Bibliotheek
Proefstation
Naaldwijk
A
2
M
77

...tion voor Tuinbouw onder Glas

PTG

Dynamiek van water en nutriënten in gesloten, recirculerende teeltsystemen, met name systemen gebaseerd op zandbedden

J. van Moolenbroek

M. Heinen

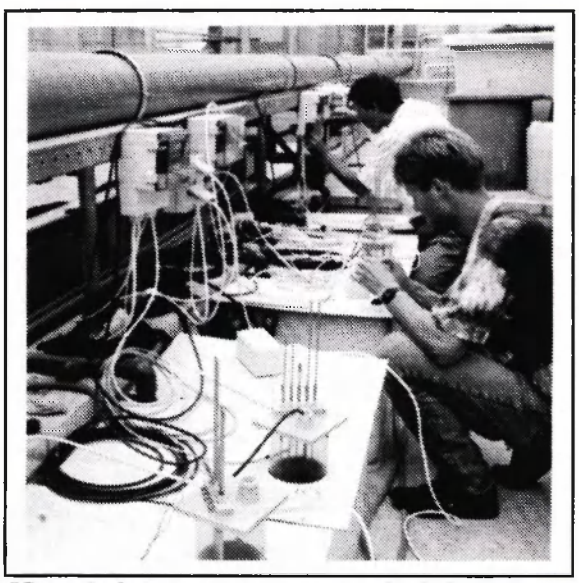
Naaldwijk, december 1994

Intern verslag nr. 14

2230931

A
2
M
77

verslag van de experimenten op het PTG



"De relatie tussen een academisch ingenieur en een HBO ingenieur is er een van onderlinge afhankelijkheid" (LT-journaal 3, nr 12)

Inhoudsopgave

1. Inleiding 1

2. Teelt- en Meetsysteem 2
- **§ 2.1 Teeltsysteem** 2
- **§ 2.2 Teeltmethode** 3
- **§ 2.3 Meetsysteem** 5
  - § 2.3.1 *Watergehalte* 5
  - § 2.3.2 *Drukhoogte* 6
  - § 2.3.3 *Temperatuur* 7
  - § 2.3.4 *Drain Control Unit* 7
  - § 2.3.5 *Overig* 9

3. Experimenten 10
- **§ 3.1 Experiment 1 (1 november 1991 - 13 februari 1992)** 11
  - § 3.1.1 *Materiaal en Methoden* 11
  - § 3.1.2 *Resultaten* 12
  - § 3.1.3 *Conclusies* 13
- **§ 3.2 Experiment 2 (6 maart 1992 - 29 april 1992)** 14
  - § 3.2.1 *Materiaal en Methoden* 14
  - § 3.2.2 *Resultaten* 16
  - § 3.2.3 *Conclusies* 17
- **§ 3.3 Experiment 3 (25 mei 1992 - 1 juli 1992)** 17
  - § 3.3.1 *Materiaal en Methoden* 17
  - § 3.3.2 *Resultaten en Conclusies* 18
- **§ 3.4 Experiment 4 (31 juli 1992 - 14 september 1992)** 19
- **§ 3.5 Experiment 5 (24 maart 1993 - 10 mei 1993)** 20
  - § 3.5.1 *Materiaal en Methoden* 20
  - § 3.5.2 *Resultaten en Conclusies* 21
- **§ 3.6 Experiment 6 (25 mei 1993 - 6 juli 1993)** 21
  - § 3.6.1 *Materiaal en Methoden* 22
  - § 3.6.2 *Resultaten en Discussie* 23
- **§ 3.7 Experiment 7 (29 september 1993 - 7 december 1993)** 23
  - § 3.7.1 *Materiaal en Methoden* 23
  - § 3.7.2 *Resultaten en Discussie* 25

Samenvatting 27

Literatuurlijst 28

BIJLAGEN

1. Inleiding

In het kader van het Onderzoekprogramma Gesloten Bedrijfssystemen Glastuinbouw (NRLO, 1990) is in 1991 een samenwerkingsproject (OGBG project 67) gestart tussen het Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO, voorheen IB-DLO; project 488) en het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG, project 6206). Een beknopt projectvoorstel staat beschreven in NRLO-rapport 90/11 (NRLO, 1990; bijlage 5, p.3.).

Het doel van het project is het formuleren en valideren van een simulatiemodel voor de water-, nutriënten- en gashuishouding in gesloten, recirculerende teeltsystemen. Uitgangspunten hierbij zijn de behoefte van het gewas en een minimale milieubelasting. Het model zal in eerste instantie gericht zijn op een zandbed teeltsysteem. Om dit model te ijken en te controleren zijn op het PTG experimenten uitgevoerd met zo'n zandbeddenteeltsysteem.

Het doel van dit verslag is om het onderzoek dat op het PTG gedaan is, vast te leggen. Na een beschrijving van het teelt- en meetsysteem zal verslag worden gedaan van de verschillende teelten die gehouden zijn tijdens dit onderzoek.

1. Inleiding

In het kader van het Onderzoekprogramma Gesloten Bedrijfssystemen Glastuinbouw (NRLO, 1990) is in 1991 een samenwerkingsproject (OGBG project 67) gestart tussen het Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO, voorheen IB-DLO; project 488) en het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG, project 6206). Een beknopt projectvoorstel staat beschreven in NRLO-rapport 90/11 (NRLO, 1990; bijlage 5, p.3.).

Het doel van het project is het formuleren en valideren van een simulatiemodel voor de water-, nutriënten- en gashuishouding in gesloten, recirculerende teeltsystemen. Uitgangspunten hierbij zijn de behoefte van het gewas en een minimale milieubelasting. Het model zal in eerste instantie gericht zijn op een zandbed teeltsysteem. Om dit model te ijken en te controleren zijn op het PTG experimenten uitgevoerd met zo'n zandbeddenteeltsysteem.

Het doel van dit verslag is om het onderzoek dat op het PTG gedaan is, vast te leggen. Na een beschrijving van het teelt- en meetsysteem zal verslag worden gedaan van de verschillende teelten die gehouden zijn tijdens dit onderzoek.

men hangen ongeveer 0.90 m boven het maaiveld. Om te zorgen dat alle voedingsoplossing binnen het teeltvak blijft, is boven de betonnen rand een opstaande rand geconstrueerd van plastic met een hoogte van ± 0.30 m, terwijl tegenover de uiteinden van de sproeiarmen transparant plastic tot een hoogte van 2 m is opgehangen.

Dripslangen liggen tussen elke rij

Het in-line druppelsysteem bestaat uit druppelslangen met drukgecompenseerde in-line druppelpunten om de 0.30 m. (Netafim type Thyphoon, 0.042 m^3/d afgifte bij voordruk van 10^5 Pa). Deze slangen zijn ieder apart af te sluiten middels een kraan aan het begin van de slang. Hierdoor ontstaan mogelijkheden om de waterverdeling te variëren.

In het teeltvak zijn drainbuizen evenredig verdeeld aangelegd: zeven in de teeltvakken 1 en 2 en negen in de teeltvakken 3 en 4. Dus de drainafstand is ongeveer 0.8 m. De drainbuizen zijn verzonken in een tempex ondergrond, zodat ze onder het substraat liggen. De drainbuizen komen per vak in één verzamelleiding uit, die weer uitmondt in het corresponderende drainvat. Vanuit het drainvat wordt het drainwater met een dompelpomp terug gepompt naar het voorraadvat.

Als substraat is gekozen voor een grof zand: betonzand gewonnen bij Wesel/Rees (Duitsland). Tabel 1 geeft de korrelgrootteverdeling zoals deze door de leverancier is opgegeven. De mediaanwaarde van de korrelgrootte van het zand ligt tussen 0.5 en 1 mm.

§ 2.2 Teeltmethode

De opkweek van de slaplanten vond plaats in zand, om te vermijden dat het zandbed 'verontreinigd' wordt met organisch materiaal dat met de perskluitjes aangevoerd zou worden. Deze opkweek werd voor de eerste teelten op het PTG zelf gedaan. Door het afbreken van de opkweekruimte werd dit uitbesteed aan diverse opkweekbedrijven.

Gelijkmatigheid is en blijft een probleem bij de opkweek in zand. Een eenmaal opgelopen achterstand wordt niet meer ingehaald. Regelmatig en gelijkmatig gieten met voedingsoplossing is belangrijk voor een gelijkmatige opgroei van de planten. Ook tijdens het verspenen van opkweek naar het zandbed, kan de plant een achterstand oplopen door wortelbreuk of (plaatselijk) vochtgebrek.

Tijdens het zesde experiment werden enkele planten opgekweekt in steenwolpluggen. Deze pluggen gaven een gelijkmatige gewas, terwijl de steenwolplug aan het eind van de teelt in zijn geheel uit het zandbed verwijderd kon

worden. Ook wortelbreuk tijdens het verspenen werd zo grotendeels voorkomen. Daarom werd voor het laatste experiment gebruik gemaakt van deze steenwolpluggen.

De dag/nacht temperatuur werd de eerste twee weken op 19/14 °C gehouden. Daarna werd de temperatuur geleidelijk teruggebracht naar 12/8 °C.

De reguliere ziektebestrijding werd door het tuinpersoneel uitgevoerd. Het betrof voornamelijk bestrijdingen tegen botrytus (smet), luizen en rupsen. Smet kwam in de eerste teelten vrij veel voor, omdat toen nog met de bovenleiding gefertigeerd werd.

De voeding werd volgens het voedingsschema sla-recirculatie toegediend (bijlage 2, Sonneveld en Voogt, 1990). Voor de opkweek werd het voedingsschema opkweek groenten gebruikt (bijlage 2). Na het verspenen van de planten werd de eerste één à twee weken in de voedingsoplossing in de voorraadvaten een EC-waarde van 1.8 - 2.0 mS/cm aangehouden. Daarna werd een EC-waarde van 2.3 mS/cm aangehouden. De pH van de voedingsoplossing werd op 5.0 gesteld omdat het drainwater een hoge pH heeft (gemiddeld 7.5). Dit is te danken aan een hoog kalkgehalte in het zand.

Uitgezonderd het laatste experiment werd voedingsoplossing gegeven met de PTG-klimaatcomputer. Hierbij werd het watergeefrekenmodel gebruikt (De Graaf en Spaans, 1989). Dit model berekent aan de hand van straling, stookinvloed en een aantal in te stellen parameters de transpiratie. Daarbij is ervan uitgegaan dat de berekende grootheid T gelijk werd gesteld aan het totale waterverbruik (evapotranspiratie, ET). Ingesteld dienen te worden: lengte van de teelt (in dagen), transpiratiesom (l/m^2) en stuurtijd (s) van de pompen. Uit de lengte van de teelt wordt de gewasgrootte berekend. De transpiratie wordt als volgt berekend:

$$T=(a.R+b.H)*c \qquad (1)$$

waarbij:

T = transpiratiesom (l/m^2)
R = globale straling buiten (J/cm^2)
a = $1.78*10^{-3}$
H = graadminuut (een graadminuut is het verschil tussen buistemperatuur en kasluchttemperatuur gedurende een minuut)
b = $0.22*10^{-4}$
c = plantgroottefactor (actuele lengte/lengte volgroeide plant, uitgaande van een lineaire toename)

De parameters a en b zijn gewasafhankelijk en de bovenstaande gelden voor tomaat. De parameters voor sla zijn nog niet bekend, maar zullen niet veel verschillen. In een van de experimenten zal een poging worden gedaan om deze parameters voor sla op zandbedden te bepalen. Wordt de ingestelde transpiratiesom bereikt, dan worden de pompen aangestuurd volgens de ingestelde stuurtijd.

De slaplanten werden met wortel en al geoogst om te voorkomen dat er

teveel organische stof in het zandbed achterbleef. Door de wortelpruiken te spoelen met water werd het zand eruit verwijderd. Dit zand werd weer aan het zandbed toegevoegd.

§ 2.3 Meetsysteem

Het meetsysteem bestaat uit diverse meetinstrumenten. Centraal staat een PC; een Compaq 386 met 40 Mb harddisk. Met deze PC is een data-aquisitie systeem verbonden, gebaseerd op een "workhorse" (WH) systeem (Keithley Instruments). De meeste sensoren waren verbonden met het WH-systeem en de PC kon op elk gewenst moment de signalen van de sensoren aan het WH-systeem opvragen. Achtereenvolgens zullen de diverse metingen de revue passeren. De sensoren in het substraat worden op drie dieptes in het zandbed geplaatst.

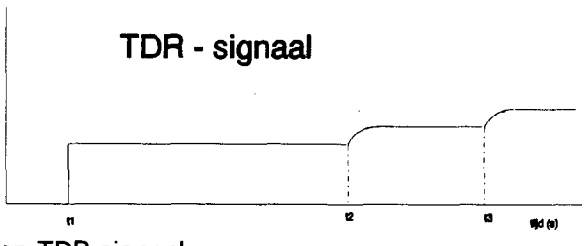
§ 2.3.1 *Watergehalte*

Het watergehalte in de bodem wordt gemeten door middel van Time Domain Reflectometry (TDR). De diëlektrische constante van de bodem blijkt sterk afhankelijk te zijn van het watergehalte van de bodem. Met behulp van TDR kan deze diëlektrische constante worden bepaald en het watergehalte kan vervolgens worden berekend op basis van een ijklijn.

Een cabletester (Tektronix) zendt een electromagnetische golf door een coaxiale kabel. Een voorbeeld van een golf wordt getoond in figuur 2. Deze golf wordt grafisch weergegeven en kan worden opgeslagen in de computer. Het tijdstip $t1$ geeft het begin van de kabel aan, tijdstip $t2$ is het begin en tijdstip $t3$ het einde van de sensor. Uit het tijdverschil $t3$ - $t2$ (s) wordt de voortplantingssnelheid v van de golf in de bodem berekend:

$$v=\frac{2L}{(t3-t2)} \qquad (2)$$

waarbij L de lengte (m) van de TDR-sensor is. Verder geldt voor de voortplantingssnelheid ook:



Figuur 2. Voorbeeld van een TDR-signaal

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \tag{3}$$

waarin: c = lichtsnelheid (m/s)
ϵ = rel. diëlektrische constante

Uit de formules (2) en (3) volgt:

$$\epsilon = \frac{c^2(t3-t2)^2}{(2L)^2} \tag{4}$$

Topp et al. (1980) vond een relatie tussen het volumetrisch vochtgehalte en de diëlectrische constante, die voor de meeste gronden geldt. Met behulp van deze formule kan nu het volumetrisch watergehalte van de bodem worden berekend:

$$\theta = \frac{(-530+292\epsilon-5.5\epsilon^2+0.043\epsilon^3)}{10000} \tag{5}$$

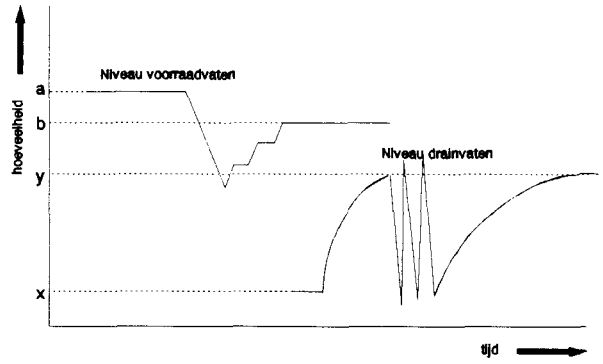
Op het AB-DLO te Haren werd een specifieke ijklijn voor het gebruikte substraat bepaald. Deze bleek nauwelijks af te wijken van vergelijking 5.

