and diffusion of nutrients to a root with constant or zero-sink uptake I. Constant uptake. *Soil Science* 157(3): 162-170.

Willigen, P. de en M. van Noordwijk, 1994. Mass flow and diffusion of nutrients to a root with constant or zero-sink uptake II. Zero-sink uptake. *Soil Science* 157(3): 171-175

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001*. Alterra-rapport 153, Alterra, Wageningen.

Bijlage 1 Invoergegevens

dd-mm-jjjj	gr.C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/ha	beworteling
Datum	kastemp	gewasverdamp	bodemverdamp	var0	var1	var2	var3	var4	N opname	cm - mv
25/03/2009	20.0	0.21	2.26	18.0	25.0	25.0	25.0	25.0	0.76	0.0
26/03/2009	20.0	0.39	2.11		2.6				0.86	0.0
27/03/2009	20.0	0.48	2.04	5.0	2.6	8.5	9.4	10.7	0.97	0.0
28/03/2009	20.0	0.58	1.96		2.6				1.08	1.2
29/03/2009	20.0	0.68	1.86	5.0	2.6				1.20	1.6
30/03/2009	20.0	0.79	1.78		2.6	8.5	9.4	10.7	1.32	2.0
31/03/2009	20.0	0.90	1.70	5.0	2.6				1.47	2.5
01/04/2009	20.0	1.01	1.61		2.6				1.61	3.0
02/04/2009	20.0	1.13	1.52	5.0	2.6	8.5	9.4	10.7	1.77	3.6
03/04/2009	20.0	1.25	1.43		2.6				1.92	4.3
04/04/2009	20.0	1.37	1.33		2.6				2.09	5.0
05/04/2009	20.0	1.48	1.22	8.5	2.6	8.5	9.4	10.7	2.26	5.7
06/04/2009	20.0	1.62	1.11		2.6				2.44	6.6
07/04/2009	20.0	1.75	1.00		2.6				2.61	7.4
08/04/2009	20.0	1.52	0.72		8.4	8.0	7.4	8.4	2.60	8.3
09/04/2009	20.5	1.63	0.62	8.5					2.65	9.2
10/04/2009	20.5	1.75	0.53						2.76	10.2
11/04/2009	20.5	1.87	0.43		8.4	8.0	7.4	8.4	2.93	11.2
12/04/2009	20.5	1.96	0.32						3.07	12.2
13/04/2009	20.5	2.08	0.21	8.5					3.16	13.3
14/04/2009	20.5	2.21	0.11		8.4	8.0	7.4	8.4	3.22	14.5
15/04/2009	20.5	2.34	0.00						3.28	15.6
16/04/2009	20.5	2.36	0.00						3.32	16.8
17/04/2009	20.5	2.38	0.00	10.2	8.4	8.0	7.4	8.4	3.35	18.0
18/04/2009	20.5	2.40	0.00						3.38	19.2
19/04/2009	20.5	2.38	0.00						3.39	20.4
20/04/2009	20.5	2.40	0.00		8.4	8.0	7.4	8.4	3.39	21.6
21/04/2009	20.5	2.43	0.00	10.2					3.37	22.9
22/04/2009	20.5	2.45	0.00						3.35	24.1
23/04/2009	20.5	2.47	0.00		8.4	8.0	7.4	8.4	3.34	25.3
24/04/2009	20.5	2.49	0.00						3.32	26.5
25/04/2009	20.5	2.51	0.00	12.8					3.30	27.8
26/04/2009	20.5	2.43	0.00		8.4	8.0	7.4	8.4	3.30	29.0
27/04/2009	20.5	2.45	0.00						3.30	30.2
28/04/2009	20.5	2.47	0.00						3.30	31.4
29/04/2009	20.5	2.49	0.00	12.8	8.4	8.0	7.4	8.4	3.30	32.7
30/04/2009	20.5	2.51	0.00						3.30	33.9
01/05/2009	20.5	2.53	0.00						3.30	35.1
02/05/2009	20.5	2.55	0.00		8.4	8.0	7.4	8.4	3.30	36.3
03/05/2009	21.0	2.48	0.00	12.8					3.30	37.6
04/05/2009	21.0	2.50	0.00						3.30	38.8
05/05/2009	21.0	2.52	0.00		8.4	8.0	7.4	8.4	3.30	40.0
06/05/2009	21.0	2.54	0.00						3.30	40.0
07/05/2009	21.0	2.56	0.00	12.8					3.30	40.0
08/05/2009	21.0	2.58	0.00		8.7	8.7	8.7	9.9	3.30	40.0
09/05/2009	21.0	2.59	0.00						3.30	40.0
10/05/2009	21.0	2.56	0.00						3.30	40.0
11/05/2009	21.0	2.58	0.00	12.8	8.7	8.7	8.7	9.9	3.30	40.0
12/05/2009	21.0	2.60	0.00						3.30	40.0
13/05/2009	21.0	2.62	0.00						3.30	40.0
14/05/2009	21.0	2.64	0.00	12.8	8.7	8.7	8.7	9.9	3.30	40.0
15/05/2009	22.0	2.63	0.00						3.30	40.0
16/05/2009	22.0	2.65	0.00						3.30	40.0
17/05/2009	22.0	2.64	0.00	12.8	8.7	8.7	8.7	9.9	3.28	40.0
18/05/2009	22.0	2.66	0.00						3.25	40.0
19/05/2009	22.0	2.67	0.00	12.8					3.22	40.0
20/05/2009	22.0	2.69	0.00		8.7	8.7	8.7	9.9	3.15	40.0
21/05/2009	22.0	2.71	0.00						3.07	40.0
22/05/2009	22.0	2.73	0.00						2.98	40.0
23/05/2009	22.0	2.75	0.00		8.7	8.7	8.7	9.9	2.88	40.0
24/05/2009	22.0	2.74	0.00						2.78	40.0
25/05/2009	22.0	2.76	0.00						2.67	40.0
26/05/2009	22.0	2.78	0.00						2.55	40.0
27/05/2009	23.0	2.77	0.00						2.42	40.0
28/05/2009	23.0	2.79	0.00						2.29	40.0
29/05/2009	23.0	2.81	0.00						2.15	40.0
30/05/2009	23.0	2.83	0.00						2.02	40.0
31/05/2009	23.0	2.82	0.00						1.88	40.0
01/06/2009	23.0	2.84	0.00						1.73	40.0
Totaal	-	150.72	25.87	185.90	195.00	191.20	188.80	211.20	191.18	-
Ptot/EtTot				1.1	1.1	1.1	1.1	1.2		
Neerslagoverschot %				5.3	10.4	8.3	6.9	19.6		

