



# WEEGGOTEN OP PRAKTIJKBEDRIJVEN

Ervaringen met een prototype weeggoot op één komkommer en één  
tomatenbedrijf

C. Blok en A. de Gelder

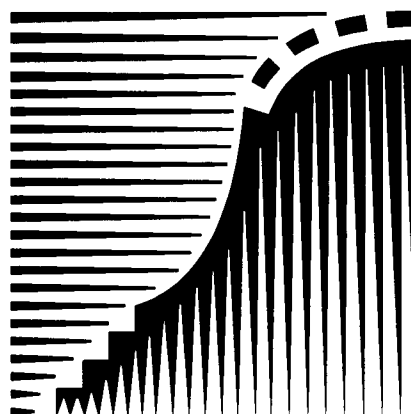
© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Financier: Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij



Projectnummer: 41600048

## Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5, Naaldwijk  
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk  
Tel. : 0174 - 636700  
Fax : 0174 - 636835  
E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.dlo.nl](http://www.ppo.dlo.nl)

# Inhoudsopgave

|                                          | pagina |
|------------------------------------------|--------|
| 1 INLEIDING.....                         | 5      |
| 1.1 Aanleiding .....                     | 5      |
| 1.2 Doel .....                           | 5      |
| 1.3 Organisatie .....                    | 6      |
| 1.4 Schema van een weeggoot .....        | 6      |
| 1.5 Stand van de techniek.....           | 7      |
| 2 OPZET.....                             | 9      |
| 2.1 De bedrijven.....                    | 9      |
| 2.2 De bestaande ervaring .....          | 9      |
| 2.3 De aangelegde goten.....             | 9      |
| 3 UITKOMSTEN .....                       | 13     |
| 3.1 Aanpassingen van de hardware.....    | 13     |
| 3.2 Aanpassingen van de software.....    | 14     |
| 3.3 De basisgrafiek .....                | 15     |
| 3.4 De jaaroverzichten .....             | 16     |
| 3.5 Gebeurtenissen .....                 | 22     |
| 3.5.1 Plantkrimp.....                    | 22     |
| 3.5.2 Het verband groei – straling ..... | 22     |
| 3.5.3 Vruchtpluk en bladpluk .....       | 23     |
| 3.5.4 Bespuiting.....                    | 24     |
| 3.5.5 Verstopping drainafvoer .....      | 24     |
| 4 BESPREKING EN CONCLUSIES .....         | 27     |
| 4.1 De groei. ....                       | 27     |
| 4.2 Toepassingen.....                    | 27     |
| 4.3 Conclusies .....                     | 29     |
| 4.4 Aanbevelingen .....                  | 30     |
| 4.5 De basisaannamen .....               | 30     |
| LITERATUUR.....                          | 33     |
| BIJLAGE 1 SPECIFICATIES METINGEN .....   | 35     |
| BIJLAGE 2 HARDWARE KNELPUNTEN .....      | 36     |
| BIJLAGE 3 SOFTWARE .....                 | 38     |
| BIJLAGE 4 MAANDGRAFIEKEN .....           | 40     |
| BIJLAGE 5 VOORBEELDGRAFIEKEN.....        | 44     |
| BIJLAGE 6 TOEPASSINGEN .....             | 45     |

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De verdamping is, na de fotosynthese, een van de belangrijkste plantprocessen, met invloed op de opname en het transport van water en voeding en de bladtemperatuur. De verdamping kan snel toe en afnemen onder invloed van een groot aantal dynamische factoren (De Graaf, 1991; Stanghellini et al, 2003). Dit betekent dat voor het volgen van het verdampingsverloop meerdere keren per uur gemeten moet worden.

In het landbouwkundig onderzoek wordt al meer dan honderd jaar de verdamping van gewassen gemeten met lysimeters. De lysimeter is een weegtoestel dat gewas inclusief bodem weegt. Wateraanvoer wordt opgemerkt als een gewichtstoename, verdamping als een gewichtsafname van het systeem (van Ieperen, 1996). Het systeem omvat meestal een bak, de bodem en het vocht erin en het gewas.

In de praktijk groeide de behoefte aan een water verbruiksmeting na de opkomst van het telen in substraat. Door het kleine substraatvolume in verhouding tot de verdamping, neemt de kans op te droge of te natte omstandigheden in het substraat sterk toe. Door toeleveranciers is een groot aantal samengestelde meetinstrumenten onder de verzamelnaam startbakken ontwikkeld (Kesting en Nieuwkoop, 1977; Vogels, 1983). Deze instrumenten worden gebruikt om het moment van een watergift te bepalen. Veel voorkomende startbakken maken gebruik van een weging van enkele substraateenheden met de planten erop, en / of van het waterpeil in een met het substraat communicerend vat. Meestal wordt ook het volume of het gewicht van het uit het substraat lopende drainagewater gemeten. De instrumenten zijn gekoppeld aan de klimaatcomputer zodat aanpassingen in watergift desgewenst automatisch doorgevoerd kunnen worden.

Vanaf 1990 werden steeds vaker krachtopnemers, ook wel loadcells genoemd, gebruikt om gewichten te meten (De Koning, 1990; Heida et al, 1998; Spelt, 1998; Ehret et al, 2003). PPO heeft uiteindelijk voor onderzoeksdoeleinden een meervoudige meetopstelling gemaakt waarmee substraatgewicht, vers gewichtstoename van het gewas en drainagewater per minuut gemeten konden worden. Deze opstelling werd weeggoet genoemd en bleek een bruikbaar instrument om wateraanvoer, gewas gewichtsverandering, drainage en verdamping te volgen. Ook bleek het systeem bruikbare informatie over substraatwatergehalte, productie en gewashandelingen te kunnen leveren. Het gebruik van weeggoten bleef echter beperkt tot het onderzoek. In de praktijk bleken kosten en het ontbreken van een koppeling naar de klimaatcomputer tot het onderhavige project beperkend voor de toepassing.

## 1.2 Doel

In 2001 besloot LNV geld beschikbaar te stellen voor PPO om het voor onderzoek functionele weeggoetsysteem verder voor praktijk geschikt te maken. Dit verslag beschrijft de in het kader van project 4160048 verrichte inspanningen.

Het doel van het project was;

- Een robuuste versie van de weeggoet op twee bedrijven realiseren.
- De gegevens gedurende een jaar volgen in samenwerking met de tuinders.
- Mogelijke verbeterpunten aan te geven voor gebruik onder praktijkomstandigheden
- Een automatiseringsbedrijf vinden dat de koppeling naar de klimaatcomputer wil realiseren.

Vanaf de start stond vast dat het verkrijgen van een patent onderdeel van het project was. De gedachte hierachter was dat een automatiseerder zijn investering alleen terug kan verdienen als hij verzekerd is van

een periode van alleenrecht. Het vastleggen van het intellectuele eigendom van de te ontwikkelen goot bleek tijdrovend maar ook essentieel bij het vinden van een automatiseringspartner. In dit verslag wordt naar het verkregen patent verwezen (De Graaf et al, 2002).

## 1.3 Organisatie

Voor het project werd contact gezocht met twee bedrijven, de firma van der Helm uit Nootdorp en de firma Varekamp uit De Lier. Beide ondernemers leverden een bijdrage bij de installatie, en door deelname aan het telersoverleg en beschikbaarheid voor discussies en bedrijfsbezoeken.

Om de weeggoot om te vormen van onderzoeksinstrument tot een voor de praktijk geschikt instrument werd een projectgroep opgericht. De projectgroep zorgde voor het ontwerp van een prototype en ontwikkelde vereiste hardware en software. Vervolgens werden hardware en software herhaaldelijk bijgesteld. Andere werkzaamheden van de projectgroep waren de kennisbescherming, het zoeken van een commerciële partner, het assisteren van de commerciële partner, en het overleg met de telers.

De kernleden van de projectgroep waren A. de Gelder (programmameider, software), Leen Spaans (software), P. Koornneef (hardware, elektrotechniek), R. de Graaf (gebruikserving eerdere systemen, teelttoepassingen) en C. Blok (kennisbescherming, projectleiding). Van de vele anderen die een bijdrage leverden worden genoemd; B. Oppedijk (software), G. van Charante (hardware), R. Nelissen (elektrotechniek, ijkingen krachtopnemers), M. Roos, P. Lagas (assistentie op velerlei gebied). Verder zijn belangrijke bijdragen geleverd door de bedrijven Stekon, TNO, DIMES (TU-Delft) en Growlab / Hoogendoorn. Uit deze opsomming blijkt wel dat het omvormen van de onderzoeksgoot naar een praktijkproduct een veelomvattend proces is.

## 1.4 Schema van een weeggoot

Een weeggoot - zoals deze door PPO ontwikkeld is - bestaat uit een aantal instrumenten waarvan de gegevens in samenhang geanalyseerd worden (Figuur 1). Een eenvoudige weeggoot voor komkommer bestaat uit een goot van vier tot zes meter, een drainage-opvangbak en een gewasbalk. Van alle onderdelen wordt het gewicht on line gemeten; de weeggegevens worden per minuut weggeschreven in een databestand.

Voor het meten van het gewicht worden krachtopnemers gebruikt. De basis van een krachtopnemer is een plat stuk metaal dat vervormt onder belasting. De vervorming wordt gemeten met een op het metaal geplakt zogenaamd rekstrookje. De weerstand van het rekstrookje voor stroom verandert bij vervorming en wordt als meetwaarde on line doorgegeven aan een computer. Het type krachtopnemers in dit onderzoek bestond uit Stekon krachtopnemers met een maximale belasting van 250 kg.

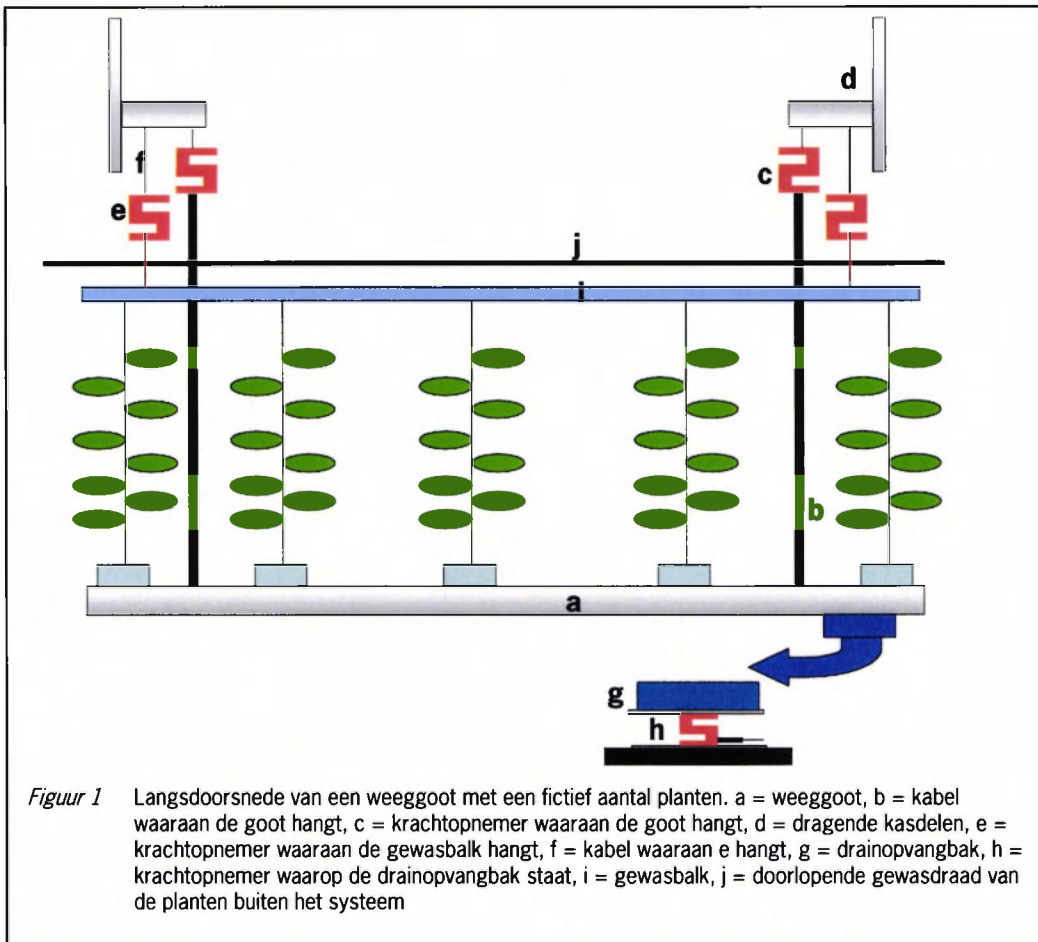
De goot en de gewasbalk hangen elk aan twee krachtopnemers, de drainage-opvangbak staat op één krachtopnemer. Samen vijf krachtopnemers. Bij een teeltsysteem waarbij planten vanuit één goot om en om naar links en rechts worden geleid, wordt een tweede gewasbalk gemonteerd en zijn in totaal zeven krachtopnemers nodig. De in dit verslag beschreven systemen wijken iets af van de eenvoudigste configuratie. De goot wordt namelijk niet apart gemeten, maar is samen met twee gewasbalken opgehangen aan een dwarsbalkje waarboven twee krachtopnemers hangen (Figuur 2-5). Hierdoor zijn negen krachtopnemers per goot gebruikt.

Door directe meting zijn gootgewicht, plantgewicht en drainagegewicht bekend. Met behulp van software kan een kortdurende snelle toename van het gootgewicht worden geregistreerd als een watergift. Hiermee wordt de aanvoer onafhankelijk van de klimaatcomputer gemeten. De afname in gootgewicht tussen de beurten wordt gecorrigeerd voor drainage en geregistreerd als wateropname. Wateropname bestaat uit de componenten verdamping en groei. De verandering in gootgewicht ten opzichte van een referentiewaarde

wordt als verandering in substraatwatergehalte geregistreerd. In formule:

$$\text{AANVOER} = \text{VERDAMPING} + \text{DRAIN} + \text{GROEI} + \text{VERANDERING SUBSTRAATWATERGEHALTE} + \text{ONVERKLAARD} \quad (1)$$

Alle termen van de formule in grammen per goot of gramman per vierkante meter. ONVERKLAARD is een maat voor de kwaliteit van de verwerking. Bij veel trillingen in de kas, zoals bij storm, zal de term wat toenemen. De termen ONVERKLAARD en VERANDERING SUBSTRAATWATERGEHALTE kunnen positief en negatief zijn. GROEI is meestal positief en soms, tijdelijk, negatief. VERDAMPING en DRAIN zijn steeds positief.



Door met een watergehaltemeter het substraatwatergehalte te meten kan GROEI ook berekend worden uit de andere termen. Dat is met name nuttig bij gewassen waarbij de plant op het substraat rust zoals roos en gerbera (Baas, 2003; De Graaf et al, 2003; Baas, 2004).

## 1.5 Stand van de techniek

In de markt zijn verschillende initiatieven genomen op het gebied van potplanten (Spelt, 1998), komkommer en groentegewassen (Visser, 1998). Bovendien zijn verschillende leveranciers van startbakken ertoe over gegaan krachtopnemers te gebruiken voor het verbeteren van hun systemen (Blok en de Graaf, 2000). Dergelijke vindingen zijn bekend (Heida et al, 2000). De vinding heeft enkele nadelen:

- Afwijkingen van de termen worden niet opgemerkt, maar toegerekend aan de verdamping of het substraatvochtgehalte.
- Door in de nacht overmaat aan water aan te bieden wordt het substraat verondersteld weer op een

vóór de teelt gemeten maximaal vochtgehalte te komen. Dit wordt “ijken” genoemd. Het is waarschijnlijk dat het maximale vochtgehalte niet altijd bereikt wordt. Bovendien is het voor de plant niet altijd gewenst het maximale vochtgehalte rond zijn wortels te bereiken.

- Bij het leegpompen van het drainagevat wordt tijdelijk een meetfout geaccepteerd. Deze fout is onder bepaalde omstandigheden groot. Met name als er een snelle toestroom van drainwater uit het substraat is.

De andere systemen hebben grotere nadelen. Voor startbakken zijn die beschreven (Blok en de Graaf, 2000). Een groot nadeel voor de veilige automatisering is het ontbreken van een goede foutcontrole in de vorm van een “onverklaard” of restterm. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat de meting gaat afwijken van de werkelijke waarden zonder dat dit opgemerkt wordt.



## 2 Opzet

### 2.1 De bedrijven

De twee teeltbedrijven waar het onderzoek is uitgevoerd zijn de firma van der Helm en de firma Varekamp. Het bedrijf van der Helm is een komkommer bedrijf met een 4 meter hoge Venlo kas met energiescherm. Er wordt geteeld in 20 cm brede goten die op 25 cm hoogte hangen. Er wordt geteeld met 4 dubbele rijen per 6.40 meter. De planten worden over de draad geteeld, met één kop tot de draad en twee koppen nadat ze over de draad gaan en naar beneden groeien. Voor de kop over de draad gaat, wordt deze nog 50 cm langs de draad geleid. Er is 3 keer geplant, 10 december 2001 met cultivar 'Sabrina', 1 mei met cultivar 'Sabrina' en 1 augustus met cultivar 'Accolade'.