Door sensoren met behulp van 6-weg coaxiaal schakelaars in een boomstructuur aan te sluiten, konden 36 sensoren aan 1 cabletester gekoppeld worden. Alle golven werden doorgestuurd naar de PC en daar opgeslagen.

§ 2.3.2 *Drukhoogte*

Drukhoogte werdt met 36 sensoren gemeten in het zandbed door middel van tensiometers. De keramische cupjes (Micro Switch, Honeywell, type 141-PC-15G) zijn verbonden door een dunne koperen leiding met een kamertje in de drukopnemer (Soil Moisture Equipment, type 652X03-B1M3; Eijkelkamp). Het andere kamertje bevat lucht; hier heerst dus omgevingsdruk. De kamertjes zijn gescheiden door een membraan.

Als het substraat droger wordt, zal er water aan het cupje worden onttrokken. Het water in de gesloten waterkolom in de tensiometer komt hiermee op een grotere onderdruk. Dit zorgt voor een bolling van het membraan. De mate van bolling wordt in het cupje omgezet in een spanning (+1 tot +6 V). Deze spanning wordt door het werkpaard gemeten en omgezet in een code die door de computer opgeslagen wordt. De ijklijn tussen geleverde spanning en gemeten onderdruk verloopt lineair: ca 1 Volt bij 0 cm druk tot ± 6 Volt bij -1000 cm druk.



Figuur 3. Voorbeeld niveauveranderingen in voorraad- en drainvat (niet op schaal).

§ 2.3.3 *Temperatuur*

De diëlectrische constante, zoals door het TDR-systeem gemeten wordt, is temperatuurafhankelijk. Daarom werd met eveneens 36 sensoren de temperatuur in het zandbed gemeten. Het principe van deze sensoren berust op een temperatuurgevoelige weerstand (Unicurve Thermistors) in de sensor. Deze weerstand werd door het werkpaard gemeten en omgezet in een spanning en opgeslagen in de computer.

§ 2.3.4 *Drain Control Unit*

Om een nauwkeurige waterbalans op te stellen, moet de hoeveelheid voorraad- en drainwater exact worden gemeten. Daartoe bevindt zich in elke voorraad- en draintank een drukopnemer (Keller, type PR 46), die de druk van de waterkolom op de sensor registreert en deze druk omzet in een spanning (0 - 10 V). Deze werd gemeten door het werkpaard en omgezet in een voor de computer leesbare waarde.

Om nauwkeurig de hoeveelheid drainwater vast te kunnen stellen, mag er geen drainge plaatsvinden tijdens het overpompen van drainagewater naar het voorraadvat. Daarom werd tijdens het overpompen het drainerende water tijdelijk in een opvangbakje (~ 5 l) opgevangen. Vlak voordat de dompelpomp aansloeg, werd het opvangbakje door een klep onderin afgesloten en pas weer geopend als de pomp afgeslagen was. Deze besturing vond plaats door regelsoftware in de PC welke reageerde op hoog en laag niveauvoelers in het drainagevat.

Het minimum en maximum niveau in het drainvat wordt geregeld door niveauvoelers: stalen pennen die een stroom geleiden als ze kontakt maken met het water, waarbij 'nat' status *'hoog'* geeft en 'droog' status *'laag'*. De wegpompprocedure gaat dan als volgt:

* computer bepaalt 18x per seconde de status van de niveauvoelers
* geven de bovenste niveauvoelers status *'hoog'* , dan stuurt de computer de klep in het opvangbakje aan, zodat het drainwater opgevangen wordt

* de drukopnemer in het desbetreffende drainvat en voorraadvat wordt uitgelezen
* de pomp slaat aan totdat de onderste niveauvoelers status *'laag'* aangeven
* de drukopnemers worden opnieuw uitgelezen
* de klep in het opvangbakje wordt geopend

Figuur 3 geeft schematisch een voorbeeld van de niveauveranderingen in het voorraad- en drainvat, waarbij:

a = beginstand voorraadvat voor gietbeurt
b = eindstand voorraadvat na drainage
x = beginstand drainvat voor gietbeurt
y = eindstand drainvat na drainage

Tot en met experiment 5 werd de hoeveelheid drain bepaald door het aantal pompbeurten te registreren en dat te vermenigvuldigen met de verpompte hoeveelheid per keer. Probleem hierbij was de storingsgevoeligheid van het pompen. Als bijvoorbeeld de terugslagklep slecht werkte, dan veranderde de verpompte hoeveelheid drainwater. Veel nauwkeuriger is het direct meten van het waterniveau voor en na het pompen. Dit is later gerealiseerd.

De evapotranspiratie (ET) is de hoeveelheid water die er na een gietbeurt én als het zandbed volledig uitgedraineerd is, uit het voorraadvat verdwenen is; dit is het niveauverschil in voorraadvat minus het niveauverschil in drainvat:

$$ET=(a-b)-(x-y) \tag{6}$$

De evapotranspiratie (ET) bestaat uit grondverdamping of evaporatie (E) en plantverdamping of transpiratie (T). De drain (D) is de totale hoeveelheid water die vanuit het drainvat naar het voorraadvat is gepompt (V_{drain}) plus het niveauverschil in het drainvat:

$$D=V_{drain}+(y-x) \tag{7}$$

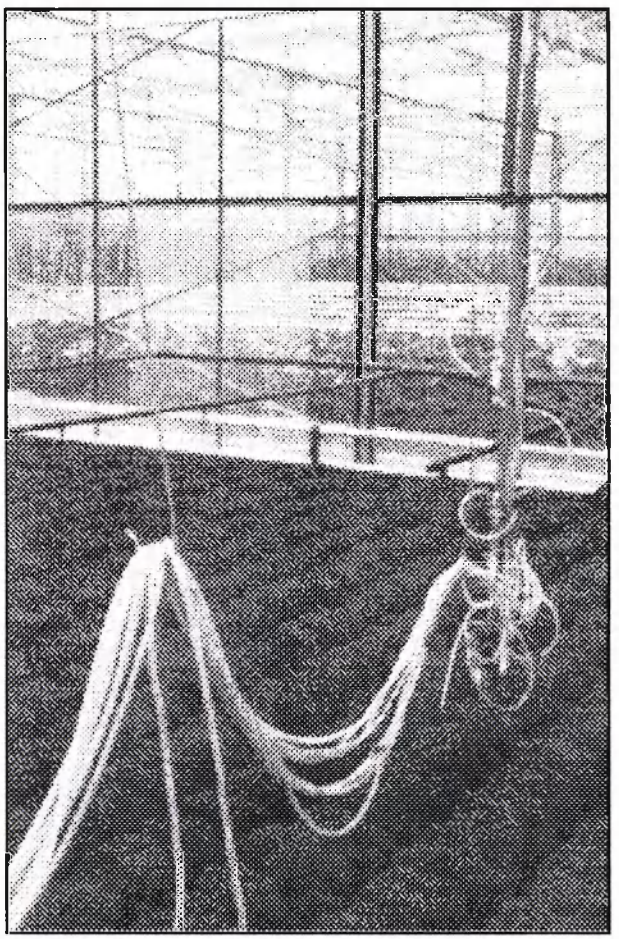
De gift (G) is de drain plus de evapotranspiratie:

$$G=D+ET \tag{8}$$

Van de veranderingen in het waterniveau in de voorraadvaten kunnen zo de gift (G), Drain (D) en de evapotransporatie (ET) worden afgeleid. Echter, vanwege het meetinterval van 5 minuten van de sensoren en een snelle start van de drainage na een gietbeurt kan het minimum in de grafiek van het waterniveau in een voorraadvat niet juist worden afgelezen, zodat G en D te klein zijn. In werkelijkheid zal dit minimum lager liggen. De berekende ET is korrekt.

§ 2.3.5 *Overig*

Vanuit het AB-DLO zijn nog enkele oriënterende metingen gedaan met zuurstofelectrodes en ion-selectieve electrodes. Deze metingen zullen in dit verslag verder niet aan de orde komen.



Meetopstelling ammoniakemissie vanuit het zandbed (zie Postma, 1994)

3. Experimenten

In dit hoofdstuk zullen de verschillende experimenten de revue passeren. Elk experiment betreft een slateelt. Tabel 2 geeft een overzicht van de experimenten met data, ras en doel.

Experiment 4 is uitgevoerd door Dietmar Schwartz, in 1992 tijdelijk gastmedewerker aan het AB-DLO. Deze teelt is reeds door hem gerapporteerd (Schwartz, 1992, Schwartz et al, 1994), daarom zal in dit verslag niet uitgebreid op deze teelt worden ingegaan. Dit geldt ook voor de metingen naar eventuele N-verliezen uit het zandbed, die het Nutrient Management Institute (NMI) heeft uitgevoerd (Postma et al, 1994). Deze metingen werden uitgevoerd tijdens de experimenten 5 en 7.

Tabel 2 Overzicht gehouden experimenten c.q. teelten met data, ras (Lactuca sativa cv ...) en doel van het experiment

Nr	startdatum	einddatum	ras	doel/bijzonderheden
1	01-11-91	13-02-92	Norden	test watergeefsysteem/tensiometers
2	06-03-92	29-04-92	Norden	test meetapparatuur
3	25-05-92	01-07-92	Cortina	testen meetsysteem bij diverse drainfracties; bepaling beworteling aan het eind van de teelt
4	31-07-92	14-09-92	Cortina	Bepaling beworteling (D. Schwartz)
5	24-03-93	10-05-93	Norden	testen methode bepaling verdamping in vak 1, 2 en 4. In vak 3 vanaf 01-93 metingen door het NMI naar N-verliezen in zandbed, teelt Lollo rosso
6	25-05-93	06-07-93	Flora	verzameling complete dataset (gedetailleerd)
7	29-09-93	07-12-93	Karlo	bepaling verdamping bak 1, 2 en 3; In bak 4 metingen NMI ("destructief")

§ 3.1 Experiment 1 (1 november 1991 - 13 februari 1992)

Het doel van deze eerste proef was het installeren en uittesten van de apparatuur, zoals drukhoogtemetingen, vochtmetingen en het teeltsysteem en watergeefrekenmodel.

§ 3.1.1 *Materiaal en Methoden*

De sla is geplant op 1 november 1991. Er werd een, naar later bleek, te kleine plant geplant. De sla werd geoogst op 13 februari 1992 en afgevoerd naar de composthoop.

De eerste veertien dagen kregen de slaplanten 4 keer per dag gedurende 1 minuut water (om de twee uur). Dit leek wel wat veel, temeer daar het zand (visueel) erg nat uitzag. Bij bepaling van het watergehalte in een aantal ringmonsters bleek het gravimetrisch watergehalte rond de 8 g/g te liggen. Bij een geschatte droge bulkdichtheid van 1.6 g/cm^3 komt dit overeen met een volumetrisch watergehalte van 0.128 cm^3/cm^3. Dus het is visueel moeilijk te constateren of het gebruikte substraat (te) droog of (te) nat is.

Tot begin december is de beregening handmatig gestart; 1 à 2 keer per week. Vanaf 3 december 1991 werd gestart met het watergeven via het watergeefrekenmodel. De transpiratiesom werd op 1700 ml/m^2 gesteld, tenzij er tussen twee watergeeftijden langer dan 1 week lag. Vanaf 6 december 1991 was de instelling: transpiratiesom 3000 ml/m^2. Wanneer deze transpiratiesom na drie dagen niet bereikt werd, dan werd eveneens de beregening gestart. De pompen gingen dan 2 minuten aan. Om te zorgen dat de planten minstens één keer in de week water kregen, werd de transpiratiesom op 12 december verlaagd van 3000 naar 1500 ml/m^2.

De vraag bleef wat of er nu beter was: veel water in weinig keren of weinig water in veel keer. Met andere woorden: wat geeft een betere groei bij gelijkblijvende hoeveelheid water: een grotere gift per beurt of vaker water geven? Om dit te onderzoeken werden op 17 december 1991 de volgende verschillen aangelegd:

	transpiratiesom:	stuurtijd watergeven:
vak 1	500 ml/m^2	2 minuten
vak 2	1500 ml/m^2	2 minuten
vak 3	1500 ml/m^2	2 minuten
vak 4	1500 ml/m^2	4 minuten

Tevens werd de gewasgrootte teruggebracht naar 50 % (teeltduur van 84 dagen naar 100 dagen).

Op 7 november 1991 en 12 november 1991 werd een tweetal metingen uitgevoerd om de waterverdeling te bepalen. Daartoe werden bekertjes (hoogte: 8 cm; doorsnede bovenkant: 7.5 cm) in een raster van 20 x 20 cm geplaatst.

Daarna stond de beregening 4 minuten aan. Met behulp van een balans werd de hoeveelheid water dat in de bekertjes gekomen was, bepaald. De eerste meting werd uitgevoerd bij de ingestelde druk van 3½ bar en een hoogte van de sprinklers t.o.v. de bovenkant beker van 90 cm. De tweede meting werd uitgevoerd bij de voorgeschreven druk (2 bar) en een hoogte van de sprinklers t.o.v. de bovenkant beker van 63 cm.

De resultaten werden geklassifiseerd in de volgende klassen:

0 - 5 ml
6 - 10 ml
11 - 15 ml
16 - 20 ml
21 - 25 ml
26 - 30 ml
> 30 ml

Na overleg met de leverancier, de firma Revaho, is besloten om een andere sproeidop te installeren. Tevens werd er een derde boom bij geplaatst. Deze nieuwe sproeidoppen moesten op ongeveer 2 meter boven het gewas hangen. Helaas sproeiden ze in ruime mate over de rand van het vak heen, zodat dit ook geen oplossing was.