Bijlage 2 Varianten naar afnemend belang voor achtereenvolgend onderzoek

De tabel is dusdanig gesorteerd dat de grootste arealen voor de grondgebonden teelt in de eerste 2 blokken voorkomen, met als restrictie dat elke grondsoort in beide blokken is vertegenwoordigd. Voor de overige combinaties in het derde blok is alleen gesorteerd op areaalgrootte.

Grondsoort	Areaal	Type	Grond-water-trap	drain-age	Onder-bemaling	inzigging	kwel	Weg-zijging	Rang-orde
Lichte zavel	415.6	3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk	1
Zware zavel	246	3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk	2
zand	229.5	3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk	3
Zware klei	88.7	3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk	4
Lichte klei	87.6	4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja	5
Veen	66.9	1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee	6
zand	152.4	4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja	7
Zware zavel	77.2	4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja	8
Lichte zavel	64	4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja	9
Lichte klei	45	3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk	10
Zware klei	34.4	1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee	11
Veen	23.4	2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee	12
zand	135.9	5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja	13
Lichte klei	33.9	1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee	14
Zware klei	31	4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja	15
Zware zavel	30.7	1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee	16
Lichte zavel	29.3	2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee	17
Lichte klei	28.8	3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk	18
Lichte klei	21.3	5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja	19
Veen	20.6	4	V, VI	ja	nee	nee	mogelijk	ja	20
zand	19.9	2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee	21
Lichte zavel	16.6	5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja	22
Zware zavel	15.7	3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk	23
zand	14.1	3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk	24
Zware klei	13.8	5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja	25
Zware zavel	11.6	5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja	26
Zware klei	9.4	3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk	27
Veen	7.5	3b	IIIb, IV	ja	soms	nee	mogelijk	mogelijk	28
Zware klei	7.1	2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee	29
Lichte klei	6.4	2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee	30
Lichte zavel	5.3	3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk	31
Zware zavel	4.8	2	II,IIb	ja	ja	nee	mogelijk	nee	32
Veen	4.7	3a	IIIa	ja	soms	mogelijk	mogelijk	mogelijk	33
zand	3.8	1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee	34
Lichte zavel	0.9	1	I,II	ja	ja	ja	mogelijk	nee	35
Veen	0.4	5	VII,VIII	soms	-	-	-	ja	36