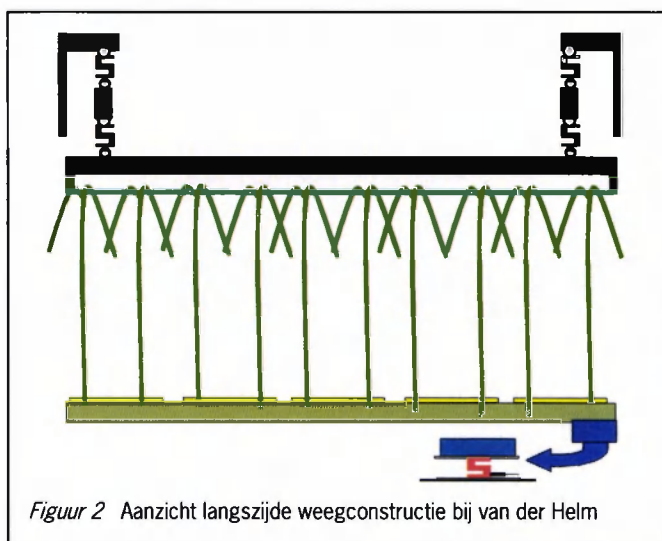
Het bedrijf Varekamp is een tomaten bedrijf met een 5 meter hoge Venlo kas met energiescherm. Er wordt geteeld in 15 cm brede omgekeerde goten die op 40 cm hoogte hangen. Er wordt geteeld met 4 rijen V-systeem per 6.40 meter kap. De cultivar was 'Clothilde', de plantdatum was 12 december.

### 2.2 De bestaande ervaring

Een van de eerste taken was het documenteren van de voor weeggoten al bestaande specificaties, ervaringen en software. Bijlage 1 geeft een aantal specificaties. In Bijlage 2 volgt een beschrijving van de verbeterpunten voor de bestaande hardware en in Bijlage 3 een beschrijving van de bestaande software. Op grond hiervan werd voor elk bedrijf een prototype ontworpen.

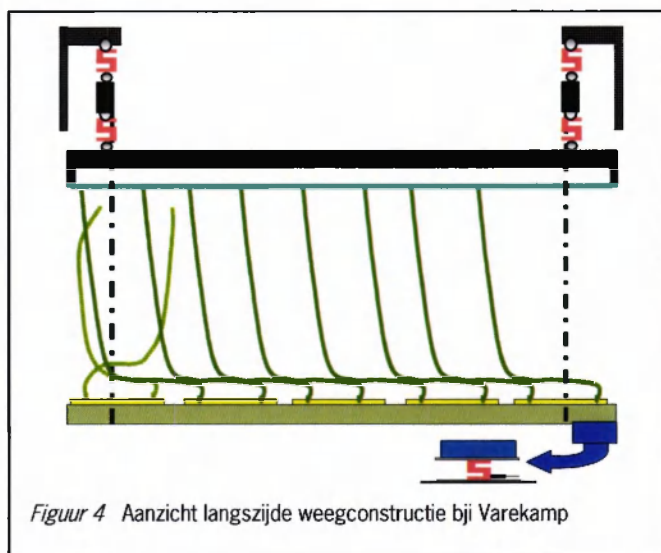
### 2.3 De aangelegde goten

Bij van der Helm, in een komkommerteelt tot de draad, voldeden goten met statische gewasbalken (Figuur 2-3). Het gewas groeide tot de balk, waarna twee koppen werden aangehouden die over de balk geleid werden. In Figuur 2 is niet te zien dat de plant, nog voor de kop over de draad gaat, 50 cm langs de draad wordt geleid. Figuur 3 en 6 tonen het aanzicht van de kopse zijde, waarbij 4 krachtopnemers zichtbaar zijn.

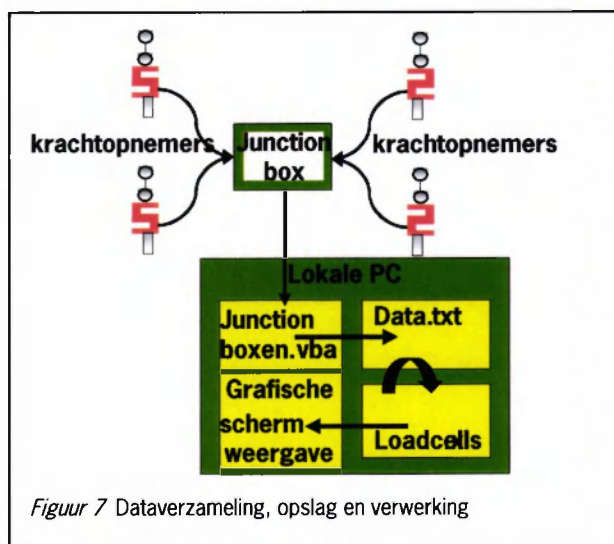
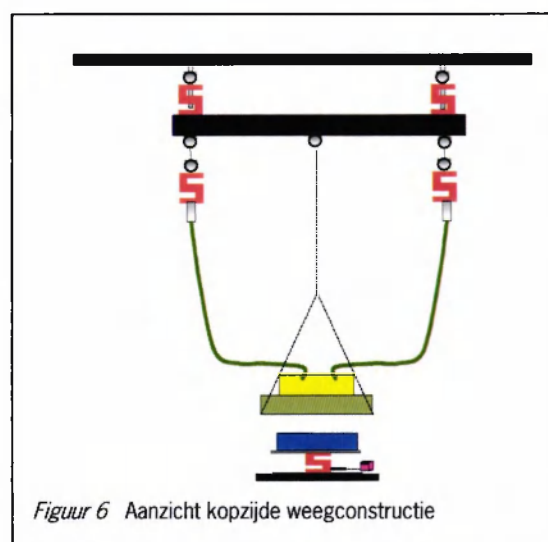




Bij Varekamp werden de tomaten geteeld aan een hoge draad systeem, waarbij de koppen op dezelfde hoogte blijven maar steeds verder langs de draad worden geleid (Figuur 4-5). Om op de gewasbalken dezelfde planten te blijven wegen werd besloten de planten van de weeggoot op die plek rond te leiden (Figuur 4, Figuur 8). Dit hield ook in dat de planten van de aangrenzende stukken goot net voor de weeggoot omgeleid moesten worden. De consequentie was dat de planten die rondgeleid werden aan de kopse kanten over de gewasbuis geleid moesten worden. De gewasbuis werd daarom doorgezaagd en ter plekke verlaagd.



Figuur 5 en 6 geven het aanzicht op de kopzijde weer, waarbij in Figuur 6 als de planten voldoende lang zijn, planten om de kopzijde van de goot van de linker naar de rechter balk gaan lopen (en aan de andere kant van de goot omgekeerd).



Figuur 7 geeft voor beide tuinders schematisch weer hoe de krachtopnemers verbonden zijn aan een junctionbox en vanuit de junctionbox aan een PC. De functie van de junctionbox is het uitlezen van de krachtopnemers, het digitaal maken van de gegevens en het versturen van de data over een grotere

kabellengte. In de PC worden de gegevens ingelezen in een VB programma "junctionboxen". Dit programma leest de data in en schrijft, in een vaste volgorde, text-bestanden met data weg. Deze data blijven bewaard als ruwe meetdata waaruit analyses zijn op te bouwen. De weggeschreven bestanden worden gebruikt door een analyse file, "loadcell". Deze excel-file bestaat uit een exceldeel met meerdere bladen en een programmadeel in VBA. Het VBA programma leest data in uit de text-bestanden. De grafische schermen worden gemaakt in Excel.

## 3 Uitkomsten

Hier worden alleen de belangrijkste structurele aanpassingen besproken. Incidentele problemen zoals typefouten in de software of een opengesprongen krachtopnemer zijn opgelost maar voor verdere toepassing niet vermeldenswaard.

### 3.1 Aanpassingen van de hardware

- **Doorbuigen.** Voor de goot werden gootdelen gebruikt zoals die bij de tuinders voorkwamen. Er werden goothaken gebruikt om dit relatief korte gootdeel extra stijfheid te geven. Na enkele maanden bleek dat dit niet genoeg was. De ophangsteunen zaten vrij ver naar de buitenkant en de 3-4 meter goot daartussenin begon, ondanks de haken, door te buigen. Hierdoor ontstond een stilstaande voorraad water die de drainage meting minder nauwkeurig maakte en het gevaar van verstoppingen door algengroei deed toenemen. Uiteindelijk is de afvoer van het lage kopeinde verplaatst naar het gootmidden.
- **Verstopping.** Om te voorkomen dat algen de afsluiter voor de drainagepomp hinderen is een standaard leidingfilter voor deze afsluiter geplaatst. Dit filter bleek vooral bij van der Helm een bron van verstoppingen, niet alleen door algen, maar ook door bacterieslijm dat in leidingen ontstaat bij hoge temperatuur en weinig druk (Van den Burg, 1996). Uiteindelijk werd het filter weggehaald en werd volstaan met een grof vuil filter op de drainage uitstroom opening in de goot. Dit filter lag zó, dat visuele inspectie mogelijk was.
- **Temperatuurinvloed.** De groeimeting is gevoelig voor de temperatuurschommelingen van de krachtopnemers. Een kenmerkende gevoeligheid van een krachtopnemer voor temperatuur is 1 gram/C voor een 250 kg krachtopnemer. Op een bijzonder warme dag kan de temperatuur toenemen van 15 tot 40 graden. De afwijking op het heetst van de dag is dan 25-30 gram op een vers gewichtsgroei van 300 gram. Figuur 18 toont dat gezocht wordt naar het achterblijven van de vers gewichtstoename ten opzicht van een rechte. De groei blijft bij Varekamp kenmerkend 50 gram en bij van der Helm 100-150 gram achter. Bij Varekamp is een afwijking van 30 gram door temperatuur dus bezwaarlijk. Naar het verbeteren van temperatuurgevoeligheid van de groeimeting is een aparte studie verricht (Rijpsma, 2004).
- **Aanlopen gewas.** Het gewas had bij beide telers wel eens invloed op de metingen. Bij van der Helm groeiden ranken over de gewasdraden die op slechts 10 cm van het systeem liepen. Door regelmatig lossnijden kon de invloed beperkt blijven. Werd niet regelmatig losgesneden dan werd het onderscheid draad / gewasbalk zo onduidelijk dat de stengels soms over balk en draad tegelijk werden gelegd. Bij Varekamp lagen de stengels die om de kopse gooteinden werden gebogen soms op of tegen de buisverwarming. Hierdoor werden de verdamping en water opnamelijnen in de grafieken hikkelig in verloop. Het gewas is enkele malen ruimer om de bocht geleid maar tenslotte is een speciaal gevormde beugel op de kopse einden geplaatst om het probleem definitief te verhelpen. Bovendien is de gewasverwarmingsbuis verder ingekort. Hierdoor kon de groeibuis onder de stengels door de steun geleid worden waardoor de buis niet langer naast maar weer boven de goot hing (Figuur 8).



Figuur 8 Stengels rondleiden met een beugel

- **Aanlopen drainage-afvoer.** Bij beide telers hing een drainage-afvoer, buitendiameter 18 mm, in een 35 mm afvoerbuis. Dit leidde in beide gevallen tot aanlopen van de drainage-afvoer. De drainage-afvoer is daarom ingekort tot boven het niveau van de afvoer. Het verdient aanbeveling de drainage-afvoeropening wijder te kiezen in verband met rek en krimp van het systeem.
- **Stroomuitval.** Het systeem bleek goed bestand tegen enkele algehele netstroomstoringen. Nadat de stroomtoevoer was hersteld werd de dataverzameling automatisch herstart. Bij een stroomstoring binnen het bedrijf bleek het moeizaam de oorzaak van het ontbreken van data te vinden. Een suggestie is een verklikker LED-lichtje op een afleesbare plaats, zoals de pomp. Dit voorkomt dat de tuinder lang naar de oorzaak zoekt of de verkeerde servicemonteur oproept.
- **Druppelaars.** Bij Varekamp zijn de druppelaars van onder de liggende stengels over de liggende stengels naar de potten geleid. Omdat de liggende stengeldelen steeds langer werden, kwamen de capillairslangen onder de stengeldelen. De druppelaars begonnen tenslotte aan de goot te trekken. De druppelaars zijn handmatig enkele keren omgestoken. Bij een beweegbare gewasbalk moet de druppelleiding binnen de gewasbeugel vallen.
- **Torsie.** Het fixeren van de krachtopnemers aan een of twee zijden leidt tot torsie in de krachtopnemer en moet altijd voorkomen worden. De krachtopnemer moet zich vrij kunnen voegen in het verlengde van de te meten kracht bijvoorbeeld door bevestiging aan ketting of staaldraad.
- **Balklengte.** Van der Helm draaide de komkommers over 50 cm rond de gewasdraad voor de kop naar beneden gaat. Daarom was de gewasbalk te kort. Dit is provisorisch opgelost door een beugel in beide einden van de holle balk te plaatsen en daartussen, boven de balk, een draad te spannen.
- **Beeld groei.** Bij Varekamp zijn vier krachtopnemers van goot 2 vervangen door geselecteerde krachtopnemers. Het beeld werd hierdoor rustiger.

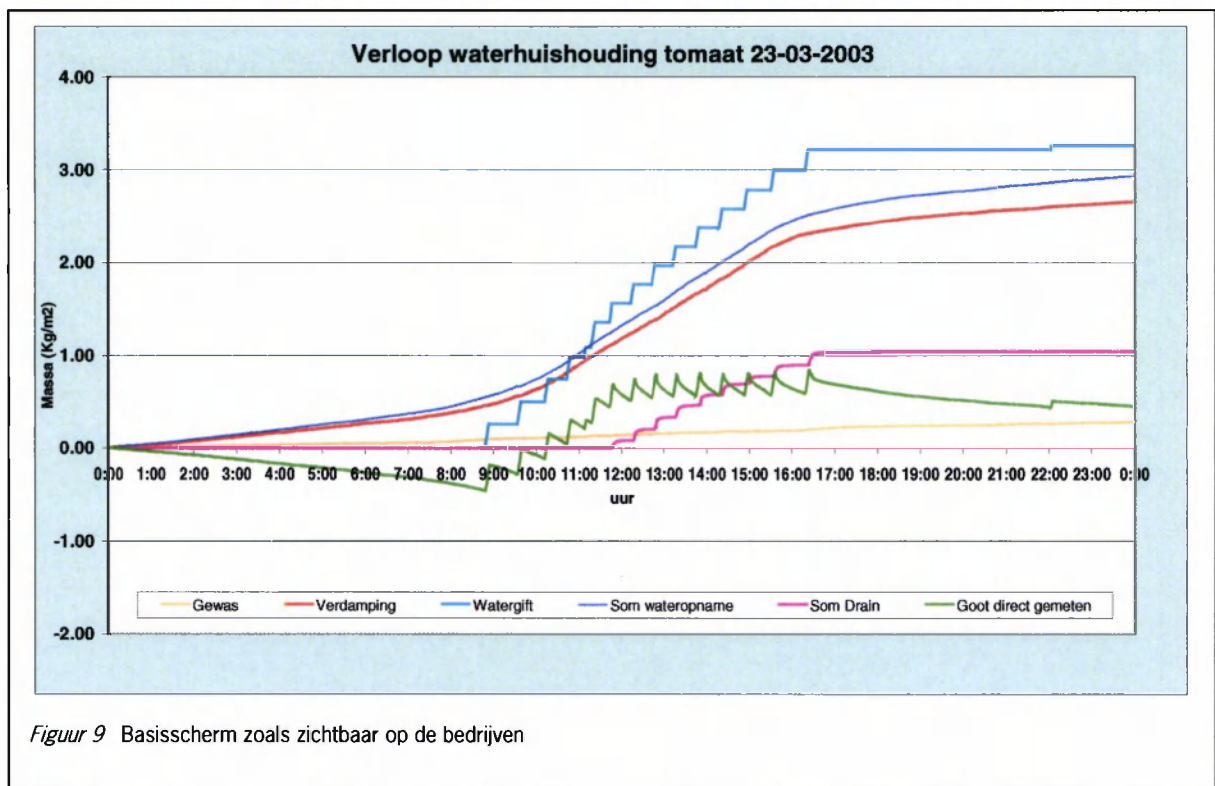
## 3.2 Aanpassingen van de software

- **Ruisfilters.** In februari bleken de ruisfilters bij storm onvoldoende te filteren. Om dit op te lossen werden ze zelfdimensionerend gemaakt. Hiertoe werd tweemaal achter elkaar gefilterd met een op de standaardafwijking gebaseerd filter.
- **Beeld onverklaard.** In juni bleek de term ONVERKLAARD niet wisselend positief of negatief maar voortdurend langzaam stijgend. Dit bleek veroorzaakt door een verschuiving van een berekening met één minuut.
- **Kunnen kiezen van de verschillende goten.** In het begin waren er grafieken beschikbaar van maar één van de goten. Al snel is de gootkeuze vrij gemaakt.
- **Beeld groei.** De weergave van de groeilijn is gewijzigd van groei met oogsten naar groei zonder oogsten om een rustiger beeld te krijgen. Incidentele verspringingen bleven zichtbaar en bleken interpretatiefouten van de software. Dit is opgelost maar de verbeterde software kon niet meer binnen de minuut alle berekeningen afronden.
- **Enkelvoudig meten.** Bij Varekamp zijn vier krachtopnemers van goot 2 vervangen door geselecteerde krachtopnemers. Het beeld werd hierdoor rustiger. Een nadeel is dat het berekende gootgewicht hierdoor van 8 naar 5 kilo verschoof. Dit was een ongewenst artefact en een gevolg van het koppelen van gewasbalk aan gootdrager. In het vervolg moeten gewicht goot en gewicht gewas onafhankelijk van elkaar gemeten worden!
- **Errorlogs.** Om te weten welk stuk van de hard of software stopt moet een errorlog worden weggeschreven buiten de programma's om want de gebruiker wil de programma's direct laten herstarten waardoor aanwijzingen in het programma verloren gaan. Er worden nu onder alle omstandigheden errorlogs gemaakt.
- **O-waarden.** Het filter moet 0 waarden vermijden, niet verrekenen. Dit is gerealiseerd.
- **Terugkijken.** Het terugkijken over meerdere dagen bleek al snel essentieel voor de tuinders. Er is een meerdaagse viewer gemaakt. Er kan over alle afdelingen gekeken worden. De lopende loadcel.xls wordt eerst afgesloten en na de viewer herstart. Er is een keuze menu voor de zes beschikbare grafieklijnen en een maximum van 7 dagen tegelijk.