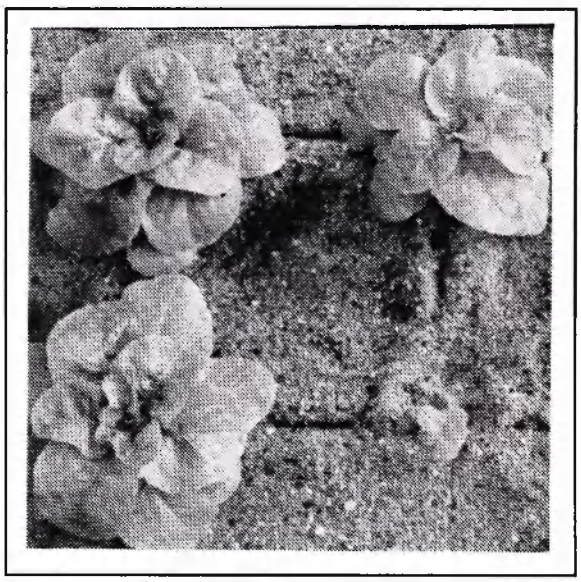
Een andere mogelijkheid is het aanleggen van in-line druppelslangen. Een bijkomend voordeel van dit systeem is, dat de voedingsoplossing direct op het zand terecht komt en niet eerst op de plant. Met de aanleg van dit druppelsysteem is tijdens de teeltwisseling een begin gemaakt. Gekozen is daarbij voor een druppelslang met een afgifte van 1.2 l/h. De afgiftepunten zijn om de 30 cm aangebracht. Alle slangen waren via kranen af te sluiten.

De tensiometers zijn begin 1992 in de proefvakken ingegraven om hun werking in de praktijk te testen. De proefmetingen gaven goede resultaten. Het enige probleem was soms de aanwezigheid van luchtbellen in het systeem.

Tijdens de teelt is de droge bulkdichtheid van het zand bepaald. Na de oogst zijn de zandbedden onder water gezet om de zetting van het zand te verbeteren. Daarna is opnieuw de droge bulkdichtheid bepaald.

§ 3.1.2 *Resultaten*

Bijlage 3 is een weergave van de waterverdeling over de helft van het veld. De resultaten van het meten van de waterverdelling geven relatieve verschillen weer van soms meer dan 100 %. Deze ongelijke verdeling is ook terug te vinden in de groei van het ge-



Zeer ongelijke groei ten gevolge van een ongelijke waterverdeling

Tabel 3 Eerste meting bulkdichtheid, watergehaltes en porositeit. Twee bepalingen per vak.

vak	bulkdichtheid kg/m³	watergehaltes cm³/cm³	g/g	porositeit
1	1468	8.1	5.5	0.45
	1513	9.6	6.4	0.43
2	1518	9.6	6.4	0.43
	1484	8.3	5.6	0.44
3	1454	7.9	5.5	0.45
	1450	7.8	5.4	0.45
4	1454	7.1	4.9	0.45
	1472	7.4	5.0	0.44

was. Met name onder de regenleidingen blijft de groei iets achter.

Mogelijke oplossingen werden gezocht in het variëren van de druk en de hoogte van de regenleiding, maar deze veranderingen verbeterden de verdeling niet. Daarom werd overgestapt op de in-line druppelsysteem.

Tabel 3 toont de resultaten van de eerste bepaling van de bulkdichtheid van het zand over de hele dikte van het zandbed. Door het onder water zetten van de zandbedden, nam de zetting van het zand toe. Bij de tweede meting werd onderscheid gemaakt tussen monsters onder (o) uit de zandlaag en monsters boven (b) uit de zandlaag. De resultaten staan in tabel 4.

§ 3.1.3 *Conclusies*

1. De te planten slaplanten mogen niet te klein zijn.
2. De water- (en voedings-) voorziening in het begin van de teelt is erg belangrijk.
3. De waterverdeling via het gebruikte beregeningssysteem is in grote mate

Tabel 4 Tweede meting bulkdichtheid, watergehaltes en porositeit na het onder water zetten van het zandbed. o = onderste laag, b = bovenste laag.

vak	bulkdichtheid kg/m³	watergehaltes cm³/cm³	g/g	porositeit
1o	1636	27.1	16.6	0.38
b	1511	10.6	7.0	0.43
2o	1676	24.4	14.6	0.37
b	1520	9.6	6.3	0.43
3o	1537	28.2	18.4	0.42
b	1514	10.7	7.0	0.43

niet uniform.

4. Visuele interpretatie van de vochttoestand van het gebruikte substraat is moeilijk.

§ 3.2 Experiment 2 (6 maart 1992 - 29 april 1992)

Het doel van deze teelt was het verder uittesten van de apparatuur, zoals tensiometers, temperatuursensoren en het TDR-systeem bij een verschillende watergift.

De aanleg van het druppelsysteem kwam niet op tijd klaar, omdat andere werkzaamheden voorrang vroegen. Wel werd tussen de eerste en tweede teelt een derde spuitboom tussen de twee bestaande geïnstalleerd. Hierna is ook de waterverdeling met deze nieuwe opstelling gemeten (bijlage 3).

§ 3.2.1 *Materiaal en Methoden*

De opkweek van sla, Lactuca sativa cv NORDEN verliep moeizaam. De opkomst was regelmatig, maar gaandeweg werd de ongelijkheid tussen de planten groter. De oorzaak hiervan is onbekend. Het gevolg hiervan was, dat op 6 maart 1992 niet alle vier de vakken met sla gevuld konden worden, maar alleen de vakken 2 en 3. Besloten werd om vak 1 niet in te planten en vak 4 in te zaaien met radijs. In vergelijking met de voorgaande teelt werd er een grotere plant geplant. Samen met enkele dagelijkse gietbeurten gaf dit een betere weggroei van het gewas.

Om de hoge pH van het drainwater te compenseren werd 2 mmol/l ammoniumnitraat aan de voedingsoplossing toegevoegd, om zo te proberen de pH in het zandbed omlaag te krijgen.

Om een indruk te krijgen van de variatie in plantgewichten, werd van twee horizontale en twee vertikale rijen het plantgewicht bepaald.

Op 31 maart 1992 werd in vak 4 radijs, Saxa rafine RZ, gezaaid met een handzaaimachine. Vooraf werd het zand even nat gemaakt. Dit gaf problemen bij het zaaien, omdat het zand bleef plakken bij de uitstroomopening van het zaad. Hierdoor werd het zaad tegengehouden, zodat op sommige plaatsen geen zaad viel. De opkomst en groei verliepen zonder enige problemen. Voeding werd gegeven volgens het recirculatieschema radijs (Sonneveld et al., 1992). Na het zaaien werd er water gegeven totdat de drain goed liep. Hierna werd met de hand 2 keer over de hele teelt water gegeven. Op 23 april 1992 werd het gewas geoogst.

Tot 31 maart 1992 werd op twee vaste tijden, t.w. 11.00 uur en 14.00 uur, gedurende 2.5 minuten water gegeven. Op 31 maart 1992 werd overgeschakeld naar watergeven via het watergeefrekenmodel. De volgende behandelingen werden aangelegd:

veld 1 braak; evenveel water als veld 2
veld 2 sla; watergift 1,5 maal de transpiratiesom
veld 3 sla; watergift 2,0 maal de transpiratiesom
veld 4 radijs; handmatig

De transpiratiesom in het watergeefrekenmodel werd op 1000 ml/m^2 gesteld.

Na het planten werden de aanwezige sensoren ingegraven. Het betrof hier tensiometersensoren, temperatuursensoren en de sensoren van het TDR-systeem. Op elk meetpunt werden drie sensoren van elk op verschillende dieptes (3.75 cm, 7.5 cm en 11.25 cm t.o.v. onderkant zandlaag) ingegraven, horizontaal geöriënteerd in de lengte van de drain. Tevens waren de meetpunten op twee posities t.o.v. de drainbuis gekozen, namelijk boven een drain (BD) en tussen twee drains (TD). De verdeling van de tensiometersensoren en de TDR-sensoren over de velden was als volgt:

veld 1 2x drie sensoren boven drain
2x drie sensoren tussen drain
veld 2 3x drie sensoren boven drain
3x drie sensoren tussen drain
veld 3 1x drie sensoren boven drain
1x drie sensoren tussen drain
veld 4 geen sensoren

De temperatuursensoren waren evenredig over de velden 1, 2 en 3 verdeeld en vertikaal geïnstalleerd.

Op 15 mei 1992 werd de waterverdeling volgens dezelfde methode als onder experiment 1 beschreven staat, gemeten. Door het opvangen van de hoeveelheid water die er gedurende 1 minuut uit een sprinkler komt, werd de afgifte (mm/minuut) bepaald.

Tabel 5 Kentallen plantgewichten (g versgewicht), waarbij de rijen A en C loodrecht op en de rijen D en E evenwijdig met de richting van het middenpad van de kas liggen

Rij	gemiddeld (g)	standaard afwijking (g)	minimum (g)	maximum (g)
A	210	45	120	305
C	202	49	85	275
D	240	48	145	340
E	247	38	180	340

§ 3.2.2 *Resultaten*

Door het konstant en frequent van bovenaf begieten van het gewas, kreeg dit een donkere kleur, terwijl de bladeren klein bleven. De kroppen waren bij de oogst op 29 april 1992 vrij klein, maar het gewicht was vergelijkbaar met een gewone krop sla. De variatie in de gewichten was groot. Tabel 5 geeft het gemiddelde, de minimum, maximum en de standaarddeviatie weer van de plantgewichten in veld 2, waarbij de rijen A en C loodrecht op en de rijen D en E evenwijdig aan de richting van het middenpad in de kas liggen. Uit de minimum en maximum waarden blijkt de grote spreiding in plantgewichten.

De extra toevoeging van 2 mmol/l ammoniumnitraat gaf geen merkbaar effect op de pH van het drainwater.

Er zijn geen metingen gedaan aan de radijs. De kwaliteit van de radijs was goed.

De afgifte van de sprinklers in de vakken 1 en 2 was 0.79 mm/minuut en voor de velden 3 en 4 op 0.92 mm/minuut. Het verschil wordt veroorzaakt door de verschillende grootte van de velden, waardoor het aantal sprinklers per veld ook verschilt.

Daar het om een proefteelt gaat, is het niet belangrijk om alle gegevens die via de metingen met de sensoren verkregen zijn, te bespreken. Daarom zijn er drie opeénvolgende dagen uitgezocht. Gekozen is voor 25, 26 en 27 april 1992, resp. dagnr. 116, 117 en 118. Op 25 april zijn er vijf gietbeurten gegeven, op 26 april één, en op 27 april zes. Figuur 1, bijlage 4 toont de resultaten van de TDR-metingen over deze drie dagen in veld 2. Duidelijk zijn de verschillende posities in het zandbed van de sensoren te onderscheiden. Het watergehalte onderin de zandlaag ligt tussen de 30 en 35 %, waarbij het boven drain iets natter is dan tussen drain. Het watergehalte midden in het zandbed schommelt net onder de 25 %, waarbij het boven drain net iets droger is. Tenslotte, het watergehalte bovenin de zandlaag ligt net boven de 10 %. Hier is geen verschil tussen de positie tussen drain en positie boven drain. Watergeven heeft een nauwelijks merkbaar effect op het watergehalte.

De resultaten van de tensiometers in veld 2 zijn weergegeven in figuur 2 van dezelfde bijlage. Ook hier zijn duidelijk de verschillende dieptes, waarop de sensoren zijn aangebracht, te herkennen. Hier zijn echter geen verschillen te constateren tussen de posities tussen drains en boven een drain. Wel is hier een

Tabel 6 Straling, Minimum- en maximumwaarden kas- en bedtemperatuur

dagnr	straling	kastemperatuur		veld 1		veld 2		veld 3	
		min	max	min	max	min	max	min	max
	J/cm²	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
116	1922	10.4	14.5	15.4	22.9	15.4	18.7	15.5	19.9
117	429	9.9	14.0	15.7	19.5	15.8	17.6	15.8	17.4
118	2117	9.4	13.1	13.8	22.6	14.5	17.9	14.6	19.2

duidelijk effect waar te nemen van de gietbeurten. Na iedere gietbeurt zien we de drukhoogte afnemen. Op dagen waarop veel gietbeurten zijn gegeven, is te zien dat het zandbed in de loop van de dag natter wordt. Dit duidt erop dat de verdamping volgens het watergeefrekenmodel overschat wordt.

NB! Bij de resultaten van de tensiometers moet de kanttekening worden geplaatst dat de drukopnemers onder de onderkant van het zandbed op de grond stonden en dus soms een overdruk registreerden, waardoor de nauwkeurigheid sterk afneemt.

De resultaten van de temperatuurmeting zijn weergegeven in figuur 3, bijlage 4. Duidelijk is de dag- en nachttemperatuur te zien. Ook is aan de grafiek van 26 april (dag 117) te zien, dat dit een donkere dag was (tabel 6). Opvallend is verder dat de schommelingen in veld 1 groter zijn dan in de andere veldjes. Dit is niet verwonderlijk, want op veld 1 stond geen gewas. De minimum- en maximumwaarden staan in tabel 6.

§ 3.2.3 *Conclusies*

1. Het watergehalte in het zandbed variëert per laag.
2. Het watergehalte in de onderste laag boven de drain is hoger dan op dezelfde positie tussen de drain. Fysisch gezien moet het juist omgekeerd zijn. Het kan zijn dat er veel ruimtelijke variatie in watergehalte is, zodat een verschil installatiediepte van de sensoren een groot verschil in watergehalte geeft.
3. Het effect van de gietbeurten zijn nauwelijks merkbaar in het watergehalte.
4. De verdamping volgens het watergeefrekenmodel wordt overschat.
5. De drukhoogte in het het zandbed variëert per laag.
6. Het effect van de gietbeurten is duidelijk zichtbaar in de drukhoogte.
7. Naarmate de bedekkingsgraad kleiner is, worden de dag/nachtfluctuaties in grondtemperatuur groter.

§ 3.3 Experiment 3 (25 mei 1992 - 1 juli 1992)

Het doel van dit experiment was het testen van de drukopnemers in voorraad- en drainvaten, waarbij geprobeerd werd de waterbalans op te stellen.

§ 3.3.1 *Materiaal en Methoden*

Tussen experiment 2 en 3 werd in de voorraad- en drainvaten de eerste versie van de meet- en regelapparatuur geïnstalleerd. Het ging hierbij om de niveauvoelers, opvangbakken en drukopnemers. Met deze versie werd de procedure, zoals beschreven in § 2.3.4, gevolgd, uitgezonderd het uitlezen van de drukopnemers in voorraad- en drainvaten. Voor alle vaten zijn in situ ijklijnen

gemaakt.