Bijlage 3 Uitgangspunten en onderzoeksvragen

Uitgangspunten

- Met seizoensfluctuaties wordt geen rekening gehouden.
- Hoewel de werkelijke water- en nutriëntenvraag van het gewas fluctueert tijdens de dag wordt geen rekening gehouden met deze dagfluctuaties
- Met (de gevolgen van) stomen wordt geen rekening gehouden.
- Zware klei is gevoelig voor scheurvorming. Het model houdt geen rekening met deze scheuren.
- De organische stofdynamiek in het modelonderdeel Motor houdt alleen rekening met N.
- De variatie in horizontale richting in fysische en chemische bodemeigenschappen is onbekend. Hier wordt dus geen rekening mee gehouden.
- Dit onderzoek beperkt zich tot chrysant.
- De diepte van de lysimeter is gerelateerd aan de teeltlaag en grondwaterstand. Gekozen is standaard voor 90 cm-mv, tenzij de vraag direct gerelateerd is aan een andere lysimeterdiepte.
- Om de bodemcondities eerst op evenwicht te laten komen is het aantal achter elkaar door te rekenen teelten is in eerste instantie steeds drie. De 3^e teelt wordt steeds gepresenteerd. Soms is voor situaties die een langere stabilisatietijd nodig hebben, het aantal door te rekenen teelten vergroot.
- Bemesting en grondbewerking vinden plaats op $t=0$ en zijn dus verwerkt in de begintoestand. Tussen twee teelten in wordt een ondiepe grondbewerking uitgevoerd, die we buiten beschouwing laten.
- De zijranden worden altijd zo gekozen dat er sprake is van no-flow.
- In praktijk wordt de chrysant niet blootgesteld aan droogtestress. De modelberekeningen houden hier dan ook geen rekening mee.
- Gezien de intensiteit van de beregening/fertigatie (1-1.5 mm/min) is het noodzakelijk om te rekenen op minutenbasis.
- (De)nitrificatie is volgens één standaard dataset voor alle berekeningen, onafhankelijk van grondsoort.
- Alleen wanneer het aspect 'variatiecoëfficiënt watergift' onderzocht wordt, moet er gebruik gemaakt worden van het rechthoekige stroomdomein. In alle andere gevallen gaan we uit van het cilindrische rekenmodel. Voorliggend onderzoek gaat uit van een constante watergift over het gehele oppervlak.
- De referentiesituatie en de lysimetersituatie worden met elkaar vergeleken voor:
 - o water- en stofbalansen over de laatste teelt
 - o cumulatieve afvoer van water tijdens de laatste teelt
 - o cumulatieve stikstofuitspoeling tijdens de laatste teelt. Stikstof is initieel aanwezig en wordt aangevoerd tijdens elke beregening.

De gekozen combinaties van grondsoort en hydrologie worden representatief geacht voor de belangrijke regio's met kassen en zijn gebaseerd op bijlage 2:

Zand:	gw-peil 0.9 m-mv	→ Zuid Holland
	dalend van 0.9 naar 1.5 m-mv	→ extra
	5 m-mv	→ Limburg
Zavel:	gw-peil 0.9 m-mv	→ Zuid Holland, Rivierengebied
	dalend van 0.9 naar 1.5 m-mv	→ Zuid Holland, Rivierengebied
Zware klei:	gw-peil 0.9 m-mv	→ Rivierengebied
	dalend van 0.9 naar 1.5 m-mv	→ Rivierengebied
Zavel op veen:	gw-peil 0.9 m-mv	→ Veengebied

De volgende factoren worden uniform in de ruimte opgelegd:

- Gewas- en bodemverdampingsvraag als functie van de tijd.
- Verdeling wortels met de diepte als functie van de tijd.
- Nutriëntenvraag als functie van de tijd.
- Minimum en maximum dagtemperatuur in de kas als functie van de tijd.
- Plantafstand in x- en y-richting.