- **Beeld groei.** Een groeimeting is het gemiddelde van twee groeibalken, één rechts en één links van de goot. Het is bekend dat vers gewichtsgroei sterk afhangt van de straling. De stralingsinvloed kan, afhankelijk van de padkant, sterk verschillen. Bijvoorbeeld gewasintering kan links en rechts op een verschillend tijdstip vallen. Bij middeling versmeert het beeld dan. Als de gootmeting twee goten per kap betreft, in plaats van een V-systeem, geldt dit ook voor de verdampingsmeting. In nog sterkere mate geldt dit voor het effect van mobiele belichting bij verschuifbare gewasbalken. Het is daarom raadzaam de gewasbalken individueel uitleesbaar te maken.
- **Schaal.** De grafieken worden automatisch geschaald op de grootste gemeten waarde. Hierdoor zijn de meetlijnen ook aan het begin van een dag beeldvullend. De telers gaven aan dat de wisselende schaal van de assen het interpreteren bemoeilijkt. Liever zien zij een vaste schaal langs de Y-as en een X-as die een periode van 24 uur laat zien maar elke minuut opschuift.
- **Verstoringen door arbeid.** Dit blijkt geen grote vergissingen op te leveren en er is daarom geen prioriteit aan gegeven.
- **Inbellen via mobiele verbinding.** Voor dit project bleek GPRS een te dure optie. Voor de begeleiding is het te overwegen met een aparte internetverbinding over het vaste net te werken.

### 3.3 De basisgrafiek



Figuur 9 Basisscherm zoals zichtbaar op de bedrijven

Figuur 9 toont de basisgrafiek zoals de tuinders deze op hun scherm volgden. Langs de X-as is de tijd uitgezet in 24 uur van de lopende dag, langs de Y-as het gemeten gewicht in grammen per m<sup>2</sup>. De eerste meting betreft het gootgewicht. Het gootgewicht toont een kenmerkend zaagtandpatroon. Dit wordt veroorzaakt door de toegediende druppelbeurten en het er opvolgende verlies aan drainagewater. Een druppelbeurt zorgt voor een sterke gewichttoename in een zeer korte tijd, meestal 80-200 cc in drie minuten. Na de druppelbeurt verliest het substraat meestal drainagewater, eerst snel maar steeds langzamer druppelt water uit het substraat. Dit veroorzaakt een kenmerkend hol aflopende helling na de

steile toename door de gift. In de nachtperiode vóór de eerste druppelbeurt neemt het gootgewicht gestadig af. Dit gewichtsverlies wordt veroorzaakt door de wateropname van de plant. De wateropname van de plant betreft zowel verdamping als wateropname voor vers gewichtstoename. De eerste beurten van de dag worden geheel in het substraat opgenomen en het gootgewicht neemt hierdoor snel toe. Vanaf 10.00 uur begint er kort na een beurt water uit het substraat te lopen. Dit drainagewater wordt opgevangen en gewogen en in de grafiek weergegeven door de drainagelijijn. Deze lijn loopt kenmerkend enkele minuten na op de druppelbeurten en toont een aanvankelijk snel maar steeds langzamer toename tot de volgende beurt. De derde onafhankelijke meting is de gewasgewichtstoename. Deze neemt, in dit geval, bij voortdurend toe.

Uit het gootgewicht wordt de watergift gefilterd. Elke plotselinge gewichtstoename van de goot die niet samengaat met een gewichtstoename van het gewas, wordt als beurt weggeschreven. Zo ontstaat de kenmerkende trapvormige watergiftgrafiek. Deze grafiek geeft een onafhankelijke controle op de door de computer toegediende hoeveelheid water. Een tweede kruiscontrole betreft het aantal beurten gegeven door de computer en het aantal beurten geteld door de weeggoot. In Figuur 9 wordt om 12 uur automatisch gespuid hetgeen leidt tot een extra beurt van afwijkende grootte.

Uit het gootgewicht wordt de wateropname gefilterd. Zoals in de nachtperiode te zien is neemt het gootgewicht gestadig af. Het sommeren van die gewichtsafname is dus een maat voor de wateropname. Giften en verlies van drainagewater verstoren deze sommatie echter. Daarom wordt door de software het verlies aan drainagewater weer bij het gootgewicht geteld. Nu kan tussen de giften door het gewichtsverlies van de goot verder worden gesommeerd. Tenslotte wordt tijdens de giften een gewichtverlies verondersteld dat gelijk is aan het gewichtsverlies vlak voor de gift. De som van alle gewichtsverlies is de wateropname.

De wateropname minus de gewasgroei is de verdamping.

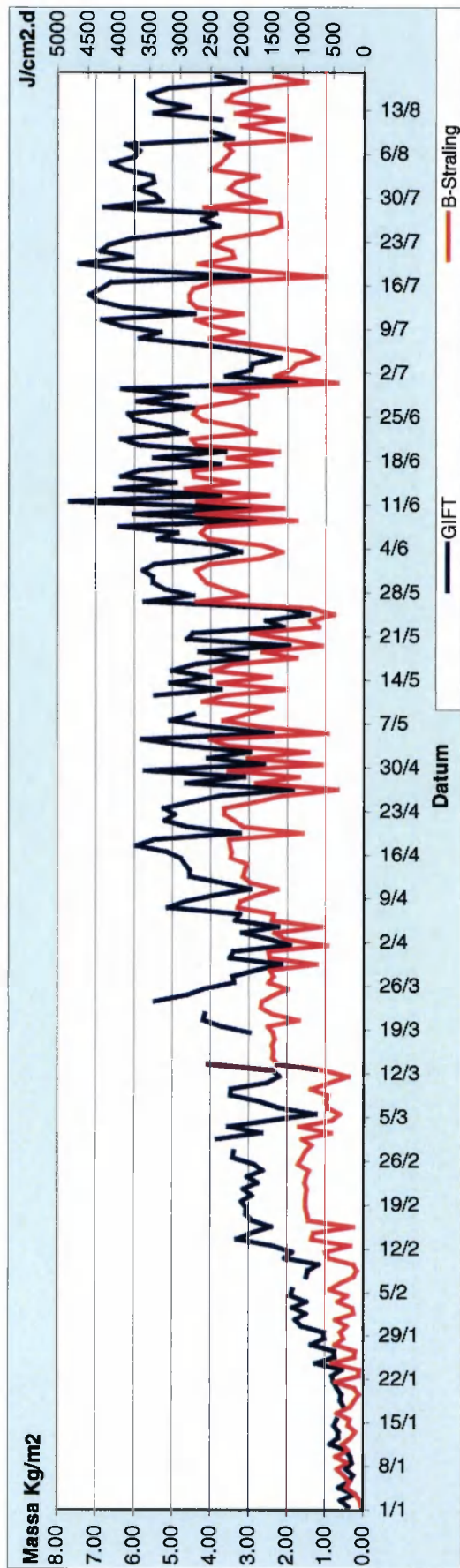
### 3.4 De jaaroverzichten

Tabel 1 en 2 tonen de cumulatieve gift, verdamping, drain en groei per maand (zie ook de grafieken in Bijlage 4). De jaaroverzichten voor gift, transpiratie, drainage en groei worden getoond in Figuur 10 – 21. Steeds wordt een verloop uitgezet tegen de buitenstraling zoals gemeten in dezelfde periode in Naaldwijk. De y-as schaal is bij deze weergave niet gelijk omdat geprobeerd is de straling vlak onder de beschouwde lijn te leggen.

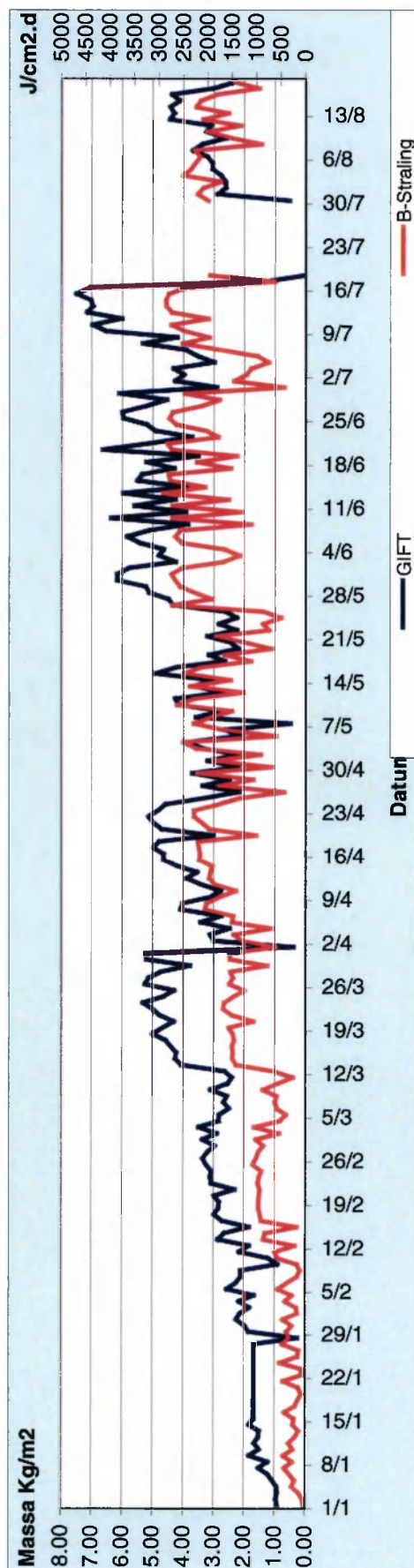
| Tabel 1- Cumulatieve waarden voor gift, verdamping, drain en groei bij Varekamp in kg/m <sup>2</sup> |      |            |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|-------|-------|
| Maand                                                                                                | Gift | Verdamping | Drain | Groei |
| Januari                                                                                              | 22   | 25         | 10    | 1     |
| Februari                                                                                             | 86   | 55         | 49    | 6     |
| Maart                                                                                                | 171  | 84         | 127   | 14    |
| April                                                                                                | 300  | 153        | 176   | 23    |
| Mei                                                                                                  | 425  | 218        | 228   | 31    |
| Juni                                                                                                 | 574  | 299        | 287   | 40    |
| Juli (deels leeg)                                                                                    | 747  | 389        | 358   | 49    |
| Augustus                                                                                             | 880  | 463        | 408   | 58    |
| September                                                                                            | 961  | 511        | 434   | 65    |
| Oktober                                                                                              | 1015 | 542        | 452   | 70    |
| November                                                                                             | 1041 | 556        | 462   | 72    |
| December                                                                                             | 1042 | 557        | 462   | 72    |

| Tabel 2- Cumulatieve waarden voor gift, verdamping, drain en groei bij van der Helm in kg/m <sup>2</sup> |      |            |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|-------|-------|
| Maand                                                                                                    | Gift | Verdamping | Drain | Groei |
| December 2002                                                                                            | 13   | 5          | 9     | 0     |
| Januari                                                                                                  | 39   | 19         | 20    | 1     |
| Februari                                                                                                 | 106  | 46         | 47    | 9     |
| Maart                                                                                                    | 228  | 92         | 99    | 25    |
| April                                                                                                    | 331  | 146        | 135   | 34    |
| Mei                                                                                                      | 385  | 175        | 154   | 38    |
| Juni                                                                                                     | 459  | 221        | 171   | 46    |
| Juli (deels leeg)                                                                                        | 503  | 245        | 186   | 50    |
| Augustus                                                                                                 | 561  | 275        | 209   | 55    |
| September                                                                                                | 644  | 315        | 236   | 65    |
| Oktober                                                                                                  | 678  | 332        | 249   | 68    |



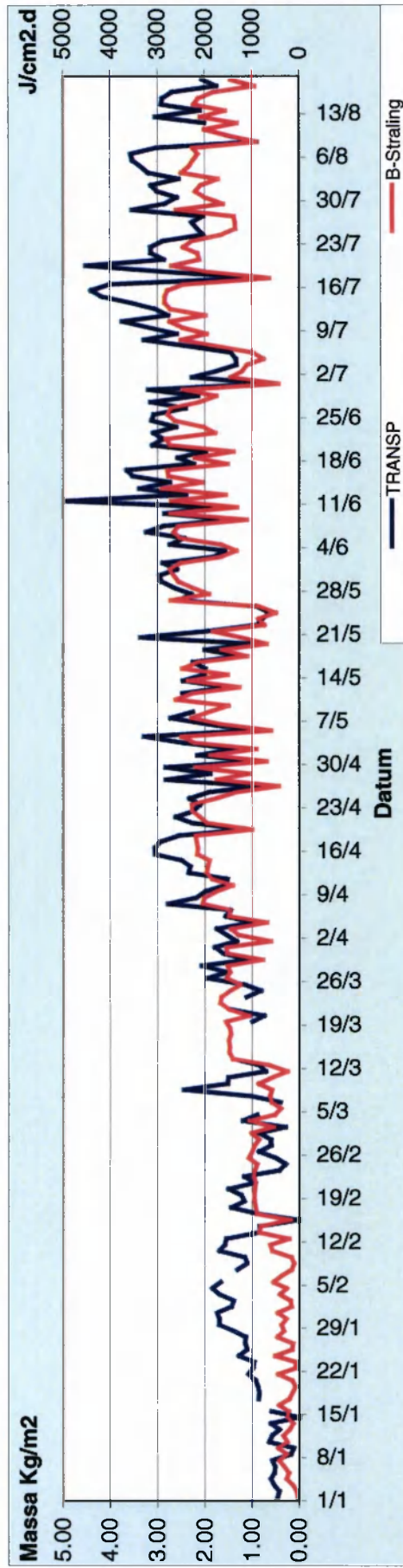


Figuur 10 Verloop giften Varekamp 2003

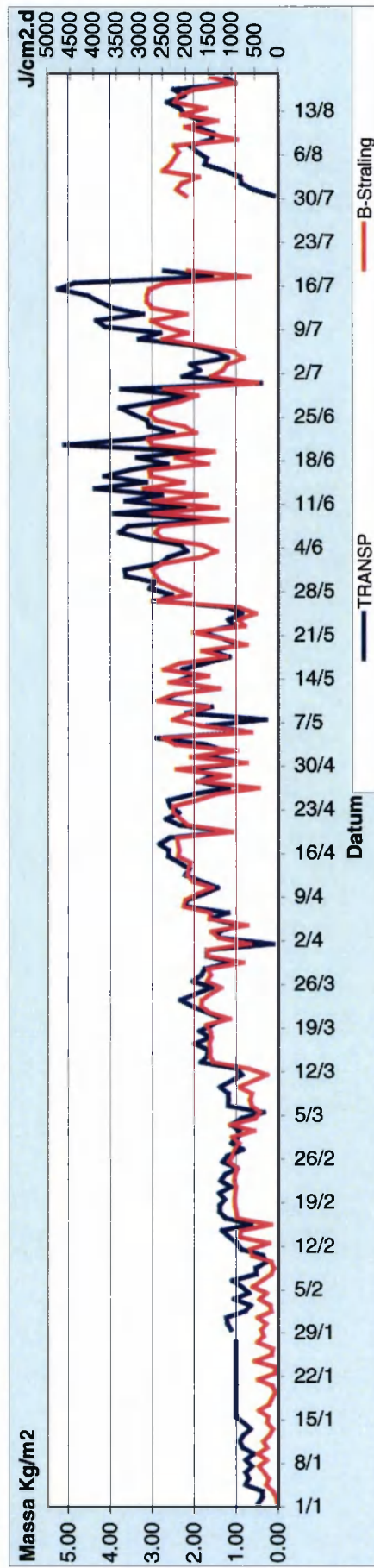


Figuur 11 Verloop giften van der Helm 2003

De Figuren 10-11 tonen de globale straling buiten de kas gemeten. N.b. de waarden zijn etnaalsommen. Voor beide tuinders volgt de gift de straling nauwkeurig. Dat is niet verwonderlijk omdat beide tuinders midden op de dag watergeven op straling.