In veld 1 t/m 3 werd sla geplant, in veld 4 radijs gezaaid. Om verzouting in het zandbed te voorkomen, werd ruim water gegeven. De transpiratiesom in het watergeefrekenmodel werd op 1500 gesteld (1.5 l/m^2). De drain wordt gedefiniëerd als een factor (α of β) maal de ingestelde transpiratiesom. In veld 1 en 2 50 % drain (α = 1.5) en in veld 3 100 % drain (β = 2.0) . Dus de giften waren voor de velden 1 en 2 2.25 l/m^2 en voor veld 3 3.0 l/m^2. In veld 4 werd geen waterbalans opgesteld, omdat hier een test experiment met radijs werd uitgevoerd. Om de juiste hoeveelheid water te geven, werd op 12 juni de afgifte per veld bepaald.

§ 3.3.2 *Resultaten en Conlusies*

Hieronder wordt de afgifte weergegeven, zoals die gemeten werd op 12 juni 1992:

		afgifte
veld 1	regenleiding	0.64 l/min/m^2
veld 2	druppelslangen	0.44 l/min/m^2
veld 3	druppelslangen	0.64 l/min/m^2
veld 4	regenleiding	0.44 l/min/m^2

De eerste waterbalansmetingen zijn in tabel 7 weergegeven over de periode 17 juni 1992 t/m 28 juni 1992. Alleen gemiddelde waarden per dag zijn gege-

Tabel 7 De gemeten watergift *G* (l/m^2), drainage *D* (l/m^2) en berekende evapotranspiratie *ET* (l/m^2) op verschillende dagen.

		Veld 2			Veld 3		
Datum	#	*G*	*D*	*ET*	*G*	*D*	*ET*
6/17	3	1.943	0.439	1.505	2.568	1.038	1.530
6/18	1	1.974	0.018	1.956	2.630	0.554	2.076
6/19	1	1.991	0.352	1.640	2.507	1.118	1.389
6/22	2	1.911	0.342	1.569	2.527	0.474	2.053
6/23	2	1.921	0.340	1.581	2.715	0.972	1.743
6/24	1	1.915	0.022	1.893	2.223	0.039	2.184
6/25	1	1.980	0.054	1.926	2.641	0.573	2.068
6/26	3	1.954	0.127	1.827	2.381	0.701	1.679
6/27	2	1.940	0.327	1.613	2.658	0.923	1.735
6/28	2	1.908	1.161	1.746	2.597	0.687	1.910
avg		1.944	0.218	1.726	2.545	0.708	1.837
std		0.029	0.150	0.157	0.139	0.306	0.249
vc		1.486	68.809	9.098	5.769	43.267	13.576

= aantal gietbeurten per dag; avg = gemiddelde (l/m^2); std = standaardafwijking (l/m^2) en vc = variatiecoëfficiënt (%)

ven. Getracht werd om aan de hand van deze cijfers de evapotranspiratie (*ET*) te scheiden in transpiratie (*T*) en evaporatie (*E*). Dit blijkt niet mogelijk te zijn, omdat er vier vergelijkingen met zes onbekenden zijn (Heinen, interne notitie, 1993). Dit is dus niet oplosbaar, tenzij de verhouding bekend is tussen *E* en *T*. Door deze verhouding in een van de velden tot nul terug te brengen, wordt het mogelijk om de scheiding tussen evaporatie en transpiratie aan te brengen, m.a.w. door een veld af te dekken, wordt de evaporatie uitgeschakeld. Dit is in experiment 5 en 7 toegepast.

Uit tabel 7 blijkt dat de gemiddelde gemeten gift voor de velden 2 en 3 (resp. 1.9 en 2.5 l/m^2) kleiner is dan de ingestelde gift (resp. 2.25 en 3.0 l/m^2). De hoeveelheid drainwater vertoont grote variatie, wat aangeeft dat het watergeefrekenmodel op dagbasis niet naukeurig is.

§ 3.4 Experiment 4 (31 juli 1992 - 14 september 1992)

Het voornaamste aandachtspunt in deze teelt was de wortelverdeling van een plant. Hierbij werd gekeken naar de ruimtelijke wortelverdeling rond een plant en naar de verdeling per plant in relatie tot afstand van de plant tot een drain. (Schwartz, 1992 en Schwartz et al., 1994) Bij een drainafstand van circa 80 cm en een rijafstand van circa 20 cm is ervoor gezorgd dat de eerste rij boven een drain lag, de derde rij tussen twee drains en de tweede rij tussen rij één en drie. Tussen alle rijen waren druppelslangen gelegd. We beperken ons tot de halve drainafstand. In velden 1 en 2 was alleen de druppelslang tussen rijen twee en drie aangesloten. In velden 3 en 4 waren alle druppelslangen

Monstername ter bepaling van de beworteling

Tabel 8 Wortellengtedichtheden (gemiddeld, cm/cm^3) in de rij boven een drain (rij 1), in de rij tussen twee drains (rij 3) en in de hier tussen liggende rij (rij 2) voor de velden 1 en 4.

	rij 1	rij 2	rij 3
veld 1	0.76	1.36	1.69
veld 4	2.04	1.84	1.64

aangesloten. In de velden 1 en 3 werd een drainfractie[1] van 1.3 aangehouden en in de velden 1 en 4 een drainfractie van 2.0. Aan het eind van de teelt werd in alle vier velden de grond rond drie planten in naast elkaar liggende rijen bemonsterd. Tevens werden de drooggewichten van de slakroppen bepaald. Vanwege tijdgebrek werden alleen de velden 1 en 4 verder uitgewerkt. Bijlage 5 geeft de gemiddelde drooggewichten voor de extreme behandelingen, 1 en 4. In veld 4 zijn de drooggewichten van krop en wortels in de drie rijen gelijk aan elkaar. In veld 1 zijn de drooggewichten in de rij tussen de drains het grootst; de laagste drooggewichten treden op in de rij boven de drain. De verschillen in veld 1 zijn significant bij een betrouwbaarheidsinterval van 95 %. Ook tabel 8 geeft het verschil tussen veld 1 en veld 4 in wortellengtedichtheid weer.

§ 3.5 Experiment 5 (24 maart 1993 - 10 mei 1993)

Om de scheiding aan te kunnen brengen tussen evaporatie en transpiratie werd een veld afgedekt met folie (zie ook § 3.3). In dit experiment werd de methode getest.

§ 3.5.1 *Materiaal en Methoden*

In Januari 1993 werd op een opkweekbedrijf in De Lier het rode slaras Lollo Rosso gezaaid. Door een zeer slechte opkomst kon hiervan maar één zandbed (bed 3) ingeplant worden; de andere drie zandbedden werden ingeplant met het gewone -groene- slaras Norden om daar de transpiratie te 'meten'. Tabel 9 geeft enkele kengetallen van de velden.

Door het afdekken van veld 2 met folie werd de grondverdamping (evaporatie) verhinderd. Wat er tussen twee gietbeurten aan voedingswater verdwenen was, werd aangemerkt als plantverdamping. Aangenomen werd dat het bedekken van een veld met folie geen invloed heeft op de groei van het gewas.

Om de totale hoeveelheid drainwater te kunnen bepalen, werd de hoeveel-

Tabel 9 Oppervlakte, rijafstand, plantafstand, aantal planten per m^2 en het totaal aantal planten tijdens experiment 5.

veld #	Oppervlakte (m^2)	rijafstand (m)	plantafstand (m)	aantal planten per m^2	totaal aantal planten
1	37.4	0.23	0.30	14.7	550
2	37.4	0.23	0.30	14.7	550
3	44.3	0.20	0.30	16.9	748
4	44.3	0.20	0.30	16.9	748

[1] Gift = drainfractie * ingestelde transpiratie (volgens watergeefrekenmodel)

heid drainwater per pompbeurt gemeten.

Voor een onbedekt veld geldt:

$$ET_o = E + T_o \tag{9}$$

voor een bedekt veld geld:

$$ET_b = T_b \tag{10}$$

waarbij:
ET_o = evapotranspiratie onbedekt veld
E = evaporatie
T_o = transpiratie onbedekt veld
ET_b = evapotranspiratie bedekt veld
T_b = transpiratie bedekt veld

Er wordt aangenomen dat het gewas in beide gevallen gelijk transpireert, zodat $T_o = T_b$.

§ 3.5.2 *Resultaten en Conclusies*

Bijlage 6a en 6b tonen de cumulatieve gift en drain per dag voor het bedekte en onbedekte veld. Alles wordt weergegeven in l/m^2. Op dag 112 is er vanwege een storing in de apparatuur geen meting verricht. De waarden zijn geschat naar de hoeveelheid straling op dag 112. De laatste kolom in bijlage 6a geeft de cumulatieve straling weer in J/cm^2.

Conclusies uit deze resultaten moeten met de nodige voorzichtigheid worden getrokken. De manier om de hoeveelheid drainwater te meten was storingsgevoelig; er werd vanuit gegaan dat de hoeveelheid drainwater per pompbeurt in de loop van het experiment niet veranderde. Ook eventuele vochtberging in het zandbed is niet bepaald.

Hoewel er iets meer natrot in het bedekte veld voorkwam, kan toch worden geconcludeerd dat met behulp van het afdekken van een bed de grondverdamping kan worden verhinderd, zonder dat dit gevolgen heeft voor de groei van het gewas, zodat vergelijking van de velden mogelijk is.

§ 3.6 Experiment 6 (25 mei 1993 - 6 juli 1993)

Om de dynamiek van nutriënten in het teeltsysteem te bestuderen, moet naast de wortelverdeling ook de opname door het gewas bekend zijn. Deze kan op twee manieren bepaald worden: door verandering van minerale samenstelling van de voedingsoplossing en door verandering van de minerale samenstelling van de het gewas (Heinen et al, 1991 en Heinen, 1994). Het doel van dit experiment was het opstellen van de mineralenbalans.

§ 3.6.1 *Materiaal en Methoden*

De behandelingen waren gelijk aan die zijn aangelegd bij het onderzoek naar de wortelverdeling (§ 3.4). Plantafstanden waren aan de druppelpunten aangepast.

Om een beeld te krijgen van het verloop van de groei en opname van nutriënten in de tijd werd het gewas en de voedingsoplossing wekelijks bemonsterd. Tevens werd twee-wekelijks de grond bemonsterd. Gewas werd op 25 mei, 1, 8, 15, 22, 29 juni en 6 juli gemonsterd, waarbij om en om alle veldjes en de veldjes 3 en 4 gemonsterd werden. Bemonstering van grond vond plaats op 25 mei, 15 en 29 juni en 6 juli, waarbij op 15 en 29 juni alleen de bovenste 5 cm bemonsterd zijn. Voedingsoplossing en drainwater werden iedere week gemonsterd, terwijl bodemvocht afgezogen werd op 15 en 29 juni en 6 juli. Omdat de bovenste 5 cm te droog was om bodemvocht af te zuigen, werd van deze laag een grondmonster genomen.

Met behulp van de onder hoofdstuk 2 beschreven instrumenten werden watergehalte, drukhoogte en temperatuur in het zandbed gemeten.

De nutriënten balans wordt als volgt geformuleerd:

$$D = \Delta C + \Delta SV + \Delta DV + \Delta SB + R \qquad (11)$$

waarbij:
D = Dosering (mol/m^2)
C = Gewas (mol/m^2)
SV = Voorraadvat (mol/m^2)
DV = Drainvat (mol/m^2)
SB = Bodemvoorraad (mol/m^2)
R = Verwijderd met bemonstering (mol/m^2)
Δ = verschil in hoeveelheden tussen eind en start

Tabel 10 Mineralenbalans. D = dosering, C = gewas, SV = voorraadvat, DV = drainvat, SB = bodemvoorraad en R = verwijderd met bemonstering. Δ = verschil in hoeveelheden tussen het eind en start van de teelt. na = niet aanwezig.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
			mmol/m^2					
D	-1010	-261	-557	-217	-45	-66	-27	-1
ΔC	738	35	383	44	22	11	11	15
ΔSV	-270	-45	-147	-75	-17	-20	-22	-11
ΔDV	1	0	1	-1	0	0	-1	0
ΔSB	na	na	na	na	na	na	na	na
R	28	5	46	5	3	2	1	2
MB	-513	-266	-274	-244	-37	-73	-38	5

§ 3.6.2 *Resultaten en Discussie*

Op dit moment van schrijven zijn de element gehalten in het zand (bodemvoorraad) nog niet beschikbaar, zodat een volledige balans niet gemaakt kan worden. Tabel 10 geeft de mineralenbalans weer. De waarden bij de verschillende onderdelen van vergelijking 15 zijn gemiddelden over de vier velden.

De mineralenbalans is voor alle elementen, uitgezonderd Cl, negatief, omdat de hoeveelheden in de bodemvoorraad nog niet bekend zijn. Deze hoeveelheden kunnen nog wel eens een flinke bijdrage vormen aan de mineralenbalans, omdat de velden voor het begin van de teelt doorgespoeld zijn met schoon water. Het 'gat' in de balans voor P en Ca is erg groot. Wellicht is dit veroorzaakt door een neerslag van calciumfosfaat ($Ca_3(PO_4)_2$), temeer daar de pH van het zandbed vrij hoog is (pH drainwater $\geq$ 7.5).

§ 3.7 Experiment 7 (29 september 1993 - 7 december 1993)

Nadat in experiment 5 de methode om de werkelijke plantverdamping te meten, beproefd was, werd het laatste experiment van het onderzoek opnieuw besteed aan de bepaling van de transpiratie van grond en gewas.

§ 3.7.1 *Materiaal en Methoden*

In experiment 6 was een aantal slaplanten gezaaid in steenwolpluggen. Dit gaf een gelijkmatiger gewas, zodat in experiment 7 alle slaplanten (Lactuca sativa cv Karlo) in steenwolpluggen gezaaid werden. Deze sla werd geplant op 29 september 1993 en geoogst op 7 december 1993. Om de evaporatie (grondverdamping) uit te sluiten werd veld 1 afgedekt met het zogenaamde 'black and white' folie.

Er werden 20 planten/m^2 geplant, onafhankelijk van de druppelpunten, in een regelmatig rechthoek patroon. Er werd elke dag om 6.00 uur en om 18.00 uur ruim water gegeven, zodat er altijd gedraineerd werd.

Het totale waterverbruik per zandbed werd bepaald door het regelmatig meten van de waterniveau's in de voorraad- en draintanks. De eventuele berging van water in het zandbed werd gemeten met de TDR-sensoren. Met behulp van de formules (**9**) en (**10**) werd de evapotranspiratie gescheiden in transpiratie en evaporatie.