Bijlage 4 Bodemfysische eigenschappen

Algemeen

De waterretentievergelijking (Van Genuchten, 1980) en de doorlatendheidsvergelijking (Mualem, 1976) worden gebruikt om de bodemfysische eigenschappen te karakteriseren. De betreffende vergelijkingen zijn te beschrijven met behulp van de volgende parameters:

θ_r	residueel volumetrisch watergehalte	(cm ³ cm ⁻³)
θ_s	volumetrisch watergehalte bij verzadiging	(cm ³ cm ⁻³)
α	vormparameter	(cm ⁻¹)
n	vormparameter	(-)
m	vormparameter = 1-(1/n)	(-)
K_s	hydraulische doorlatendheid bij verzadiging	(cm d ⁻¹)
λ	vormparameter	(-)

Zandgrond

Uit een kas op zandgrond (te Helden) zijn vlak voor een nieuwe teelt (maart 2009) in duplo vier bodemlagen bemonsterd. De profielbeschrijving staat in paragraaf 2.3.4. De monsters zijn geanalyseerd met behulp van verschillende (bodem)fysische meetmethoden:

- verdampingsmethode volgens Wind
- bepaling van de verzadigde waterdoorlatendheid
- bepaling van de waterretentie met een drukplaat bij pF=4.

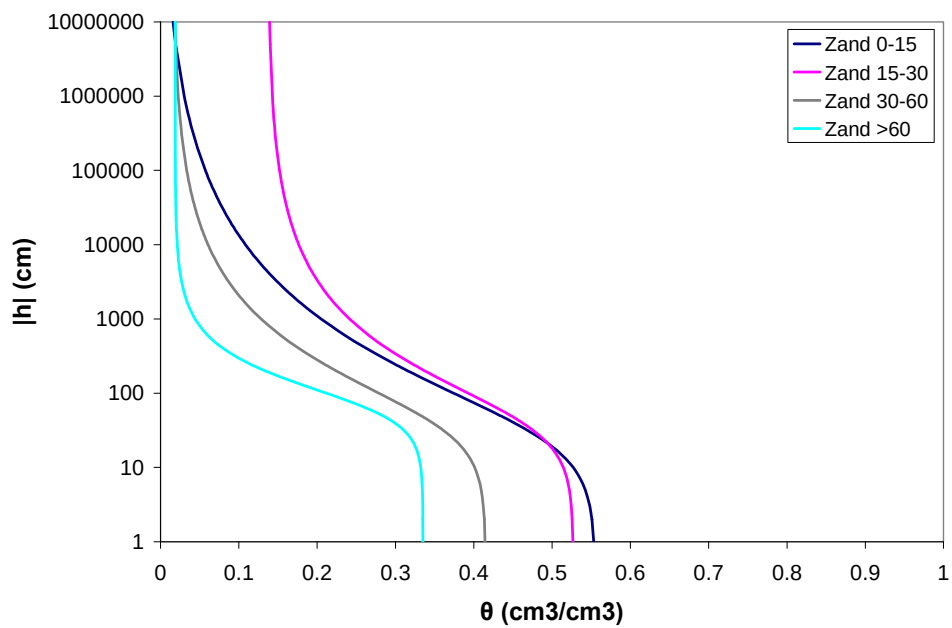
Aan de hand van de analyseresultaten zijn met behulp van het softwareprogramma RETC de Van Genuchten- en Mualem-parameters gefit. De resultaten van de fitprocedure staan in tabel B4-1. In het kader van dit project voert het te ver om de analysemethoden en de fitprocedure nader toe te lichten.

In figuur B4-1 zijn respectievelijk de waterretentie- (figuur B4-1A) en de doorlatendheidscurve (figuur B4-1B) van de zandgrond weergegeven.