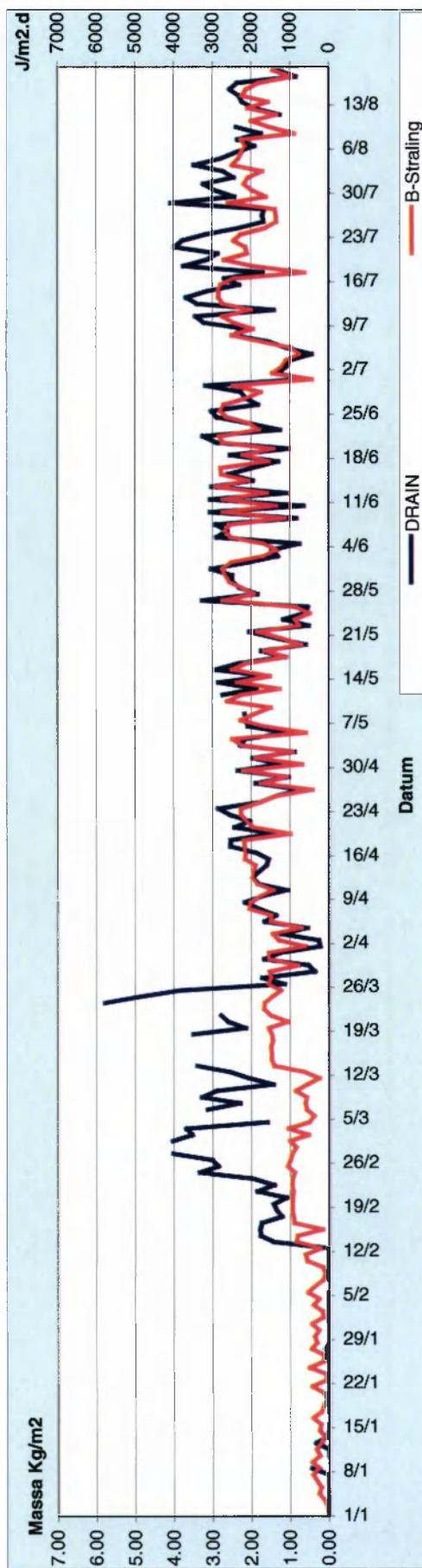
Figuur 12 Verloop verdamping Varekamp 2003



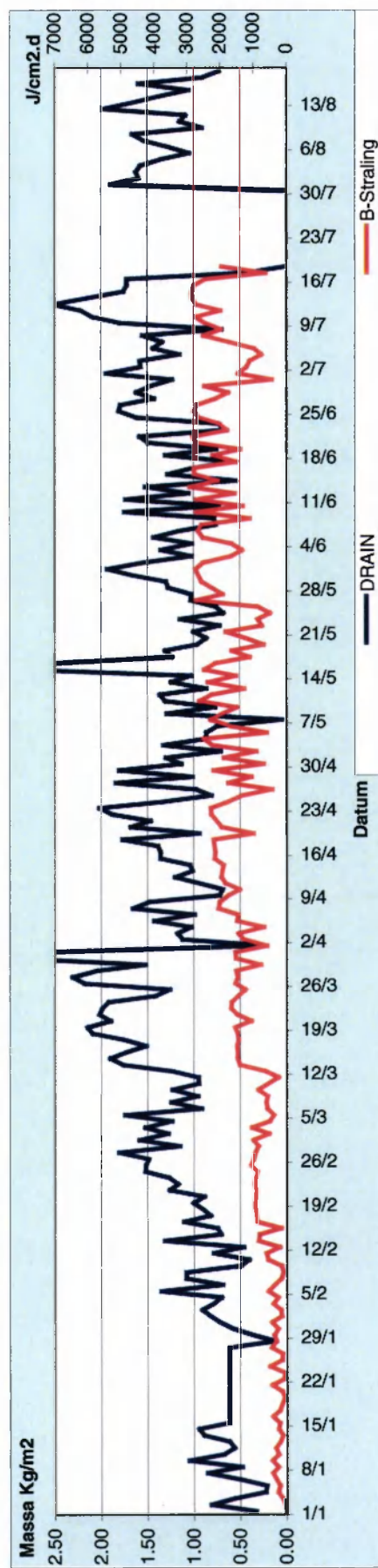
Figuur 13 Verloop verdamping van der Helm 2003

Figuren 12-13 tonen de verdamping in relatie tot de globale straling buiten de kas gemeten. N.b. de waarden zijn etmaalsommen. In januari en februari en in mindere mate in maart is te zien dat de verdamping boven de stralingslijn ligt. Dit is een gevolg van de extra verdamping door de verwarming die in deze periode een merkbare bijdrage levert aan de energie die een plant ontvangt. De verdamping is bij van der Helm 2.5 maal de instraling in  $J/m^2$ . Bij Varekamp is dat 2.7 maal de straling. De verdamping volgt de straling minder strak dan de gift. Afwijkingen ontstaan bijna dagelijks door wisselingen in dampspanningsverschil tussen blad en kaslucht (Disco, 2001).



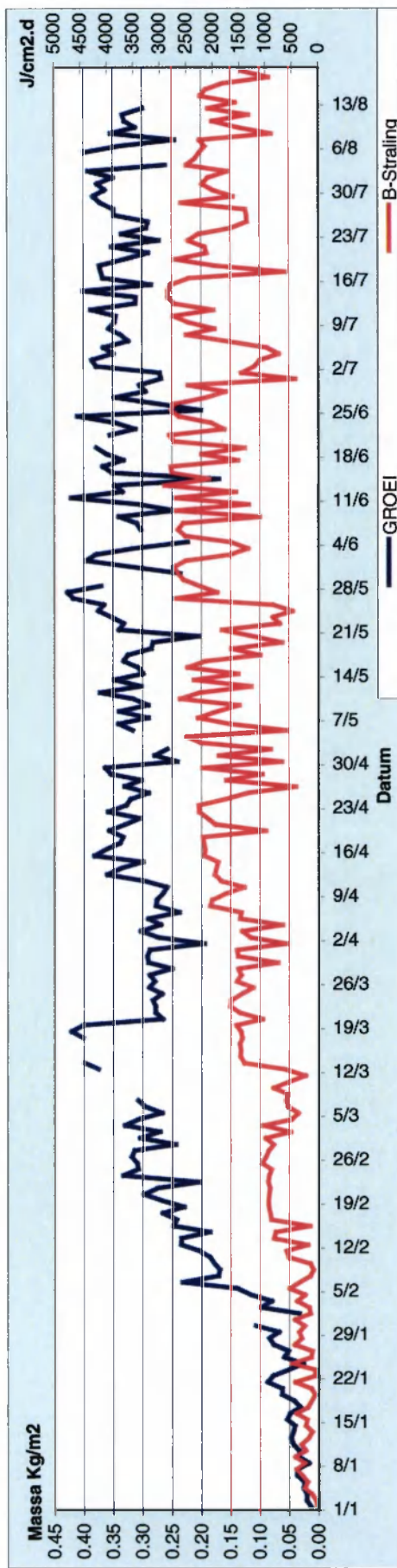


Figuur 14 Verloop drain Varekamp 2003

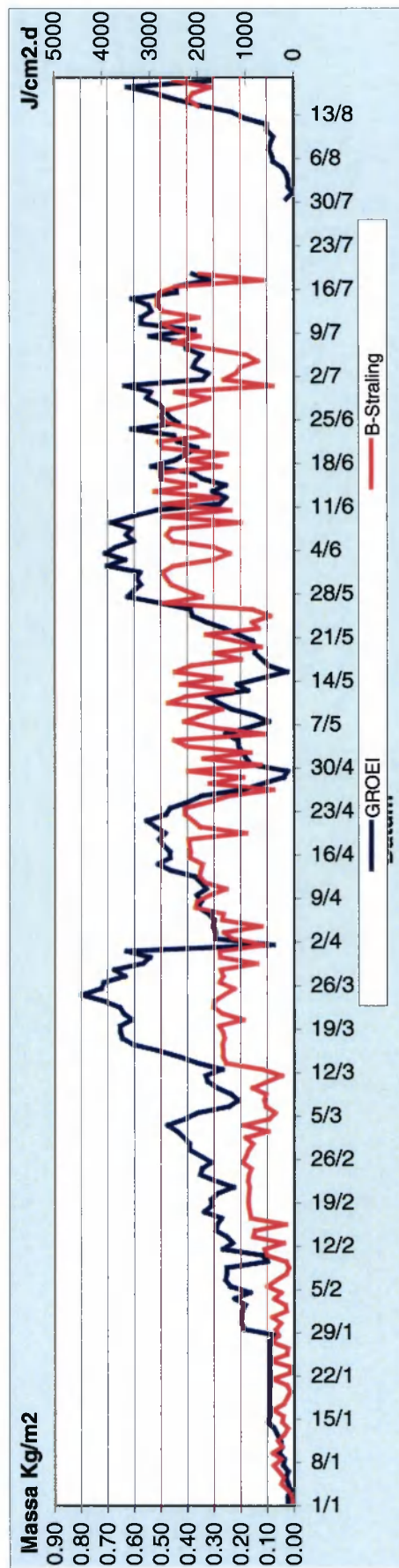


Figuur 15 Verloop drain van der Helm 2003

Figuren 14-15 tonen de drainage in relatie tot de globale straling buiten de kas gemeten. N.b. de waarden zijn etmaalsommen. Kleine afwijkingen tussen giff en verdamping resulteren in relatief grote schommelingen in drainage hoeveelheid. Varekamp streeft naar een lager drainagepercentage bij hogere instraling. De gedachte hierachter is dat bij meer dan 2 liter drainage per dag er genoeg ververst wordt om ongewenste EC schommelingen te voorkomen.



Figuur 16 Verloop groei Varekamp 2003



Figuur 17 Verloop groei van der Helm 2003

Figuren 16-17 tonen de groei in relatie tot de globale straling buiten de kas gemeten. Bij Varekamp is te zien dat er een redelijk constant verband is tussen straling en groei. Opvallend is dat de groei 1-2 dagen achter loopt op de straling. Dit bleek ook bij van der Helm het geval te zijn. Bij van der Helm valt op dat tot 4 weken na planten de groei op een constant relatief hoog niveau ligt. Daarna volgt een periode met tot 30% minder groei bij gelijke stralingsniveaus.

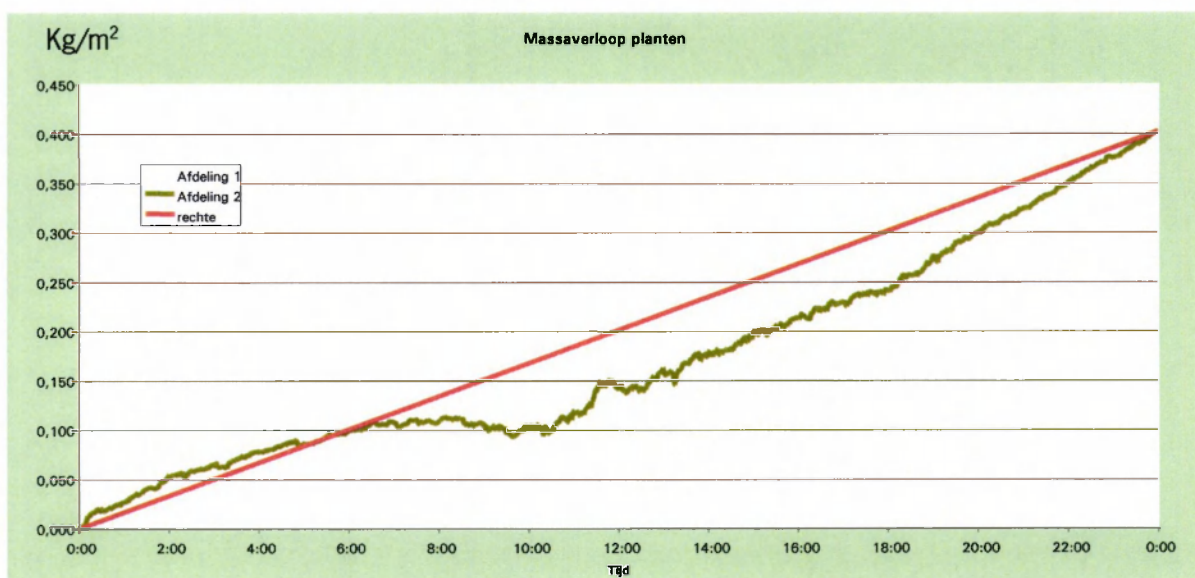


## 3.5 Gebeurtenissen

Onder gebeurtenissen worden hier een aantal kenmerkende verstoringen van een rechtlijnig verloop behandeld, zoals die gevonden zijn tijdens de teelten. Het verrekenen van watergiften en drainage is al behandeld bij de bespreking van de basisfiguren.

### 3.5.1 Plantkrimp

Figuur 18 toont een kenmerkend verloop van de vers gewichtstoename.

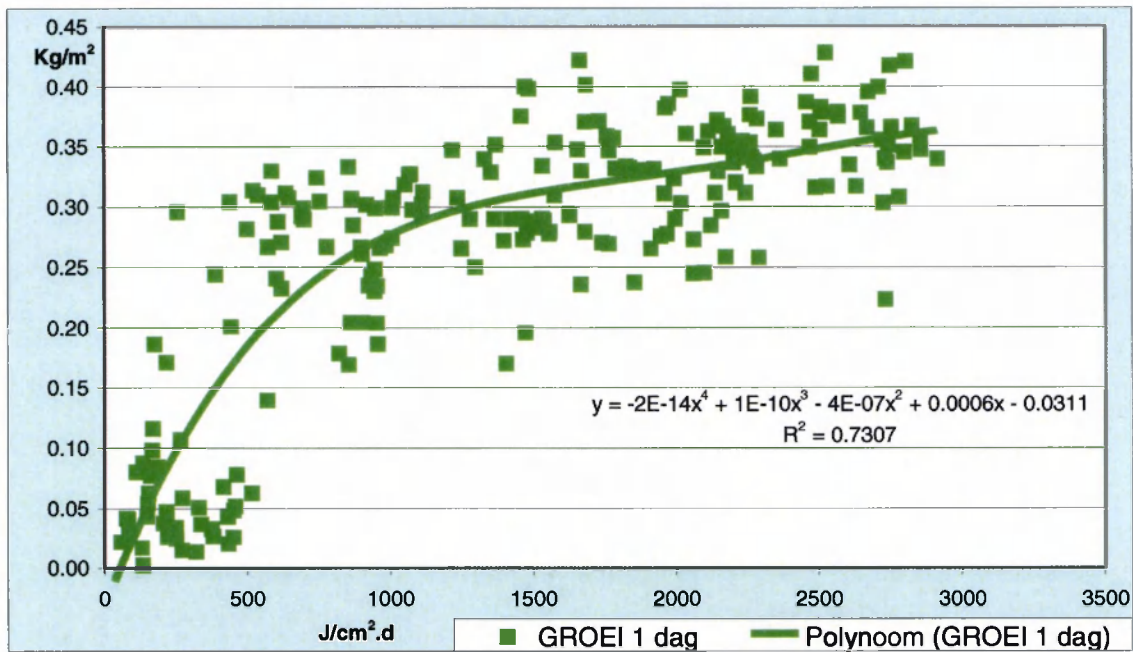


Figuur 18 Kenmerkende gewichtstoename in  $\text{kg/m}^2$  gedurende een zonnige dag bij komkommer op 15-06-03

Van 0 tot 7 uur neemt het plantgewicht constant toe. Zodra de zon verschijnt, neemt de groei evenredig met de verdamping af. Vanaf twee uur in de middag begint de groei weer toe te nemen en vanaf zes uur tot 10 uur in de avond groeit de plant sneller dan van 0-8 uur zodat tenslotte de rechte lijn weer bereikt wordt. Dit betekent dat de plant bij het toenemen van de verdamping water onttrekt aan de stengel de bladeren en de vrucht. Van komkommer is bekend dat de vruchten in de middag slap kunnen worden door waterverlies. Dit patroon is ook zichtbaar bij tomaat (Bijlage 5). Bij tomaat ligt de groei op een mooie dag rond 300 gram met 50 gram achterlopen ten opzichte van de rechte, bij komkommer is dit 400 gram en ruim 100 gram achterlopen.

### 3.5.2 Het verband groei – straling

Figuur 19 toont het verband tussen de groei en straling van twee dagen ervoor.

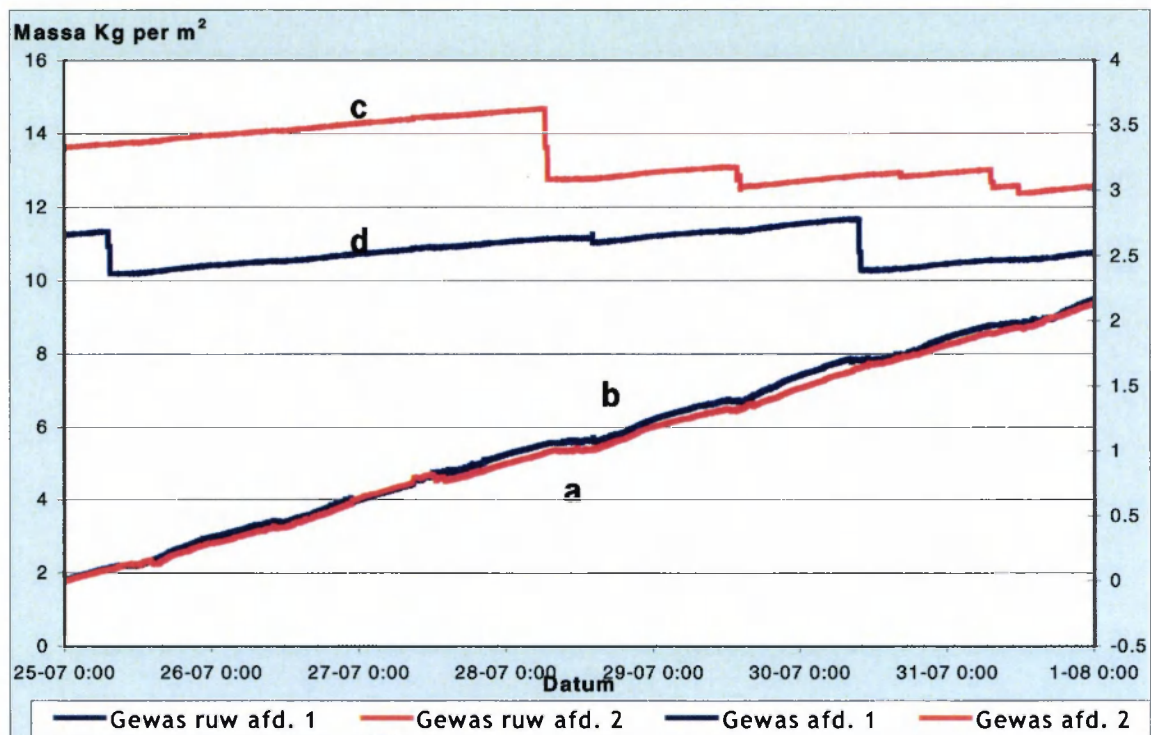


Figuur 19 Verloop groei Varekamp.

Uit de berekende, niet in grafiek getoonde, correlaties blijkt dat de correlatie groei-straling het hoogst is voor de straling van één tot twee dagen ervoor. De correlatie met de straling op de dag zelf is in dit geval 66%, met de straling van 1 dag eerder 73%, en met de straling van twee dagen ervoor 69%.