Tabel 11 Bladoppervlak teelt sla 12 oktober 1979 t/m 1 januari 1980 (De Graaf)

actuele teeltduur (d)	bladoppervlak (cm^2)
0	12
7	43
11	60
18	100
25	190
32	265
39	305
63	415
87	510

In § 2.2 werd vergelijking (1) gegeven, waarbij de factoren *a* en *b* voor tomaat gelden. Omdat de straling (*R*) en de graadminuten (*H*) bekend zijn, kunnen de factoren *a* en *b* voor de vergelijking van De Graaf en Spaans (1989) worden berekend:

$$T=(a_T.R+b_T.H)*c \qquad (12)$$

De evaporatie wordt berekend volgens:

$$E=(a_E.R+b_E.H)*(1-c) \qquad (13)$$

waarbij:

T	=	transpiratie (l/m^2)
E	=	evaporatie (l/m^2)
R	=	straling (J/cm^2)
H	=	graadminuut
a_T, a_E	=	stralingsfactor resp. transpiratie en evaporatie
b_T, b_E	=	graadminuutfactor resp. transpiratie en evaporatie
c	=	plantgroottefactor, $0 < c \leq 1$, eigenlijk de bedekkingsgraad, d.w.z. de fractie van het bodemoppervlak dat bedekt is door blad.

De groei van sla blijkt goed beschreven te worden door een logistische groeicurve (Heinen et al, 1991 en Heinen, 1994). Het is dus aannemelijk dat de bedekkingsgraad (factor *c*) ook door een logistische functie beschreven kan worden:

$$A_b=\frac{1}{1+e^{-b*(x-m)}} \qquad (14)$$

waarbij:

A_b	=	bladoppervlakfactor
b	=	0.1186 (d^{-1})
m	=	23.29 (d)
x	=	actuele teeltduur (d)

Omdat in dit experiment de plantgrootte niet bepaald is, wordt aan de hand van bladoppervlakten van slaplanten, gemeten door De Graaf (ongepubliceerde gegevens, 1979-1980) geprobeerd deze curve te benaderen, waarbij de teeltduur ingekrompen is tot 65 dagen. Tabel 11 geeft de gebruikte plantoppervlaktes weer. Door deze waarden is een logistische curve gefit.

De dagwaarden zijn gedeeld door de plantgrootte *c* en vervolgens gecumuleerd, zodat de invloed van een grote afwijking in de cijfers verkleind wordt.

Tabel 12 Berekende factoren *a*, *b* voor formule om verdamping te berekenen (De Graaf, 1989) bij een logistische en lineaire toename van de plantgrootte.

	logistische toename plantgrootte			lineaire toename plantgrootte		
	a	*b*	r^2	*a*	*b*	r^2
Transpiratie	$2.13*10^{-3}$	nvt 1)	98.8	$2.90*10^{-3}$	nvt	95.9
Evaporatie	$-0.39*10^{-3}$	$1*10^{-4}$	86.2	$1.06*10^{-3}$	$7.71*10^{-6}$	91.3

1) De invloed van factor b in de vergelijking is nihil

Voor deze cumulatieve waarden zijn met regressie-analyse in LOTUS 123 de factoren *a* en *b* berekend. De transpiratie wordt vervolgens berekend in vergelijking (**12**) de dagelijkse straling en graadminuut in te vullen en te cumuleren. Voor de evaporatie wordt niet vermenigvuldigd met de factor *c*, maar met een factor *1-c*, omdat grondverdamping plaatsvindt via het onbedekte deel van de grond.

Om te bepalen of er groeiverschillen waren tussen het bedekte en onbedekte veld werden twee bemonsteringen van het gewas uitgevoerd. Per keer werden 5 planten geoogst en de vers en drooggewichten ervan bepaald.

§ 3.7.2 *Resultaten en Discussie*

Bijlage 7a en 7b geven de data en een grafische weergave van het waterverbruik in experiment 7. Het totale waterverbruik bedroeg 46.5 l/m^2. Hiervan wordt 25.4 l/m^2 door de plant verdampt; 21.1 l/m^2 verdampt via de grond. In procenten verdampt 55 % via de plant en 45 % via de grond. De Graaf (1980) vond voor sla vergelijkbare percentages: afhankelijk van de snelheid waarmee het gewas de grond bedekte bedroeg de evaporatie in de herfst 40 %, in de winter 62 % en het voorjaar 30 % van de evapotranspiratie. Otten (1994) vond eveneens een grote bijdrage aan grondverdamping bij *Ficus benjamina* in potten op een eb/vloed-systeem: 19 % in de voorjaar en 41 % in de winter periode. De grote bijdrage van de evaporatie aan het totale waterverbruik kan verklaard worden doordat sla niet direct de grond volledig afdekt. .

Tabel 12 geeft de factoren *a* en *b* uit de vergelijkingen (**12**) en (**13**). Bijlage 7c laat zien dat de transpiratie, berekend via een logistische fit, de werkelijke transpiratie goed benaderd. Dit geldt echter niet voor de evaporatie. Daarom zijn de berekeningen opnieuw gedaan, maar nu met een lineaire toename van de plantgrootte. De factoren *a* en *b* staan eveneens in tabel 12. Hierbij wordt de transpiratie gefit met een lineaire groeicurve iets meer overschat dan met een logistische groeicurve. De evaporatie wordt goed berekend als de groei van het gewas lineair beschreven wordt. Een verklaring kan zijn dat bij een logistische groeicurve verondersteld wordt dat alleen de grond, direct blootgesteld aan

straling zal verdampen; echter ook grond overschaduwd door gewas zal een bijdrage aan de evaporatie leveren.

De conclusie is dat de transpiratie goed beschreven kan worden met behulp van zowel een logistische als een lineaire groeicurve, terwijl de evaporatie wel met een lineaire, maar niet door een logistische groeicurve beschreven kan worden. Voor dit experiment kan dus het beste een lineaire groeicurve gebruikt worden.

Met een plantdichtheid van 20 pl/m^2 bedroeg de gemiddelde hoeveelheid water dat door de plant verdampt is 1.3 l en met een gemiddeld drooggewicht per plant van 6.9 g resulteert dit in een droge stof productie van 5.4 g/l. Vergeleken met NFT: 3.1 g/l (Heinen et al, 1991) en 2.86 g/l (Heinen, 1994) is dit meer, waarbij opgemerkt wordt dat het in experiment 7 om een herfst/winterteelt gaat en bij de NFT om teelten in juni/juli.

Statistische analyse van de vers- en drooggewichten en het drogestof gehalte toonde geen significant bedekkingseffect. Het gemiddelde versgewicht aan het eind van de teelt was 194.2 g en 197.0 g voor respectievelijk het onbedekte en bedekte bed. Het drogestof gehalte was resp. 3.63 % en 3.36 %.

De TDR resultaten toonden geen verschillen in watergehalten per dag, zodat bergingsverschillen uitgesloten kunnen worden.

Samenvatting

In het kader van het Onderzoeksprogramma Gesloten Bedrijfssystemen Glastuinbouw is in 1991 een samenwerkingsproject gestart tussen het Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek en het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas.

Het doel van het project is het formuleren en valideren van een simulatiemodel voor de water-, nutriënten- en gashuishouding in gesloten, recirculerende teetltsystemen. Uitgangspunten hierbij zijn de behoefte van het gewas en een minimale milieubelasting. In dit verslag worden de 7 experimenten beschreven, die uitgevoerd zijn op het PTG om gegegevens te verkrijgen, waarmee het model geijkt en gecontroleerd kan worden.

Het teeltsysteem bestaat uit vier gescheiden teeltunits met elk een eigen voorraadvat en drainvat in recirculatie. Alle units bevatten een laag van 15 cm grof zand. Fertigatie vindt plaats via beregening met sprinklers en met een in-line druppelsysteem. Drainbuizen liggen evenredig verdeeld over het bed en zijn verzonken in een tempex ondergrond.

Diverse meetinstrumenten zijn geïnstalleerd. Het watergehalte van het zandbed werd gemeten met de Time Domain Reflectometry methode, Drukhoogten met tensiometrie en temperatuur met temperatuurgevoelige weerstanden. In voorraad- en drainvaten zijn drukopnemers geplaatst om de hoeveelheid water in de vaten te meten. Alle instrumenten werden automatisch geregistreerd.

Zeven experimenten zijn uitgevoerd. De eerste twee waren proefteelten, waarin de teeltwijze van sla en diverse sensoren werden uitgeprobeerd. in Experiment 3 werd geprobeerd diverse drainfracties aan te leggen. Het bleek niet mogelijk om met het bestaande systeem een goede waterbalans te maken. In het vierde experiment stond de beworteling in relatie tot de drain en watergeefregime centraal. Dit onderzoek werd uitgevoerd door een gastmedewerker van het AB-DLO. Belangrijk voor het opstellen van het model is de opname van water door de plant. Daarom is in experiment vijf geprobeerd de waterbalans op te stellen, waarbij de evapotranspiratie gescheiden werd in evaporatie en transpiratie. Deze transpiratie werd gemeten door een veld af te dekken met folie, zodat evaporatie uitgesloten werd. Hoewel de resultaten met de nodige voorzichtigheid beoordeeld moeten worden, blijkt de evaporatie 36 % van het totale waterverbruik uit te maken.

Even belangrijk als de waterstromen is de dynamiek van nutriënten in het teeltsysteem. In experiment zes stond de mineralenbalans centraal. Door wekelijkse bemonsteringen van zand, gewas, voedingsoplossing en drainwater werd inzicht gekregen in de groei van het gewas en de nutriëntenstromen in het teeltsysteem. Daarbij werden behandelingen aangelegd, gelijk aan die in de vijfde teelt. Op dit moment van schrijven zijn alle cijfers nog niet beschikbaar, zodat de balans nog onvolledig is.

Tenslotte, het zevende experiment stond weer in het teken van de waterbalans, omdat er in de resultaten van experiment vijf teveel onnaukeurigheid kan zitten. Ook werd nu op twee tijden per dag (6.00 en 18.00 uur) ruim water gegeven, zodat er altijd gedraineerd werd. Eén van de velden werd weer afgedekt met folie. Het totale waterverbruik bedroeg 46.5 l/m^2. Hiervan komt 25.4 l/m^2 ten goede aan de plant (transpiratie) en 21.1 l/m^2 is evaporatie. In procenten respectivelijk 55 % en 45 %. Er werd geen berging van water in het zandbed geconstateerd.

Artikelen over dit onderzoek zullen in de loop van 1995 in de wetenschappelijke pers verschijnen.

Literatuurlijst

Graaf, R. de, 1980. Beter inzicht in het watergeven bij sla. Tuinderij 20 nr. 20, p 38-39.

Graaf, R. de en L. Spaans, 1989. Automatisering watergeven bij teelten op substraat met behulp van een watergeefrekenmodel. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, Intern verslag nr. 33, 15 pp

Heinen, M., A. de Jager and H. Niers, 1991. Uptake of nutrients by lettuce on NFT with controlled composition of the nutrient solution. Netherlands Journal of Agricultural Science 39: 197-212.

Heinen, M. and P. de Willigen, 1992. FUSSIM2. A simulation model for two-dimensional flow of water in unsaturated soil. DLO-Institute for Soil Fertility Research, Nota 260, 146 pp.

Heinen, M., 1993. Daily water balance experiment 3 - project 488. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Haren, Interne notitie, 12 pp.

Heinen, M., 1994. Growth and nutrient uptake by lettuce grown on NFT. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Haren, Rapport 1, 74 pp.

Heinen, M. and J. van Moolenbroek, 1994. Water and nutrient balances of lettuce grown on sand beds. (in preparation)

Kreij, C de, 1991. Nutriënten en substraat in gesloten bedrijfssystemen. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, Intern verslag nr 5. 16 pp.

NRLO, 1990. Onderzoekprogramma gesloten bedrijfssystemen glastuinbouw. NRLO-rapport nr 90/11, Den Haag, 31 p + bijlagen.

Postma, R., W. Bussink and O. Oenema, 1994. Gaseous nitrogen losses form lettuce in a sandbed; results of a preliminary study. Nutrient Management Institute, Wageningen, Report C 93..., 31 pp.

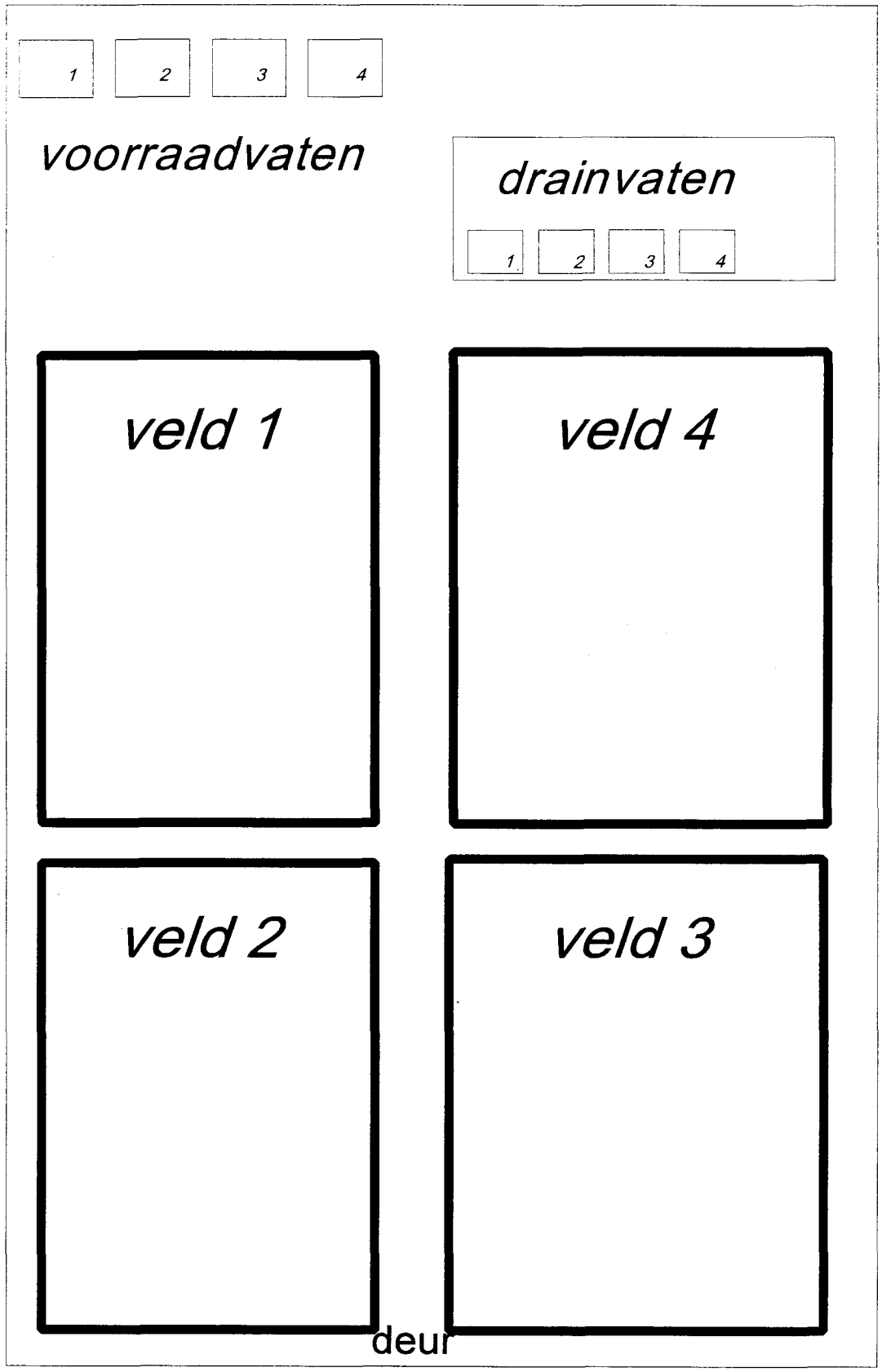
Schwartz, D., 1992 Root intensity in sand beds. Report resulting from short term training funded by EC mobility grants nr. GT 92-0217, 8pp.

Schwartz, D., M. Heinen and M. van Noordwijk, 1994. Rooting intensity and root distribution of lettuce grown in sand beds. (in preparation).

Sonneveld, C. en N. Straver, 1992. Voedingsoplossingen voor groenten en bloemen geteeld in water of substraten. (Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates). Proefstation voor tuinbouw onder Glas te Naaldwijk/Proefstation voor Bloemisterij in Nederland te Aalsmeer. Serie Voedingsoplossingen glastuinbouw, No. 8, 45 pp.

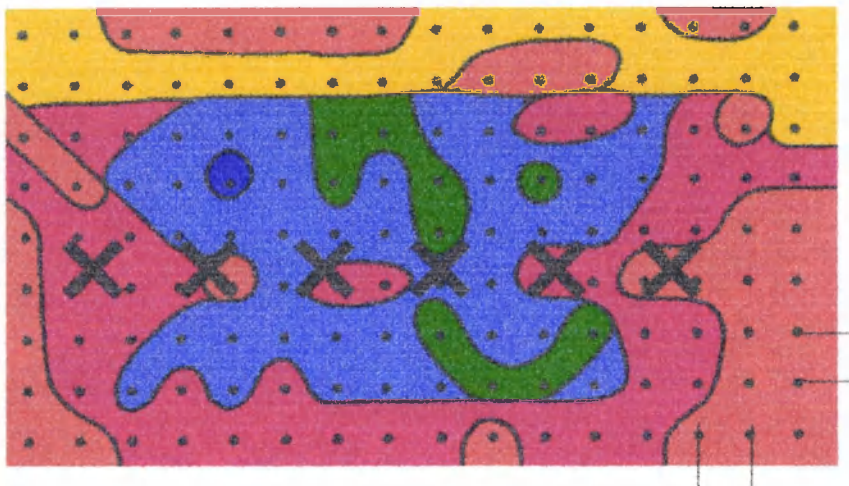
Topp G.C., J.L. Davis and A.P. Annan, 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission line. Water Resorces Research 16: 574-582.

Bijlagen

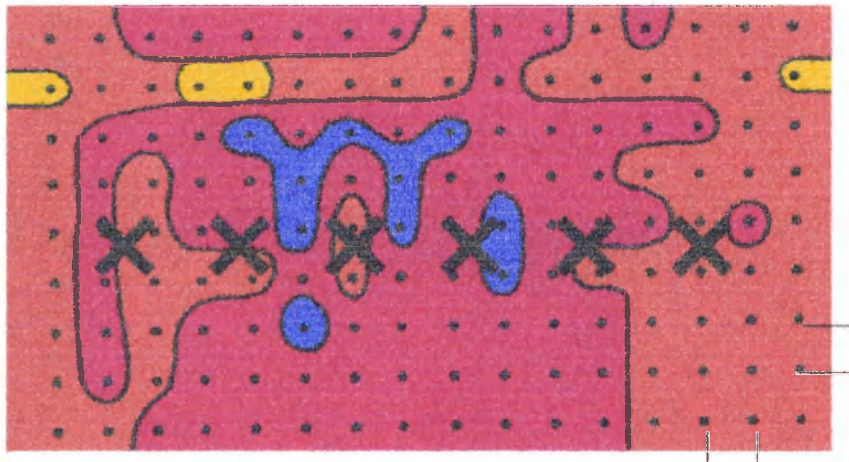

1
2
3
4
voorraadvaten
drainvaten
1
2
3
4
veld 1
veld 4
veld 2
veld 3
deur

		Opkweek groenteplanten in steenwol	sla in recirculerend water
EC	mS/cm	2.4	2.6
NO_3	mmol/l	16.75	19.0
H_2PO_4		1.25	2.0
SO_4		2.5	1.125
NH_4		1.25	1.25
K		6.75	11.0
Ca		4.5	4.5
Mg		3.0	1.0
Fe	μmol/l	25	40
Mn		10	5
Zn		5	4
B		35	30
Cu		1	0.75
Mo		0.5	0.5

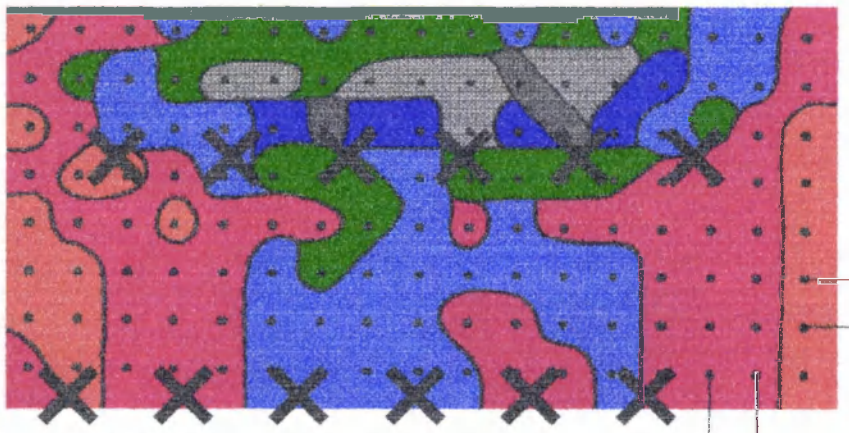
Waterverdeling zandbedden



7 november 1991
druk: 3.5 bar
hoogte sprinkler - bovenkant beker: 0.90 m
twee sproeiarmen



12 november 1991
druk: 2 bar
hoogte sprinkler - bovenkant beker: 0.63 m
twee sproeiarmen



15 mei 1992
druk: 2.8 bar
drie sproeiarmen

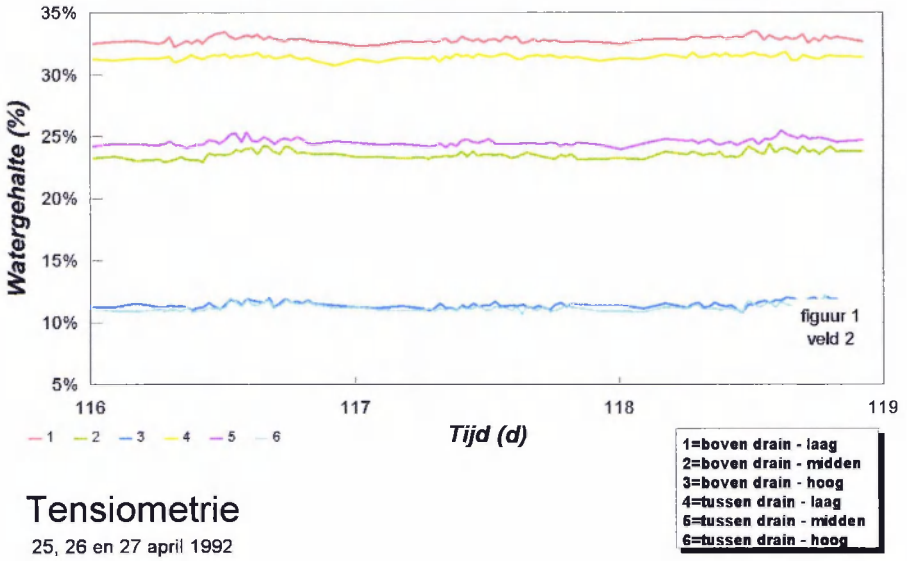
pomptijd: 4 min

- 0 ml
- 1-5 ml
- 5-10 ml
- 11-15 ml
- 16-20 ml
- 21-25 ml
- 26-30 ml
- > 30 ml
- sprinkler

BIJLAGE 3

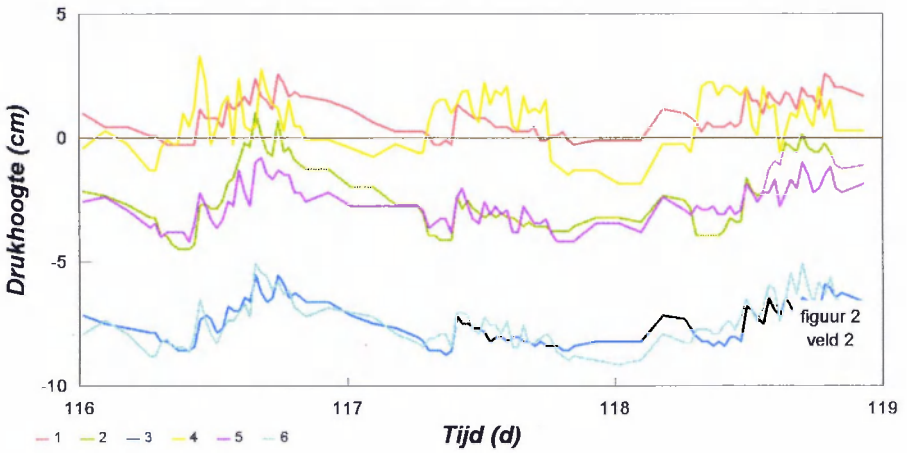
Watergehalte (TDR)

25, 26 en 27 april 1992



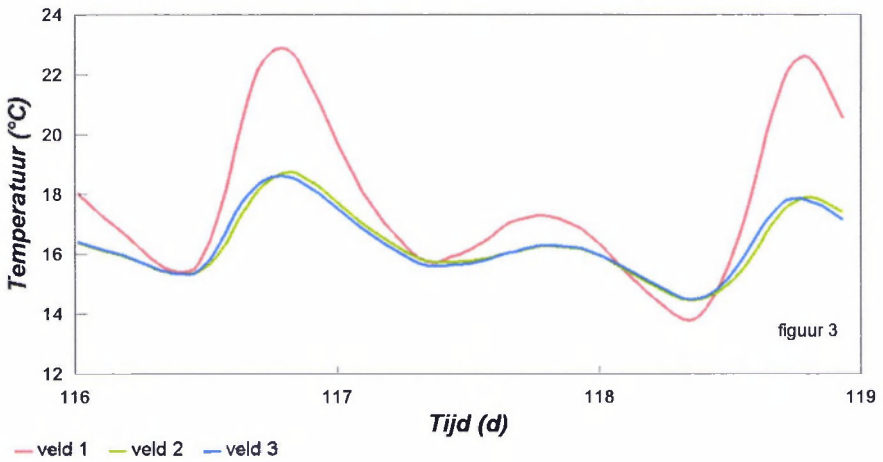
Tensiometrie

25, 26 en 27 april 1992

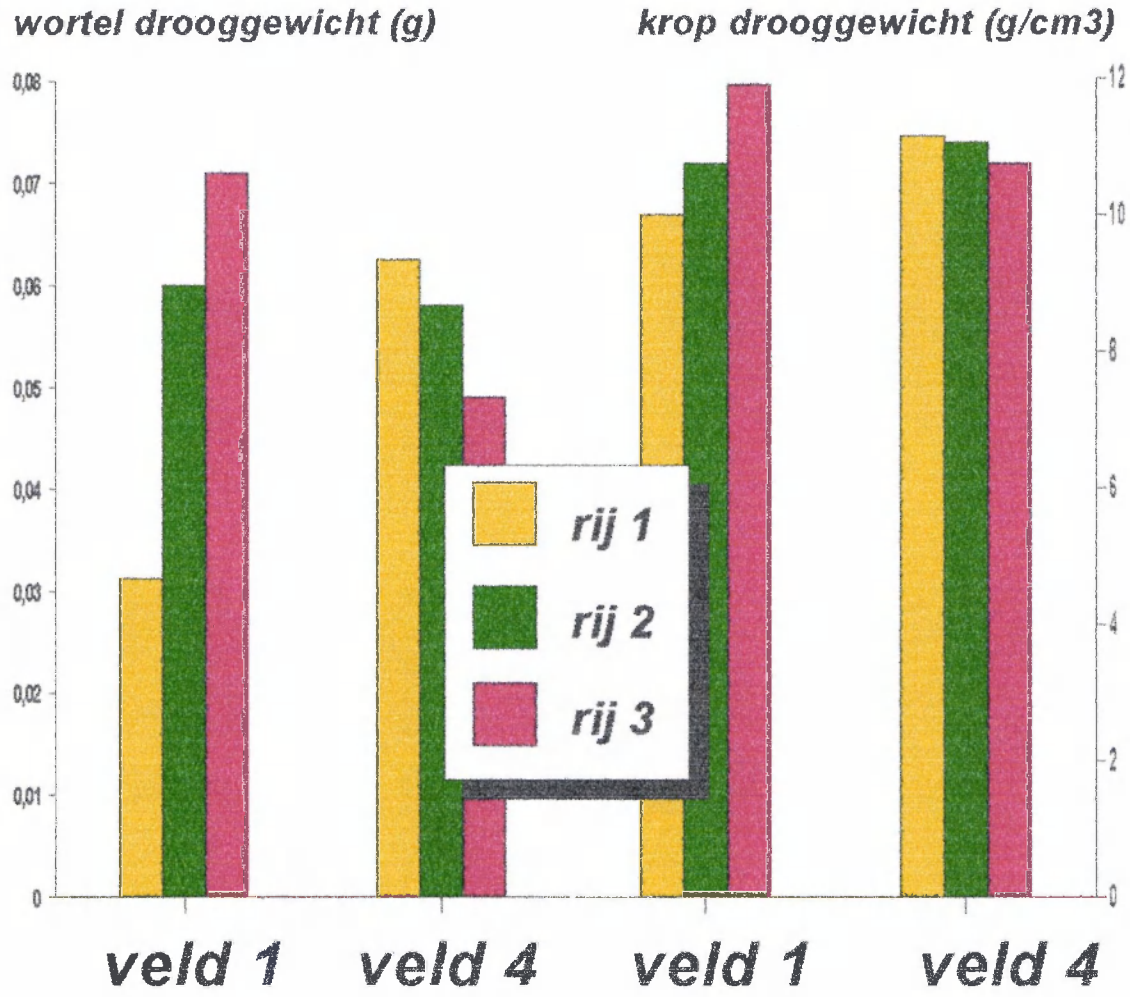


Temperatuur

25, 26 en 27 april 1992



Drooggewicht wortel en krop

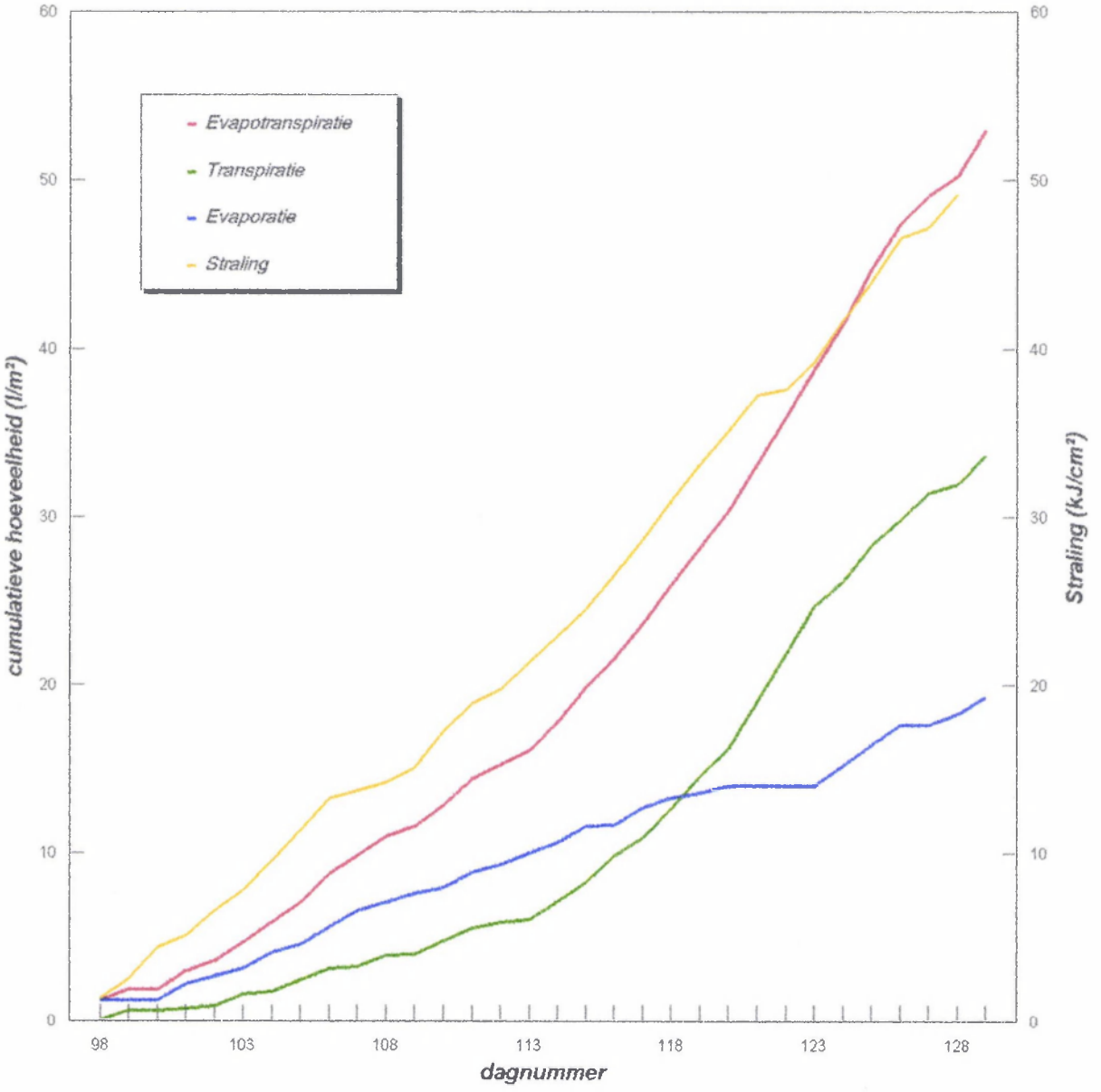


HOEVEELHEDEN WATER (l/m²) en STRALING (J/m²) - EXPERIMENT 5 - CUMULATIEF

	ONBEDEKT			BEDEKT								
dagnummer	Gift	Drain	Verdamping	Gift	Drain	Verdamping	Evapotranspiratie	Transpiratie	Evaporatie	Transpiratie	Evaporatie	Straling
98	3.84	2.58	1.26	3.00	2.99	0.02	1.26	0.02	1.24	1.4%	98.6%	1345
99	4.61	2.74	1.86	3.77	3.15	0.62	1.86	0.62	1.24	33.4%	66.6%	2514
100	4.61	2.74	1.86	3.77	3.15	0.62	1.86	0.62	1.24	33.4%	66.6%	4403
101	6.31	3.34	2.97	5.47	4.75	0.72	2.97	0.72	2.25	24.2%	75.8%	5107
102	7.76	4.16	3.61	7.02	6.10	0.91	3.61	0.91	2.69	25.3%	74.7%	6576
103	9.41	4.69	4.72	9.38	7.81	1.57	4.72	1.57	3.15	33.3%	66.7%	7794
104	11.05	5.16	5.89	11.13	9.38	1.75	5.89	1.75	4.14	29.7%	70.3%	9546
105	12.52	5.49	7.04	13.31	10.84	2.47	7.04	2.47	4.57	35.1%	64.9%	11372
106	14.52	5.78	8.74	15.48	12.35	3.13	8.74	3.13	5.61	35.9%	64.1%	13243
107	16.16	6.30	9.85	17.16	13.89	3.27	9.85	3.27	6.58	33.2%	66.8%	13707
108	18.00	6.98	11.02	18.63	14.68	3.95	11.02	3.95	7.07	35.8%	64.2%	14221
109	19.50	7.91	11.59	20.38	16.38	4.00	11.59	4.00	7.59	34.5%	65.5%	15045
110	21.19	8.36	12.83	22.78	17.94	4.84	12.83	4.84	7.99	37.7%	62.3%	17256
111	22.83	8.38	14.45	24.48	18.94	5.54	14.45	5.54	8.91	38.4%	61.6%	18934
112	22.83	8.38	14.45	24.48	18.94	5.54	14.45	5.54	8.91	38.4%	61.6%	19734
113	25.14	9.02	16.13	26.51	20.41	6.10	16.13	6.10	10.03	37.8%	62.2%	21403
114	27.18	9.37	17.81	28.85	21.67	7.17	17.81	7.17	10.64	40.3%	59.7%	22945
115	29.52	9.62	19.90	31.14	22.86	8.28	19.90	8.28	11.62	41.6%	58.4%	24567
116	31.31	9.78	21.53	33.78	23.93	9.86	21.53	9.86	11.68	45.8%	54.2%	26563
117	33.52	9.82	23.70	35.73	24.77	10.96	23.70	10.96	12.74	46.2%	53.8%	28709
118	35.77	9.80	25.97	38.92	26.25	12.67	25.97	12.67	13.31	48.8%	51.2%	30944
119	38.00	9.80	28.20	40.61	26.00	14.62	28.20	14.62	13.58	51.8%	48.2%	33181
120	40.11	9.79	30.32	43.40	27.15	16.24	30.32	16.24	14.07	53.6%	46.4%	35091
121	43.01	9.87	33.13	46.29	27.23	19.06	33.13	19.06	14.07	57.5%	42.5%	37246
122	45.90	9.95	35.95	49.19	27.31	21.88	35.95	21.88	14.07	60.9%	39.1%	37574
123	48.80	10.03	38.77	52.09	27.39	24.69	38.77	24.69	14.07	63.7%	36.3%	39239
124	52.79	11.29	41.50	56.49	30.25	26.23	41.50	26.23	15.27	63.2%	36.8%	41692
125	57.40	12.66	44.74	60.73	32.42	28.31	44.74	28.31	16.43	63.3%	36.7%	44002
126	61.66	14.20	47.46	65.07	35.26	29.81	47.46	29.81	17.66	62.8%	37.2%	46554
127	64.35	15.28	49.07	67.94	36.54	31.40	49.07	31.40	17.67	64.0%	36.0%	47228
128	66.22	15.96	50.26	69.72	37.76	31.96	50.26	31.96	18.30	63.6%	36.4%	49202
129	70.60	17.60	53.00	74.67	40.98	33.69	53.00	33.69	19.31	63.6%	36.4%	51305

Waterverbruik sla

experiment 5



BIJLAGE 6b

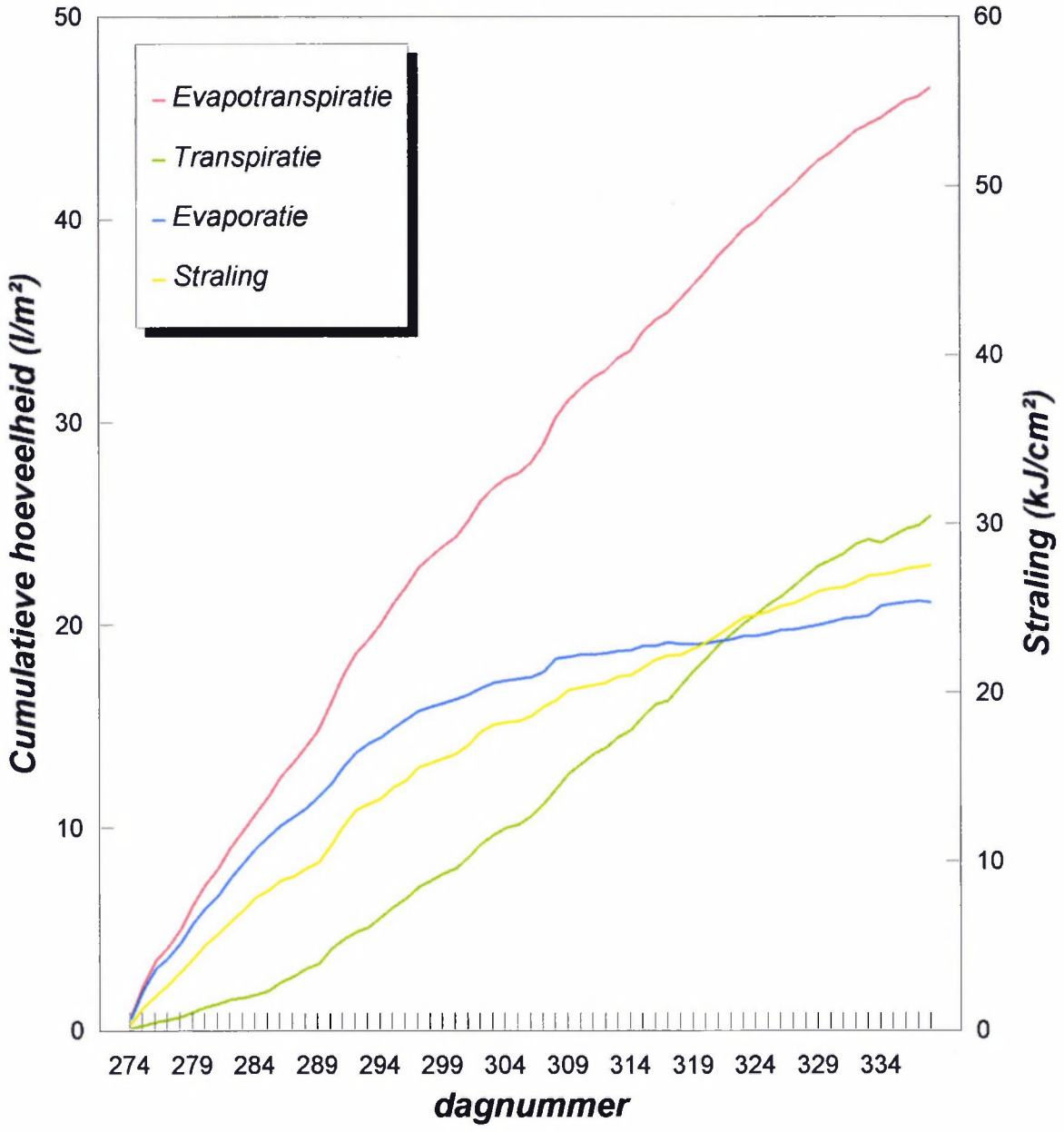
DATA EXPERIMENT 7

dag # dagnummer 1993
R straling (J/cm²)
H graadminuut
T transpiratie (l/m²)
E evaporatie (l/m²)
c plantgroottefactor
Fit_T gefitte transpiratiewaarden (l/m²)
Fit_E gefitte evaporatiewaarden (l/m²)

					Cumulatief		Logistisch			Cumulatief		Lineair			Cumulatief	
dag #	*R*	*H*	*T*	*E*	*T*	*E*	*c*	*T/c*	*E/c*	*Fit T*	*Fit E*	*c*	*T/c*	*E/c*	*Fit T*	*Fit E*
274	384	2966	0.09	0.59	0.09	0.59	0.06	1.50	0.62	0.05	0.14	0.02	5.79	0.59	0.02	0.42
275	1346	7108	0.15	1.37	0.24	1.95	0.07	3.70	2.09	0.18	0.17	0.03	10.54	2.01	0.10	1.44
276	2048	9698	0.18	1.10	0.41	3.05	0.07	6.10	3.28	0.30	0.15	0.05	14.39	3.16	0.20	2.16
277	2676	12448	0.10	0.53	0.52	3.58	0.08	7.35	3.85	0.41	0.17	0.06	16.07	3.72	0.31	2.80
278	3490	15593	0.16	0.75	0.68	4.33	0.09	9.09	4.67	0.57	0.16	0.08	18.15	4.53	0.49	3.62
279	4315	18720	0.24	0.99	0.92	5.32	0.10	11.46	5.78	0.75	0.15	0.09	20.79	5.62	0.71	4.43
280	5078	22016	0.25	0.74	1.17	6.06	0.11	13.65	6.61	0.93	0.17	0.11	23.11	6.45	0.95	5.17
281	5728	25844	0.17	0.61	1.34	6.67	0.13	14.96	7.31	1.11	0.28	0.12	24.45	7.15	1.18	5.80
282	6449	30620	0.18	0.85	1.52	7.52	0.14	16.27	8.30	1.32	0.44	0.14	25.78	8.14	1.47	6.49
283	7165	34489	0.08	0.75	1.60	8.27	0.16	16.80	9.19	1.56	0.53	0.15	26.31	9.02	1.79	7.15
284	7915	37473	0.15	0.70	1.75	8.97	0.17	17.65	10.03	1.83	0.53	0.17	27.17	9.86	2.16	7.83
285	8297	39580	0.22	0.63	1.96	9.60	0.19	18.80	10.81	1.98	0.58	0.18	28.35	10.64	2.36	8.17
286	8901	42341	0.42	0.53	2.38	10.13	0.21	20.82	11.48	2.25	0.61	0.20	30.45	11.30	2.71	8.70
287	9139	51697	0.29	0.42	2.68	10.55	0.23	22.11	12.03	2.37	1.26	0.22	31.81	11.84	2.86	8.95
288	9603	63796	0.38	0.43	3.06	10.98	0.25	23.64	12.60	2.61	2.03	0.23	33.46	12.40	3.17	9.40
289	9951	78792	0.24	0.56	3.30	11.54	0.27	24.53	13.37	2.81	3.02	0.25	34.45	13.14	3.42	9.77
290	11019	97979	0.72	0.64	4.02	12.18	0.30	26.97	14.27	3.49	4.08	0.26	37.21	14.00	4.23	10.71
291	12113	121399	0.47	0.84	4.49	13.02	0.32	28.42	15.52	4.24	5.38	0.28	38.90	15.17	5.11	11.67
292	13084	138647	0.38	0.71	4.87	13.73	0.35	29.50	16.61	4.96	6.25	0.29	40.19	16.17	5.93	12.49
293	13430	149518	0.23	0.43	5.10	14.16	0.38	30.13	17.29	5.23	6.85	0.31	40.95	16.79	6.24	12.80
294	13770	164356	0.51	0.30	5.61	14.47	0.40	31.39	17.80	5.52	7.65	0.32	42.53	17.24	6.56	13.12
295	14428	178350	0.49	0.45	6.11	14.92	0.43	32.53	18.60	6.13	8.30	0.34	43.99	17.92	7.20	13.65
296	14825	188240	0.42	0.44	6.53	15.35	0.46	33.44	19.41	6.52	8.75	0.35	45.18	18.60	7.61	13.97
297	15633	195047	0.55	0.42	7.08	15.77	0.49	34.57	20.23	7.37	8.93	0.37	46.68	19.26	8.47	14.55
298	15859	197894	0.33	0.21	7.41	15.98	0.52	35.21	20.67	7.62	9.03	0.38	47.54	19.60	8.73	14.71
299	16123	201495	0.33	0.16	7.74	16.14	0.55	35.81	21.02	7.92	9.14	0.40	48.36	19.86	9.03	14.89
300	16404	204928	0.26	0.22	8.00	16.36	0.58	36.25	21.55	8.27	9.24	0.42	48.99	20.25	9.37	15.08
301	16944	220533	0.60	0.20	8.60	16.57	0.61	37.24	22.07	8.97	9.77	0.43	50.38	20.60	10.04	15.47
302	17697	242700	0.62	0.35	9.22	16.91	0.64	38.21	23.03	9.99	10.47	0.45	51.77	21.23	11.02	16.01
303	18120	261079	0.45	0.23	9.67	17.15	0.66	38.89	23.73	10.59	11.03	0.46	52.75	21.67	11.58	16.32
304	18260	282993	0.33	0.12	10.00	17.27	0.69	39.38	24.11	10.79	11.70	0.48	53.44	21.90	11.78	16.49
305	18333	305741	0.17	0.09	10.17	17.35	0.71	39.61	24.40	10.90	12.34	0.49	53.79	22.06	11.88	16.62
306	18617	324915	0.43	0.10	10.60	17.46	0.74	40.19	24.80	11.35	12.82	0.51	54.63	22.28	12.30	16.84
307	19167	334593	0.63	0.24	11.23	17.70	0.76	41.03	25.80	12.24	13.00	0.52	55.84	22.78	13.13	17.15
308	19555	344015	0.69	0.66	11.92	18.36	0.78	41.91	28.81	12.88	13.17	0.54	57.12	24.21	13.74	17.37
309	20195	362486	0.76	0.09	12.68	18.45	0.80	42.86	29.28	13.97	13.49	0.55	58.49	24.42	14.77	17.74
310	20316	377268	0.47	0.10	13.15	18.55	0.82	43.43	29.83	14.18	13.75	0.57	59.32	24.65	14.97	17.84
311	20433	391053	0.48	0.01	13.64	18.56	0.84	44.01	29.87	14.39	13.97	0.58	60.14	24.67	15.16	17.94
312	20569	399871	0.32	0.05	13.95	18.61	0.85	44.38	30.24	14.64	14.10	0.60	60.67	24.80	15.40	18.02
313	20961	410243	0.51	0.11	14.46	18.72	0.87	44.97	31.05	15.36	14.21	0.62	61.49	25.08	16.10	18.21
314	21038	422441	0.37	0.01	14.82	18.73	0.88	45.38	31.17	15.50	14.36	0.63	62.07	25.12	16.24	18.28
315	21466	437200	0.66	0.24	15.48	18.97	0.89	46.12	33.36	16.32	14.50	0.65	63.09	25.80	17.04	18.48
316	21957	457477	0.61	-0.00	16.09	18.97	0.90	46.79	33.34	17.26	14.68	0.66	64.01	25.80	17.98	18.71
317	22175	476517	0.18	0.19	16.27	19.16	0.91	46.99	35.52	17.68	14.84	0.68	64.27	26.39	18.41	18.83
318	22242	495639	0.75	-0.11	17.02	19.06	0.92	47.80	34.19	17.81	14.99	0.69	65.35	26.05	18.55	18.89
319	22605	515595	0.71	0.01	17.73	19.07	0.93	48.57	34.29	18.53	15.12	0.71	66.36	26.07	19.29	19.05
320	22962	548637	0.61	0.03	18.34	19.10	0.94	49.22	34.81	19.24	15.33	0.72	67.20	26.19	20.04	19.23
321	23444	585837	0.67	0.09	19.01	19.19	0.94	49.93	36.45	20.21	15.53	0.74	68.11	26.55	21.07	19.43
322	23936	627846	0.55	0.09	19.56	19.29	0.95	50.51	38.29	21.20	15.73	0.75	68.84	26.93	22.15	19.64
323	24451	667528	0.52	0.17	20.07	19.45	0.95	51.05	41.94	22.25	15.90	0.77	69.51	27.64	23.29	19.84
324	24586	709254	0.41	0.00	20.48	19.45	0.96	51.47	42.04	22.52	16.07	0.78	70.03	27.66	23.60	19.94
325	24801	759848	0.52	0.12	21.00	19.57	0.96	52.01	45.31	22.97	16.25	0.80	70.68	28.25	24.10	20.06
326	25090	808158	0.37	0.18	21.37	19.75	0.97	52.39	50.83	23.56	16.40	0.82	71.13	29.21	24.78	20.19
327	25284	849610	0.53	0.04	21.90	19.79	0.97	52.94	52.10	23.96	16.52	0.83	71.77	29.42	25.25	20.28
328	25635	888449	0.55	0.11	22.45	19.90	0.97	53.50	56.46	24.69	16.61	0.85	72.41	30.15	26.11	20.38
329	25993	921413	0.48	0.11	22.93	20.01	0.98	54.00	61.40	25.43	16.68	0.86	72.98	30.96	27.00	20.47
330	26165	954306	0.29	0.14	23.22	20.15	0.98	54.29	68.24	25.79	16.75	0.88	73.31	32.08	27.44	20.52
331	26250	1001962	0.31	0.18	23.53	20.33	0.98	54.61	78.06	25.97	16.83	0.89	73.65	33.73	27.66	20.57
332	26556	1047229	0.47	0.07	24.00	20.39	0.98	55.09	82.19	26.61	16.91	0.91	74.17	34.45	28.47	20.63
333	26936	1092365	0.23	0.09	24.23	20.48	0.99	55.32	88.40	27.41	16.97	0.92	74.43	35.60	29.48	20.69
334	27013	1133694	-0.16	0.46	24.08	20.94	0.99	55.16	124.94	27.57	17.02	0.94	74.26	43.13	29.69	20.71
335	27118	1169185	0.34	0.11	24.41	21.06	0.99	55.50	134.91	27.79	17.06	0.95	74.61	45.57	29.98	20.73
336	27328	1182948	0.35	0.06	24.77	21.12	0.99	55.86	141.02	28.23	17.07	0.97	74.98	47.57	30.57	20.74
337	27446	1194914	0.16	0.04	24.93	21.16	0.99	56.02	146.01	28.48	17.08	0.98	75.14	50.46	30.91	20.74
338	27530	1208615	0.48	-0.02	25.41	21.14	0.99	56.51	143.34	28.66	17.09	1.00	75.62	29.27	31.15	20.74

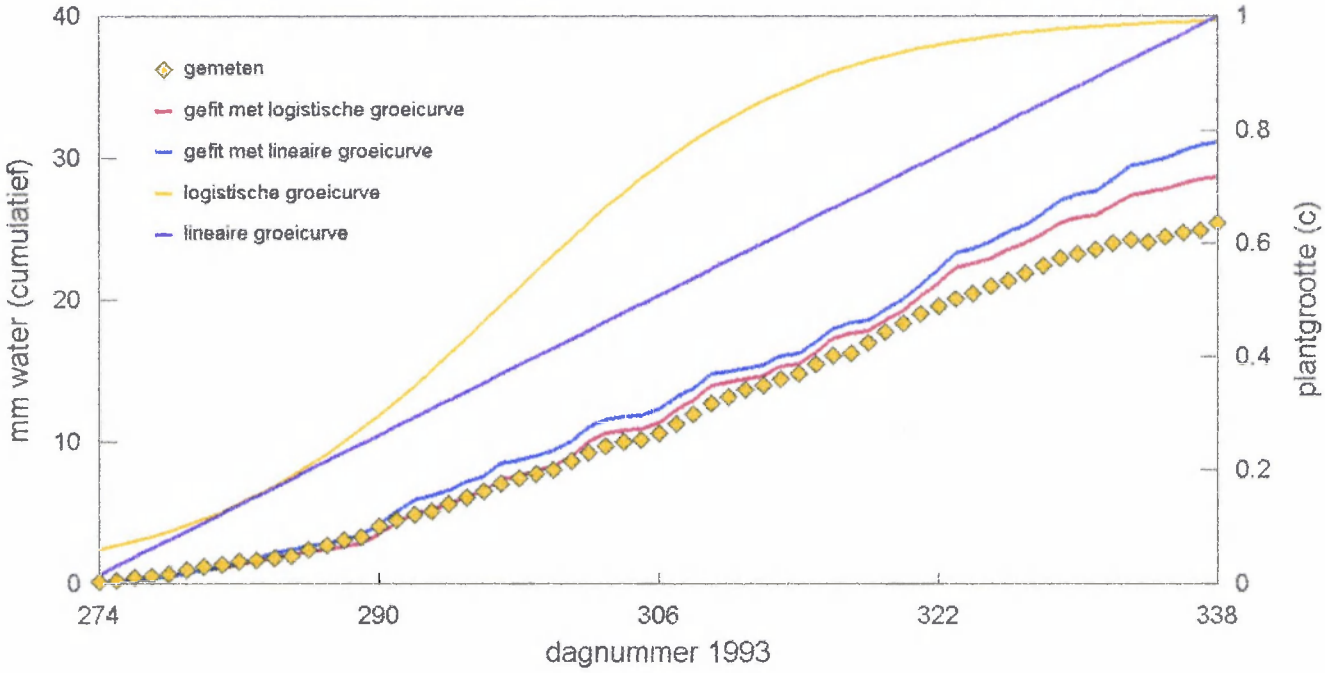
Waterverbruik sla

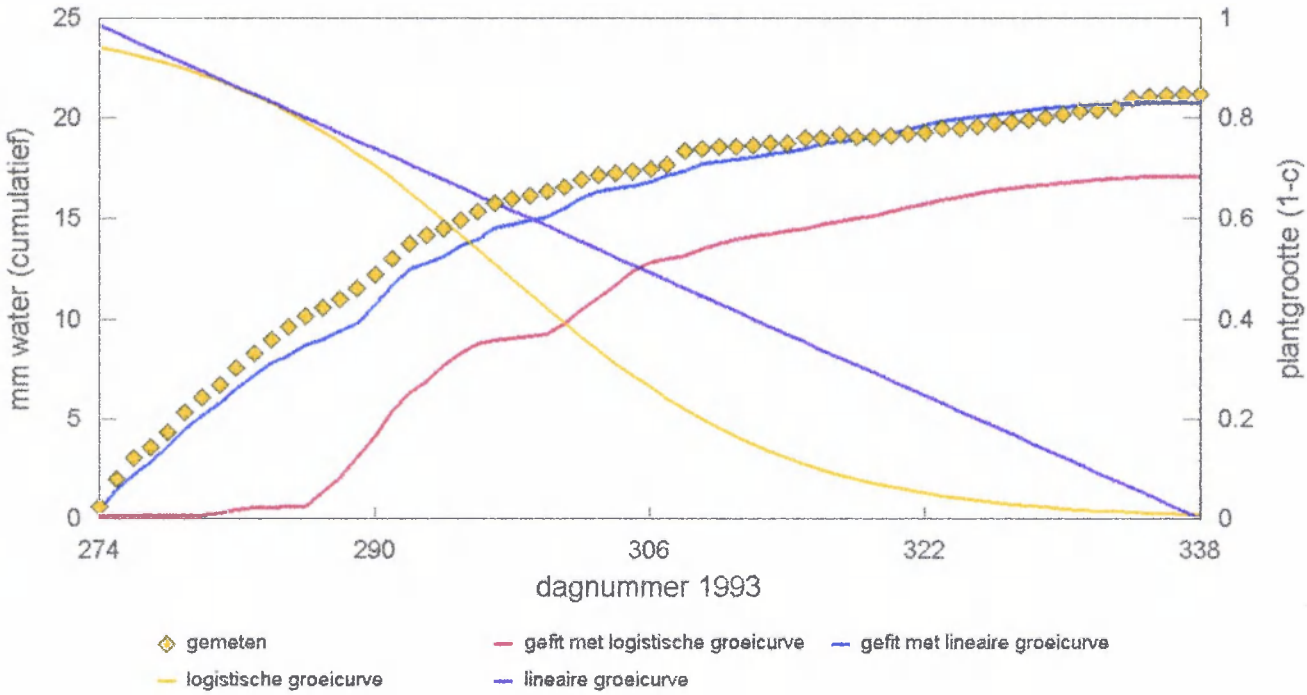
experiment 7



Transpiratie

experiment 7



Evaporatie

experiment 7