Tabel B4-1

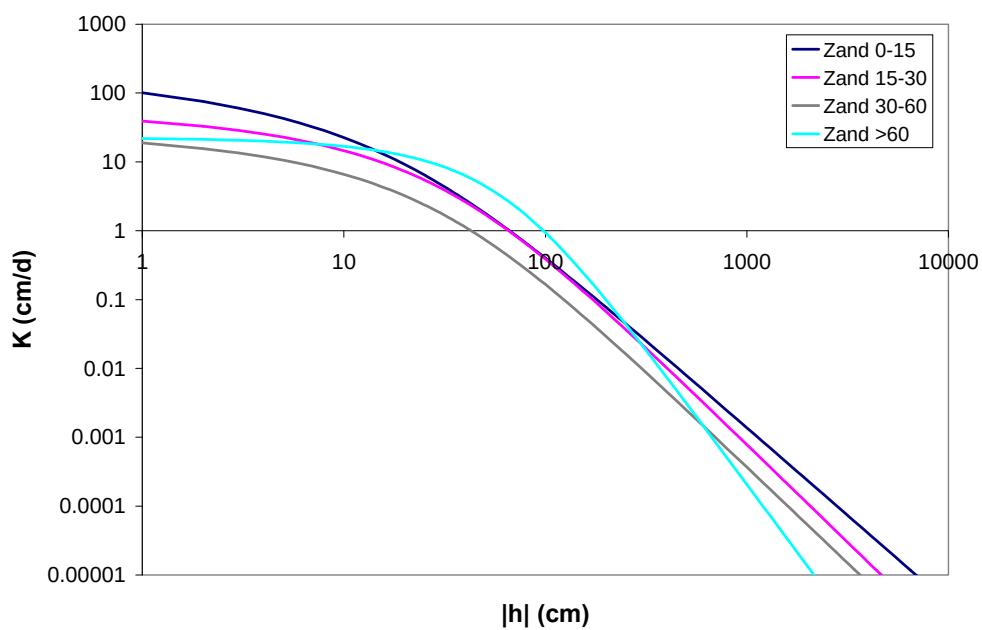
Gebruikte parameters voor de zandgrond.

Bodemlaag (cm-mv)	0-15	15-30	30-60	>60
θ_r	0.0	0.1372	0.0154	0.0187
θ_s	0.555	0.527	0.415	0.335
α	0.0359	0.0222	0.0235	0.0131
n	1.2775	1.4243	1.3989	1.9791
K_s	277.0	61.0	31.4	22.5
λ	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Monsterdiepte (cm-mv)	2-12	18-28	40-50	97-107



Figuur B4-1A

Waterretentiecurve van de zandgrond.



Figuur B4-1B

Doorlatendheidscurve van de zandgrond.

Zavelgrond

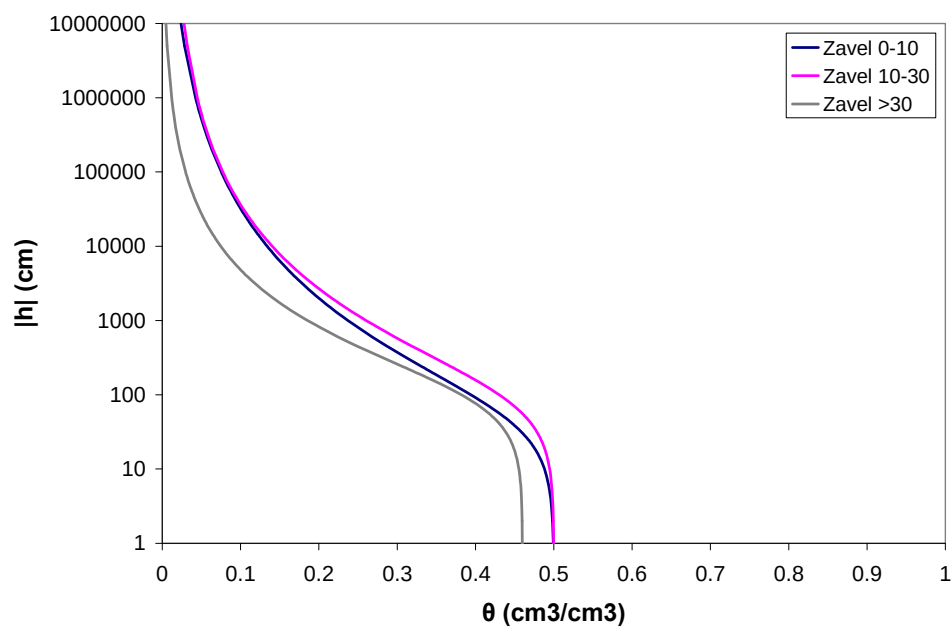
De gebruikte Van Genuchten-Mualem-parameters voor de zavelgrond staan in tabel B4-2. De bijbehorende profielbeschrijving staat in paragraaf 2.3.4.