### 3.5.3 Vruchtpluk en bladpluk

Figuur 20 vertoont het verloop van het plantgewicht in twee afdelingen van een bedrijf.



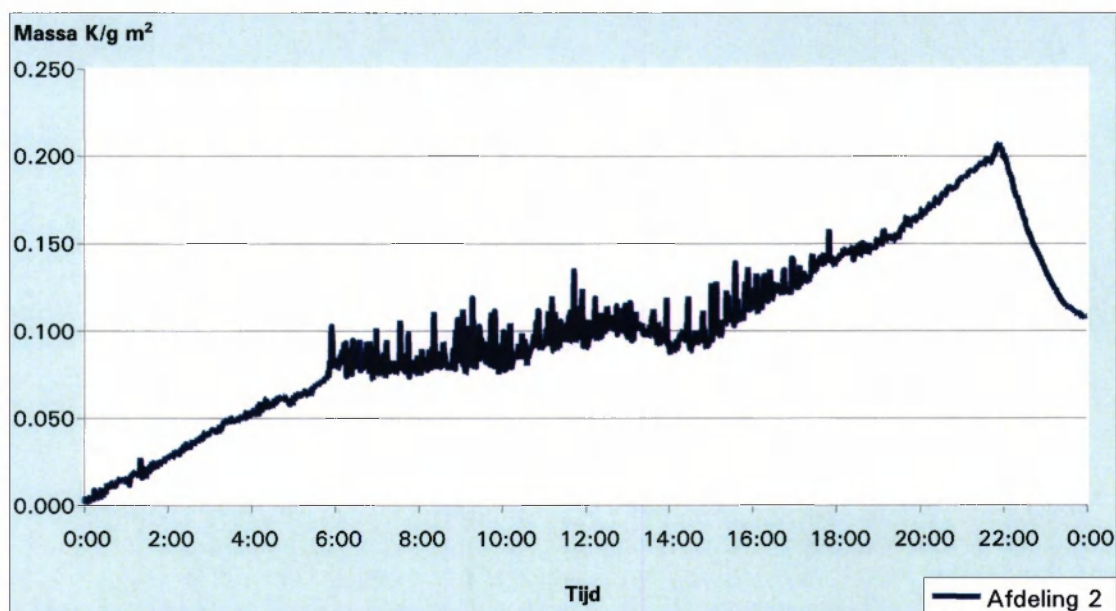
Figuur 20 Verloop bladplukken en oogsten Varekamp



De lijnen a en b zijn gecorrigeerd voor oogst en bladpluk, de lijnen c en d niet. De lijnen c en d laten zien dat in dit bedrijf om de dag werd geoogst en bladegeplukt en dat dit om en om in afdeling 1 en 2 gebeurde. De oogst is kenmerkend 300-1500 gram per m<sup>2</sup> en de bladpluk is kenmerkend 50-150 gram. Door het sommeren van bladpluk en oogst wordt een beeld verkregen van de vers gewicht productie van het gewas.

### 3.5.4 Bespuiting

Figuur 21 toont een kenmerkend verloop van een bespuiting.

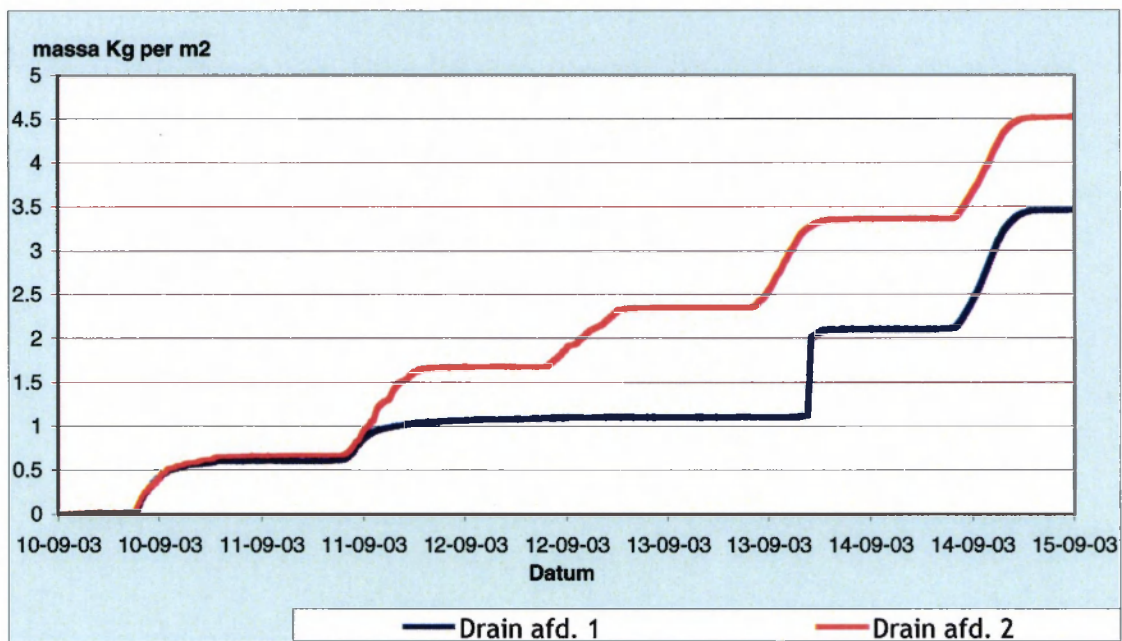


Figuur 21 Verloop bespuiting op groei grafiek Varekamp 190803

Hier is te zien dat een bespuiting vloeistof op het gewas brengt. Dit verloopt enigszins geleidelijk omdat verschillende links rechts signalen worden samengevoegd. Na de bespuiting verliest het gewas gewicht met een steeds afnemende snelheid. Dit is de verdamping van de spuitvloeistof, zo'n 100 gram. Ook in de plantverdamping is de bespuiting terug te zien als een tijdelijk geringere verdamping. Het is mogelijk bespuitingen weg te filteren. Hierbij is het raadzaam een merkteken te plaatsen waarmee in de dagen na de bespuiting de verdamping en de groei gevolgd kunnen worden. Het is namelijk bekend dat sommige middelen de verdamping en de groei in een periode van enkele dagen na de toepassing kunnen vertragen. Overigens is een behandeling met een LVM niet te zien omdat de LVM minder dan 10 gram per m<sup>2</sup> opbrengt.

### 3.5.5 Verstopping drainafvoer

Figuur 22 toont een kenmerkend verloop van een verstopping in de drainafvoer in een van de twee goten. Doordat maar één van de afvoeren verstopt, in dit geval door een te fijn algenfilter, is extra goed te zien dat een afwijking optreedt. Kenmerkend is dat er niet voldoende drain meer komt en dat de hele nacht nog langzaam wat drainwater in de opvang druppelt, echter zonder relatie met watergeefbeurten. Ook het herstel van het euvel is kenmerkend; veel water loopt in één keer uit de goot de opvang in. Omdat het filter is verwijderd is een deel van de te meten drain zonder meten op de grond gelopen. Na schoonmaken functioneert de drainage-opvang weer gewoon.



*Figuur 22*

Verstopping drain van der Helm 2003

## 4 Bespreking en conclusies

### 4.1 De groei.

De grootste belangstelling bij de telers gaat uit naar het groeiverloop en de daggroei. Het groeiverloop uit Figuur 18 toont een kenmerkende constante groei in de nacht die overdag eerst relatief lager wordt en in de namiddag en avond relatief hoger is. Als verklaring hiervoor geldt dat de plant water opneemt, evenredig met het potentiaalverschil tussen blad en wortels (Grange en Andrews, 1994). Bij toenemende verdamping zal het potentiaalverschil tussen blad en wortel evenredig groter worden. Door het toegenomen potentiaalverschil, zal het watergehalte in blad, stengel en vrucht verlaagd worden (Kitano et al, 1996; Li, 2000). Van komkommer is bekend dat bij hoge instraling vocht uit de vrucht verdwijnt waardoor de vrucht later op de dag slap wordt. Voor tomaat wordt verwacht dat de vrucht niet veel vocht verliest omdat is aangetoond dat watertransport door de xyleemvaten van de vrucht bijna uitsluitend eenrichtingsverkeer is de vrucht in (Ho et al, 1987). Een voor onderzoek wellicht interessant gegeven is dat een aantal rassen op de markt is onder de naam "jointless" die wel gemakkelijk water uit de vrucht verliezen door de houtvaten.

De mate van interen van de plant is naar wordt aangenomen een maat voor het potentiaalverschil tussen kop en wortel (Grange en Andrews, 1994). De tuinders willen hierop inspelen door de verdamping te beïnvloeden met bijvoorbeeld de ramen, het scherm of de daksproeiers. Een tweede manier waarop telers op dit potentiaalverschil kunnen reageren is door de EC van de voedingsoplossing te verlagen. Hierdoor verandert de potentiaal van de voedingsoplossing bij de wortels, waardoor voedingsoplossing gemakkelijker wordt opgenomen (Ehret en Ho, 1986; Li en Stanghellini, 2001). De belangrijkste vragen van de telers zijn;

- Wanneer ontstaat een onherstelbaar groeiverlies?
- Hoe effectief zijn de genoemde maatregelen (en zijn er nog andere maatregelen)?
- Wat zijn veilige regelgrenzen?

In principe ontstaat groeiverlies als de celspanning zo veel is afgenomen dat de huidmondjes gaan sluiten, waardoor de fotosynthese geremd gaat worden. Dit zou zichtbaar moeten worden aan een afname van de verdamping in relatie tot de straling. Een tuinder wil vóór het zover is maatregelen nemen. Daarom wordt gedacht aan het regelen op een minimaal te halen lichtafhankelijke groei of een maximale verdampingstoename.

Een tweede kenmerk van het groeiverloop, met toepassingsmogelijkheden voor automatisering, is de nalooptijd die de groei op de straling heeft (Figuur 19). Het lijkt redelijk te veronderstellen dat de droge stof vorming in de plant evenredig is met de straling, zonder nalooptijd. Dit omdat de opname van koolzuurgas zeer snel blijkt te volgen op de straling (Escobar-Gutierrez en Gaudillere, 1997). De gevormde droge stof bestaat voornamelijk uit suikers, inclusief zetmeel. Deze bouwstoffen worden omgezet in celmassa, maar daar zijn ook minerale zouten voor nodig. Het lijkt dus 1-2 dagen te duren voor de plant de minerale zouten en suikers heeft omgebouwd tot volwaardige nieuwe cellen. Dit zou kunnen betekenen dat de voedingsopname 0-2 dagen achter ijlt op de straling en / of dat het omvormen en transporteren van de suikers uit het blad 0- dagen duurt. Als de voedingsopname achterloopt op de straling, dan kan hier op geregeld worden.

### 4.2 Toepassingen

De lijst met toepassingen hieronder omvat niet alleen de drie directe metingen gootgewicht, plantgewicht en drainagegewicht. Door deze drie metingen te combineren met elkaar en met andere metingen zijn nieuwe toepassingen mogelijk. In de conclusies is al aangegeven dat vaak onvoldoende bekend is hoeveel voordeel met een regeling behaald kan worden. Een lijst met de meer speculatieve voordelen is opgenomen als Bijlage 6.

## **Verdamping**

De verdamping wordt voortdurend gemeten. Een weeggoot meet zowel aanvoer als afvoer door verandering in gootgewicht, drainage, groei en verdamping. De balans tussen aanvoer en afvoer laat direct zien of de metingen betrouwbaar zijn. Dit is een voordeel bij automatisering van de watergift. Toepassingen;

- Automatiseren van de watergift
- Stressdetectie als er een vergelijk mogelijk is met oude gegevens, een model of een andere weeggoot
- Feedback correctie van een watergeefmodel om kleine maar langzaam oplopende afwijkingen te onderkennen

## **Matvochtgehalte**

Het matvochtgehalte is bij hangende planten een afgeleide van het gootgewicht. Zowel teveel als te weinig water in het substraat heeft grote gevolgen voor de teelt (Adams, 1990). De watergift wordt soms al bewaakt met een matweger of FD-meter in het substraat. Toepassingen;

- Met gemeten matwatergehalte kunnen onder- en bovengrenzen voor matwatergehalte ingesteld worden. Dit betekent, dat veiliger dan voorheen geteeld kan worden.
- Het matwatergehalte kan dynamisch ingesteld worden om de balans generatief / vegetatief te beïnvloeden. Dit wordt al handbediend toegepast bij de start van de tomatenteelt.
  - Er kan een bepaalde intering in de nachtperiode worden nagestreefd.
  - Het matwatergehalte kan seizoensafhankelijk worden ingesteld.

## **Drain**

De voordelen van een goede drainagemeting zijn in de praktijk bekend. Flowmeters per kraanvak of kas worden als buitengewoon onbetrouwbaar ervaren. De drainagemeting wordt gebruikt voor;

- Het instellen van een gewenst drainagepercentage per beurt maakt het mogelijk al bestaande handmatig ingestelde en dagelijks gecontroleerde regelingen te automatiseren.
  - Geen drain in de eerste twee beurten op een dag
  - Drain realiseren vóór 12 uur, of een andere gewenste tijd
- Op basis van gemeten drainagehoeveelheid kan besloten worden op een dag met veel straling het drainagepercentage automatisch te verlagen van 30% naar 15% omdat na een zekere hoeveelheid drain voor die dag al voldoende is doorgespoeld. Ook deze regeling wordt door sommige telers handmatig bewaakt.

## **Groei**

De versgewichtstoename van de plant kan gebruikt worden als een schatter van de actuele productie (Figuur 18).

- De groei van de plant is het belangrijkste gegeven voor oogstvoorspellingen of het geven van feedbackinformatie aan oogstvoorspellers. Oogstvoorspellingen spelen met name een rol bij teelten waarbij het van belang is een minimum kwaliteit op een van tevoren geplande datum te leveren (Haverkort en Marcelis, 1999).
- Door het vergelijken van de gemeten groei met richtcijfers van bijvoorbeeld een onderzoeksinstelling over een langere periode, kan een indruk worden verkregen van de absolute prestatie van het gewas.

## **Stress**

Stress is een ruim begrip. In dit geval gaat het om een verdamping die achterblijft bij een referentie of een verdamping die zeer sterk toeneemt. Verschillende referenties zijn mogelijk, zoals de verdamping bij studieclubbedrijven en / of modellen.

- Meten en eventueel ingrijpen als de verdamping achter blijft bij de referentie.
  - Bij bespuitingen die verdampingsremmend werken. Als de verdamping onder een grenswaarde zakt, kan geschermd worden.
  - Om problemen te signaleren; ziekte, te weinig bladoppervlakte, te sterke verdamping
- De toename van de verdamping bewaken, dit is de afgeleide van de verdamping. Er zijn nog geen onderbouwde regelwaarden bekend maar er wordt door enkele tuinders wel op geregeld met:
  - Regelacties met scherm
  - Regelacties met daksproeiers



## 4.3 Conclusies

De op de doelstelling aansluitende conclusies zijn;

- Het bleek mogelijk in betrekkelijk korte tijd een prototype van een weeggoot geschikt voor de praktijk te maken en op twee bedrijven te installeren in een aparte opstelling, maar nog zonder koppeling naar de klimaatcomputer.
- De geteste versie van de weeggoot was mechanisch voldoende robuust en de software voor de dataverzameling was voldoende stabiel, meer dan 99% van alle data is verzameld en opgeslagen.
  - De grafische software in Excelvorm is, met 2% uitval, niet stabiel genoeg voor de praktijk en zal, zoals voorzien, worden vervangen door een professioneel programma.
- De gegevens konden gedurende een jaar worden gevolgd, in nauwe samenwerking met de tuinders.
  - De tuinders hebben nog veel vragen bij de interpretatie van de – nieuwe – gegevens over schadedrempels, regelacties en regelgrenzen.
- In Hoogendoorn is een automatiseringsbedrijf gevonden dat de koppeling naar de klimaatcomputer wil realiseren.

Het ontwikkelen van nieuwe samengestelde meetinstrumenten en de bijbehorende regelingen blijkt kennis- en arbeidsintensief. Het blijkt niet mogelijk een weeggoot na één jaar praktijktesten bedrijfsgereed in de markt te zetten. Nazorg in de vorm van technische verbeteringen, het bepalen van schadedrempels en het aangeven van regelgrenzen en regelstrategieën zijn een wezenlijk onderdeel van geslaagde marktintroductions. Dit type nazorg is inhoudelijk teeltonderzoek. Automatiseringsbedrijven geven aan dat dit deel van de marketing niet door hun deskundigen gedaan kan worden. Ondanks het prototype en het patent is het daarom nodig de belangrijkste toepassingen met metingen te onderbouwen. Parallele ontwikkelprocessen uit het recente verleden zijn de FD-vochtmeters tussen 1984 en 2000 en ion specifiek meten tussen 1990 en 2004.

De producent kan met een gebruikersgroep het gebruiksgemak van de weeggoot, installatie, onderhoud, veiligheid, presentatie op het scherm, ter hand nemen. Dit geheel voor kosten van de producent.

Een onderzoeksinstelling als PPO kan parallelproeven uitvoeren om de plantkundige grenzen voor nieuwe acties en regelingen te vinden. De kosten hiervoor zullen grotendeels collectief opgebracht moeten worden. Als criterium wordt voorgesteld; het vinden van nieuwe teeltkundige en algemeen geldige regelgrenzen. Eisen aan het onderzoek zijn; rekenkundig aangetoonde geldigheid, relevante resultaten en publicatie in de vakpers. De aansturing van het onderzoek kan gebeuren vanuit de financier of vanuit een stuurgroep met gebruikers en producenten. Het onderzoek kan op bedrijven plaats vinden, tenzij de schadegrenzen opgezocht worden.

## 4.4 Aanbevelingen

Tabel 3 geeft per gootonderdeel de belangrijkste gevonden problemen en mogelijke, soms al toegepaste, oplossingen.

Tabel 3 De belangrijkste aanbevelingen

| Onderdeel         | Euvel                                                                              | Mogelijke oplossingen                                                                                        |                                                                                   |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Goot              | Doorbuigen                                                                         | Drain in midden                                                                                              | Extra goothaken                                                                   |
| Drain             | Verstopingen                                                                       | Stijve gootdrager<br>Grovuulfilter in goot (visueel controleerbaar)                                          |                                                                                   |
| Kracht-opnemers   | Gevoeligheid gewasweging                                                           | Afschermen voor straling                                                                                     | Gevoeliger krachtopnemers                                                         |
|                   | Gevoelig voor hoek en torsie                                                       | T-effect in software compenseren                                                                             |                                                                                   |
| Gewas             | Gootgewicht = totaal -gewas Aanlopen                                               | Ketting of staaldraad onder en boven de opnemer<br>Gootgewicht apart direct wegen<br>Tomaat; niet rondleiden | Acentrisch belastbare opnemer<br>Zie Figuur 1<br>Kk; gewasdraad ver van gewasbalk |
| Liggende stengels | Gewicht liggende stengels trekt gewas schuin<br>Druppelslangen verward in stengels | Stengelbeugel<br>Doorvoerruimte tussen goot en beugel                                                        | Verdeelslang onder beugelhoogte                                                   |
| Gewasbalk         | Tekort                                                                             | Tomaat; dubbele balk<br>Tomaat; verschuifbare balk                                                           | Kk; inzetstuk                                                                     |
| Grafieken         | Standaard daggrafiek<br>Zelf-schalende y-as<br>Gootgewicht in grammen              | Periode traploos instelbaar<br>Vaste y-schaal<br>Keuze naar % water in substraat                             | Vrije keuze x-as                                                                  |

## 4.5 De basisaannamen

De huidige uitvoeringsvorm gaat uit van een aantal aannamen. Deze leiden niet tot fouten van praktische betekenis. Als het systeem ingrijpend aangepast wordt, of de gewenste nauwkeurigheid groter wordt, kan het nuttig zijn na te gaan of de aannamen hieronder nog gelden. Bijvoorbeeld als gewerkt zou worden met een niet afgedekt, vrij verdampend substraat.

De verdamping wordt gemeten als wateropname minus de versgewichtstoename. Hierbij wordt veronachtzaamd dat de groei niet alleen bestaat uit wateropname, maar ook uit toename in drooggewicht door de fixatie van koolstof uit koolzuurgas. Bij groentegewassen is het droge stof gehalte meestal 5-15%. Het is mogelijk een gewasspecifiek percentage droge stof groei te veronderstellen en in de berekening in te voeren. De verdamping zal hierdoor 1-2% nauwkeuriger geschat worden. Bij de huidige verdampingsverschillen tussen planten lijkt de fout door veronachtzaming van de droge stofgroei acceptabel.

De wateropname en de verdamping worden verhoogd door alle waterverlies uit het substraat, dus inclusief directe verdamping uit het substraat en de goot en water dat naast de goot valt. Zolang deze hoeveelheden klein zijn, zoals bij ingehoesd substraat en druppelaars recht op de pot, zijn ze verwaarloosbaar.

Er wordt aangenomen dat het plantgewicht storingsvrij opgehangen kan worden. In de praktijk verstoort een in de tijd wisselende stengelstijfheid de gewichtmeting. Van gewassen met stijve rechtop gaande stengels, zoals rozen of paprika's, kan het plantgewicht in het geheel niet gemeten worden, tenzij een matwatergehaltemeting beschikbaar is.

De groeimeting betreft alleen het hangende deel van de stengel met daaraan alle blad en vruchten. Bij hoge draad teelten zoals tomaat bevat de gootmeting het in de tijd iets toenemende gewicht van de liggende stengels. Het gewicht van de liggende stengels, voor een in de tijd toenemend deel, bestaat uit stengels van planten die niet aan de gewasbalken hangen. Omdat het voor het meten van de tot nu toe gebruikte parameters niet erg van belang is waar deze – kleine – afwijkingen terechtkomen, zijn ze veronachtzaamd. De verstoring wordt geschat op 50 gram die voornamelijk verrekend wordt op een gootgewicht van ongeveer 75.000 gram en op een matwatergehalte van 50.000 gram.

# Literatuur

- Adams, P., 1990. Effects of watering on the yield and composition of tomatoes grown in bags of peat. *J. Hort. Sc.* 65(6) 667-674.
- Baas, R., 2003. Praktische mogelijkheden planttemperatuurmetering nog beperkt. *Vakblad voor de Bloemisterij*, 58(2003)50, 42-43.
- Baas, R. 2003. On-line monitoring of protected crops and their environment: towards the speaking plant. *Proceedings IFS/Dahlia –Greidinger Symposium*, Izmir, Turkey
- Blok, C., De Graaf, R., 2000. Mogelijkheden van watergiftstartsystemen. PBG, Naaldwijk, The Netherlands.
- Burg, van den, N., 1996. Bacterieslijm teistert druppelaar. *Groenten + Fruit/Glasgroenten* 12 20-21.
- Disco, A., 2001. Verschil in dampdruk houdt verdamping gaande. *G+F* 16-3-2001 8-9.
- Ehret, D., Helemer, T., Bittman, S., 2003. Greater accuracy from direct crop measurements. *Fruit&Veg Tech* 3(2) 9-11.
- Ehret, D.L., Ho, L.C., 1986. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Botany* 37 (182) 1294-1302.
- Escobar-Gutierrez, A.J., Gaudillere, J.P., 1997. Carbon partitioning in source leaves of peach, a sorbitol synthesizing species, is modified by photosynthetic rate. *Physiol. Plant.* 100 353-360.
- Graaf, R., de, 1991. Hoog CO<sub>2</sub>-gehalte remt verdamping. *G+F* 4 70-71.
- Graaf, R. de ; Gelder, A. de, Blok, C., 2002. Inrichting en werkwijze voor het meten en sturen van de groei van gewas. Octrooi 1021856.
- Graaf, R. de ; Blok, C. ; Baas, R., 2003. Weeggoet verklapt verdamping en groei : meten. *Vakblad voor de Bloemisterij*. 58(2003)29, 34-35.
- Grange, R.I., Andrews, J., 1994. Expansion rate of young tomato fruit growing on plants at positive water potential. *Plant, cell and environment* 17 181-187.
- Haverkort, A.J., Marcelis, L.F.M., 1999. Voorspellen, plannen en bewaken van kwaliteit en kwantiteit in akker- en tuinbouwketens met behulp van gewasgroeimodellen. *@gro-informatica* 6 8-16.
- Heida, R., Rodenburg, M., Driel, van, B., Wezenberg, H., 1998. Werkwijze voor het inrichten en automatisch toedienen van vloeibare voedingsmiddelen aan planten. Octrooi 1008977.
- Ho, L.C., Grange, R.I., Picken, A.J., 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant, cell and environment* 10 157-162.
- Hubert, L., 1993. Neusrot op twee fronten bestrijden. *G+F* 18 16-19.
- Ieperen, van, W., 1996. Dynamic aspects of changes in electric conductivity on transpiration and growth of greenhouse-grown tomato plants. *J. Hort. Sc.* 71(3) 481-496.
- Kesting, L.C., Nieuwkoop, C.W., 1977. Inrichting voor het automatisch bewateren van in de open lucht of een kas groeiende planten en regelinrichting daarvoor. Octrooi 182274.
- Kitano, M., et al 1996. Interactive dynamics of fruit and stem growth in tomato plants as affected by root water condition I. Expansion and contraction of fruit and stem. *Biotronics* 25 67-75.
- Koning, de, A., 1990. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Koot, J. Th., 1992. Met klimaatinstellingen inspelen op verdamping. *G+F* 30 28-29.
- Kreijde, C., 1995. Latest insight into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.* 408 47-61.
- Lansbergen, L., 1992. Vocht laat schimmels welig tieren. *G+F* 14-8-1992 20-21.
- Li, Y.L., Stanghellini, C., 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Sc. Hort.* 89 9-21,
- Li, Y.L., 2000. Analysis of greenhouse tomato production in relation to salinity and shoot environment. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands
- Rijpsma, E.C. 2004. Ontwikkeling toepasbare temperatuurcompensatie voor gewichtsmeting van loadcellen. PPO Publication in print, Wageningen, The Netherlands.
- Spelt, J., 1998. Automatic watering device for potted plants. Octrooi 6161329.
- Stanghellini, C., Blok, Chr., Esmeijer, M., Kempkes, F., 2003. Strategieverkenning verdamping. Verlaagde verdamping als middel om energie te besparen. PPO GT13056, Wageningen, The Netherlands.
- Visser, P., 1998. Nieuw systeem regelt watergift komkommer. *Groenten en Fruit* 17-4-1998 18-20.
- Vogels, A.G.M., 1983. An apparatus for automatically watering plants. Octrooi 0140443.



## BIJLAGE 1    Specificaties metingen

Tabel 1 – Basis specificatie voor metingen, voorafgaande aan dit project (2002).

| Grootheid                  | Eenheid          | Nauwkeurigheid | frequentie |
|----------------------------|------------------|----------------|------------|
| Volume gift                | Liter            | 1%             | per gift   |
| EC gift                    | mS/cm (tuinbouw) | 5%             | per gift   |
| pH gift                    | PH               | 0.5            | per gift   |
| Watergehalte mat           | Liter            | 5%             | < 60 min.  |
| EC mat                     | DS/m             | 5%             | < 60 min.  |
| pH mat                     | PH               | 0.5            | < 60 min.  |
| Volume drain<br>centraal   | Liter            | 1%             | per gift   |
| volume drain<br>decentraal | Liter            | 1%             | per gift   |
| EC drain                   | DS/m             | 5%             | per gift   |
| pH drain                   | PH               | 0.5            | per gift   |
| Systeemgewicht             | Kg               | 100 g          | per minuut |
| Verdamping                 | Liter            | 1%             | <2 min.    |

NB      Dit zijn de specificaties die vóór de experimenten zijn opgesteld

## BIJLAGE 2 Hardware knelpunten

Knelpunten ontdekt bij de teelt van komkommer, tomaat en paprika. De ervaren beperkingen zijn niet altijd even ernstig, maar geven aan waar knelpunten zitten.

1. De loadcells zijn niet stabiel maar gevoelig voor temperatuur/straling. Op een leeg systeem worden veranderingen van goot gewicht gemeten, terwijl er geen verandering kan zijn.  
*Oplossing : de opnemer beschermen tegen directe straling. Temperatuurcorrectie op de sensor.*
2. Het gewas wordt niet goed gescheiden van de goot. Hierdoor is geen goede groeimeting mogelijk.  
*Oplossing : een extra draagarm vlak bij de blokken waar de stengel op gelegd kan worden. Deze draagarm hangt aan dezelfde opnemers als de gewasdraad. Voor houtige gewassen zoals paprika zal nagegaan moeten worden of scheiding mogelijk is tussen gewas inclusief blok en de goot met mat. Als dit niet mogelijk is kan bij deze gewassen de groei niet worden gemeten.*
3. De planten komen bij het hoge draad systeem buiten het bereik van de weeggoot te hangen. Hierdoor is het systeem niet meer gesloten.  
*Oplossing : Het systeem uitvoeren op twee goten naast elkaar waarbij het gewas rond gehangen wordt om het systeem.*
4. Bij meer dan twee loadcells voor gewas of goot is er sprake van onderlinge beïnvloeding van de belasting.  
*Oplossing: Maximaal twee loadcells per gewas /gootunit*
5. Gewasbespuiting is een extra watergift, die het systeem verstoort.  
*Oplossing : Geen. Het systeem is dan even niet bruikbaar. Er zal dan met modellen of historische data gewerkt moeten worden.*
6. De veronderstelling in berekeningen per dag is dat om 24.00 uur er altijd dezelfde situatie voor de mat is. Dit hoeft niet zo te zijn. Er kan kort daarvoor water zijn gegeven. Dit levert een verkeerde berekening op.  
*Oplossing : Een mogelijke benadering is om dag cijfers te bepalen vanaf de eerste watergift op dag 0 tot de eerste watergift op dag 1.*
7. Beweging van het systeem moet uit de data worden gehaald door stellen van grenzen. Als watergift en gewasonderhoud tegelijk plaatsvinden is het niet goed mogelijk dit uit de data af te leiden.  
Schommelingen, bijvoorbeeld door passeren van personen leiden tot korte verstoringen die sterke afwijkingen in momentane uitkomsten kunnen geven.  
*Oplossing: Meet de watergift en de tankleegloop via tellers en geef via signalen aan wanneer er sprake is van watergift of tankleegloop, zodat op dat moment geen andere grootheden worden berekend.*
8. De berekeningen met het systeem voor tomaat in 308 geven aan dat de groei in de daar gehanteerde opstelling niet goed te meten is.
  - \* De groei wordt sterk beïnvloed door de juistheid van de schatting voor de verdamping en daarmee voor de watergift. Een verschil in watergift van 3 % levert bij 33 beurten per dag een verschil in orde van één watergift. Dit is ongeveer gelijk aan de hele groei voor één dag. Dus een fout van 100 %.
  - \* Door samenvallen van situaties wordt een waterbeurt soms niet gemeten. Dit levert verschillen op. Een gemiste watergift is bij lage groei 100% fout.
  - \* Het systeem reageert niet direct op een watergeef beurt. Hierdoor komen schommelingen voor in de meting. Dit komt tot uiting in de gemeten en geschatte verdamping.*Oplossing : vergelijkbaar met 7. Door de instroom van water en de uitstroom beter te controleren is de bepaling niet afhankelijk van de metingen in het systeem.*
9. De draitank loopt te langzaam of te vaak leeg of stroomt over.  
*Oplossing: Draitank met voldoende inhoud en grote uitlaat opening. Draitank instroom blokkeren op moment van draitank leeglopen*
10. De drain wordt met vertraging gemeten omdat de goten een lengte hebben. Het drainwater wordt pas na verloop van tijd gemeten en over een langere periode  
*Oplossing : Kortere goten. Bijv maximaal 4 meter..*
11. De druppelslangen hangen aan het systeem.  
*Oplossing : Druppelslang ophangen in goot of aan draad.*

12. De goot hangt in zon of schaduw kant van een gewas, zodat verschillen kunnen optreden.  
Oplossing : Dubbel gootsysteem zie 3. dat zowel onder de goot als onder de nok van een venlo kas kan hangen.
13. De uitvoer van het huidige programma is niet eenduidig. Verschillende informatie in verschillende kolommen.  
Oplossing : Software die eenduidig is, met koppeling aan andere programma's. Een hardware ontwerp voor alle systemen.
14. De goot wordt door het gewas scheef getrokken en komt tegen staande goot aan en hangt daardoor niet meer vrij.  
Oplossing: Dubbele goten systeem met rond gehangen gewas.
15. Beweging en gewasonderhoud moeten uit de metingen worden afgeleid.  
Oplossing: Aanbrengen van detectie voor aanwezigheid van personen.
16. Er treed op een weeggoot naast verdamping door het gewas ook verdamping op vanuit andere delen.  
Dit is niet goed op te lossen. In feite wordt dit opgeteld bij de verdamping en water opname.

Voorwaarden voor een goed functionerend weeggoot systeem zijn dus: Fysieke scheiding van gewas, goot en drain. Geen gecombineerde wegingen waardoor eventuele afwijkingen niet eenduidig aan te wijzen zijn. Verder een gesloten systeem, met gecontroleerde watergift en drain. De software moet de berekeningen inzichtelijk verwerken en uitkomsten moeten zo min mogelijk geschat worden.

## BIJLAGE 3 Software

De watergift wordt, zoals in het voorgaande ten dele besproken, beschouwd als deel van een waterbalans tussen de aanvoer en het verbruik. In formule:

$$W = V + D + R + G + (S) \quad (1b)$$

W staat voor de totale watergift per tijdseenheid of per irrigatiebeurt. En is bekend door één of meer van de volgende methoden; a) uit de ingestelde waarde van het irrigatiesysteem, b) gemeten met een flow meter in de aanvoer, gemeten met een incidentele handmeting over een aantal druppelaars, d) door de gewichtstoename van G en S in een periode dat V en R waarschijnlijk 0 zijn (bijvoorbeeld in de nacht).

V staat voor de waterhoeveelheid bedoeld om de verdamping van het gewas te compenseren. De verdamping van het gewas is in de praktijk niet direct meetbaar. De verdamping van het gewas wordt gemeten door

$$dV = dD + dG + dS \quad (1c)$$

te veronderstellen. Hierbij wordt  $R=0$  verondersteld.

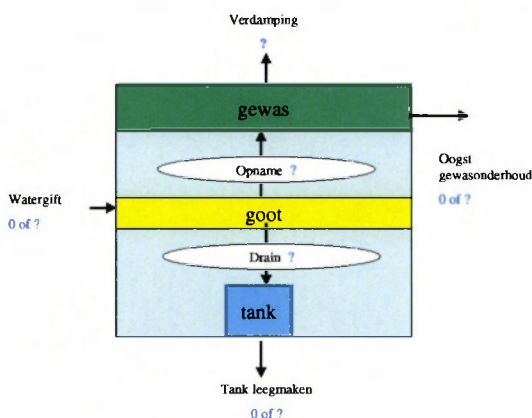
G staat voor de waterhoeveelheid nodig om het gewas te laten groeien in gewicht.

D staat voor de hoeveelheid water die gebruikt wordt om ongewenste zoutophoping rond de wortels weg te spoelen.

R staat voor de resterende waterhoeveelheid door, vaak onbekende, verliezen zoals lekken, verdamping van het substraat en druppelwater wat van het substraatoppervlakte af rolt.

De waterbalans van een gewas is een gesloten systeem. Alle water wordt of vastgelegd in het gewas in de vorm van groei of verlaat het gewas door verdamping. Een weeggoot is eveneens op te vatten als een gesloten systeem. Waarbij naast de opname door het gewas water verdwijnt via de drain.

$$\text{Watergift} = \text{Gewasgroei} + \text{Verdamping} + \text{Drain} \quad (2a)$$



De weeggoot is ontworpen om deze grootheden te meten. Gemeten worden de het gewicht van het gewas, de goot en de draintank per minuut. Deze gegevens zijn in principe voldoende om door berekeningen de overige grootheden te bepalen. Belangrijk daarvoor is dat gedurende een grootdeel van de tijd de watergift, het oogsten en gewasonderhoud en het leeglopen van de tank gelijk zijn aan 0.

|   |   |                                         |
|---|---|-----------------------------------------|
| C | = | Gewas                                   |
| D | = | Drain                                   |
| L | = | Tankleegloop                            |
| M | = | Goot plus mat                           |
| O | = | Oogst en gewas verwijderd bij onderhoud |
| T | = | Tank                                    |
| U | = | Opname water door gewas                 |

|    |   |                      |
|----|---|----------------------|
| Vg | = | Verdamping – geschat |
| Vm | = | Verdamping – gemeten |
| Vs | = | Verdamping - totaal  |
| W  | = | Watergift            |

Stappen in de berekeningen

1. Als watergift, tankleegloop en oogst en gewas onderhoud gelijk zijn aan 0, kan de verdamping in een minuut worden berekend uit de gewichtsverandering van het systeem.

$$Vm_t = \Delta_{(t,t-1)} T + C + M \quad \text{als } W = 0 \text{ en } L = 0 \text{ en } O = 0 \quad (2b)$$

2. Als watergift, tankleegloop of oogst gewasonderhoud niet gelijk zijn aan 0 moeten deze grootheden berekend worden uit de verandering van het systeem op dat moment. Omdat de verdamping nooit gelijk is aan 0, is er sprake van één vergelijking met twee onbekenden die niet is op te lossen. De oplossing kan langs twee manieren. De eerste is zorgen voor directe meting van watergift, tankleegloop of oogst, zodat de verdamping berekend kan worden. De andere is een schatting maken van de verdamping op basis van de verdamping in de tijd er voor, waarna de watergift, de tankleegloop of de oogst kan worden berekend. Omdat in de uitvoering van de weeggoten niet is voorzien in directe metingen moet de tweede methode worden gebruikt.

$$Vg_t = \overline{Vm_t} \quad \text{voor } t=t-2 \text{ tot } t-12 \quad (2c)$$

$$Vs = Vm_t + Vg_t \quad (2d)$$

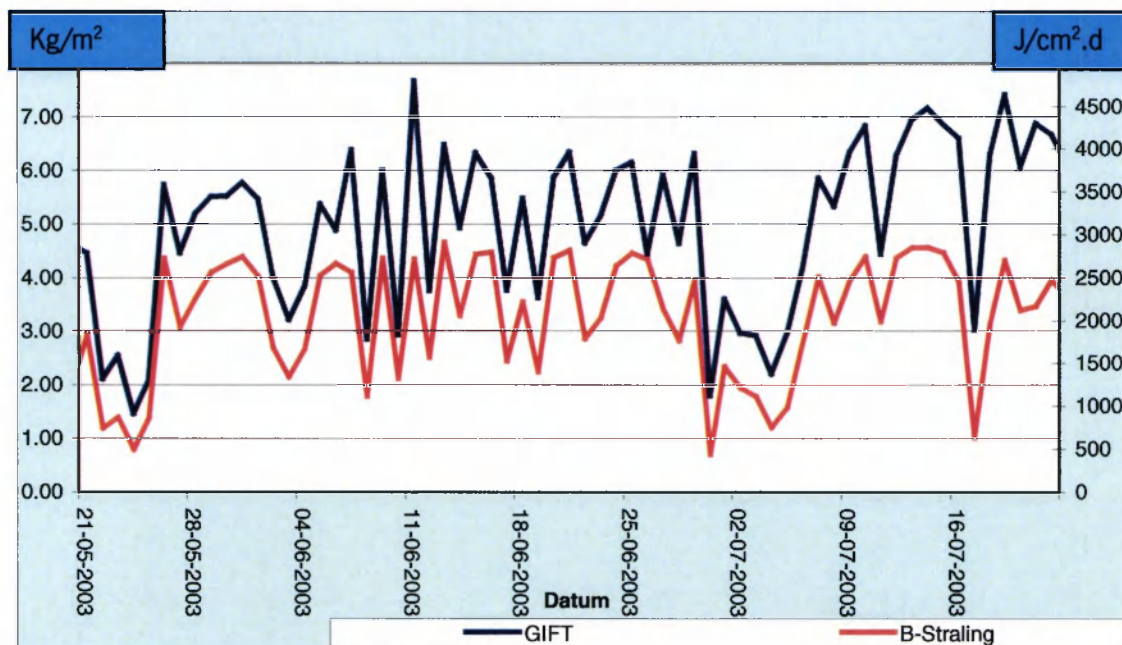
3. Als de verdamping op deze wijze op elk moment bekend is kan de watergift (W), de tankleegloop (L) of de oogst/ gewasonderhoud (O) worden berekend, waarbij de geschatte verdamping aan de formule uit de eerste stap moet worden toegevoegd. Als twee van deze zaken ( W, L of O) samen vallen zal net als bij verdamping een schatting moeten plaatsvinden.

Na berekening of schatting van de waterstromen in en uit het systeem kunnen de waterstromen binnen het systeem, drain (D) en wateropname door gewas (U), worden berekend. Als alle waterstromen bekend zijn kan de groei van het gewas worden berekend.

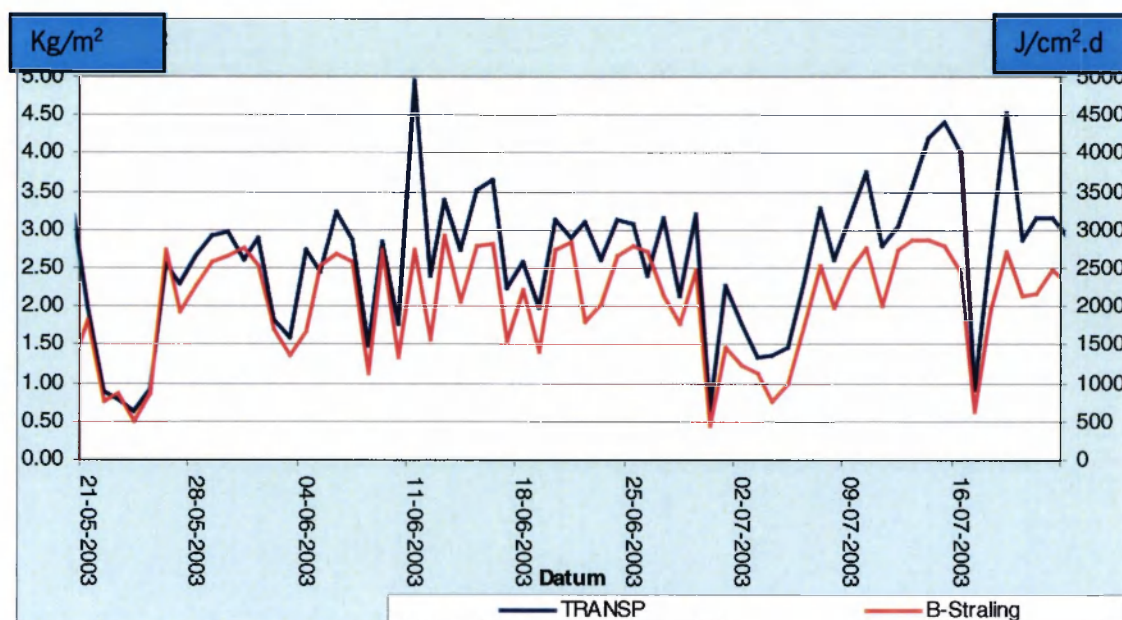


## Bijlage 4

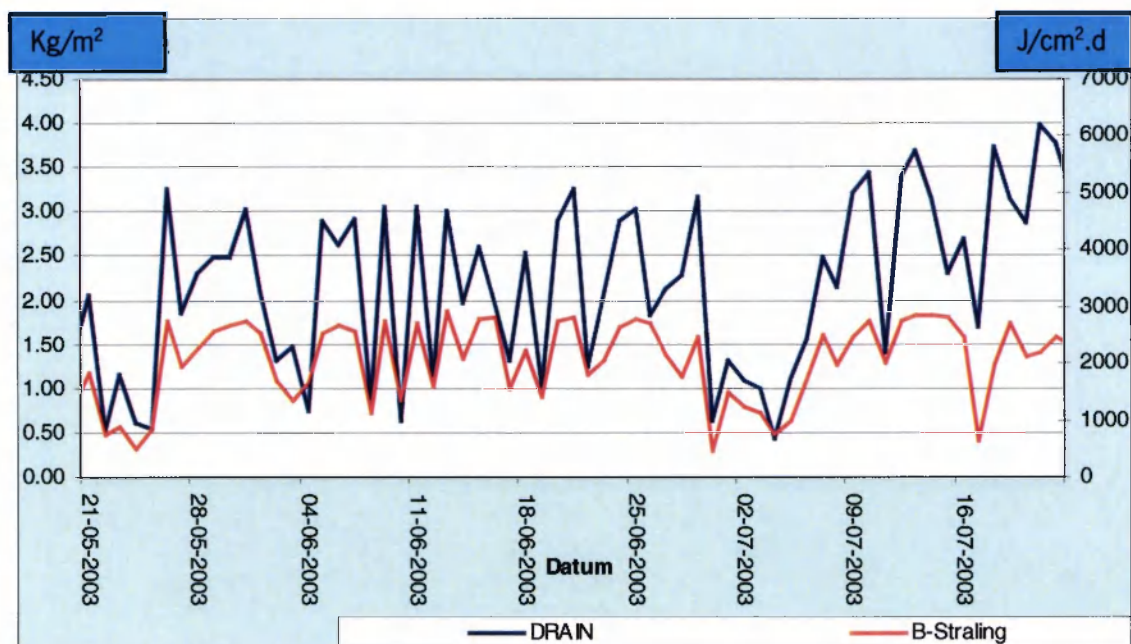
## Maandgrafieken



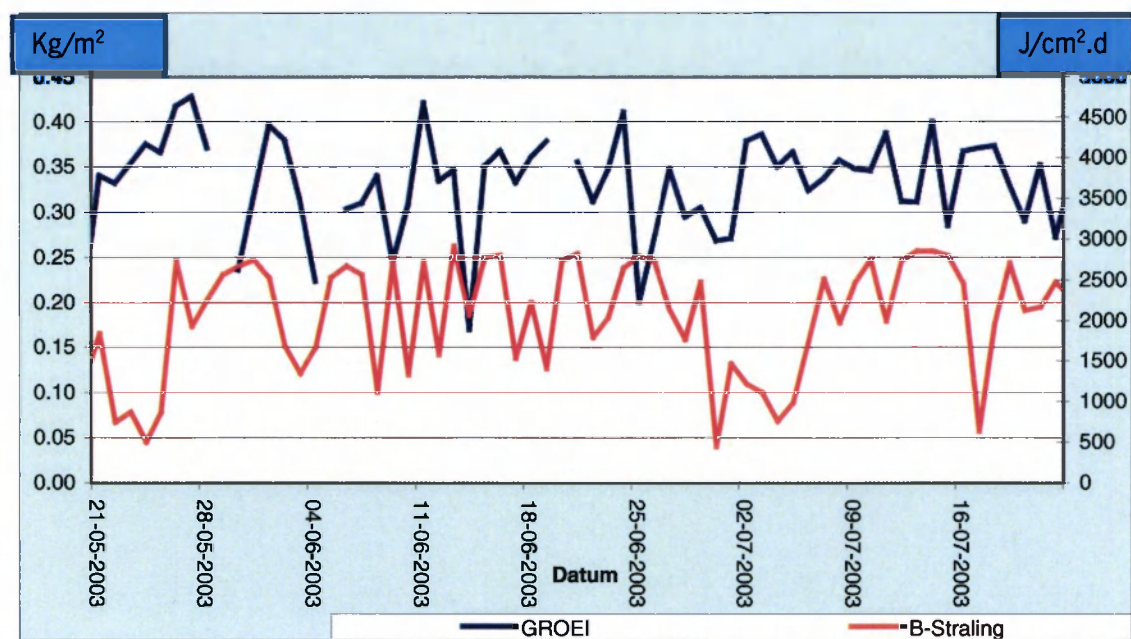
Figuur 1 Verloop giften Varekamp 2003



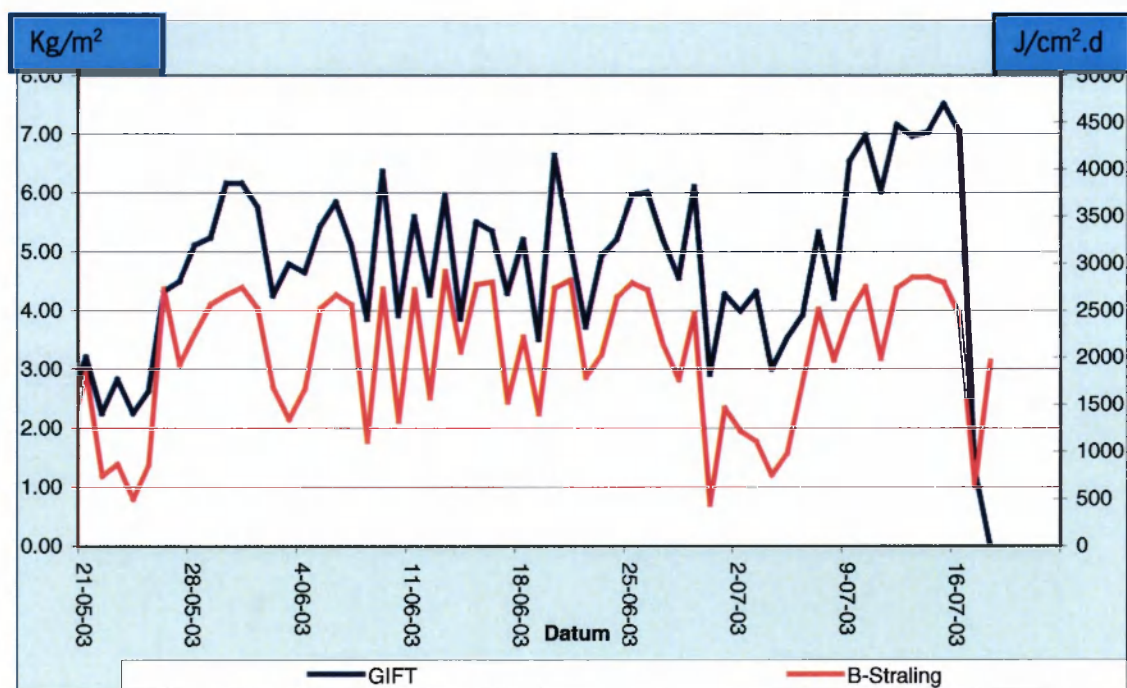
Figuur 2 Verloop verdamping Varekamp 2003



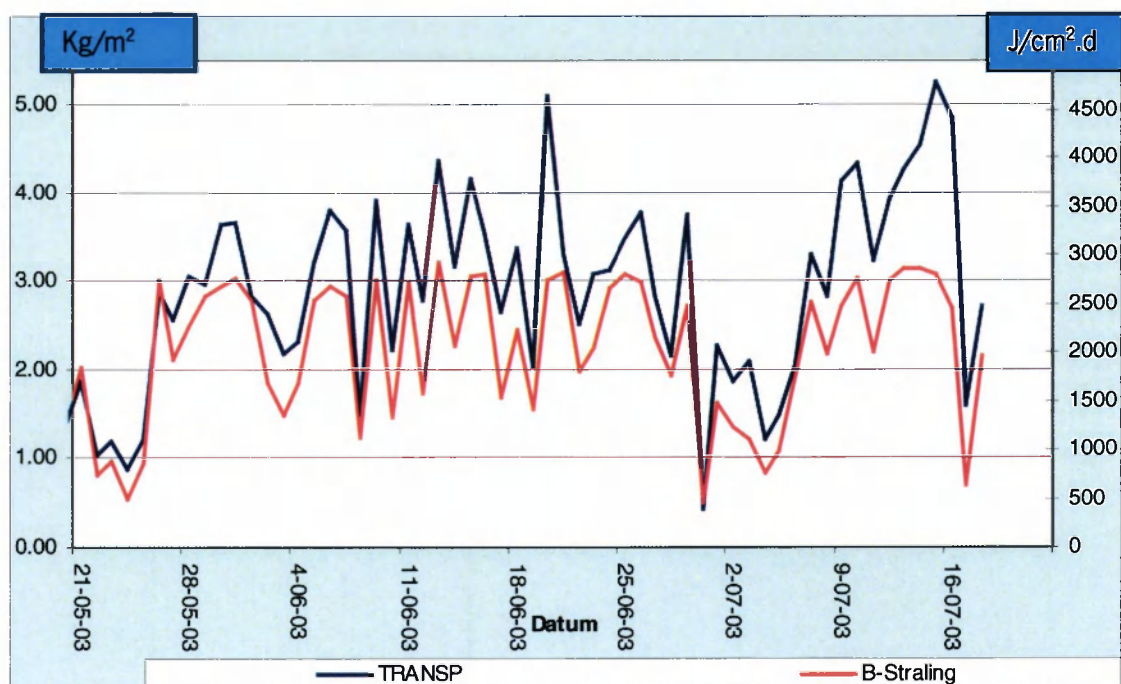
Figuur 3 Verloop drain Varekamp 2003



Figuur 4 Verloop groei Varekamp 2003

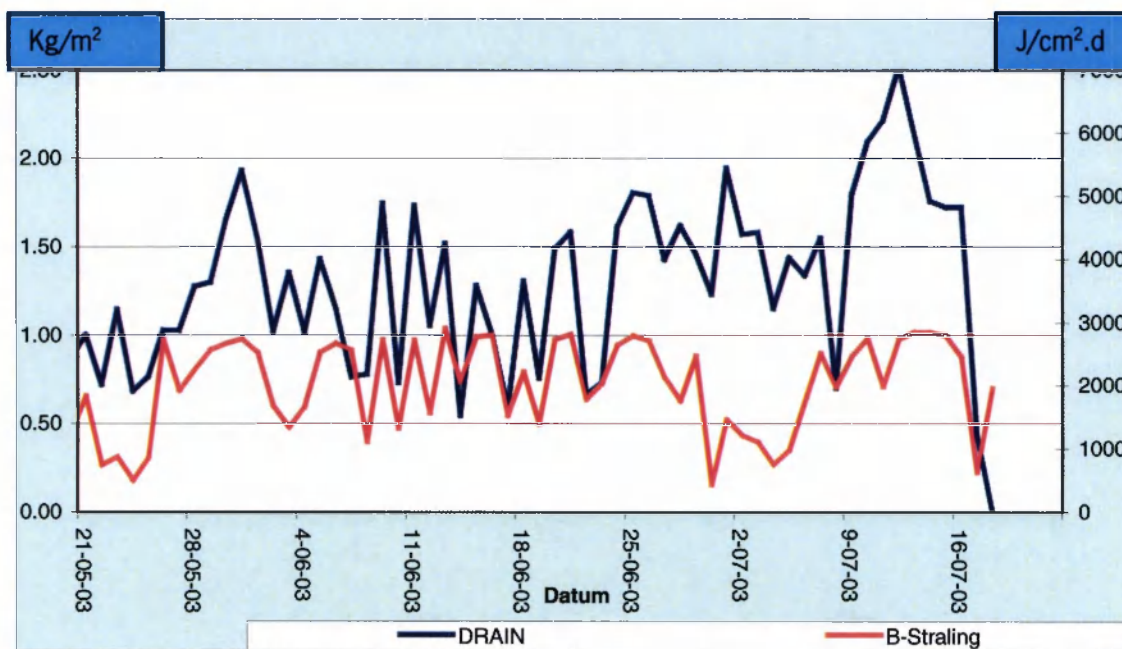


Figuur 5 Verloop giften van der Helm 2003

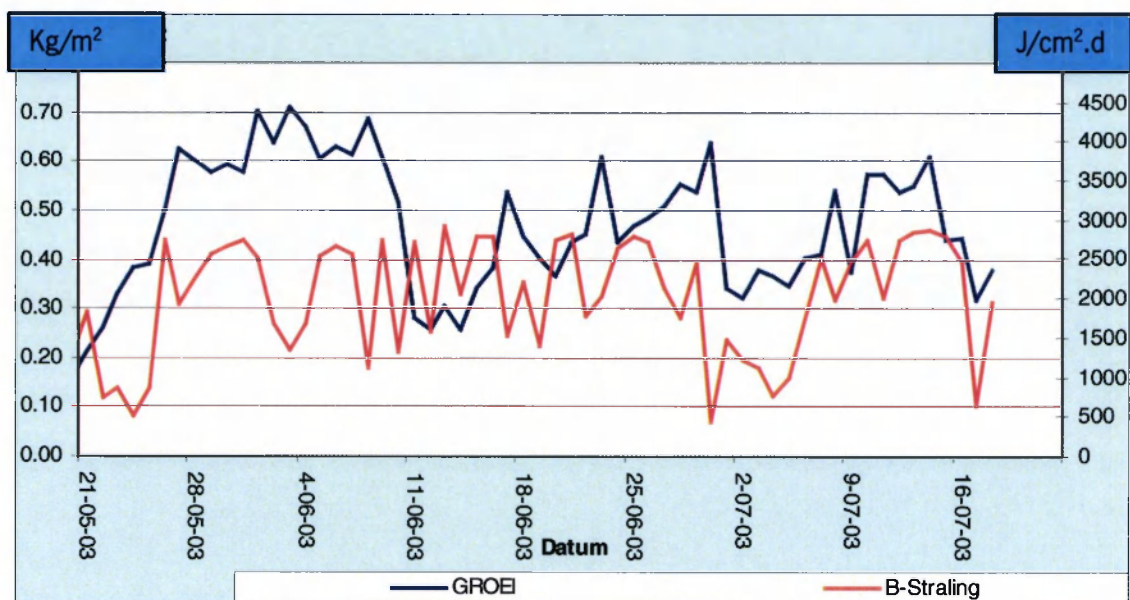


Figuur 6 Verloop verdamping van der Helm 2003





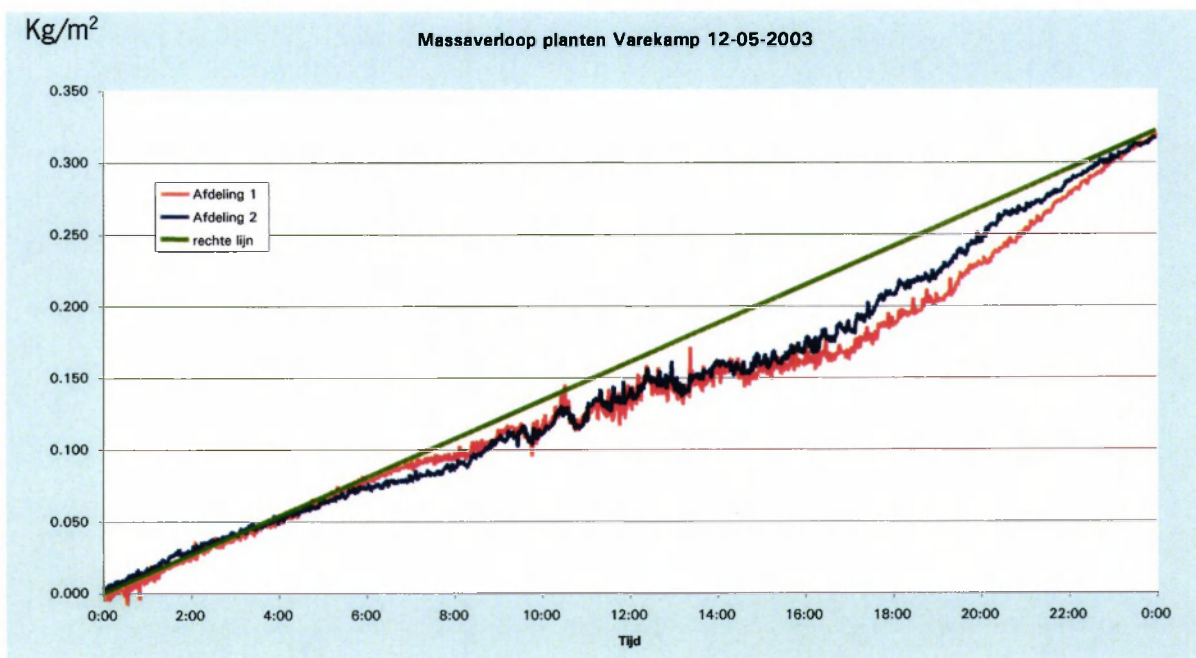
Figuur 7 Verloop drain van der Helm 2003



Figuur 8 Verloop groei van der Helm 2003

## Bijlage 5

## Voorbeeldgrafieken



*Figuur 1* Vertraagde versgewichtsgroei bij tomaat



## Bijlage 6 Toepassingen

De lijst met toepassingen omvat meer dan de drie directe metingen gootgewicht, plantgewicht en drainagegewicht. Door deze drie metingen te combineren met elkaar en met andere metingen zijn nieuwe toepassingen mogelijk. De lijst is bedoeld als aanzet voor de gedachtevorming en bevat naast feiten ook speculaties. In de bespreking wordt waar mogelijk aangegeven dat onvoldoende bekend is hoeveel voordeel met een regeling behaald kan worden. Voor de ontwikkeling is het belangrijk die metingen te ontwikkelen die snel te realiseren zijn en relatief veel voordeel leveren.

### Verdamping

De verdamping wordt voortdurend gemeten. Een voordeel boven andere systemen is dat een weeggoot zowel aanvoer als afvoer door verandering in gootgewicht, drainage, groei en verdamping meet. De balans tussen aanvoer en afvoer laat direct zien of de metingen betrouwbaar zijn. Dit is een voordeel bij automatisering van de watergift. Toepassingen;

- Automatiseren van de watergift
- Stressdetectie als er een vergelijk mogelijk is met oude gegevens, een model of een andere weeggoot
- Feedback correctie van een watergeefmodel om kleine maar langzaam oplopende afwijkingen te onderkennen
- Bedrijfsvergelijkingen
- Voorkomen van te hoge verdamping. Onder andere rozentelers werken nu met veel te veilige minimum buis regelingen.
- Als de verdampte waterhoeveelheid wordt omgerekend naar energie-inhoud, kan voor de kas een energiebalans worden opgesteld. De gevolgen van maatregelen kunnen hierdoor bedrijfsspecifiek berekend worden
- Als de verdampte hoeveelheid water wordt omgerekend naar waterdamp, kan een gas-uitwisselingsfactor voor de kas worden uitgerekend, analoog aan de bestaande op CO<sub>2</sub> verliesmeting gebaseerde systemen

### Matvochtgehalte

Het matvochtgehalte is bij hangende planten een afgeleide van het gootgewicht. Zowel teveel als te weinig water in het substraat heeft grote gevolgen voor de teelt (Adams, 1990). De watergift wordt soms al bewaakt met een matweger of FD-meter in het substraat. Het meten van het matwatergehalte is een voorwaarde voor een aantal bekende en onbekende toepassingen;

- Met gemeten matwatergehalte kunnen onder- en bovengrenzen voor matwatergehalte ingesteld worden. Dit betekent, dat veiliger dan voorheen geteeld kan worden.
- Het matwatergehalte kan dynamisch ingesteld worden om de balans generatief / vegetatief te beïnvloeden Dit wordt al handbediend toegepast bij de start van de tomatenteelt.
  - Er kan ook veilig een bepaalde intering in de nachtperiode worden nagestreefd.
  - Het matwatergehalte kan seizoensafhankelijk worden ingesteld
- Als om de een of andere reden de matten gespoeld zijn, kan op basis van gemeten matwatergehalte **en** verdamping de gift na spoelen worden beperkt.
- De invloed van ingrepen als spoelen kunnen volgen op groei en verdamping.

### EC en pH

EC en pH zijn metingen die ook zonder een weeggoot uit te voeren zijn. In combinatie met de gegevens van de weeggoot kan veel richter worden geregeld.

De EC heeft grote invloed op de versgewicht productie (Ehret en Ho, 1986), de kwaliteit (Hubert, 1993) en de ziektegevoeligheid van de plant (Lansbergen, 1992). De EC kan bij een weeggoot eenvoudig gemeten worden in het drainagewater en / of met een FD-meter in het substraat.

De pH in de mat is vanaf pH 6.0 in toenemende mate van invloed op de opbrengst (De Kreij, 1995). Tot nu toe is er geen enkele vorm van automatische controle en regeling van mat pH. De pH kan gemeten worden

in het drainwater. Er is ook een elektrode op de markt die in substraat gestoken kan worden, de Elmeco meter van BE-DeLier.

- Met gemeten EC **en** drain **en** verdamping, kan de opnameconcentratie van de plant geschat worden. De opnameconcentratie van de plant wordt in PPO-proeven met succes toegepast als feedback regeling van de EC van de gift. Het voordeel van de resulterende stabielere mat-EC is:
  - Het nitraatgehalte in de voeding is beter instelbaar waardoor de balans vegetatief / generatief gestuurd kan worden.
  - De K/Ca verhouding wordt beter instelbaar waardoor neusrot kan afnemen.
- Met gemeten EC **en** drain **en** verdamping, kan de opnameconcentratie van de plant geschat worden. Deze kan, net als bij versgewichtstoename, gebruikt worden als een groeimeting maar daar is de meting van versgewichtstoename geschikter voor. Het is wel een onafhankelijke controlemogelijkheid op versgewichtstoename en eventueel gebruikte groeimodellen.
- Voorkomen van EC-schok in de morgen. Na de nacht is de mat-EC hoger dan de druppel-EC. Als hier geen rekening mee wordt gehouden kan de druk in de plant door snelle wateropname hoog genoeg worden voor vruchtscheuren in tomaat, *Mycosphaerella* op vocht in de bloemen van komkommer en mogelijk stengelbotrytis door uitgedrukt wondwater.
- Op basis van gemeten pH kan de pH van de gift zo nodig aangepast worden.
- Preventief kan de hoeveelheid  $\text{NH}_4$  worden ingesteld op een maximale hoeveelheid per  $\text{m}^2$  per dag. Dit voorkomt een te hoge gift, een belangrijke oorzaak van incidenteel zeer lage pH's in het late voorjaar.
- Op basis van gemeten pH kan de hoeveelheid Ammonium worden verhoogd, of, als het plafond is bereikt, de hoeveelheid Kalium en Calcium. In alle gevallen zal de pH dalen doordat de plant zuur zal gaan uitscheiden. De pH wordt dus verlaagd waar dat effectief is, op de wortel.

## Drain

De voordelen van een goede drainagemeting zijn in de praktijk bekend. Flowmeters per kraanvak of kas worden als buitengewoon onbetrouwbaar ervaren. De drainagemeting wordt gebruikt voor;

- Het instellen van een gewenst drainagepercentage per beurt maakt het mogelijk al bestaande handmatig ingestelde en dagelijks gecontroleerde regelingen te automatiseren.
  - Geen drain in de eerste twee beurten op een dag
  - Drain realiseren vóór 12 uur, of een andere gewenste tijd
- Op basis van gemeten drainagehoeveelheid kan besloten worden op een dag met veel straling het drainagepercentage automatisch te verlagen van 30% naar 15% omdat na een zekere hoeveelheid drain voor die dag al voldoende is doorgespoeld. Ook deze regeling wordt door sommige telers handmatig bewaakt.

## Groei

De versgewichtstoename van de plant kan gebruikt worden als een schatter van de actuele productie en als schatter voor de voedingsopname op een schaal van dagen (Figuur 18).

- De groei van de plant kan gebruikt worden oogstvoorspellingen en feedbackcontrole op oogstvoorspellers. Oogstvoorspellingen spelen met name een rol bij teelten waarbij het van belang is een minimum kwaliteit op een van tevoren geplande datum te leveren (Haverkort en Marcelis, 1999).
- Gemeten groei betekent dat een algemeen groeimodel bedrijfsspecifiek ingesteld kan worden.
- Gemeten groei kan met de modelgroei vergeleken worden. Dit levert informatie over de plantconditie. Een bekend verschijnsel is de aanvankelijk sluipende afname van de groei door te laag bladoppervlakte.
- Nog verdergaand is het vergelijken van de gemeten groei met richtcijfers van bijvoorbeeld een onderzoeksinstelling over een langere periode. Hiermee kan een indruk worden verkregen van de absolute prestatie van het gewas.
- De groei als schatter van de voedingsopname. Bij een donkere dag na een lichte periode wordt veel minder water en voeding gedoseerd. De verdamping neemt direct met het licht af, maar de voedingsopname blijft nog enkele dagen hoog. Door hier rekening mee te houden wordt de EC-mat stabiel. Het belang hiervan is uitgelegd onder het kopje EC.
- Een weeggoet meet versgewichtstoename **en** het geoogst gewicht. Een controle op het geoogst gewicht is mogelijk met de oogstregistratie gegevens van het tuinpersoneel.

## Stress

Stress is een ruim begrip. In dit geval gaat het om een verdamping die achterblijft bij een referentie. Verschillende referenties zijn mogelijk, zoals de verdamping bij studieclubbedrijven en / of modellen.

- Een curatieve stressbewaking; meten en eventueel ingrijpen als de verdamping achter blijft bij de referentie.
  - Bij bespuitingen die verdampingsremmend werken. Als de verdamping onder een grenswaarde zakt, kan geschermd worden.
  - Om problemen te signaleren; ziekte, te weinig bladoppervlakte, te sterke verdamping
- Een preventieve stressbewaking is ook mogelijk door de verandering van de verdamping te bewaken, dat is de afgeleide van de verdamping. Er zijn nog geen onderbouwde regelwaarden bekend maar er wordt door enkele tuinders wel op geregeld!
  - Regelacties met scherm
  - Regelacties met daksproeiers
  - Regelacties met EC-gift hoewel deze nog niet bekend zijn uit de praktijk
- Veel aandacht gaat momenteel uit naar de meting van planttemperatuur voor het voorkomen van condensatie. Het ligt voor de hand de plant temperatuurmeting en de weeggoet metingen te combineren.

## Verdamping en energie

Zonder verdamping zou de bladtemperatuur kunnen oplopen tot zeventig graden Celsius. Met de waterdamp voert de plant een grote hoeveelheid energie af. Door nauwkeurig de verdamping te meten is het mogelijk een beter beeld te krijgen van de energie-afvoer in de kas.

- Als de verdampte waterhoeveelheid wordt omgerekend naar energie-inhoud, kan voor de kas een energiebalans worden opgesteld. De gevolgen van maatregelen kunnen hierdoor bedrijfsspecifiek berekend worden.
- Als de verdampte hoeveelheid water wordt omgerekend naar waterdamp, kan een gasuitwisselingsfactor voor de kas worden uitgerekend, analoog aan de bestaande op CO<sub>2</sub>verlies meting gebaseerde systemen.