In figuur B4-2 zijn respectievelijk de waterretentie- (figuur B4-2A) en de doorlatendheidscurve (figuur B4-2B) van de zavelgrond weergegeven.

Tabel B4-2

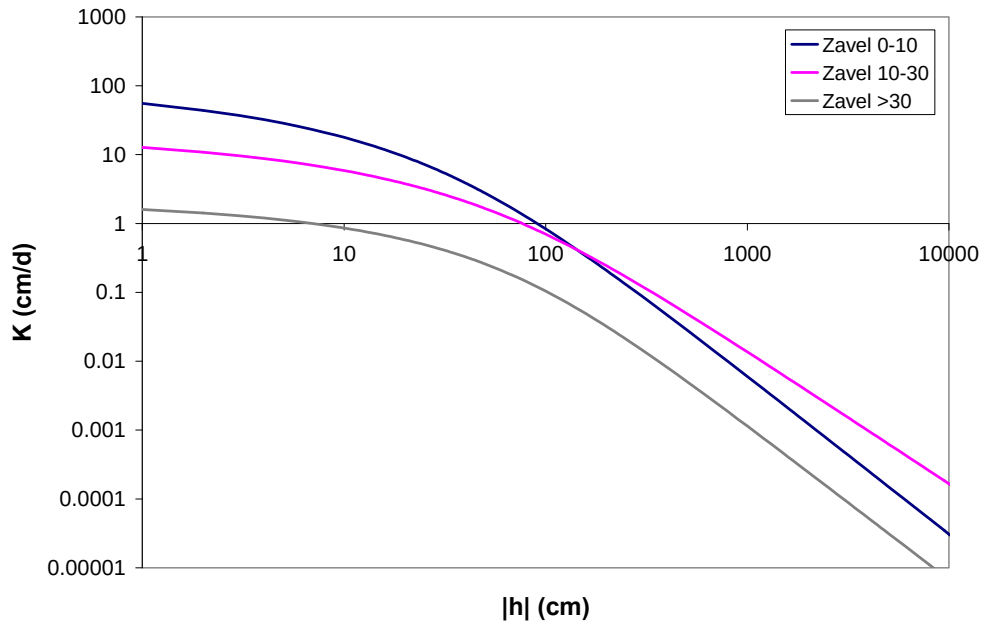
Gebruikte parameters voor de zavelgrond.

Bodemlaag (cm-mv)	0-10	10-30	>30
θ_r	0.00	0.01	0.00
θ_s	0.50	0.50	0.46
α	0.0194	0.0099	0.0094
n	1.250	1.288	1.400
K_s	140.7	23.6	2.23
λ	-0.802	-2.244	-1.382



Figuur B4-2A

Waterretentiecurve van de zavelgrond.



Figuur B4-2B

Doorlatendheidscurve van de zavelgrond.

Kleigrond

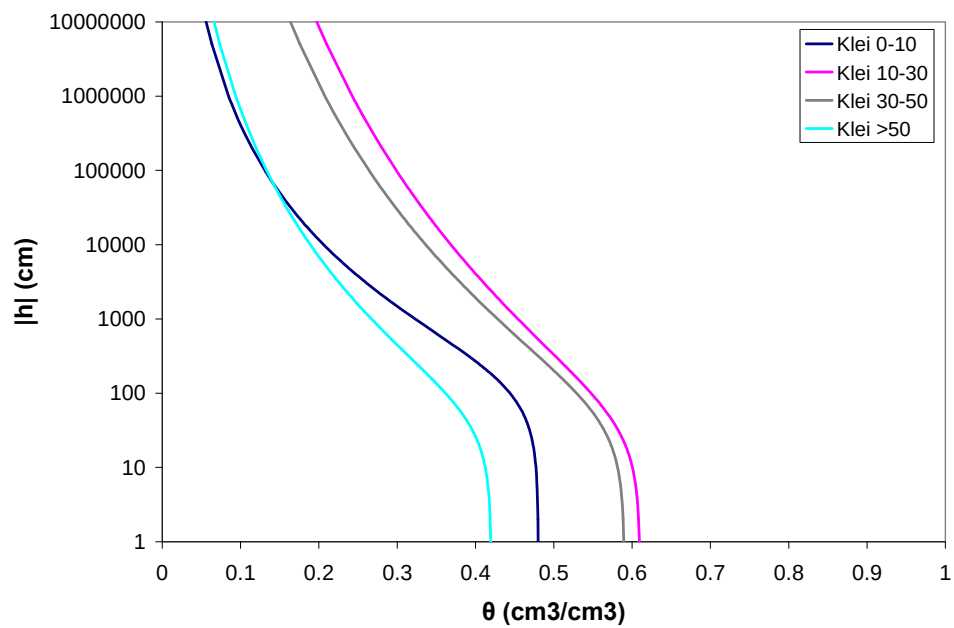
De gebruikte Van Genuchten-Mualem-parameters voor de kleigrond staan in tabel B4-3. De bijbehorende profielbeschrijving staat in paragraaf 2.3.4.

In figuur B4-3 zijn respectievelijk de waterretentie- (figuur B3-3A) en de doorlatendheidscurve (figuur B3-3B) van de kleigrond weergegeven. De aangepaste hogere doorlatendheden en vochtgehalten bij verzadiging zijn hierin verwerkt.

Tabel B3-3

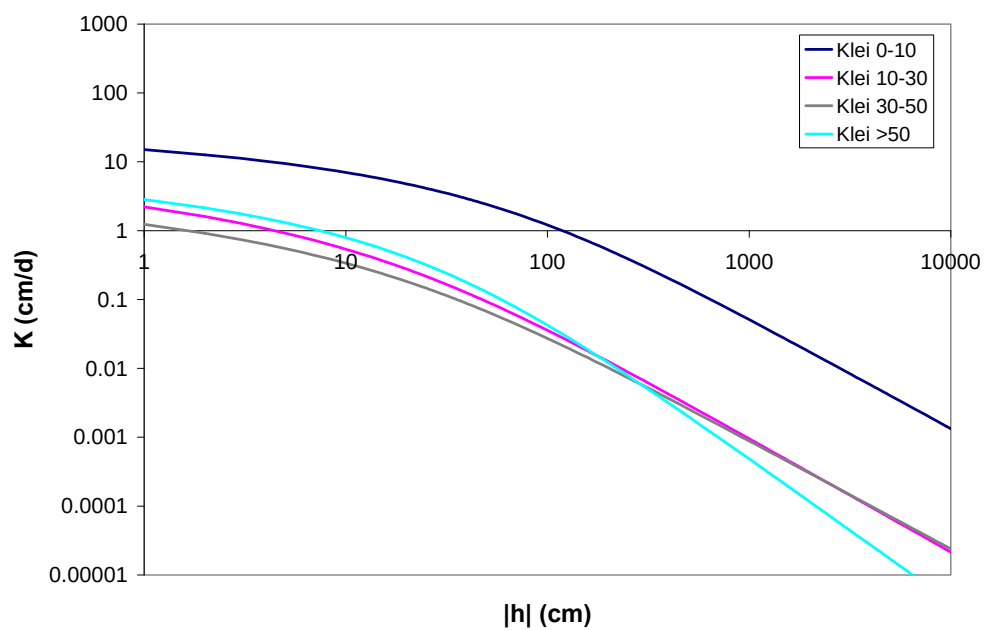
Gebruikte Van Genuchten- en Mualem-parameters voor de kleigrond.

Bodemlaag (cm-mv)	0-10	10-30	30-50	>50
θ_r	0.01	0.01	0.01	0.00
θ_s	0.48	0.61	0.59	0.42
α	0.0064	0.0239	0.0195	0.0191
n	1.210	1.094	1.109	1.152
K_s	35.0	25.0	10.0	13.79
λ	-3.884	-5.681	-5.901	-1.384



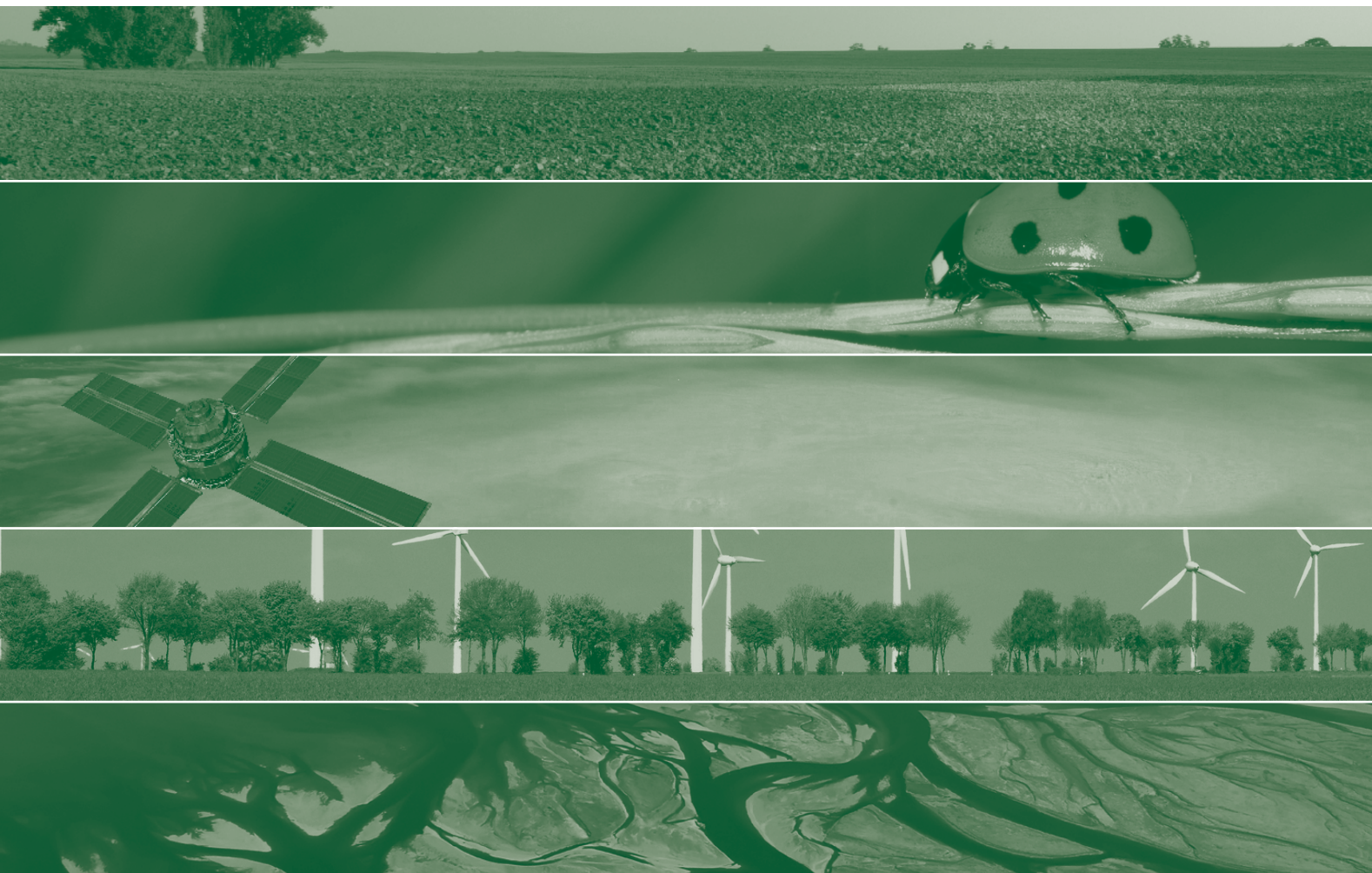
Figuur B3-3A

Waterretentiecurve van de kleigrond.



Figuur B3-3B

Doorlatendheidscurve van de kleigrond.



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl