



# Verdamping Balans tussen noodzaak en overmaat

Kennisinventarisatie en analyses van vocht gerelateerde  
fenomenen in lopende projecten

Arie de Gelder

Rapport GTB-1383

## **Referaat**

Wageningen UR Glastuinbouw heeft in opdracht van Kas als Energiebron een inventarisatie in de literatuur en in lopende kasproeven gedaan, naar het verlagen van de verdamping om energie te besparen. Verdamping heeft vooral effect op de energie balans en het watertransport in de plant. De beperking van de verdamping in de nacht zal effect hebben op de wateropname door de wortel en daarmee op de Calcium opname. Een te geringe wateropname in de nacht zal zich in de eerste plaats uiten in een aan Ca gebrek gerelateerd probleem. De energiebalans en een balans van de vochtspanning zijn door de plant te beïnvloeden via de huidmondjesopening en hebben via die weg invloed op de CO<sub>2</sub> opname. In de nacht is opname van CO<sub>2</sub> niet van belang. Er is niet één factor die als sterke stuurfactor gebruikt kan worden om huidmondjes in de nacht gericht te laten sluiten. Kennislacunes rond de wateropname en verdamping in de nacht zijn: hoe lang mag een periode met hoge luchtvochtigheid aan het begin van de nacht duren, hoe kan de wateropname via de EC in relatie tot weerovergangen gestuurd worden, hoe kunnen de wortelactiviteit en het substraatvolume geoptimaliseerd worden, en wat moet de minimale verdamping in de nacht zijn voor de minimaal benodigde opname van Ca. In de praktijk zal minimaliseren van verdamping betekenen dat er vochtiger, met veel isolatie en weinig luchtbeweging geteeld moet worden.

## **Abstract**

Wageningen UR Greenhouse Horticulture made an inventarisation of knowledge about evaporation in greenhouses regarding to energy saving. Evaporation is especially effective on the energy balance and water transport in the plant. The limitation of the evaporation in the night will have an effect on the water uptake by the roots, and thus on the Ca uptake. A too low absorption of water during the night will manifest itself in the first place in a lack of Ca related problem. The energy balance and a balance of moisture stress by affecting the plant through the stomata opening and have through that affect CO<sub>2</sub> uptake. There is no single factor which can be used as a strong steering factor oriented to align the stomata in the night.

Knowledge gaps around the water absorption and evaporation in the night are: how long can we permit a situation of high humidity in the early night; how can we steer water uptake by EC in relation to changes in weather; how can we optimize root activity and substrate volume; what is the minimum evaporation for Ca uptake during the night? In practice, minimizing evaporation means growing at higher humidity, with high isolation and little air movement.

Dit project / onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland.

## **Rapportgegevens**

Rapport GTB-1383

Projectnummer: 3742199800

## **Disclaimer**

© 2016 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenUR.nl/glastuinbouw). Wageningen UR Glastuinbouw.

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

## **Adresgegevens**

### **Wageningen UR Glastuinbouw**

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Water: Breed en begrensd</b>	<b>9</b>
	2.1 Functie van water	9
	2.2 Praktijkvragen	10
	2.3 Verdamping en energie	11
	2.4 Substraatteelt	11
	2.5 Afbakening van het onderzoek	12
<b>3</b>	<b>De drijvende kracht bij verdamping in de nacht</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Verlaging nachtverdamping</b>	<b>15</b>
	4.1 Hogere luchtvochtigheid	15
	4.2 Luchtbeweging	15
	4.2.1 Luchtbeweging of diffusie	16
	4.3 Huidmondjes	16
	4.4 Activeren	16
<b>5</b>	<b>Huidmondjes: sturen en gestuurd worden</b>	<b>19</b>
	5.1 Luchtvochtigheid en huidmondjes	19
	5.2 Modellen	20
	5.3 De energiebalans	21
	5.4 Stand van het huidmondje	22
	5.5 Conclusie	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Watergift en substraat in relatie tot verdamping</b>	<b>23</b>
	6.1 Percentages versus volumes	23
<b>7</b>	<b>Aanpassingsvermogen van planten aan wisselende omstandigheden voor verdamping en wateropname</b>	<b>25</b>
	7.1 Compensatie van lage nacht verdamping door hoge dag verdamping	26
<b>8</b>	<b>Volgen van experimenten</b>	<b>27</b>
	8.1 Venlow-energie kas	27
	8.2 Verdamping bij de Perfecte Roos	27
	8.3 Analyse Mycosphaerella in Het Nieuwe Telen bij komkommers	27
	8.4 Analyse van Broeikop bij gesloten hoog isolerende schermen in komkommer	27
<b>9</b>	<b>Richtlijnen cq vuistregels</b>	<b>29</b>

<b>10</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>31</b>
	10.1 Kennisinventarisatie	31
	10.2 Aanbevelingen	32
<b>11</b>	<b>Literatuur</b>	<b>33</b>
	<b>Bijlage 1 Publicaties over verdamping</b>	<b>37</b>
	<b>Bijlage 2 Verslag van de bijeenkomst Kennis interactie: Verdamping in de nachtelijke uren</b>	<b>39</b>
	<b>Bijlage 3 Verdamping en elementen</b>	<b>41</b>
	<b>Bijlage 4 Verdamping beperken bij Gerbera</b>	<b>45</b>
	<b>Bijlage 5 Resultaten metingen met een weegoot in de Venlow Energy kas 2013</b>	<b>47</b>
	<b>Bijlage 6 Verdamping roos in: Een Perfecte Roos, Energiezuinig geteeld</b>	<b>55</b>
	<b>Bijlage 7 Mycosphaerella in komkommer</b>	<b>57</b>
	<b>Bijlage 8 Broeikop in Sunergie kas: Een poging tot analyse</b>	<b>61</b>

# Samenvatting

In het rapport Verdamping balans tussen noodzaak en overmaat wordt vanuit fysische en fysiologische perspectief de verdamping van een plant benaderd.

Verdamping heeft vooral effect op een fysisch proces: de energie balans en het watertransport in de plant. De beperking van de verdamping in de nacht zal effect hebben op de wateropname door de wortel en daarmee op de Ca opname. Een te geringe wateropname in de nacht zal zich in de eerste plaats uiten in een aan Ca gebrek gerelateerd probleem. Fysiologisch gezien zijn er vooral voor Ca opname (onder-)grenzen voor de verdamping. Verdamping voor koeling is alleen nodig als er energietoevoer is door instraling van de zon.

De fysische processen zijn uitvoerig beschreven door Van Weel en Voogt (2012) en Stanghellini (2009). Het gaat daarbij om een energiebalans en een balans van de vochtspanning. Deze processen zijn door de plant te beïnvloeden via de huidmondjesopening en hebben via die weg invloed op de CO<sub>2</sub> opname. In de nacht is opname van CO<sub>2</sub> bij de meeste gewassen niet van belang, uitzonderingen zijn planten met CAM fotosynthese.

Uit de praktijkervaring is duidelijk dat een hoge mate van uniformiteit in het kasklimaat voorwaarde is voor een uniforme en kleine verdamping. Elke verstoring van de uniformiteit leidt tot inhomogeniteit in de verdamping. Enige inhomogeniteit kan worden geaccepteerd vanuit het oogpunt van verdamping maar niet vanuit het risico op condensatie.

Kennislacunes rond de wateropname en verdamping in de nacht zijn:

1. De toegestane duur van periode van hoge luchtvochtigheid aan het begin van de nacht.
2. De sturing van de wateropname en ontwikkeling via de EC in relatie tot weersovergangen
3. Het belang van de wortelactiviteit en het substraatvolume en hoe deze beide zijn te optimaliseren voor gewassen.
4. De minimale opname en verdeling van Ca in de nacht in relatie tot een minimale verdamping.
5. Kan een overgang van donker naar zonnig weer worden opgevangen door tijdelijke verlaging van de EC van het voedingswater op de eerste lichte dagen?

In de praktijk zal het betekenen dat er vochtiger, met veel isolatie en weinig luchtbeweging geteeld moet worden om een beperkte verdamping te bereiken.

Er is niet één factor die als sterke stuurfactor gebruikt kan worden om huidmondjes in de nacht gericht te laten sluiten.

Vanuit acceptatie van het Nieuwe Telen is het niet aan te bevelen om het substraat- en watergeefstelsel volledig te herzien. Vanuit oogpunt van sturing van de verdamping is het aan te bevelen om het substraatvolume beperkt te houden.

Onder 'activeren' wordt in de praktijk verstaan het forceren van de verdamping, door met name energie toe te voeren in combinatie met vocht af te luchten. Activeren is voor groei en ontwikkeling echter niet nodig. Het feit dat activeren zo'n sterke drijfveer is bij de telers en voorlichters betekent dat nogmaals moet worden gedemonstreerd dat met een aangepaste stook- en ventilatiestrategie uitstekend te telen is.



# 1 Introductie

Het project: "Verdamping: balans tussen noodzaak en overmaat" is uitgevoerd in 2013. De doelstelling van het project is: *"Op basis van argumenten en experimenteel bewijs de grenzen en bandbreedtes vaststellen voor de minimaal benodigde verdamping van gewassen en dus minimale energie input om optimaal te kunnen telen met behoud of zelfs verbetering van plantgezondheid en productkwaliteit. Door aansprekende proeven of teelten de kennis ontwikkelen en de fysiologische verklaring tonen voor telen met minimale verdamping."*

De aanpak in het project is dat eerst een kennisinventarisatie wordt gedaan en daarna zo nodig experimenten. Het traject van kennisinventarisatie is veel langer geworden dan gepland en tijdens dat proces bleek dat er uit analyses van lopende projecten en discussies rond de invoering van Het Nieuwe Telen in de praktijk al veel extra informatie was te verkrijgen. De uitvoering van het projectplan is daarom aangepast, zodat met deze informatie gewerkt kan worden in plaats van specifieke experimenten. Dit rapport beschrijft de informatie zoals die uit de verschillende vormen van kennis verzameling naar voren is gekomen en geeft aanwijzingen voor praktische toepassing van minimale verdamping bij de invoering van Het Nieuwe Telen.

Het thema: Verdamping van water – beperking, beheersing of stimulering - staat bij het programma Kas als Energiebron al vanaf het begin op de agenda. Er zijn meerdere projecten uitgevoerd die aspecten van verdamping in relatie tot energiebesparing onder de loep hebben genomen (Voor voorbeelden van publicaties zie bijlage 1).

In dit rapport wordt de verdamping van water door de plant bekeken in relatie tot het gebruik aan fossiele energie voor de teelt. Energiebesparing is mogelijk als de verdamping zonder nadelige gevolgen voor de plant omlaag kan. Over het proces van verdamping en de wijze waarop een plant dit via het functioneren van de huidmondjes reguleert is heel veel geschreven. Het voert te ver om dit in zijn geheel te behandelen. Daarom wordt in deze kennisinventarisatie eerst het onderwerp afgebakend tot die punten waarop energie besparing mogelijk is.

De kennis uit de inventarisatie is toegepast op een aantal praktische situaties uit teelten en lopende proeven.



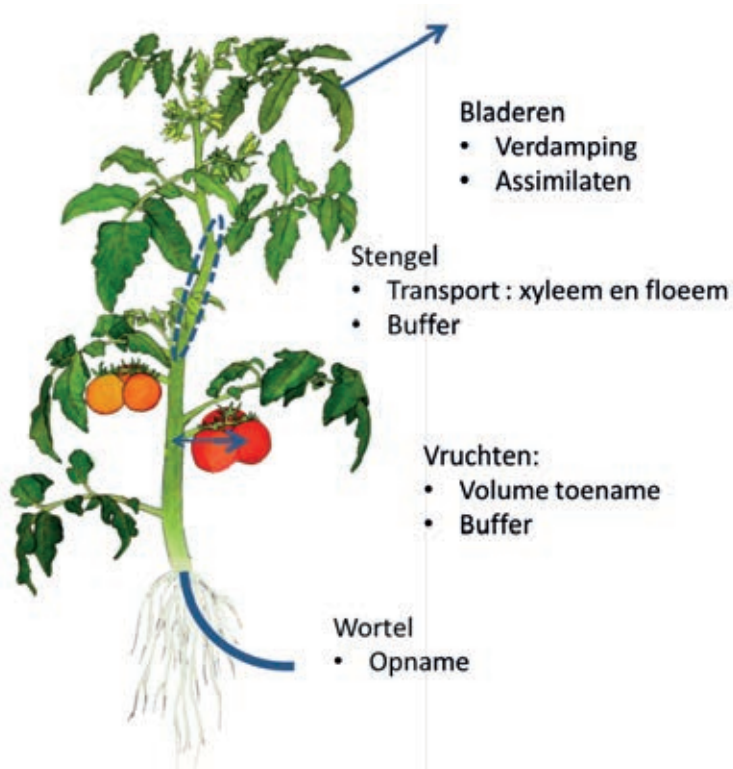


## 2 Water: Breed en begrensd

### 2.1 Functie van water

Een plant bestaat voor een groot deel uit water. Het watergehalte verschilt tussen gewassen en plantedelen. Bijvoorbeeld 97% voor een komkommervrucht (Marcelis, 1993) en slechts 20% in hout (McKendry, 2002). Binnen een tomatenplant verschillen vruchten, bladeren en stengels in watergehalte met gehalten van ongeveer 89, 88 en 94% (Heuvelink, 1995). Voor Poinsettia is het watergehalte ongeveer 84% (Buwalda *et al.* 2012). Rozentakken hebben afhankelijk van cultivar en seizoen een watergehalte van 75 tot 83 % (Schapendonk *et al.* 2009). De gehalten in steel, blad en bloem zijn voor First Red bijvoorbeeld resp. 74%, 69% en 82% (Eveleens *et al.* 2004). In de meeste onderzoeken wordt niet het watergehalte genoemd, maar het drogestof percentage of de hoeveelheid drogestof, omdat de plant de energie van de fotosynthese in drogestof heeft vastgelegd.

De droge stof is vooral vastgelegd in celstructuren. Maar ook de suikers en eiwitten opgelost in water om in cellen en transportvaten het plantensap (cytosol, xyleem en floeem) te vormen dragen bij aan het geheel van droge stof van de plant. Het plantensap heeft door de opgeloste stoffen –vooral nutriënten en suikers- een bindende kracht voor water. Deze is groter naarmate er meer stoffen zijn opgelost. Voor nutriënten en suikers gaat het om optimale concentraties die afhankelijk zijn van de andere omstandigheden. Voor het functioneren van een plant is water van levensbelang. Het is goed om de functies van water in en voor de plant voor ogen te hebben en te houden.



**Figuur 1** Beknopte weergave waterrelaties voor een plant.

De term *buffer* geeft een complexe situatie aan waarvoor naast water ook de concentratie van stoffen zoals nutriënten en assimilaten belangrijk is. Voor deze stoffen gaat het om optimale concentraties die kunnen fluctueren afhankelijk van de omstandigheden.

Water heeft in en voor de plant de functies van:

1. Koelmiddel voor de bladeren.
2. Drager en transport medium voor nutriënten.
3. Drager en transport medium voor suikers en signaalstoffen, zoals hormonen.
4. Basis bestanddeel van de cel, dat zorgt voor een goede turgor (celspanning) zodat de cel zijn volume en vorm kan behouden.
5. Bouwstof in de fotosynthese.

Onderling zijn er verbanden tussen de verschillende functies van water in de plant. In Figuur 1 zijn schematisch de belangrijkste onderdelen van de waterhuishouding voor een plant weergegeven. Voor elk van deze functies is zeer uitvoerig onderzoek gedaan op verschillende niveaus van detaillering en vanuit verschillende invalshoeken. Het voert veel te ver om dat in dit overzicht geheel te willen uitwerken.

Water komt in de plant door opname via de wortels en verlaat de plant via verdamping. Een deel van het water komt terecht in geoogst product of blijft achter in de plant. Tussen verdamping en opname is een sterke relatie, maar verdamping en opname zijn niet exact gelijk in de tijd en niet exact gelijk in volume. De opname neemt veelal toe als reactie op een sterkere verdamping en blijft na het teruggaan van de verdamping nog enige tijd op een hoger niveau. De plant functioneert daarbij als een buffer met beperkte capaciteit. Bij sterke verdamping kan eerst water aan de vruchten en stengel worden onttrokken terwijl daarna de wateropname via de wortels toeneemt. Omdat dit proces passief werkt, zal er tegelijk water uit de plantdelen worden onttrokken en worden opgenomen via de wortels. Verdamping heeft dus tot gevolg het onttrekken van water aan de plant, daardoor wordt de osmotische waarde van celvocht hoger en zal er minder water onttrokken kunnen worden, tegelijk zal de opname van water via de wortels toenemen. De wateropname zal iets achterlopen op de verdamping. Als vervolgens de verdamping afneemt, blijft de opname tijdelijk groter dan de verdamping en zal de plant de buffers weer vullen en in volume en gewicht toenemen. Daarna daalt ook weer de wateropname (De Graaf *et al.* 2004).

In de regulatie van de verdamping hebben de huidmondjes een centrale rol. De huidmondjes kunnen openen en sluiten door fysiologische processen in de sluitcellen. Bij gesloten huidmondjes is de verdamping beperkt. Dan kan er alleen verdamping aan het oppervlak van een blad plaatsvinden. Op de sturing van huidmondjes wordt verder ingegaan in hoofdstuk 5.

Voor het transport van assimilaten en hormonen in de plant via het floëem wordt water als transportmedium gebruikt. Dit water kan daarna via dwarsverbindingen weer opgenomen worden in het xyleem om met de waterstroom uit de wortels weer naar vrucht of blad te gaan.

## 2.2 Praktijkvragen

Bovenstaande beknopte weergave beschrijft in algemene termen de functie van water in en voor de plant. Dit laat zien dat de functies van water voor de plant een heel breed onderwerp is om te bespreken. Daarom moet er een duidelijke begrenzing zijn om het onderwerp verdamping in relatie tot Het Nieuwe Telen te kunnen behandelen, waarbij grenzen voor verdamping worden aangegeven en antwoord wordt gegeven op vragen die er in de praktijk leven. Buurma en Smit (2013) formuleren als belangrijkste aandachtspunt "Verdamping kost energie, maar activeert de plant. De doorontwikkeling van Het Nieuwe Telen moet daarom worden gericht op een juiste balans tussen activeren van de plant en besparen van energie. Verder moeten vuistregels worden opgesteld voor de noodzakelijke vochtafvoer in afstemming met de (vereiste) verdamping (per dagdeel) door het gewas en de grond" (blz 32). Onbeantwoorde vragen zijn hier: Wat is activeren en wat is de vereiste verdamping en bestaat die eigenlijk wel Buurma en Smit benaderden het Nieuwe Telen vanuit sociaal-economisch perspectief en niet plantkundig.

In het project Richting Gevende Beelden voor klimaat neutrale glastuinbouw (Poot et al., 2015) wordt beperking van de verdamping als een belangrijke sleutel voor verdere energiebesparing gezien. Vanuit de praktijk blijkt dat het terugdringen van de verdamping om teeltkundige redenen - ziekten, productkwaliteit en productie - weinig wordt nagestreefd. Risicomijding lijkt daarbij een belangrijke drijfveer. Het vermijden van een te lage verdamping en gevaar van een hoge vochtigheid tussen een gewas met kans op natslag zijn overwegingen van de teler om niet te vochtig te telen. In plaats daarvan wordt extra warmte gebruikt om de luchtvochtigheid te sturen. Deze gangbare werkwijze wordt bij toepassing van Het Nieuwe Telen, waarbij vochtiger telen een belangrijk instrument is, doorbroken, maar telers lijken toch gemakkelijk terug te gaan naar de bekende en vertrouwde teeltwijze.

## 2.3 Verdamping en energie

Voor Het Nieuwe Telen is energiebesparing het centrale thema. De relatie met verdamping is daarbij dat voor verdampen van water energie nodig is. De overgang van water van vloeibare in gasvormige fase vergt bij 100 °C 2.256 MJ/kg. Uitgaande van een energie-inhoud van 1m<sup>3</sup> aardgas van 31.65 MJ/m<sup>3</sup> is per 14 liter water 1 m<sup>3</sup> aardgas aan warmte nodig. Beperking van de verdamping draagt bij aan de energiebesparing als voor de verdamping fossiele energie zou zijn ingezet.

In meerdere publicaties wordt als energie voor verdamping van water het getal 2500 J/gram gebruikt (Stangelini, 2009, blz 21, Weel en Voogt, 2012, blz 44). Het verschil tussen de getallen 2256 J/gram en 2500 J/gram is de temperatuur waarbij de verdampingswarmte wordt berekend. Bij 0 °C is de verdampingswarmte 2500 J/gram. Bij 100 °C is het 2256 J/gram. Bij kamertemperatuur (20 °C) is het 2450 J/gram. De hoeveelheid verdampt water is dan ca 13 liter water per m<sup>3</sup> aardgas.

De hoge energievraag voor verdamping is gunstig als de plant veel energie van de zon ontvangt. Dan is verdamping een ideale manier van koeling. In de nacht als de plant geen energie ontvangt van de zon of assimilatie lampen kost verdamping energie en zal de energie zo nodig toegevoerd moeten worden. Als het vocht dat door verdamping in de kasruimte komt vervolgens moet worden afgevoerd dan kost dit nogmaals energie, omdat ook voelbare warmte van de lucht verloren gaat. Een vuistregel is dat dit voelbare warmteverlies net zo groot is het energieverlies door vochttransport. Als het vocht op een koud kasdek condenseert komt de verdampingswarmte weer vrij, en wordt deels via het kasdek aan de omgeving afgestaan en zal dus niet volledig ten goede komen aan de temperatuur in de kas. De condensatie tegen het kasdek is afhankelijk van kasdektemperatuur, luchtvochtigheid in de kas, schermgebruik en dakhelling. Bij lage buitentemperatuur ten opzichte van de kastemperatuur is de condensatie (ca 15 gr/(m<sup>2</sup>.uur)) voldoende om het door het gewas verdampte vocht af te voeren.

De eerste stap in het nieuwe telen is beperking van energieverlies door isolatie (Poot et al. 2008). De isolatie van een kas kan maximaal worden benut zolang er geen vocht probleem ontstaat. Een kleinere verdamping zal de kans op een vochtophoping in de maximaal geïsoleerde kas verkleinen.

## 2.4 Substraatteelt

Wateropname heeft bij substraatsystemen, op het moment dat er geen water gegeven wordt, gevolgen voor de vochtigheid van het substraat. De wateropname in de nacht wordt gebruikt om fluctuaties van de vochtigheid van het substraat te verkrijgen en daarmee wortel activiteit – opname van nutriënten- te stimuleren. Deze wortel activiteit kan samenhangen met de zuurstof beschikbaarheid. Mogelijk is het watergehalte in de matten 's nachts te hoog voor genoeg aanvoer van zuurstof (Van der Wurff et al. 2011). Maar lagere vochtgehalten en daaraan gekoppeld hogere voedingsstoffen gehalten in het substraat maken voedingsopname tegen de gradiënt in noodzakelijk. Dit proces vraagt veel zuurstof. Een kleine wateropname in verhouding tot het substraat volume zal leiden tot een geringe fluctuatie in vochtigheid van het substraat. De vraag is of dit gevolgen heeft voor de wateropname overdag. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen de wortelweerstand en de transportweerstand. De wortelweerstand is temperatuur gevoelig. De transportweerstand is vooral EC gevoelig.

## 2.5 Afbakening van het onderzoek

Door de verdamping als vertrekpunt te nemen kan gekeken worden wanneer het functioneren van de verdamping een negatieve of juist positieve weerslag op de andere functies van water in de plant heeft. Daarbij is vanuit het nieuwe telen de begrenzing dat het alleen zinvol is om het belang van verdamping te analyseren als dit gepaard gaat met gebruik van fossiele energie of als het de mogelijkheid van isolatie beperkt. Dit kan leiden tot zeer lage verdamping en dus zeer lage wateropname. Een belangrijke vraag van de telers is daarbij of een plant dan wel goed kan functioneren als de verdamping bij veel instraling sterk toeneemt. Daarvoor is het belangrijk om het volgende te weten:

1. Kan een plant zich snel aanpassen aan sterk stijgende verdampingsomstandigheden?
2. Is een plant in staat om sterke overgangen in verdamping – wisselende bewolkingsgraad en sterke wisselingen tussen dagen- op te kunnen vangen?
3. Heeft de nachtverdamping hierop een invloed?
4. Is het belangrijk en noodzakelijk om de wateropname te stimuleren om de overgang van nacht naar dag goed te kunnen opvangen en om wisselende omstandigheden het hoofd te kunnen bieden?
5. Is er een minimaal niveau van verdamping?

Omdat wateropname en waterbeweging de functies van nutriënten- en hormoontransport vervullen is het ook belangrijk om de vraag te bezien of een hoge verdamping overdag kan compenseren voor gebrek aan verdamping in de nacht. Is er bij lage verdamping en dus lage watertransport snelheid voldoende nutriënten- en hormoontransport?

De afbakening van het onderzoek betreft dus in de eerste plaats de beperking tot verdamping als dit fossiele energie kost – meestal de nacht periode of door het stookregime- en in de tweede plaats dat de teelt los van de grond plaats vind. Als er een relatie is tussen de omstandigheden en andere situaties dan worden deze momenten in het onderzoek betrokken.

In de volgende hoofdstukken zal daarom worden stilgestaan bij:

1. Wat is de drijvende kracht bij verdamping in de nacht.  
(Nachtverdamping is onderwerp geweest van een kennisinteractie dag op 18 april 2013, zie bijlage 2.)
2. Verlaging nacht verdamping.
3. Huidmondjes en de sturing daarvan.
4. Watergift en substraat in relatie tot verdamping.
5. Het aanpassingsvermogen van planten aan wisselende omstandigheden voor verdamping en wateropname.
6. De uitkomsten van lopende experimenten.

Verder wordt ingegaan op kennis vragen van telers en de motieven van telers om de verdamping te willen stimuleren.

### 3 De drijvende kracht bij verdamping in de nacht

Verdamping is een natuurkundig proces. Het gaat om vochttransport door diffusie en luchtbeweging. Natuurkundig kan dit proces worden gezien als onderdeel van de energiebalans van de plant, maar eveneens als resultante van drukverschillen in vocht (Stanghellini, 2009; Weel en Voogt, 2012). Op zich is de basis van beide benaderingen hetzelfde alleen de wijze waarop het wordt uitgedrukt in eenheden verschilt. De druk wordt beschreven in Pa en dit is gelijk aan de energie in  $J/m^3$ . De verdamping kan dus zowel berekend worden op basis van de drukverschillen als op basis van een energie transport.

Als er energietoevoer is – warmte straling van zonlicht of lampen- moet er water worden verdampt om de energiebalans van het blad in evenwicht te houden. Als er geen verdamping en wel energie toevoer is loopt de temperatuur van een plant op totdat er een evenwicht ontstaat in energietoevoer en energieafvoer door convectie. Het oplopen van de bladtemperatuur als er geen verdamping mogelijk is gaat zeer snel. Verdamping van water is veel effectiever dan convectie om de toegevoerde energie af te voeren. Dit uit zich overdag in een sterke toename van verdamping. Door de sterke verdamping moet op een zonnige zomerdag ( $1000 W/m^2$  globale straling) de kasinhoud ca elke 2 minuten volledig ververs worden om voldoende energie af te voeren (Weel en Voogt, 2012). Jan Voogt en Peter Geelen (pers. comm.) gebruiken voor deze verdamping die het gevolg is van instraling de vergelijking met een fluitketel die op een brander staat, die gaat stoom produceren en dat komt zichtbaar uit de tuit. Het is natuurlijk niet zo dat een plant kokend water bevat, maar het principe is wel vergelijkbaar. In de plant is de druk van waterdamp hoger dan in de omgeving en dus wordt er water uit de plant naar buiten getransporteerd. De faseovergang van water van vloeibaar naar gasvorm vindt ook plaats bij temperaturen van rond de  $20\text{ }^\circ\text{C}$  en niet alleen bij het kookpunt van water.

Als er geen toevoer van energie is kan de plant vocht verliezen als gevolg van verschil in dampspanning tussen de stomataire holte en de omgeving. Het vochtverlies op deze wijze is verhoudingsgewijs tot verdamping, die het gevolg is van instraling, klein, maar niet nul. De bladtemperatuur zal hierdoor dalen. Jan Voogt en Peter Geelen (pers. comm.) gebruiken hiervoor de vergelijking met een natte doek die buiten hangt in de nacht of de verdamping van het natte kousje in een meetbox. Luchtbeweging rond het blad stimuleert de afvoer van het vocht uit de stomataire holte door de grenslaag boven het blad naar de omgeving. Het vochtverlies dat op deze wijze vooral in de nacht ontstaat wordt veroorzaakt door het verschil in dampspanning tussen de omgeving en de stomataire holte. In de stomataire holte wordt het vocht aangevoerd vanaf het vochtige oppervlak van de cellen rond deze ruimte. Voor dit laatste proces is energie nodig. Het gewas koelt daarbij af en zal kouder worden dan de omgeving. Op dat moment levert convectie van warmte uit de lucht naar het blad een evenwichtssituatie op. Er wordt net zoveel warmte aan de omgeving onttrokken als er voor verdamping nodig is. Daarvoor moet het blad koeler zijn dan de omgeving. In de nacht zijn de vochtigheid van de lucht en luchtbeweging de belangrijkste stimulansen voor verdamping (Zie ook Stanghellini 2009, blz 13-16).

Uitstraling van het gewas naar de omgeving zal de verdamping van een gewas remmen, omdat er minder energie voor verdamping beschikbaar is. Bij een lagere gewastemperatuur ten opzichte van de omgevingstemperatuur is de dampspanning in de stomataire holte lager en dus dichter bij de omgevingsdampspanning. Als het huidmondje een gelijke stand heeft is de verdamping dan kleiner.

Verhoging van de zuigspanning van de lucht en verhoging van de luchtbeweging stimuleren in de nacht de verdamping. De zuigspanning van de lucht stijgt als er vocht uit de lucht wordt afgevoerd door condensatie of ventilatie en door stijging van de luchttemperatuur. Dit laatste komt doordat de lucht bij hogere temperatuur meer vocht kan bevatten. Luchtbeweging stimuleert de verdamping doordat de omgevingslucht van een blad steeds gewisseld wordt. De lucht vlak bij het blad wordt vervangen door lucht met een lagere luchtvochtigheid en dus hogere zuigspanning. Omgekeerd heeft weinig luchtbeweging dus een remmend effect op de verdamping.

De verdamping in de nacht kan gestimuleerd worden door stralingswarmte naar het blad. Bijvoorbeeld assimilatiebelichting met SON-T lampen levert warmtestraling op waarbij de plant door verdamping wordt gekoeld. Een SON-T installatie van  $100 \text{ W/m}^2$  levert ca  $55 \text{ W/m}^2$  aan stralingswarmte op. Als dit door de plant wordt omgezet in verdamping is dit een verdamping van ca  $75 \text{ ml/m}^2\cdot\text{uur}$ . Een belicht gewas moet dus ongeveer  $75 \text{ ml/(m}^2\cdot\text{uur)}$  aan water opnemen om deze energie af te voeren of moet door warmer te worden dan de omgeving deze energie afstaan.

Het toepassen van verwarmingsbuizen om stralingswarmte naar het gewas te brengen en daarmee de verdamping te stimuleren is veel minder effectief. Een standaard verwarmingsbuis ( $4 \times 51 \text{ mm}$   $\text{\AA}$  per 3.6 tralie) van  $45^\circ\text{C}$  levert bij een kas temperatuur van  $20^\circ\text{C}$  een warmteafgifte van  $36 \text{ W/m}^2$ , waarvan 50% als warmtestraling. Als deze stralingswarmte volledig door de plant wordt omgezet in verdamping is de verdamping  $25 \text{ ml/(m}^2\cdot\text{uur)}$ . In werkelijkheid zal de warmte slechts deels worden omgezet in verdamping.

In het onderzoek voor de VenlowEnergy kas heeft Kempkes de wateropname van het (onbelichte) tomaten gewas gemeten (Bijlage 5). Daarbij blijkt, in deze kas met sterk isolerend dek maar met een geforceerde ventilatie die extra luchtbeweging geeft, dat de wateropname daalde tot  $6 \text{ g/(m}^2\cdot\text{uur)}$  bij een jong gewas tomaat. Terwijl de wateropname overdag steeg tot  $80 \text{ g/(m}^2\cdot\text{uur)}$ . Bij een volgroeid gewas was de wateropname in de nacht ca  $25 \text{ g/(m}^2\cdot\text{uur)}$  en steeg in mei tot  $300 \text{ g/(m}^2\cdot\text{uur)}$  bij voldoende licht. Bij een open kas kan de verdamping oplopen tot boven de  $500 \text{ g/(m}^2\cdot\text{uur)}$ . De wateropname per uur overdag kan dus tot meer dan een factor 10 groter zijn dan de wateropname per uur in de nacht.

## 4 Verlaging nachtverdamping

Als vochtigheid van de lucht, luchtbeweging en warmtetoevoer bij de plant drijvende krachten achter de verdamping in de nacht zijn, is het mogelijk om door deze factoren te beïnvloeden de verdamping in de nacht te verminderen of te stimuleren.

In een proef met Gerbera blijkt, als het gewas volledig wordt ingehuld in folie, de nachtverdamping te kunnen afnemen tot 4 g/(m<sup>2</sup>.uur) tegenover 9.2 g/(m<sup>2</sup>.uur) voor een niet afgedekt gewas (Bijlage 4). In het onderzoek voor het nieuwe telen gerbera werd een gemiddelde nachtverdamping van 12 g/(m<sup>2</sup>.uur) gemeten (De Gelder *et al.* 2013).

### 4.1 Hogere luchtvochtigheid

De vochtigheid van de lucht in de nacht is te verhogen door de vochttafvoer van de kas te beperken. Vochttafvoer vindt plaats door ventilatie en door condensatie. De mate van ventilatie wordt bepaald door de barrières tussen de kaslucht en de buitenlucht. Dichtheid van het kasdek, luchtramen, geforceerde ventilatie en schermen bepalen de mate van luchtuitwisseling en de daarmee gekoppelde stroom van vocht. De temperatuur van het kasdek bepaald de mate van condensatie tegen het dek. Daarbij helpen schermen om barrières te vormen en de mate van condensatie te verminderen. Een scherm heeft echter ook effect op de dektemperatuur, die wordt lager en daardoor kan er boven het scherm gemakkelijker juist water condenseren op het kasdek. Hierbij is de vochtdoorlatendheid van het schermstelsel (incl kieren) van belang.

### 4.2 Luchtbeweging

Om luchtbeweging te beïnvloeden zijn de volgende instrumenten te gebruiken: compartimentering, met name boven het schermdeuk, goed sluiten van schermen, isolatie van het kasdek en weinig ventilatie via luchtramen of geforceerde luchtbeweging door ventilatoren. Compartimentering is bij HNT een belangrijk aandachtspunt om geen ongewenste autonome luchtstromen in een kas te krijgen (Kierkels, 2012). Een autonome luchtstroom ontstaat door temperatuur verschillen in de kas gecombineerd met afschot van de kas en de windrichting. Het terugdringen van luchtbeweging rond de plant is een tweede reden om compartimentering toe te passen. Het meten van luchtbeweging in een gewas is technisch goed mogelijk (Campen *et al.* 2008, Kolk en Van Schaik, 2011), maar heeft een beperkte resolutie. De luchtbeweging wordt gemeten op meerdere plaatsen in een gebied van enkele kubieke decimeters. Het meten van luchtbeweging direct bij het bladoppervlak in het gewas is technisch veel moeilijker. Het terugdringen van luchtbeweging, anders dan voor voorkomen van kouval en temperatuur ongelijkheid, wordt in de praktijk niet toegepast omdat er vrijwel altijd een zekere mate van luchtbeweging is. Eerder wordt luchtbeweging middels ventilatoren gestimuleerd om ongewenste ongelijkheid in het klimaat te voorkomen. Opmerkelijk is dat zowel onderbreken van luchtstromen als stimuleren van gewenste luchtstromen worden gebruikt om temperatuur ongelijkheid te verkleinen. De inzet van ventilatoren of geforceerde ventilatie en de inzet van verwarming en koeling stimuleren juist de luchtbeweging en vanuit het oogpunt van minimaliseren van de verdamping is dit ongewenst. Er is om in telers termen te spreken vrijwel geen moment met een "dood klimaat". De vraag is daarbij of het klimaat c.q. luchtbeweging hier de juiste indicator is, omdat dit een indirecte bepaling is voor het vermogen van de plant om water te transporteren en te verdampen. Verminderde luchtbeweging is wel een voorwaarde om de verdamping te kunnen beperken, maar luchtbeweging is niet de juiste meting voor verdamping.

Voor het nieuwe telen is het gewenst om geen sterke autonome, en dus niet te controleren, luchtstroom in de kas te laten ontstaan die grote temperatuur ongelijkheid tot gevolg heeft. Deze autonome luchtstroom is in de regel veel krachtiger dan luchtstromen die door ventilatoren worden opgewekt. Recirculatie ventilatoren blijken niet in staat om de autonome luchtstroom bij kieren met schermen tegen te gaan. Het is dus zeker aan te bevelen om compartimentering in de kas toe te passen. Deze compartimentering moet goed en volledig zijn uitgevoerd. Een autonome luchtstroom met grote temperatuur ongelijkheid zal ook ongunstig zijn voor de uniformiteit in verdamping in de kas.

#### 4.2.1 Luchtbeweging of diffusie

Van Weel en Voogt (2012) maken onderscheid tussen het diffusie proces en watertransport door luchtbeweging.

##### **Diffusie van waterdamp**

*Waterdamp verplaatst zich in stilstaande lucht als gevolg van concentratie (dampdruk) verschillen. Diffusie zorgt ervoor dat vocht door een poreus schermdoek naar boven trekt als de absolute vochtigheid boven het scherm lager is dan onder het scherm. Damptransport door diffusie is bij de gangbare concentratieverschillen in een kas zeer beperkt. Damptransport door luchtbeweging krijgt al bij geringe luchtsnelheden vanaf ca 0,1 cm/sec de overhand. (Van Weel en Voogt 2012, blz 43).*

In onderzoek is het moeilijk om een goed onderscheid te maken tussen de verschillende processen. Is verdamping vooral het gevolg van de luchtbeweging of van het verschil in dampspanning en welk van de processen wordt beïnvloedt? Luchtbeweging zal de grootste factor zijn, maar diffusie is bij grensovergangen een belangrijke factor. Een sterke luchtbeweging verkleint daarbij de grenslaag rond het blad.

Gebruik van goede vochtdichte schermen heeft invloed op vochtafvoer, temperatuur, luchtbeweging en inzet van verwarming voor temperatuur. De vraag bij interpretatie van de gegevens is dan: wat is de oorzaak van de verminderde verdamping? Die is niet duidelijk te beantwoorden. In de praktijk zal het betekenen dat er vochtiger, met veel isolatie en weinig luchtbeweging geteeld moet worden om een beperkte verdamping te bereiken.

### 4.3 Huidmondjes

De mate van opening van de huidmondjes is van grote invloed op de mate van verdamping door een gewas. Het sluiten van huidmondjes beperkt de verdamping sterk. Omdat bij niet-CAM planten in de nacht geen opname van CO<sub>2</sub> nodig is mogen de huidmondjes vanuit dat oogpunt gesloten zijn. Alleen als dit nadelig is voor de opname van nutriënten zou een zekere mate van opening van de huidmondjes nagestreefd moeten worden. De openingstoestand van huidmondjes wordt door een groot aantal factor bepaald (Hoofdstuk 5). Er is niet één factor die als sterke stuurfactor gebruikt kan worden om huidmondjes in de nacht gericht te laten sluiten. In de literatuur wordt bijvoorbeeld wel absiscinine zuur (ABA) als stof die de huidmondjes sluiting stimuleert genoemd, maar toepassing van deze stof in een teelt heeft negatieve gevolgen zoals bladval. Watertekort kan eveneens de huidmondjes doen sluiten, maar heeft ook gevolgen voor de totale groei, omdat het vooral effect heeft op het moment dat de plant veel water nodig heeft, dat is bij veel instraling. Onderzoek is meer gericht geweest op behandelingen die de huidmondjes openen, zoals lichtkleur. Bekend is dat continue belichting de werking van de huidmondjes kan ontregelen. Het ontregelen van de huidmondjes bij roos heeft volgens Arve *et al.* (2013) te maken met de ontregeling van de werking van absicinezuur (ABA), dat zowel door hoge luchtvochtigheid als continue belichting minder in de plant aanwezig was. Bij 24 uren belichting onder lage luchtvochtigheid werd wel de precursor ABA-glucose ester gevormd, maar door het ontbreken van  $\beta$ -glucosidase niet omgezet in de actieve vorm. Het ontbreken van ABA zorgde er voor dat ook bij sterk vochtverlies de huidmondjes niet sloten. Voor een goed functioneren van de huidmondjes is het nodig om processen die de werking ervan sturen niet te ontregelen.

De Graaf (1995) noemt dat sommige bestrijdingsmiddelen de verdamping remmen gedurende 3 tot 5 dagen. Het remmende effect op de verdamping is langer dan gewenst, omdat het niet beperkt is tot enkele uren in een nacht situatie.

### 4.4 Activeren

In de vraagstelling van Buurma en Smit (2013) wordt verdamping gezien als een proces dat de plant activeert. De vraag is dan wel welke processen in de plant worden door verdamping geactiveerd c.q. gestimuleerd. Het biochemische proces van fotosynthese en ontwikkeling is niet afhankelijk van de verdamping.



In het proces van verdamping is een plant relatief passief. Verdampen is een fysisch fenomeen. Alleen door de huidmondjes dicht te zetten kan een plant vochtverlies beperken. Ook wateropname via de wortels is een fysisch proces waarbij zuigspanningsverschil tussen xyleem in de wortel en zuigspanning van de bodem bepalen hoeveel water er door de wortel wordt opgenomen. Een plant kan de wateropname versterken door het opvoeren van de waterpotentiaal van het xyleem. Xyleem zelf is passief en daarmee verschuift de vraag naar hoe hard zuigt het omringende weefsel en hoe snel kan de plant elementen via de wortel in het xyleem pompen. Activeren van de plant zou dan vooral betekenen dat de waterpotentiaal in het xyleem toeneemt. Dit wordt echter niet bereikt door stoken of ventileren. *(NB. Omdat waterpotentiaal een negatieve waarde heeft kan het verwarring geven dat een toename van de waterpotentiaal een grotere negatieve waarde betekent).*

Een van de belangrijkste energie posten gerelateerd aan verdamping is het opstoken van de kas of activeren van het gewas in de morgen of op donkere dagen als er nog weinig energie afkomstig van de zon beschikbaar is. Dieleman *et al.* (2006) hebben een project uitgevoerd onder de titel: "Activeren of stilzetten op donkere dagen". Hun conclusie is dat activerende maatregelen zoals het aanhouden van een minimumbuis of minimumraamstand geen positieve gevolgen voor groei en productie van een gewas hebben. Ondanks deze bevindingen blijft activeren van de plant een begrip dat in de praktijk gehanteerd wordt. Ook Buurma en Smit (2013) hanteren het begrip, maar er is geen argumentatie die deze omschrijving onderbouwd. In feite houdt men het begrip kader van de teler in stand. Verdamping is geen proces dat nodig is om een bepaalde reactie in de plant op te wekken. In tegenstelling tot bijvoorbeeld daglengte dat bloeiprocessen in een plant activeert. Ook langdurige droogte of gebrek aan nutriënten kunnen een effect hebben op ontwikkelingsprocessen in een plant. Wat in de telers termen activeren van een gewas heet heeft geen meetbaar effect op ontwikkeling en groei. Activeren in telers termen is niet anders dan een verhogend effect op de fysische processen verdamping en de wateropname. Volgens sommige telers moet er altijd water door de plant en is warmte input via buizen nodig. De belangrijkste vraag blijft: Is dit stimuleren van verdamping en wateropname nodig? Waarbij het antwoord vanuit het onderzoek tot nu toe is geweest dat die niet nodig is.



## 5 Huidmondjes: sturen en gestuurd worden

De huidmondjes hebben in de verdamping en CO<sub>2</sub> uitwisseling van de plant een centrale rol. Het is de poort waardoor waterdamp de plant verlaat en CO<sub>2</sub> de plant binnenkomt. Het functioneren van huidmondjes is daarom al jaren een belangrijk thema in onderzoek en een heel relevant thema voor telers.

Het functioneren van huidmondjes kan worden bekeken vanuit verschillende gezichtspunten (Zeiger *et al.* 1987). Je kunt kijken naar het fysiologische proces dat er voor zorgt dat de huidmondjes een bepaalde stand aannemen. Wat gebeurt er in de sluitcellen en de omgevende cellen of in de plant dat het proces stuurt dat de turgor van de sluitcellen doet afnemen, met als gevolg dat de sluitcellen tegen elkaar aan gaan liggen en sluiten. Een andere benadering ziet de huidmondjes als weerstand in het fysische proces van water en CO<sub>2</sub> uitwisseling tussen het blad en de lucht en de invloed die dit heeft op de energiebalans van een blad. In de benadering van verdamping als een fysisch proces is de stand van de huidmondjes belangrijk voor de mate van verdamping en CO<sub>2</sub> uitwisseling. In de benadering waarin de sturing van de stand van de huidmondjes vanuit fysiologische processen wordt beschreven blijken de inwendige CO<sub>2</sub> concentratie en de waterstatus, die afhankelijk is van onder andere de verdamping, belangrijke factoren te zijn die de stand van het huidmondje beïnvloeden. Als je deze twee benaderingen samenvoegt kom je tot de korte omschrijving: de huidmondjes regelen de verdamping en omgekeerd worden de huidmondjes geregeld door de verdamping. Als geschreven wordt over de functie en sturing van de huidmondjes is het belangrijk om goed voor ogen te hebben welk proces of principe leidend is in de beschrijving. Dit geldt zeker als modelberekeningen worden gebruikt om de stand van de huidmondjes te benaderen (Damour *et al.* 2008).

Voor dit project waarbij gestreefd wordt naar minimale verdamping is de vraag relevant of een kleine verdamping op zich iets zegt over het effect op de CO<sub>2</sub> opname. Wordt de minimale verdamping bereikt doordat de huidmondjes niet openstaan of omdat het verschil in dampdruk tussen het blad en de lucht vrijwel gelijk is. Bij een gering verschil in dampdruk kunnen de huidmondjes geheel openstaan zonder dat er veel verdamping is. In de donker periode als er bij de meeste planten geen CO<sub>2</sub> opname is maakt het niet uit via welke weg een minimale verdamping wordt bereikt. Als er wel CO<sub>2</sub> opname gewenst is, is het ongunstig als de minimale verdamping wordt gerealiseerd doordat de huidmondjes maar beperkt openstaan, omdat dan de opname van CO<sub>2</sub> is geremd. Een gelijke verdamping tussen twee gewassen, die bij verschillende omstandigheden staan, betekent dat er verschil is in huidmondjes opening en dit kan gevolgen hebben voor de groei, omdat bij meer gesloten huidmondjes de plant minder CO<sub>2</sub> kan opnemen. Bij minimale verdamping moet dus ook nog worden gelet op de stand van de huidmondjes en de vraag komt dan op of de stand van de huidmondjes kan worden berekend of gemeten (Telgen *et al.* 2009).

### 5.1 Luchtvochtigheid en huidmondjes

Bij bestudering van de literatuur over huidmondjes en de sturing daarvan komt als relevant discussie punt naar voren: Reageren huidmondjes direct op luchtvochtigheid of is het via een indirecte wijze dat de luchtvochtigheid de stand van de huidmondjes beïnvloed?

In het boek Plantkunde onder Glas (Heuvelink en Kierkels, 2009 blz 29) staat : "De plant reageert niet rechtstreeks op de luchtvochtigheid in de kas, maar op zijn eigen interne vochttoestand". (De oorspronkelijk publicatie is Heuvelink en Kierkels, 2008). Dit is duidelijk anders dan eerder geschreven werd in de brochure Luchtvochtigheid (Bakker, editor, 1993). Daarin staat bijvoorbeeld "Huidmondjes sluiten zich bij lage luchtvochtigheid en gaan verder open bij een hoge luchtvochtigheid. Via dit mechanisme beïnvloedt de luchtvochtigheid de verdamping en de fotosynthese." (blz 22). Maar op dezelfde bladzijde wordt deze stelling voor de fotosynthese direct weer afgezwakt met de stelling. "De directe invloed van de luchtvochtigheid op de gewasfotosynthese is in de praktijk kleiner dan 3%". Stanghellini (2007) stelt dat grote dampdrukverschillen tussen blad en lucht ervoor zorgen dat de huidmondjes gaan sluiten en andersom dat een lage CO<sub>2</sub> concentratie zorgt voor opening van de huidmondjes. In 2009 beschrijft Stanghellini de stand van de huidmondjes als regelpunt in de energie balans van het gewas (Stanghellini, 2009). Trouwborst *et al.* (2010) schrijven met verwijzing naar El-Sharkawy *et al.* 1985); "Bij een toenemende VPD sluiten de huidmondjes"

In meerdere wetenschappelijke artikelen kom je tegen dat de huidmondjes gestuurd worden door de VPD. Bauer *et al.* (2013) beginnen een letter to the editor met de stelling: "It has been known since the work of Francis Darwin that in response to a reduction in atmospheric relative humidity stomatal closure decreases.". Lawson and Blatt (2014) schrijven in een overzichts artikel: "In general, stomata open in response to light, (..) low CO<sub>2</sub> concentration, high temperatures, and low VPD, while closure is driven by low light or darkness, high CO<sub>2</sub>, and high VPD (Outlaw, 2003)." Maar in het artikel van Outlaw (2003) waarnaar zij verwijzen staat: "Stomata have been known to open in response to high humidity since the nineteenth century. ... It is not humidity *per se*, however, but transpiration rate that plants sense." Outlaw (2003) verwijst daarvoor weer naar Mott and Parkhurst (1991) waar staat: "Stomata apparently did not directly sense and respond to either the water vapour concentration at the leaf surface or the difference in water vapour concentration between the leaf interior and the leaf surface". Lawson and Blatt (2014) citeren Outlaw (2003) dus niet correct. Terwijl ze wel een algemeen gangbare mening weergeven, dat de VPD het openen en sluiten van de huidmondjes beïnvloed. De vraag is dan hoe deze algemeen gangbare mening zo kan blijven bestaan, terwijl er voldoende publicaties zijn die aantonen dat er meer factoren een rol spelen.

## 5.2 Modellen

Monteith (1995) accepteert de uitkomsten van het onderzoek van Mott and Parkhurst (1991), maar stelt aan het eind van zijn artikel "Finally, although it has been demonstrated that, when vapour pressure deficit is changed, a linear decrease of *g* (conductance) with increasing *E* (transpiration) is the norm, this response does not prove the existence of a direct mechanistic link". Daarmee handhaaft hij in feite de algemene mening en doet geen recht aan het werk van Mott and Parkhurst.

Damour *et al.* (2010) geven een overzicht van 38 modellen om de geleidbaarheid van huidmondjes te berekenen. De modellen hebben als uitgangspunt veelal een empirische benadering gebaseerd op statistische correlatie tussen omgevingsfactoren en de geleidbaarheid. Bij semi-empirische benaderingen is er wel een fysiologische hypothese, maar de uitwerking is empirisch. Slechts enkele modellen hebben een verklarende – mechanistische – benadering, maar het is moeilijk om de fysiologische processen te beschrijven in wiskundige formules. Hiermee geven zij de kern van het probleem aan. De fysiologische processen worden benaderd met empirische formules. Damour *et al.* (2010) delen de modellen in vijf groepen in. Modellen gebaseerd op klimaat factoren, op de relatie tussen geleidbaarheid en fotosynthese, op reactie op ABA, op de water balans van de plant en op turgor van de sluitcellen. In de bespreking van al deze modellen laten zij zien dat de empirische modellen een goede benadering geven, maar dat de fysiologische verklaring ontbreekt of te kort schiet. Buckley and Mott (2013) beschrijven dit probleem in andere woorden: "Stomatal function has so many quantifiable and interacting effects (on CO<sub>2</sub> uptake, water loss, water potential, xylem cavitation, etc.) that a rigorous and thorough understanding of optimal stomatal control is difficult without a model that describes all of those effects with a high degree of accuracy". De werkelijke sturing van het huidmondje is een zo complexe balans van factoren en de kennis daarover beperkt zodat die moeilijk in een model is te beschrijven. De complexiteit van de sturing van huidmondjes wordt ook door O’Carrigan *et al.* (2014) beschreven in de introductie van een artikel over de invloed van licht op huidmondjes gedrag. Met het toenemen van de kennis over de sturing van het huidmondjes wordt steeds meer duidelijk dat de stand van het huidmondje het resultaat is van de balans van een aantal fysiologische processen (Kollist *et al.* 2014). Vanwege het belang van verdamping en stomataire geleidbaarheid in modellen voor ecosystemen en de energie balans van de aarde en omdat de stomataire geleidbaarheid essentieel is in fotosynthese modellen blijven onderzoekers toch bezig om betere modellen te maken voor de ontwikkeling van huidmondjes en bladeren (Dow *et al.* 2014), daarbij grijpen deze auteurs terug op het model van Ball, Woodrow en Berry (1987) vaak afgekort tot BWB-model.

Het BWB-model is één van de meest gebruikte modellen om de geleidbaarheid van huidmondjes te berekenen (Buckley and Mott, 2013; Damour *et al.* 2010). In dit model is de geleidbaarheid afhankelijk van de netto fotosynthese, de CO<sub>2</sub> concentratie bij het blad en de relatieve luchtvochtigheid rond het blad. Dit model dat relatief simpel is voldoet voor veel situaties. Het BWB-model is een empirisch model waarbij de luchtvochtigheid als factor wordt gebruikt om de geleidbaarheid te bepalen. Het gebruik van luchtvochtigheid in het model betekent niet dat er een direct oorzakelijk verband tussen beide is. Dit wordt wel door Ball *et al.* (1987) gesteld: "... we conclude that stomata respond to relative humidity." Het BWB model en de toepassingen daarvan in veel onderzoeken is volgens mij een belangrijk ijkpunt voor het hanteren van de stelling dat de luchtvochtigheid de huidmondjes stuurt. De manier waarop huidmondjes reageren op luchtvochtigheid blijft echter onbeantwoord. Monteith (1995) stelt: "It has been tacitly accepted that models of stomatal response to the environment of a plant should include a function of saturation vapour pressure deficit or of relative humidity, despite the inability of physiologist to identify the mechanism for sensing either of these variables".

Er zijn verschillende hypothesen voor de relatie tussen luchtvochtigheid en verdamping opgesteld, maar steeds zijn er wel weer situaties waarin de verklaring te kort schiet. Uit de literatuur komt naar voren dat CO<sub>2</sub> concentratie en vochttoestand van het blad de twee belangrijkste kandidaten zijn voor sturing van de huidmondjes toestand. Het fysiologische proces, via ABA aanmaak en via de K<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> pompen in de sluitcellen, waarlangs deze invloeden lopen is nog steeds onderwerp van onderzoek. De fysiologische processen die de stand van het huidmondje regelen, blijken met het toenemen van de kennis veel complexer te zijn en niet in een eenvoudig model te vatten.

## 5.3 De energiebalans

Opmerkelijk is dat in het overzicht met modellen voor berekening van de geleidbaarheid van Damour *et al.* (2010) geen groep is opgenomen waarin de energiebalans van het gewas uitgangspunt is. De energiebalans van het blad wordt uitgebreid besproken door Jones and Rotenberg (2001). Faust and Heins (1998) en Shimizu and Heins (2002) gebruiken de energiebalans om de temperatuur van een groeipunt modelmatig te berekenen. De energie balans gebruiken ook Aubinet *et al.* (1989), Stanghellini (2009), Voogt en van Weel (2008) en Van Weel en Voogt (2012) om de verdamping te beschrijven. Echter Stanghellini laat in haar vergelijkingen de invloed van de uitwisseling door langgolvlige straling tussen plant en omgeving weg, ervan uitgaande dat de stralingstemperatuur van de omgeving ongeveer gelijk is aan de omgevingstemperatuur. Uit de artikelen van Jones and Rotenberg (2001) en Faust and Heins (1998) blijkt echter dat uitstraling naar een koude hemel of koud kasdek een niet te verwaarlozen factor is. Van Weel en Voogt (2012) stellen vanuit de energie balans: "door de stand van de huidmondjes regelt de plant zelf de bladtemperatuur en daarmee de verhouding tussen convectie en verdamping" en "Dit druist in tegen de heersende opvatting dat de VPD bepalend is voor de verdamping. Uit de energiebalans volgt in feite het omgekeerde, namelijk dat de plant met de huidmondjes zelf de bladtemperatuur ten opzichte van de kastemperatuur regelt." In een discussie met Jan Voogt hierover werd duidelijk dat regelen veel meer moet worden gezien als beïnvloeden van dan een bewust nastreven van een gewenste situatie. Of zoals hij zijn redenering weergeeft:

- "De huidmondjes opening wordt "gestuurd" door meerdere interne balansen ( water als belangrijkste, maar ook CO<sub>2</sub>, enz ).
- In een gegeven evenwichtssituatie zijn de verdamping en de wateropname met elkaar in balans, evenals de CO<sub>2</sub> opname en de vastlegging daarvan. Dit evenwicht is zelden statisch want de omgevingscondities veranderen voortdurend; de instraling (PAR + de rest) , de luchtbeweging, de temperatuur van de omgeving, de CO<sub>2</sub> concentratie, enz.
- Indien door dreigend watergebrek de huidmondjes (verder ) sluiten, dan leidt dit direct tot lagere verdamping ( er moet een hogere weerstand overwonnen worden dan de huidige VPD).
- Dit leidt tot een hogere bladtemperatuur omdat de energie balans een overschot heeft.
- Hierdoor stijgt de VPDblad waardoor de verdamping weer toeneemt.
- Hierdoor verandert tegelijk het temperatuur verschil tussen de plant en de omgeving en daardoor veranderen de energiestromen door convectie en langgolvlige straling.
- Uiteindelijk leidt dit tot een nieuw evenwicht van de energiebalans bij een lagere verdamping, omdat er meer energie convectief of via langgolvlige straling wordt afgevoerd ( bladtemperatuur is hoger dan omgevingstemperatuur ) , c.q. minder wordt toegevoerd ( bladtemperatuur is hoger dan eerder, maar nog steeds lager dan omgevingstemp)."

De stand van het huidmondje wordt dus gestuurd door een complex van fysiologische processen. Voor de energiebalans van de plant heeft dit gevolgen die leiden tot hogere of lagere gewastemperatuur dan de omgevingslucht. Via het fysische proces beïnvloedt de stand van het huidmondje het verschil tussen de ruimtetemperatuur en de gewastemperatuur.

## 5.4 Stand van het huidmondje

In de fysische benadering van de energiebalans is het huidmondje de kraan die meer of minder openstaat en daarmee in het geheel van de energiebalans regelend is voor het  $VPD_{\text{blad}}$ . Maar net als met de empirische benaderingen van de geleidbaarheid in het BWB-model geldt hier dat er geen directe sturende relatie is tussen  $VPB_{\text{blad}}$  en stand van het huidmondje. De stand van het huidmondje heeft wel een invloed op de  $VPD_{\text{blad}}$  en daarmee op de verdamping en de bladtemperatuur. Het huidmondje regelt niet de absolute waarde van de bladtemperatuur, maar heeft invloed op het verschil tussen blad en luchttemperatuur. Dit effect is goed met een fysisch model te beschrijven en de gemiddelde stand van het huidmondje is op basis van de energie balans hieruit af te leiden. Omdat er een goede correlatie is tussen huidmondjes opening en opname mogelijkheid voor  $CO_2$  via het huidmondje kan deze informatie gebruikt worden als indicator voor de mogelijkheid om  $CO_2$  op te nemen. Daarbij geldt wel dat voor de convectieve warmte overdracht tussen gewas en lucht er aannames moeten worden gedaan. Deze aannames hebben consequenties voor de uitkomst van de berekende geleidbaarheid. In de praktijk wordt er voor de convectieve warmte overdracht een empirisch bepaalde waarde gebruikt (Telgen *et al.* 2009).

## 5.5 Conclusie

De conclusie uit bovenstaande beschouwing is dat de sturing van de stand van het huidmondje vanuit de fysiologische processen de resultante is van een complex proces. De kennis over dit geheel van processen neemt steeds verder toe en is steeds moeilijker in een model berekening te simuleren. Het relateren van de geleidbaarheid aan de VPD is gebaseerd op empirie en statistische correlatie en blijkt voor veel toepassingen voldoende informatie op te leveren. De correlatie wordt in de literatuur verkeerd geïnterpreteerd als direct causaal verband.

In de energiebalans is de gemiddelde stand van de huidmondjes een belangrijke parameter om een sluitende balans te krijgen. Als alle componenten van de energiebalans van een gewas bekend zijn is een schatting te geven van de gemiddelde stand van de huidmondjes.

Bij beschrijven van het gedrag van huidmondjes en het effect daarvan op de verdamping moet goed onderscheid worden gemaakt tussen de fysiologische en de fysische processen.

## 6 Watergift en substraat in relatie tot verdamping

Verdamping en wateropname door een plant zijn mogelijk als er voldoende wateraanvoer is vanuit het substraat. Het grootste areaal aan kasgewassen in Nederland wordt in substraat los van de bodem geteeld. Een beperkt aantal gewassen, waaronder het hoofdgewas Chrysant, wordt nog geteeld in grond. In de afbakening van het project is er voor gekozen om de verdamping te bekijken vanuit teelten op substraat los van de grond, omdat in deze teelten de sturing van de beschikbaarheid van water en het nutriënten gehalte veel directer is te regelen dan in grondteelt. Bij grondteelt heeft de bodem een groot bufferend vermogen en worden verdamping en nutriënten opname voor een veel groter deel bepaald door de klimaat condities rond het gewas. Bij teelt in een beperkt substraat volume hebben watergift en EC van het voedingswater sturende effecten voor de plant. In de begeleidende leergroepen rond Het Nieuwe Telen Tomaat, Gerbera en Roos zijn de start- en stoptijden van de watergift, de beurtgrootte van de watergift, eventuele nacht beurten, het drainpercentage en de EC en pH van voeding en drain discussiepunten. Daarnaast is er discussie over specifieke elementen, waarbij overmaat of gebrek tot schade kan leiden. In deze discussies is tot nu toe nooit het beperken van de watergift een issue geweest. Wel blijken er duidelijke verschillen in aanpak van de strategie van starten en stoppen van de watergift per gewas.

Bij Gerbera is de start vrijwel gelijk met het moment van begin dag, openen van het verduisterings-scherm of start van de belichting, daarbij wordt kort na het midden van de dag gestopt met watergeven, waarna de plant daarna het water uit het beschikbare substraat moet onttrekken. Een belangrijk reden voor het vroeg stoppen met watergeven is dat de plant in het hart goed kan opdrogen, zodat er geen voedingsbodem voor suikerrot kan ontstaan. Per m<sup>2</sup> planten is ca 18 liter substraat beschikbaar. Het substraat is vrij los en heeft een vochtigheid van ca 65 %. In het substraat zal er ca 12 l/m<sup>2</sup> water beschikbaar zijn. Een gewas dat gedurende 12 uur 20 g/(m<sup>2</sup>.uur) water opneemt, neemt dan per nacht 2% van het watervolume op. Omdat al vrij vroeg met watergeven wordt gestopt is de totale intering tussen laatste watergift en eerste watergift de volgende dag in de orde van 10%.

Bij Tomaat is de starttijd van de watergift duidelijk later, tot wel 3 uur na zon-opkomst. De verklarende, maar niet noodzakelijkerwijs juiste, stelregel is dat de plant eerst actief water moet hebben opgenomen voordat er water gegeven gaat worden. In de nacht die volgt moet de intering van de mat dan zo'n 10% zijn. Bij Roos is de strategie meer vergelijkbaar met Gerbera.

De hoeveelheid beschikbaar water in het substraat is voor wateropname niet de beperkende factor. De beperking zit in de beschikbaarheid direct rond de wortel en in de EC van het voedingswater direct rond de wortel. Het is zelfs zo dat voor een bepaalde aanvoersnelheid tussen twee punten in een substraat er een daarmee corresponderend drukverschil nodig is tussen die twee punten.

### 6.1 Percentages versus volumes

Opvallend in de benadering van de watergeefstrategie door de telers is dat zij vooral aandacht hebben voor de vochtigheid van de mat, de EC van voeding en drain en de mate van intering van de mat, daarbij mogelijk ook nog de zuurstofvoorziening van de wortels. Ze spreken in deze benadering niet over hoeveelheid water en dus verdamping die de plant moet realiseren om de gewenste waarden van vochtigheid en voeding in de plant te realiseren. De telers lijken een scheiding tussen deze twee items te maken. De watergift wordt wel afgestemd in volume op de instraling, maar voor de intering in de nacht wordt zo nodig de starttijd of de stoptijd aangepast, zonder dat naar de mate van verdamping door de plant wordt gekeken, laat staan dat er parallel naar de voedingsaanvoer en -opname wordt gekeken. Terecht wordt de watergift overdag afgestemd op de instraling omdat de instraling de belangrijkste motor voor de verdamping is. Voor de nacht wordt terecht gekeken naar intering van de mat omdat dit de verandering van het wortelmilieu het beste weergeeft.

Bij onvoldoende intering- volgens de huidige praktijk- moet er soms gestookt worden om de verdamping en daarmee de intering te stimuleren. De intering in percentage is echter sterk afhankelijk van het matvolume. Bij een groot matvolume is de intering in procenten bij een gelijke verdamping in  $g/(m^2.uur)$  kleiner dan bij een klein matvolume. De intering heeft op zich twee effecten, de beschikbaarheid van zuurstof in het substraat kan toenemen en de EC van het voedingswater kan stijgen. Zuurstof is gunstig voor wortel activiteit. Een hogere EC beperkt de wateropname door de plant. Een klein volume geeft in dit opzicht meer stuurmogelijkheden. Voor het nieuwe telen is het daarom gewenst om met een klein matvolume te werken om wel voldoende effecten in de mat te krijgen, maar niet te veel te hoeven verdampen. Een kanttekening bij het substraat volume is wel dat die ook weer niet zo klein mag worden dat daarmee de watergift in beurtgrootte zou leiden tot een grote inhomogeniteit van de gift per druppelaar of tot een niet haalbare hoge frequentie van watergeven. De ervaring van telers met matvolume, start- en stoptijden, beurtgrootte, intering en drain is gebaseerd op jarenlange teelt in substraat. Daarbij zal in volume de keus worden gemaakt voor een volume dat een hoge mate van zekerheid voor de juiste watergift strategie mogelijk maakt. Voor Het Nieuwe Telen is het opzoeken van het minimale substraat volume dat verder de goede omstandigheden voor groei mogelijk maakt één van de onderwerpen om in proeven verder uit te testen. Daarbij zal naar alternatieve teeltsystemen moeten worden gekeken om alle gewenste effecten te kunnen bereiken. Een voorbeeld van een alternatieve benadering is de aanpak van Sjaak van Dijk die probeert met een minimum aan substraat komkommers te telen (pers comm.).

Bij het teeltsysteem Futagrow en bij Nutriënt Film techniek blijkt overduidelijk dat het substraatvolume op zich niet belangrijk is voor goede groei. De water en nutriënten opname wordt bepaald door de mate van wortelactiviteit die mogelijk is en de aanvoersnelheid van water en voeding.

Vanuit acceptatie van het Nieuwe Telen is het niet aan te bevelen om het substraat en watergeef systeem volledig te herzien. Als door fouten in watergift de groei wordt belemmerd bestaat de kans dat dit wordt gerelateerd aan het Nieuwe Telen, terwijl de oorzaak niet de energie besparende maatregelen zijn, maar de wijze waarop de plant water en nutriënten kon opnemen. Vanuit oogpunt van verdamping is het aan te bevelen om substraat volume beperkt te houden.



# 7 Aanpassingsvermogen van planten aan wisselende omstandigheden voor verdamping en wateropname

Een belangrijk argument van telers om verdamping te willen stimuleren is dat een goede wortelactiviteit nodig is voor een plant als er een overgang van donker naar helder weer optreedt. Uit de metingen met weeggoten en de metingen die met PASKAL weegunits zijn gedaan in Optimalisaties voor Het Nieuwe Telen is bekend dat bij overgang van somber weer naar helder weer een plant zich eerst moet aanpassen aan deze wijzigende omstandigheden. Deze aanpassing is in een paar dagen gerealiseerd.

Het gaat hierbij om een typisch overgangsprobleem; het treedt alleen op bij een overgang naar helder weer, na een periode met donkere dagen. Vooral helder 'scherp' weer bij noordelijke wind kan dit probleem oproepen omdat de buitentemperatuur dan vaak laag is en de RV in de kas daalt. Na een periode van donker weer is de verdampingsstroom gering. In de lichtarme dagen hoeft om voldoende water te kunnen opnemen de waterpotentiaal in het xyleem maar iets groter te zijn dan die van het substraat. Hierdoor hebben ook de bladcellen relatief weinig osmotisch actieve stoffen nodig om voldoende water uit het xyleem aan te kunnen trekken om de celspanning op peil te houden. Bij zonnig weer veroorzaakt de verdamping van het gewas een veel sterkere daling van de waterpotentiaal in het xyleem. Daardoor kunnen de bladcellen moeilijker water opnemen en kan turgorverlies optreden. Hierdoor gaan bladeren slap. Over het algemeen zullen daardoor ook de huidmondjes sluiten. De aanpassing van de plant die zorgt dat het gewas de volgende dag niet meer slap gaat bestaat uit het verhogen van de osmotische waarde van de bladcellen, waardoor ze ook bij een sterke daling van de xyleem-waterpotentiaal nog voldoende turgor houden. Ook neemt de plant actief ionen op om de waterpotentiaal van het xyleem vocht te verhogen en zo de wateropname te vergroten. Wanneer de periode van helder weer ten einde is zal het gewas de osmotische waarde van de bladcellen weer geleidelijk verlagen. Telers veronderstellen dat door de verdamping in een periode van donker weer te stimuleren de osmotische waarde van de bladcellen hoger blijft en daardoor kan een plant beter de overgang naar zonnig weer opvangen. Op zich is dat terecht. Ook bij sterk wisselende omstandigheden van licht is het goed dat de plant de overgangen in verdamping kan opvangen zonder slap te gaan. Voor een goed aanpassingsvermogen van de planten moet dus de waterpotentiaal van de bladcellen voldoende groot zijn. Een korte periode van stress bij overgang van weertype is voor de fotosynthese niet heel ernstig nadelig. Daarom is het beter om via de vochtbalans van de kas en het gebruik van een schermdoek op een eerste zonnige dag na een donkere periode de plant te helpen om de overgang van donker naar zonnig weer te maken.

Een tweede aanpassingsvermogen van de plant om een sterkere verdampingsstroom aan te kunnen is het aantal actieve wortelpunten vergroten. Hierdoor kan bij een gelijke waterpotentiaal meer water worden opgenomen. Het vormen van nieuwe wortelpunten kan wel, maar kost toch enige dagen tijd. Hierbij is zowel de verdamping als de assimilaten balans van belang. Een plant met voldoende assimilaten kan daarvan ook de wortels laten ontwikkelen. De vooronderstelling hierbij is dat wortelpunten de plaats van wateropname voor de plant zijn.

Als een plant niet snel genoeg aangepast is aan hoge instraling en daardoor te weinig verdampt kan de lokale bladtemperatuur ongewenst hoog worden, waardoor schade aan het blad ontstaat. Daarvoor moet de bladtemperatuur wel enige tijd boven de 35 °C zijn.

De vraag die beantwoordt moet worden is daarom: welke schade ondervindt een plant bij de overgang van donker naar helder weer? Het is duidelijk dat sluiten van huidmondjes en verbrandingsschade niet gunstig zijn voor de groei van het gewas. Bij substraatteelt zou het gebrek aan wateropname bij een overgang van donker naar helder weer mogelijk opgevangen kunnen worden door een verlaging van de EC van het voedingswater, op die dag. De plant kan dan bij een gelijke waterpotentiaal meer water opnemen. Het zou dan niet nodig zijn om via stookacties een continue hogere waterpotentiaal te realiseren. *Kan een overgang van donker naar zonnig weer worden opgevangen door tijdelijke verlaging van de EC van het voedingswater op de eerste zonnige dagen? Hierop kan door een teler vrij direct worden gestuurd. De mate van verlaging zou vooraf berekend moeten worden.* Een continue verhoging van de EC op donkere dagen is net als stoken vooral een maatregel om zeker te zijn dat een plant een overgang aan zou kunnen. Voor de verdamping betekent het dat op donkere dagen de plant moeilijker water opneemt en dus minder snel zal verdampen.

Een parallele of derde aanpassing is die van de wortelweerstand (Joshi *et al.* 2009) en xyleemweerstand of hun omgekeerde begrippen de worteldoorlatendheid en de xyleemdoorlatendheid. Dus los van de osmotische aanpassingen van de plant heeft de plant tijd nodig om de membranen in de wortel aan te passen en de doorlatendheid van de dwarschotten in de houtvaten (Gambetta *et al.* 2012). In de dwarschotten zitten suikerachtige gommen die EC-afhankelijk de doorlatendheid bepalen.

Een combinatie van maatregelen om zowel de verdamping te beperken als de wateropname te verbeteren bij een weersovergang zal het vooraf streven gewas dat bestand is tegen overgangen minder noodzakelijk maken en kan daarmee bijdragen aan energie besparing.

## 7.1 Compensatie van lage nacht verdamping door hoge dag verdamping

Voor de waterhuishouding van een plant is er een hoge correlatie tussen verdamping en wateropname. Eventuele compensatie van lage nachtverdamping door hoge dagverdamping is vanuit het oogpunt van de waterhuishouding niet mogelijk en nodig. Het gaat bij lage nachtverdamping vooral om het effect van de wateropname op de nutriënten opname. Tijdens de kennisinteractie bijeenkomst (18-4-2013) heeft W. Voogt betoogd dat voor Ca opname en verdeling er een constante aanvoer van Ca vanuit de wortels nodig is. Zijn conclusie was: Worteldruk is/lijkt onvoldoende voor Ca aanvoer en verdeling. Daarom lijkt verdamping ook 's nachts nodig voor ionen transport (Ca). Gebrek aan Ca is de belangrijkste oorzaak van zwakke cellen (IJdo *et al.* 2011). Uit onderzoek blijkt dat in de vacuole relatief veel Ca wordt vastgelegd (Peiter, 2011), dat daarna slecht voor inbouw in celwanden beschikbaar is. Het vastleggen van Ca in de vacuole betekent dat bij analyses van Ca gehaltes in het blad voldoende Ca wordt gevonden, maar dit Ca is niet beschikbaar (Gilliham *et al.* 2011, Stael *et al.* 2012).

Vrijwel alle andere elementen worden door de plant actief en selectief opgenomen. Als er dus een probleem zou ontstaan door een te lage wateropname en verdamping in de nacht is het te verwachten dat dit zich zal uiten in een fysiologisch aan Ca- gebrek gekoppeld fenomeen, zoals bladranden, neusrot etc. De vraag naar minimale verdamping in de nacht richt zich vanuit dit perspectief dus vooral op de opname van Ca. Uit onderzoek is bekend dat het ook om de verdeling van de Ca in de plant gaat en voor verdeling van Ca is een constante verdamping of juist een periode waarin de verdamping heel beperkt is nodig. Deze laatste situatie zorgt ervoor dat de Ca met de vochtstroom naar niet verdampende delen wordt vervoerd. Recent onderzoek laat zien dat de verdeling van Ca binnen een blad niet homogeen is. Als verdeling bij Ca doorslaggevend is voor mogelijk ontstaan van bladranden, dan zijn lokale bladtemperatuur en verdamping ook belangrijk. Als het blad rond de nerf door instraling meer verdampt gaat er naar verhouding minder water naar de randen die daardoor gevoeliger worden voor bladranden. Dit kan met assimilatiebelichting optreden. Ook sterke instraling van de zon in het voorjaar kan dit effect hebben. Diffuus glas heeft dan een gunstig effect omdat de warmteverdeling over het blad uniformer is. Er zijn proeven die laten zien dat in het blad er deels een ontkoppeling is tussen Ca transport en watertransport. Het watertransport kan door membranen heen gaan, waar Ca niet verder kan.

*De vraag of er compensatie mogelijk is kan ontkennend worden beantwoord. De verdamping is overdag gekoppeld aan de instraling en ruim voldoende. In de nacht gaat het vooral om wateropname voor Ca. Zowel overdag als 's nachts moet de verdeling van Ca over de verschillende organen goed zijn. Voor beide processen is er geen compensatie mogelijk. De vraag wat dan een minimale verdamping is in de nacht is vooral gekoppeld aan de opname en verdeling van Ca in de nacht.*

## 8 Volgen van experimenten

Als onderdeel van het verdampingsproject is in overleg met de opdrachtgevers ervoor gekozen om gegevens uit lopende experimenten te analyseren.

### 8.1 Venlow-energie kas

In het experiment met tomaat in de Venlow-Energie kas is 2013 (zie bijlage 5) en in 2014 de verdamping gevolgd met behulp van een weeggoet. In 2014 blijkt dat de verdamping in de nacht terugloopt van ca 40 gr/(m<sup>2</sup>.uur) naar ca 12 gr/(m<sup>2</sup>.uur). De verdamping overdag is sterk gecorreleerd aan de instraling. De setpoints voor de luchtvochtigheid worden in deze kas hoog gehouden Een VD van 2 g/m<sup>3</sup> als er niet wordt gestookt en deze wordt verlaagd naar 1 g/m<sup>3</sup> op momenten dat er gestookt moet worden voor verwarming van de kas. De hoge luchtvochtigheid in combinatie met de lage verdamping in de nacht hebben tot begin augustus niet geleid tot problemen met neusrot, bladranden of botrytis (Mondelinge informatie van Feije de Zwart en Jan Janse). Ook in 2013 jaar heeft de beperking van de verdamping niet geleid tot problemen in de teelt.

### 8.2 Verdamping bij de Perfecte Roos

Uit deze proef (bijlage 6) bleek dat een onjuiste combinatie van de instrumenten: actieve ventilatie in combinatie met OPAC in verwarmingsstand en hoge ventilator stand, de verdamping onnodig kan stimuleren. Onjuist gebruik verhoogt het energiegebruik in plaats van het energie gebruik te verminderen.

Bij het streven naar lagere luchtvochtigheid in de zomer blijkt het gewas zo sterk te verdampen dat de luchtvochtigheid van onderen naar boven in het gewas altijd stijgt en bovenin het gewas moeilijk is te beheersen. Als laatste vangnet is daarom een minimumbuis op vocht ingezet om de luchtvochtigheid in de nacht te verlagen.

### 8.3 Analyse Mycosphaerella in Het Nieuwe Telen bij komkommers

De analyse van het probleem met Mycosphaerella (bijlage 7) leidt tot het volgende advies.

- Het schermdoek moet 's avonds niet zo worden gesloten dat de luchtvochtigheid kan oplopen door activiteit van de plant. Dit verhoogt de kans op natte bloemen die niet goed opdrogen in de nacht.
- Er zijn een aantal momenten in de teelt geweest dat de kastemperatuur zeer snel is opgelopen met kans op natslag op het gewas met name in februari.
- De afstemming van de etmaal temperatuur op de lichtsom kan nog beter. Vooral gelet op de afwijkingen over langere tijd die voorkwamen.

### 8.4 Analyse van Broeikop bij gesloten hoog isolerende schermen in komkommer

De analyse is beschreven in bijlage 8. In de discussie waren betrokken Jan Voogt, Peter van Weel, Aat Dijkshoorn, Jan Janse, Leo Oprel en Peter Geelen. Er ontstond geen volledige consensus over mijn analyse dat het een combinatie was van watergift, K/Ca verhouding in gift en opname, en fase van de ontwikkeling van het gewas, mogelijk ook nog specifiek voor dit ras en een gunstig klimaat voor het ontstaan van broeikoppen dat het probleem optrad. Mijn analyse komt niet uit op uitstraling met een te lage koemperatuur, dus dat de schermen nog langer gebruikt hadden moeten worden. Vergelijkbaar met de analyse bij Zuidgeest is in de twee helft van februari een situatie met weinig licht waarbij het scherm de hele dag dicht bleef het moment waarop de problemen zijn ontstaan.



## 9 Richtlijnen cq vuistregels

Buurma en Smit (2013) noemt als belangrijke kennisvraag dat telers zoeken naar vuistregels voor verdamping en vochttafvoer. Hiermee wordt een koppeling gemaakt tussen wat de plant produceert en via ventilatie en condensatie uit de kas wordt afgevoerd, maar wordt niet de koppeling gelegd tussen de verdamping en de wateropname. De vraag is of dit terecht is? Uit bovenstaande beschrijvingen mag duidelijk zijn dat verdamping en vochttafvoer niet direct met elkaar gekoppeld zijn. Een sterke vochttafvoer en daardoor lage vochtigheid van de lucht bevordert wel de verdamping, maar ook bij een lage vochttafvoer kan er nog steeds verdamping zijn door het gewas. De belangrijkste vraag is dan of dit voldoende is voor de nutriënten stroom.

Op basis van de literatuur is het eerste probleem dat door gebrek aan verdamping in de nacht is te verwachten een te geringe opname van Ca en de problemen die daarmee samenhangen. Zwakkere celwanden en gevoeligheid voor Botrytis. Het lijkt ook verstandig te kijken naar problemen met weinig mobiele elementen als Fe, Mn, Zn, Cu en B; cellen die 's nachts gevormd worden zouden lokaal te weinig hiervan kunnen opnemen.

Er zijn in de literatuur geen aanwijzingen te vinden dat het activeren en het anticiperen op weersveranderingen door middel van het toevoegen van energie, nuttig is. Getest moet worden of het opvangen van een weersverandering door een verlaging van de EC in de nacht verbetert. *Het feit dat activeren zo'n sterke drijfveer is bij de telers en voorlichters betekent niet het opvangen van de weersverandering niet energiezuinig kan worden gedaan. De stookstrategie moet dan zijn om de temperatuur vooral door de zon te laten oplopen. Om condensatie te voorkomen op koude planten delen moet de snelheid van oplopen van de kas temperatuur middels de ventilatie regeling op luchtvochtigheid worden beperkt.*

Een stelling die bij de rozenteelt duidelijk naar voren komt in de begeleidingsgroep van 'Perfecte Roos' is "De RV moet altijd onder de 85% blijven anders krijgen we last van Botrytis en een zwak gewas. Dit geldt los van het negatieve effect van hoge luchtvochtigheid op houdbaarheid. De hoge vochtigheid zorgt voor een 'weelderig' en 'zacht' gewas. Om een harder gewas te krijgen, moet ik droger telen." Uit de ervaringen in de rozenteelt kan geconcludeerd worden dat deze stelling een hoge mate van waarheid bevat. In het nieuwe telen is een periode met hoge luchtvochtigheid geteeld en ontstond inderdaad een weelderig en zwak gewas dat gemakkelijk door meeldauw werd aangetast. Mogelijk is een aanpassing van de voeding – Sulfaat/Chloride in plaats van Nitraat- een oplossing voor het versterken van het gewas. Ook uit andere onderzoeken is bekend dat telen bij hogere luchtvochtigheid meer celstrekking geeft. De vraag is echter of er periodes in de dag zijn dat een hoge luchtvochtigheid wel kan worden geaccepteerd en andere periodes niet, of dat er een maximale duur aan de periode van hoge luchtvochtigheid moet worden gesteld. In zowel de rozenteelt als de tomatenteelt wordt na zon-onder geaccepteerd en vaak ook nagestreefd dat de temperatuur snel daalt en de luchtvochtigheid hoog wordt. Dit mag enkele uren duren, daarna wordt de relatieve luchtvochtigheid in de praktijk weer verlaagd. Een kennis lacune is hoe lang de hoge luchtvochtigheid mag worden aangehouden zonder dat dit gevolgen heeft voor de gezondheid en kwaliteit van het gewas.

Uit de onderzoeken van tomaat en Gerbera en roos komt naar voren dat een verdampingsniveau in de nacht aflopende van 25 naar 10 gr/(m<sup>2</sup>.uur) voldoende is voor de nutriënten opname.



# 10 Conclusies en aanbevelingen

## 10.1 Kennisinventarisatie

Voorafgaand aan het project zijn een aantal vragen gesteld, die door middel van de Kennis inventarisatie getracht zijn te beantwoorden. Hieronder staan deze vragen en de gevonden antwoorden.

- Op welke fysiologische processen heeft de verdamping en de beperking daarvan invloed en hoe werkt die invloed?

In bovenstaande beschrijving is aangegeven dat verdamping vooral effect heeft op een fysisch proces: de energie balans en het watertransport in de plant. De beperking van de verdamping in de nacht zal effect hebben op de wateropname door de wortel en daarmee op de Ca opname. Een te geringe wateropname in de nacht zal zich in de eerste plaats uiten in een aan Ca gebrek gerelateerd probleem.

- Waar liggen de grenzen voor de fysiologisch gezien minimaal noodzakelijke verdamping? Het is aannemelijk dat specifieke verdamping van plantonderdelen in specifieke stadia juist gestimuleerd moet worden.

Fysiologisch gezien zijn er vooral voor Ca opname grenzen te verwachten voor de verdamping. Verdamping om het gewas te koelen is alleen nodig als er energietoevoer is door instraling van de zon.

- Welke fysische processen spelen een rol bij verdamping en hoe verhoudt zich dat tot CO<sub>2</sub> uitwisseling door de plant?

De fysische processen zijn uitvoerig beschreven door Van Weel en Voogt (2012) en Stanghellini (2009). Het gaat daarbij om een energiebalans en een balans van de vochtspanning. Deze processen zijn door de plant te beïnvloeden via de huidmondjesopening en hebben via die weg invloed op de CO<sub>2</sub> opname. In de nacht is opname van CO<sub>2</sub> bij de meeste gewassen niet van belang.

- Wat is het belang van uniformiteit in kasklimaat en gradiënten voor vocht en temperatuur in relatie tot verdamping?

Uit de praktijkervaring is duidelijk dat een hoge mate van uniformiteit in het kasklimaat voorwaarde is voor een uniforme en kleine verdamping. Elke verstoring van de uniformiteit leidt tot inhomogeniteit in de verdamping. Enige inhomogeniteit kan worden geaccepteerd vanuit het oogpunt van verdamping maar niet vanuit het risico op condensatie.

- Wat zijn de randvoorwaarden en de kansen voor gewasbescherming en product- kwaliteit die met het beperken van de verdamping gemoeid zijn? (Op dit punt is er synergie met gewasbescherming en kwaliteit).

De randvoorwaarden voor gewasbescherming en productkwaliteit zijn het tegengaan van condensatie en het voorkomen van Ca gebrek in delen van het gewas.

- Wat is de relatie tussen verdamping en productie, productkwaliteit en houdbaarheid?

Er is geen directe relatie tussen verdamping en productie. Indirect via aantasting door Botrytis en door Ca gebrek kan er wel een negatief effect zijn op het gewas en het product.

- Wat is de bijdrage van beperking van watergift en verdamping is aan de energiebesparing?

Voor Het Nieuwe Telen is energiebesparing het centrale thema. De relatie met verdamping is daarbij dat voor verdampen van water energie nodig is. De overgang van water van vloeibare in gasvormige fase vergt bij 100°C 2.256 MJ/kg. In meerdere publicaties wordt als energie voor verdamping van water het getal 2500 J/gram gebruikt. Het verschil tussen de getallen 2256 J/gram en 2500 J/gram is de temperatuur waarbij de verdampingswarmte wordt berekend. Bij 0 °C is de verdampingswarmte 2500 J/gram. Bij 100 °C is het 2256 J/gram. Bij kamertemperatuur (20 °C) is het 2450 J/gram. De hoeveelheid verdampt water is dan ca 13 liter water per m<sup>3</sup>

- Wat zijn nog kennislacunes op het gebied van verdamping en wateropname?

Kennislacunes rond de wateropname en verdamping in de nacht zijn:

1. De toegestane duur van periode van hoge luchtvochtigheid aan het begin van de nacht.
2. De sturing van de wateropname en ontwikkeling via de EC in relatie tot weersovergangen.
3. Het belang van de wortelactiviteit en het substraatvolume en hoe deze beide zijn te optimaliseren voor gewassen.
4. De minimale opname en verdeling van Ca in de nacht in relatie tot een minimale verdamping.
5. Precieze sturing van de stand van de huidmondjes.

Naast deze kennislacunes lijkt er bij telers op sommige onderwerpen ook een tekort aan bestaande kennis. Zij leggen verbanden tussen verdamping en gewasactiviteit die er op basis van de theorie niet zijn. Dit kan het beste worden ingevuld door de kennis opnieuw onder hun aandacht te brengen.

## 10.2 Aanbevelingen

In de praktijk zal het betekenen dat er vochtiger, met veel isolatie en weinig luchtbeweging geteeld moet worden om een beperkte verdamping te bereiken.

Er is niet één factor die als sterke stuurfactor gebruikt kan worden om huidmondjes in de nacht gericht te laten sluiten.

Vanuit acceptatie van het Nieuwe Telen is het niet aan te bevelen om het substraat- en watergeefstelsel volledig te herzien.

Vanuit oogpunt van sturing van de verdamping is het aan te bevelen om het substraatvolume beperkt te houden.

Kan een overgang van donker naar zonnig weer worden opgevangen door tijdelijke verlaging van de EC van het voedingswater op de eerste lichte dagen? Hierop kan door een teler vrij direct worden gestuurd. De mate van verlaging zou vooraf berekend moeten worden. Dit zou in onderzoek kunnen worden getest.

De verdamping is overdag gekoppeld aan de instraling en ruim voldoende. In de nacht gaat het vooral om wateropname voor Ca. Zowel overdag als 's nachts moet de verdeling van Ca over de verschillende organen goed zijn. Voor beide processen is er geen compensatie mogelijk. De vraag wat dan een minimale verdamping is in de nacht is vooral gekoppeld aan de opname en verdeling van Ca. Omdat dit vrijwel nooit de beperkende factor is moet dit als er zich toch een probleem in de praktijk voordoet op dat moment worden beoordeeld en zonodig actie worden ondernomen.

Het feit dat activeren zo'n sterke drijfveer is bij de telers en voorlichters betekent niet dat het opvangen van de weersovergang niet energiezuinig kan worden gedaan. De stookstrategie moet dan zijn om de temperatuur vooral door de zon te laten oplopen. Om condensatie te voorkomen op koude planten delen moet de snelheid van oplopen van de kas temperatuur middels de ventilatie regeling op luchtvochtigheid worden beperkt.



# 11 Literatuur

- Arve, L.E. Terfa, M.T. Gislerod, H.R., Olsen, J.E. and Torre, S. 2013.  
High relative air humidity and continuous light reduce stomata functionality by affecting the ABA regulation in rose leaves. *Plant, Cell and Environment* (2013) 36, 382–392
- Aubinet, M., Deltour, J., De Halleux, D. and Nijskens, J., 1989.  
Stomatal regulation in greenhouse crops: Analysis and simulation. *Agricultural and Forest Meteorology* 28:21-44.
- Bakker, J.C. (ed) 1993.  
Luchtvochtigheid. Informatiereeks 104. PTG Naaldwijk, PBN Aalsmeer, 71 blz.
- Ball, J.T., Woodrow I.E. and Berry, J.A. 1987.  
A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. In: Biggins J. ed. *Progress in Photosynthesis Research*. Dordrecht Martinus Nijhoff Publishers 221-224.
- Bauer, H., Ache, P., Wohlfart, F., Al-Rasheid, K.A.S., Sonnewald, S., Sonnewald, U., Kneitz, S. Hetherington, A.M. and Hedrich, R., 2013.  
How do stomata sense reductions in atmospheric relative humidity? *Molecular Plant* 6(5):1703-1706.
- Buckley, T. N. and Mott, K. A., 2013.  
Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. *Plant, Cell and Environment* 36(9):1691-1699.
- Buurma, J.S. en P.X. Smit, 2013.  
Groei in Het Nieuwe Telen, Kennisbehoefte van vroege volgers. LEI rapport 2013-054, 54 pp.
- Buwalda, F.; Noort, F.R. van; Houter, G.; Benninga, J.; Rooij, E. de, 2012.  
Energiezuinige Teeltplanning voor Potplanten : een rekenplatform voor energie-efficiënte scenario's in de Poinsettiateelt Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Rapporten WUR GTB 1167 - p. 62.
- Campen J.B., F.L.K. Kempkes en A.A. Sapounas, 2008.  
Klimaat "Kas zonder Gas" Wageningen UR Glastuinbouw. Rapport GTB-1001 33 pp.
- Damour, G. , Simonneau, T.; Cochard, H. and Urban L., 2010.  
An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, Cell and Environment* 33(9): 1419-1438.
- Dieleman, A., Kempkes, F. en Dueck T., 2006.  
Activeren of stilzetten op donkere dagen. Verkenning van de mogelijkheden voor energiebesparing en de gevolgen voor het gewas. Wageningen UR Glastuinbouw Nota 423, 40 pp.
- Dow, G.J., Bergmann, D.C. and Berry, J.A. 2014.  
An integrated model of stomatal development and leaf physiology. *New Phytologist* 201:1218-1226.
- El-Sharkawy, M., Cock, J., Hernandez, A., 1985.  
Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide-range of warm climate species. *PHOTOSYNTHESIS RESEARCH* 7:137-149.
- Eveleens, B., Garcia, N., Kouwenhoven, D., Van der Wurff, T., en Van Telgen, H.J., 2004.  
Fasegestuurde rozenteelt. PPO-Glastuinbouw, rapport project 41300062 33pp.
- Faust, J.E. and Heins, R.D., 1998.  
Modeling shoot-tip temperature in the greenhouse environment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123(2):208-214
- Gambetta G A, Manuck C M, Drucker S T, Shaghasi T, Fort K, Matthews M A, Walker M A and McElrone A J 2012  
The relationship between root hydraulics and scion vigour across Vitis rootstocks: What role do root aquaporins play? *Journal of Experimental Botany* 63, 6445-645
- Gelder, A. de, Warmenhoven, M.G., Dings, E., Grootcholten, M., en Lekkerkerk, H., 2013.  
Het Nieuwe Telen Gerbera: Efficiëntie, economie en energie. Teeltseizoen 2011-2012. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB 1217 45pp.
- Gilliham, M., Dayod, M., Hocking, B.J., Xu, B., Conn, S.J., Kaiser, B.N., Leigh, R.A., and Tyerman, S.D., 2011.  
Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. *Journal of Experimental Botany* 62(7):2233-2250.
- Graaf R. de, Gelder, A. de, and Blok, C. 2004.  
Advanced weighing equipment for water, crop growth and climate control management. *Acta Hort.* 664: 163-167.

- Graaf, R., 1995.  
Verrassende conclusies uit verdampingsonderzoek roos. Vakblad voor de Bloemisterij 50(27):32-33.
- Heuvelink, E., 1995  
Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. Scientia Horticulturae 61:77-99
- Heuvelink, E., en Kierkels, T., 2008.  
Voortdurend balanceren tussen assimilatie en vochtverlies. Onder Glas 5(1): 20-21.
- Hofland-Zijlstra, J. D., Genuchten, L.M.A. van, en Dijk, A.J., 2011.  
Grip op Mycosphaerella in komkommer. Wageningen UR Glastuinbouw. Rapport GTB-1070. 88pp.
- IJdo, M., J. Janse, J. Zijlstra en W. Voogt, 2011.  
Bladrandjes en Ca bij tomaat. Fysiologische achtergronden van cel- en weefselstevigheid in relatie tot het ontstaan van bladrandjes en infectie met Botrytis cinerea L. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB-1116, 52 pp.
- Jones, H.G. and Rotenberg, E. 2001.  
Energy, Radiation and temperature regulations in plants. Encyclopedia of life sciences. John Wiley & Sons, Ltd. 1-8.
- Joshi, A, Knipfer T and Steudle E 2009  
Effects of water storage in the stele on measurements of the hydraulics of young roots of corn and barley. New Phytologist 184, 631-643.
- Kierkels, T., 2012.  
Nokschotten zorgen in grote kas voor egalere temperatuur verdeling. Onder Glas 9(5);20-21.
- Kolk, J.P. van der en W. van Schaik. 2011.  
Haalbaarheidstudie "Lucht op maat" Mogelijkheden van het toepassen van akoestische meetapparatuur in de glastuinbouw. Verslag EOS KTO haalbaarheidsstudie. Projectnummer KTO – H03028. DLV Plant en Innovation Handling, 49 pp.
- Kollist, H., Nuhkat, M., and Roelfsema, M.R.G., 2014.  
Closing gaps: linking elements that control stomatal movements. New Phytologist 203:44-62
- Lawson, T. and Blatt, M.R. 2014.  
Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. Plant Physiology 164: 1556-1570.
- Marcelis, L.F.M., 1993.  
Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 1. Effect of fruit load and temperature. Scientia Horticulturae, 54:107-121
- McKendry, P., 2002.  
Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology 83(1):27-46
- Monteith, J.L., 1995.  
A reinterpretation of stomatal responses to humidity. Plant, Cell and Environment. 18:357-364.
- Mott, K. A. and Parkhurst, D.F., 1991.  
Stomatal responses to humidity in air and helox. Plant, Cell and Environment 14:509-515
- Mott, K.A. and Peak, D. 2010.  
Stomatal responses to humidity and temperature in darkness. Plant, Cell and Environment 33:1084-1090.
- O'Carrigan, A; Hinde, E., Lu, N., Xu, X-Q., Duan, H., Huang, G., Mak, M., Belloti, B. and Chen, Z-H., 2014.  
Effects of light irradiance on stomatal regulation and growth of tomato. Environmental and Experimental Botany 98: 65-73.
- Outlaw, W.H.jr. 2003.  
Integration of Cellular and Physiological Functions of Guard Cells. Critical Reviews in Plant Sciences 22(6): 503-529.
- Peiter, E., 2011.  
The plant vacuole: Emitter and receiver of calcium signals. Cell Calcium 50:120-128.
- Poot, E., Zwart, F. de, Bakker, S.j., Bot, G., Dieleman, A., Gelder, A.de, Marcelis, L. en Kuiper, D., 2008.  
Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in semi-gesloten kassen. Wageningen UR Glastuinbouw Nota 568, 51 pp.
- Poot, E.H. ; Garcia Victoria, N. ; Gelder, A. de; Kempkes, F.L.K. ; Marcelis, L.F.M. ; Raaphorst, M.G.M. ; Weel, P.A. van; Zwart, H.F. de, 2015.  
Richtinggevende beelden voor klimaat neutrale glastuinbouw Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (GTB-rapport 1365) - p. 50

- Schapendonk, A., Pot, S., en Rappoldt, K., 2009.  
Plantenpaspoort Roos. Sleutel voor optimale productie. Plant Dynamics Wageningen, 105 pp.
- Shimizu, H., and Heins, R.D., 2002.  
Prediction of plant shoot-tip temperature on a Penman-Monteith model. Acta Hort. 580:169-176.
- Stael, S., Wurzinger, B., Mair, A., Mehlmer, N., Vothknecht, U.C., and Teige, M., 2012.  
Plant organeller calcium signalling: an emerging field. Journal of Experimental Botany. 64(4):1525-1542.
- Stanghellini, C., 2007.  
Vocht, verdamping en productie: waarheid, fabels en witte vlekken: een verkenning in het kader van het energieprogramma kennisinteractie. Wageningen UR Glastuinbouw Nota 486, 34 pp.
- Stanghellini, C., 2009.  
Vochtregulatie en verdamping: wat kunnen we bereiken? Wageningen UR Glastuinbouw Rapport 274, 33 pp.
- Telgen, H.J. van , Voogt, J.O. , Warmenhoven, M.G., en Weel, P.A. van, 2009.  
Huidmondjesopening : onderzoek naar het meetbaar maken van de huidmondjesopening met als doel om de klimaatregeling mede daarop te baseren. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport 266 – 34 pp.
- Trouwborst, G., Pot, C.S., Schapendonk, A.C.H.M en Fanourakis, D., 2010.  
Huidmondjes in ontwikkeling: Invloed van omgevingsfactoren op de huidmondjesanatomie van bladeren, een literatuurstudie. Wageningen, Plant Dynamics. 29 pp.
- Voogt, J. en Weel, P. van, 2008.  
Climate control based on stomatal behavior in a semi-closed greenhouse system 'Aircokas'. Acta Hort. 797: 151-156.
- Weel, P.A. van, en Voogt, J.O., 2012.  
Natuurkundige analyse van de vocht- en energiebalans van een tuinbouwkas. Wageningen UR Glastuinbouw. Rapport 1185 46 pp.
- Wurff, A.W.G. van der; Blok, C. ; Janse, J. ; Messelink, G.J. ; Hofland-Zijlstra, J.D. ; Driever, S.M. ; Staaij, M. van der; Postma, J. ; Wubben, J. ; Bij de Vaate, J. ; Holtman, W. ; Oppedijk, B., 2011.  
Weerbaar substraat: Opstellen matrix: Bouwstenen voor weerbaar telen. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1119) - p. 90
- Zeiger, E., Farquhar, G.D. and Cowan, I.R., 1987.  
Stomatal Function. Stanford University Press, California. 503 pp.



# Bijlage 1 Publicaties over verdamping

Bakker, J.C. (ed). 1993.

Luchtvochtigheid. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas. Informatiereeks no 104. 72 pp.

Blok, C. en Mathias, M.C. (2002)

Verlaagde gewasverdamping : invloed van matwatergehalte en EC-gift op de verdamping bij tomaat.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Sector Glastuinbouw, Naaldwijk: PPO 565, 44pp.

Dieleman, J.A. (2008)

Effecten van luchtvochtigheid op groei en ontwikkeling van tomaat. Nota / Wageningen UR, Glastuinbouw 519, 34 pp

Dieleman, J.A.; Kempkes, F.L.K.; Dueck, T (2006)

'Activeren' of 'stilzetten' op donkere dagen: verkenning van de mogelijkheden voor energiebesparing en de gevolgen voor het gewas. Nota / Wageningen UR Glastuinbouw 423, 40 pp.

Esmeijer, M. (1998).

Minimale transpiratie in relatie tot energiegebruik, productie en kwaliteit van glastuinbouwgewassen: Eindrapportage van het onderzoek over de jaren 1993-1997. Naaldwijk, Rapport / Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente 154, 52 pp.

Houter, G.; Gelder, A. de; Rijpsma, E.C.; Roos, M.; Paternotte, S.J.; Zwart, H.F. de (2004)

Energiebesparing door aangepaste vochtregulatie Naaldwijk : Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Sector Glastuinbouw, PPO Publicatie 41616017, 61 pp.

IJdo, M.L.; Janse, J.; Hofland-Zijlstra, J.D.; Voogt, W. (2011)

Bladrandjes en Ca bij tomaat: Fysiologische achtergronden van cel- en weefselstevigheid in relatie tot het ontstaan van bladrandjes en infectie met Botrytis cinerea L. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, Rapporten GTB 1116, 52 pp.

Kromwijk, A., Baas, R., Kempkes, F., Noort, F. van. (2012).

"Energiezuiniger watergeefmethode Phalaenopsis", Rapport GTB-1179, 48 pp.

Stanghellini, C. (2007)

Vocht, verdamping en productie: waarheid, fabels en witte vlekken: een verkenning in het kader van het energieprogramma kennisinteractie. Wageningen UR Glastuinbouw Nota 486, 34 pp.

Stanghellini, C. (2009)

Vochtregulatie en verdamping: wat kunnen we bereiken? Wageningen UR Glastuinbouw Rapport 274, 33 pp.

Stanghellini, C.; Blok, C.; Esmeijer, M.H.; Kempkes, F.L.K. (2003)

Strategieverkenning verdamping Wageningen : IMAG, rapport P2003-2, 38 pp.



# Bijlage 2 Verslag van de bijeenkomst Kennis interactie: Verdamping in de nachtelijke uren

## Aanwezig:

Adviseurs/Leveranciers: Martin van der Mei (Floriconsult), Theo Roelofs (DLV), Peter Geelen, Peter Klapwijk (GreenQ), Jan Voogt (Hoogendoorn)

Coördinatoren: Aat Dijkshoorn, Dennis Medema, Leo Oprel

Onderzoek: Fokke Buwalda, Anja Dieleman, Arie de Gelder, Jan Janse, Frank Kempkes, Leo Marcelis, Mary Warmenhoven, Peter van Weel Wim Voogt

Presentaties: Frank Kempkes, Jan Voogt, Wim Voogt, Arie de Gelder.

## Discussiepunten.

- Is de plant zelf ook leverancier van warmte door verbranding van suikers en draagt dit bij aan de nachtelijke verdamping.
- Wat is de rol van luchtbeweging en de bladstructuur bij de verdamping.
- De buisverwarming heeft effect door straling en door luchtbeweging.
- Warme lucht boven in de kas zorgt voor een blokkade van het waterdamp transport naar boven en remt daarmee de verdamping. Je zou hier mee de nachtverdamping kunnen beperken.
- Temperatuur ongelijkheid en kouval door kieren en uit luchtramen zorgt voor problemen. Door koude plekken met condensatie.
- Van de nutriënten is Ca transport en distributie het grootste probleem. Daarbij spelen zowel verdamping als worteldruk een belangrijke rol. Alleen worteldruk is onvoldoende om Ca overal goed te krijgen. Het moet constant worden aangevoerd.
- Recente hypothese is dat als er overdag veel Ca is getransporteerd en vastgelegd is dat s nachts niet beschikbaar als de cellen groeien en strekken. Ca moet in deze gedachte continu worden aangevoerd en er is dus altijd iets verdamping nodig.
- Ca opname kan verstoord worden door andere elementen K, Na en door pH. Je moet dus gehele voedingstoestand hierin betrekken.
- Ook wortel temperatuur is dan belangrijk.
- Bij veel verdamping door oudere bladeren krijgen jonge bladeren en de kop te weinig Ca.
- Wat is de invloed van de nachtlengte bij de Ca opname.
- Is de plant een waterbuffer. Komkommer kan aan de vrucht onttrekken. Tomaat veel minder. De stengel is een waterbuffer. Roos heeft geen buffer. Daarom andere watergift strategie nodig.
- Wat is de elasticiteitsmodules van cellen.
- Nacht verdamping en dag situatie zijn niet absoluut te scheiden. Een fout overdag is niet de compenseren in de nacht maar heeft wel gevolgen voor de nacht.

Tot slot de 3 kernvragen:

### 1. Is het energiegebruik gerelateerd aan nachtverdamping substantieel?

Zelfs in de Venlow energiekas met een totaal energieverbruik van  $16 \text{ m}^3/\text{m}^2$  is het energie gebruikt met verdamping circa  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Dit is totaal van dag en nacht verdamping. De nachtelijke verdamping is verantwoordelijk voor  $4 \text{ m}^3/\text{m}^2$  in deze kas (25% van energiegebruik). In een meer conventionele kas zal deze besparing in absolute zin groter zijn.

Er is dus potentieel een substantiële energiebesparing te realiseren als de verdamping 's nachts (en ook overdag) geremd kan worden.

Dit is niet heel veel, maar we willen elke  $\text{m}^3$  kunnen besparen. Verminderde verdamping is gunstig bij hoge isolatie, omdat er ook minder condensatie plekken zijn.

## **2. (Hoe) kan nachtelijke verdamping beperkt worden?**

De nachtverdamping is te beperken door hoge luchtvochtigheid, door geen watergift in combinatie met weinig voorraad in substraat, hoge EC, lagere temperatuur, weinig stoken, warmte boven in inbrengen. Uiterst belangrijk is de homogeniteit van het kasklimaat. Als de RV naar de 95% gaat wordt het verschil tussen luchttemperatuur en dauwpunttemperatuur steeds kleiner met meer kans op condensatie.

Het kasdek is altijd kouder dan de kas en daarom vind hier gemakkelijk condensatie plaats. Helemaal nul zal de verdamping niet worden.

In de praktijk zie je voor homogeniteit compartimentering van kassen terugkeren.

## **3. Heeft de plant nachtelijke verdamping nodig?**

Een plant heeft niet veel verdamping nodig, maar het risico van te schade door worteldruk ligt op de loer. Dan moet je met de EC snel kunnen sturen en schakelen.

We moeten ook praktisch blijven de bovengrens voor RV zal ca 95 % zijn. Daarbij kun je uitrekenen wat de verdamping dan ongeveer zal zijn en dat is je minimum.

Er zijn een aantal proeven in literatuur beschreven die er op wijzen dat nachtelijke verdamping belangrijk is voor Ca in vruchten en bladranden.

Telen bij hoge RV heeft gevolgen voor celstrekking en daarmee voor stevigheid van de celstructuur. Dan is er juist meer Ca nodig om de celwanden voldoende sterk te maken.

## **Conclusie**

De nachtelijke verdamping is een energiepost en het is een grote uitdaging om daar op te besparen zonder negatieve gevolgen voor het gewas.



# Bijlage 3 Verdamping en elementen

## Mary Warmenhoven

Met de waterstroom worden de voedingselementen in het gewas opgenomen en getransporteerd. Tussen de verschillende elementen bestaan echter groter verschillen in opname hoeveelheid, de concentratie waarbij de elementen worden opgenomen. Een plant kan veel elementen selectief en actief -sterker dan de wateropname-opnemen en transporteren. Een paar elementen worden passief - alleen met de waterstroom getransporteerd.

Element	Als	opname	Opname gedurende dag
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Actief	volgt overdag min of meer de water opname
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Actief	toename gedurende de licht periode
P	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Actief	opname met name in de licht periode
K	K <sup>+</sup>	actief/passief	opname van K komt sterk overeen met opname nitraat
Ca	Ca <sup>2+</sup>	Passief	relatieve opname in de nacht hoger dan overdag
Mg	Mg <sup>2+</sup>	Passief	relatieve opname in de nacht hoger dan overdag
S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Actief	
B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	passief/actief	
Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Actief	opname overdag is hoger dan nachts
Cu	Cu <sup>2+</sup>	Actief	
Mn	Mn <sup>2+</sup>	Actief	loopt mee met transpiratie stroom
Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Actief	
Si		actief/passief of niet	
Zn	Zn <sup>2+</sup>	Passief	In tarwe geen verschil gedurende de dag echter onder Fe gebrek hoge opname in de eerste 2-3 uur van de ochtend
Cl	Cl <sup>-</sup>	Actief	

## Stikstof

### Nitraat

Het verhogen van N naar 100 kg N/ha resulteerde in verhoging bij *Carthamus tinctorius* van de transpiratie met 32% t.o.v. de controle beh. Daarnaast na de huidmondjes weerstand toe met 52%, hetgeen ook resulteerde in meer biomassa. Er was een lineair verband tussen assimilatie en transpiraten en assimilatie en huidmondjesweerstand (Mohamed 2012).

De opname van N vindt actief plaats via transporters (Wang 2012). Het N-transport van wortel naar spruit via xyleem (gedreven door transpiratie) wordt gebruik voor lange afstanden. Daarnaast zorgt het N-transport via floëem (gedreven door osmotische gradiënt) voor secundaire routes.

De nitraatopname bij roos (op waterculture) was gecorreleerd met de water opname (Martinez 2004). Daarnaast werd er ook een hoge correlatie gevonden tussen nitraat opname en temperatuur voedingsoplossing.

De opname van nitraat in jonge tomaat planten neemt in de tijd toe gedurende de lichtperiode en meent af gedurende de tijd in de donker periode (Cardenas 1997). Le Bot (1992) laat echter een opname zien die overdag min of meer gecorreleerd is aan de wateropname (59% overdag) en nachts de eerst paar uur nog wel een piekje in de opname laat zien om daarna af te nemen tegen en in de ochtend neemt de opname weer toe (41% nacht) De opname van nitraat in mais planten neemt in de tijd toe gedurende de lichtperiode en meent af gedurende in de tijd in de donker periode (Haynes 1990).

### Ammonium

Ammonium wordt actief opgenomen (Ninneman 1994).

De opname van  $\text{NH}_4^+$  neemt bij de grassen *Phleum* en *Festuca* tweemaal zo snel toe dan de toename van nitraat opname gedurende de licht periode (Macduff 1997). De opname van ammonium neemt af tegen het einde van de dag. Adaptatie aan Ammoniumgift zorgt voor een afname in de opname van nitraat en kalium.

### Fosfaat

Fosfaat wordt actief opgenomen (Haynes 1990, Schachtman 1998). Opname van P is pH afhankelijk. De hoogste opname vindt plaats tussen pH 5 – 6 in het wortelmilieu.

P wordt opgenomen als  $\text{PO}_4^{3-}$  (Maathuis 2009).

Het transport via het xyleem laat in de nacht hogere concentraties zien dan overdag in tomaat (Ferrario 1992).

### Kalium

Kalium wordt actief opgenomen door de  $\text{H}^+$  pomp over het plasma membraan (Haynes 1990, Marschner 1995).

Kalium wordt zowel actief als passief opgenomen (Maathuis 2009), kalium wordt met name echter actief opgenomen.

Le Bot (1992) laat zien dat de kaliumopname bij tomaat overdag min of meer gecorreleerd is aan de wateropname (63% overdag) en nachts de eerst een uur nog wel een piekje in de opname laat om daarna af te nemen tegen de ochtend neemt de opname weer toe (37% nacht).

Macduff (1996) laat zien dat de kaliumopname bij *Trifolium repens* snel stijgt gedurende het eerste half uur van de dag daalt de naderende nacht periode. Op een dag met heel weinig licht was er zelfs sprake van een efflux van kalium naar het wortelmilieu. De dagelijkse opname van kalium wordt verder mede bepaald aan de opname van voorafgaande dagen. Het opname patroon van Kalium vertoont sterke overeenkomsten met die van nitraat.

### Calcium

In een experiment was de RV 50, 70 en 95 % het effect op groei en opname van elementen werd bekeken (Amor del 2005). Zowel een RV van 50% als een RV van 95% hadden een negatief effect op de ontwikkeling van de plant. Verlaging van het bladoppervlak en blad drooggewicht maar ook RGR, NAR, en LAR. Het grootst was het effect onder een RV van 95%.

De concentratie van N, K en Mg werden niet beïnvloed door RV wel die van P, Ca en S, deze namen af bij een RV van 95%.

De behandelingen hadden echter geen invloed op het % droge stof.

In twee experimenten met jonge tomaten planten werd gekeken naar transpiratie en Calcium aanbod (Amor del (2006)). In experiment 1 was de RV 50, 70 en 95 % en in experiment 2 Calcium concentratie in de voeding was 0.5 of 9 meq/l. Het verhogen van de RV van 70 naar 95% had het grootste effect op de groei van tomaat. Daarnaast is aangetoond dat een sterke reductie in Ca concentratie niet noodzakelijkerwijs ook resulteert in een gereduceerde plantengroei.

De opname van Ca was het laagst bij de laagste transpiratie (RV 95%).

De behandelingen hadden echter geen invloed op het % droge stof.

In een literatuurstudie Ca bij tomaat (Ijdo 2011) wordt een overzicht gegeven over wat Ca doet in de cel, transport opname en welke factoren daarop invloed hebben. Daarnaast worden oude opvatting tegen de theorie van fysiologie gehouden. Enkele punten uitgelicht:

- Opname in jonge wortelpunten is passief.
- Transport door de plant m.b.v. worteldruk en verdamping via de houtvaten.
- Laag Ca in celwanden geeft snellere groei.
- Optimale opname temperatuur voor de wortel ligt tussen de 18 en 22°C.
- Bij lage RV meer aanvoer Ca door hogere verdamping.
- Hoog  $\text{CO}_2$  afname aantal huidmondjes en meer gesloten huidmondjes gevolg lager Ca transport, met name in de nacht.

Er is een negatief lineair verband tussen hoge EC en Ca opname. Maar ook verhoudingen van andere elementen kunnen de Ca opname beïnvloeden.

Calcium wordt passief opgenomen met de transpiratiestroom (White 2003). Het transport via het xyleem laat in de nacht hogere concentraties zien dan overdag in snap bean (Pomper 2004). Dit is ook bij tomaat waargenomen (Ferrario 1992).

### **Magnesium**

Magnesium wordt passief opgenomen volgens Maathuis (2009). In een artikel van Morard (2004) wordt gemeld dat Magnesium opname actief plaats vind.

Het transport via het xyleem laat in de nacht hogere concentraties zien dan overdag in tomaat (Ferrario 1992).

### **Sulfaat**

Sulfaat wordt actief opgenomen (Haynes 1990, Maathuis 2009). Sulfaat wordt voornamelijk opgenomen als  $SO_4^{2-}$ , transport vindt plaats via xyleem (Maathuis 2009).

### **Borium**

Recent onderzoek toont aan dat de opname van borium voor > 90% passief is (Dannel 2001, Smith 2010), met name bij lage borium concentraties in het wortelmilieu vindt er ook een actieve opname van borium plaats. Daarnaast is bij broccoli is waargenomen dat bij hoog borium behandeling de plant boriumopname kan beperken.

Eichert (2010) toont aan dat er Floëem transport van borium plaats vindt naar de wortels als de RV > dan 70% wanneer borium als bladbemesting is toegediend (als boriumzuur).

### **Silicium**

Of Si passief, actief of niet wordt opgenomen is afhankelijk van de soort (Liang 2006). Si wordt actief opgenomen door o.a. *Oryza sativa*, *Triticum aestivum* en *Lolium perene*. Door *Cucumis sativus*, *C. Melo* en *Glycine max* wordt Si passief opgenomen.

Hogere transpiratie zorgt voor hogere concentratie Si in blad van komkommer. Het actieve transport van Si naar het blad is groter naar mate de beschikbaarheid van Si in de grond lager is (Faisal 2012). Wanneer de beschikbaarheid van Si in de grond hoog is kan de passie opname de concentratie in het blad volledig verklaren.

### **Chloride**

Chloride wordt actief opgenomen (Haynes 1990, Marschner 1995, White 2001).

### **Koper**

Opname koper is actief (Marschner 1995). Koper wordt opgenomen als  $Cu^{2+}$  (Hänsch 2009).

### **IJzer**

IJzer wordt actieve opgenomen als  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  of Fe chelaat (Marschner 1995). In gerst is de opname overdag hoger dan nachts (Alam 2004).

### **Mangaan**

Mangaan wordt actief opgenomen al  $Mn^{2+}$  (Mukhopadhyay 1991). De opname van Mn is competitief met die van Mg. Het transport van Mn loopt mee met de transpiratie stroom in het xyleem.

### **Molybdeen**

Molybdeen wordt actief opgenomen mogelijk via de fosfaat binding/transport (Zimmer 1999). Een hoge concentratie aan sulfaat in de grond heeft een negatief effect op de opname van Mo.

### **Zink**

Bij jonge tarwe wordt onder hoger transpiratie meer Zn opgenomen (Grifferty 2000). Wanneer tarwe is opgekweekt met laag Fe zal de opname van Zn 2 -3 na zonsopgang hoog zijn. Bij tarwe planten die zijn opgekweekt met voldoende Fe is de opname gedurende de dag gelijk (Zhang 1991).



# Bijlage 4 Verdamping beperken bij Gerbera

**Arie de Gelder**

Om verdamping te beperken is het algemene advies om te gaan telen bij een hogere luchtvochtigheid en de vochtafvoer beperken. Een belangrijke vraag is of dit praktisch ook tot een beperking van de verdamping leidt. Om dit te onderzoeken is in een volgroeid Gerbera gewas – Cultivar Optima- gedurende een periode van 15 nachten de verdamping gemeten door het gewicht van de 2\*8 potten te meten. Deze potten stonden op twee weegsystemen (weeggoten) van elk 2 meter lang. Zodat er planten op 1.6 m<sup>2</sup> werd gewogen. In de praktijk staan er 10 planten op deze gootlengte, maar de voorste en achterste plant zijn weggelaten om één goot inclusief planten met plastic te kunnen inhullen.

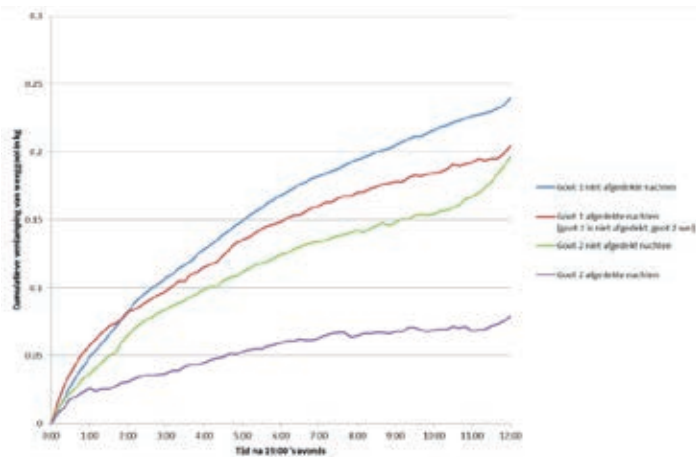
Van de 15 nachten is gedurende 2 keer 2 nachten na elkaar één weegstelsel met planten ingehuld in een plastic folie. Dit is gedaan van ca 17:30 tot de volgende morgen 8:00. Per 10 minuten is het gewicht van beide weegsystemen gelogd. Van de 4 nachten dat een goot is afgedekt en de 11 nachten dat deze goot niet is afgedekt zijn gemiddelden waarden voor de verdamping per goot van beide systemen berekend over het tijdvak 19:00 uur tot 7:00.

In deze periode van 12 uur was de gemiddelde verdamping van een afgedekte goot 6.6 g/(m<sup>2</sup>.uur) en bij een niet afgedekte goot 17.0 g/(m<sup>2</sup>.uur).

De verdamping bij de afgedekte goot was in het begin van de periode van afdekking nog relatief hoog. Blijkbaar moest eerst de ruimte binnen het folie volledig met vocht worden verzadigd. Tussen 11 uur 's avonds en 5 uur 's morgens was de verdamping slechts 4.0 g/(m<sup>2</sup>.uur). Als de goot niet is afgedekt is de verdamping in die periode 9.2 g/(m<sup>2</sup>.uur).

## Conclusie

Uit dit onderzoek blijkt duidelijk dat door hoge luchtvochtigheid en beperkte mogelijkheid van vochtafvoer de verdamping sterk is terug te dringen bij Gerbera. De verdamping kon meer dan gehalveerd worden.



**Figuur 1** Verloop verdamping op twee weeggoten met Gerbera planten.



**Foto 1** Weeggoot in gehuld in folie.



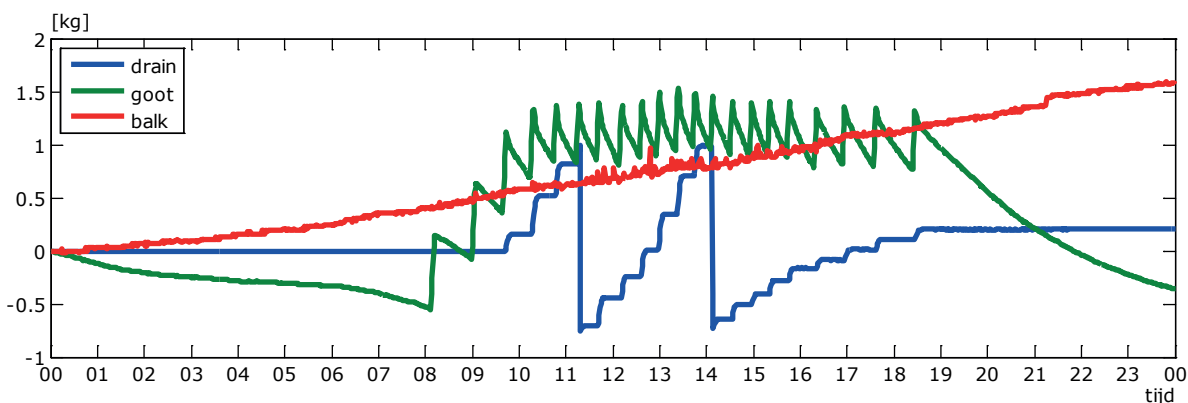
# Bijlage 5 Resultaten metingen met een weeggoot in de Venlow Energy kas 2013

Frank Kempkes

## Werking van de weeggoot

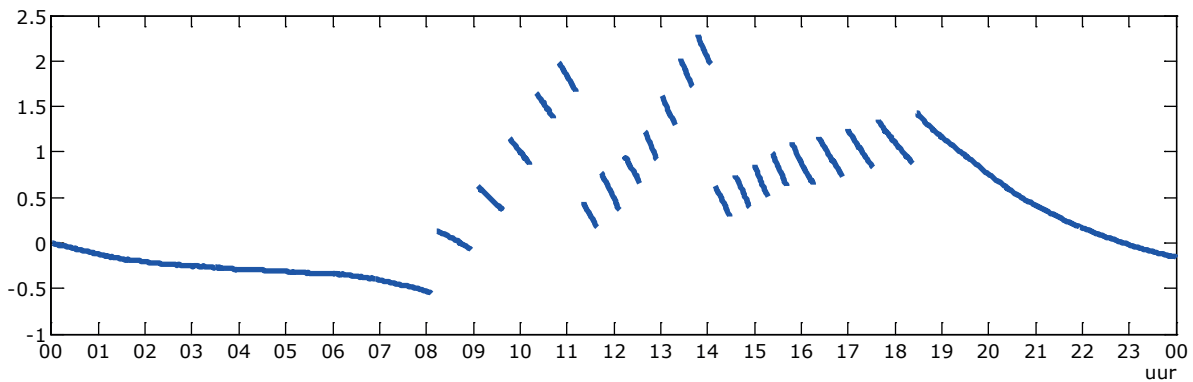
Een weeggoot bestaat uit een 1 meter lange goot op sensoren, een drainbak en een bovenbalk waar de gewashaken aan hangen. De hele goot beslaat een kasoppervlakte van 2.35 m<sup>2</sup>. In figuur 1 is de gewichtsverandering van alle 3 de afzonderlijke weegsystemen weergegeven voor een willekeurige dag, in dit geval 5 juni 2013 de dag met tot nu toe de hoogste stralingsom, 3065 J/cm<sup>2</sup>). De gewichten worden iedere 30 seconden gelogd.

Alle data is middernacht genormaliseerd naar 0. In de nacht neemt de goot geleidelijk in gewicht af en rond 8 uur is een forse sprong zichtbaar, de eerste watergift van deze dag. De hellingshoek van de gewichtsverandering van de goot, groene lijn, is op dit moment een maat voor de verdampingsnelheid. Het gewicht van de drain bak verandert nog niet. Dat gebeurt pas na de 3<sup>e</sup> beurt waarbij de eerste drain zichtbaar wordt. Ook is te zien dat de eerste beurt in omvang duidelijk groter is dan de volgende beurten. Rond 11:00 is de drain bak vol en wordt deze leeggepompt, wat zich rond 14 uur weer herhaalt. In totaal zijn er deze dag 21 beurten geweest. Na de laatste beurt, rond 18:30, teert de mat nog ca. 1.7 kg in voor het einde van de dag. Ook is duidelijk te zien dat een beurt rond 10:00 uur veel meer drain geeft dan een beurt in de middag.



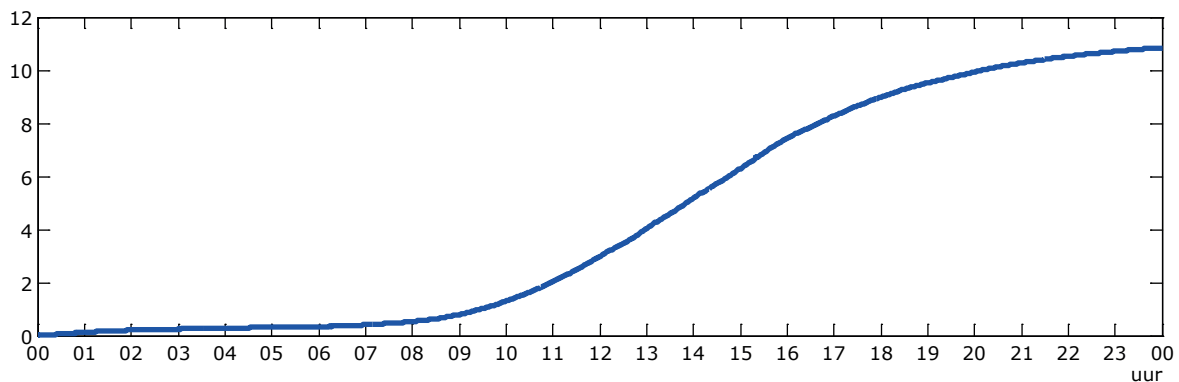
**Figuur 1** Gewichtsverandering van de balansen van de weeggoot op 5 juni 2013.

Op momenten dat de goot uitdraind is de gewichtsafname veel groter dan de verdamping op dat moment. Door nu goot en drain bij elkaar op te tellen ontstaat de totale wateropname door het gewas. Echter er blijven nog steeds sprongen in de lijn bestaan rond de watergift. Een algoritme heeft deze sprongen eruit gefilterd. Dan ontstaat figuur 2. Zoals de figuur laat zien zijn er veel gaten en deze gaten beslaan al snel enkele tot wel 5 minuten per gat. Deze gaten moeten dus worden opgevuld. Daarvoor wordt een regressielijn door het kwartier voor het gat gefit en deze hellingshoek wordt over het gat geëxtrapoleerd. De hellingshoek is immers een maat voor de wateropname.



**Figuur 2** Opname van water door het gewas op 5 juni 2013.

Na deze 'reparatie' van de gaten. En het aan elkaar plakken van alle stukjes is dus in feite een cumulatieve wateropname door het gewas bepaald, zoals in figuur 3 getoond. De totale wateropname op deze dag is 10.8 kg voor de hele goot die 2.35 m<sup>2</sup> kas omvat.



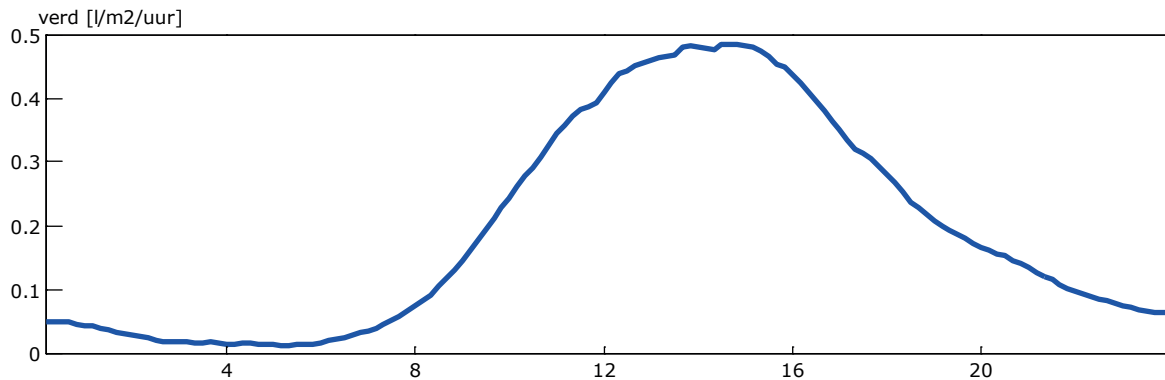
**Figuur 3** Cumulatieve opname van water door het gewas op 5 juni 2013 voor de gehele goot.

Het verschil tussen 2 waarnemingen is dan de verdampingssnelheid, de waterfixatie door het gewas even verwaarlozend. Deze fixatie door het gewas zal op jaarbasis richting de 100 kg lopen en komt daarmee zeker op 10% van de wateropname. Op deze dag wordt dit in feite door de rode lijn van figuur 1 weergegeven. Dit is de toename van het gewicht van het gewas zoals het aan de haken hangt. Dit zijn in totaal 9 stelen ((3.83 steel/m<sup>2</sup> kas terwijl de goot 2.35 m<sup>2</sup> kas representeert). Omdat bij een interval van 30 seconden een zeer sterke variatie in de verdampingssnelheid voorkomt (omdat er vaak slechts sprake is van kleine gewichtsveranderingen in die 30 seconden (grammen) en er altijd sprake is van enige ruis en, wordt de verdamping op basis van 10 minuten bepaald.

#### **Gemeten verdamping in de Venlow Energy kas**

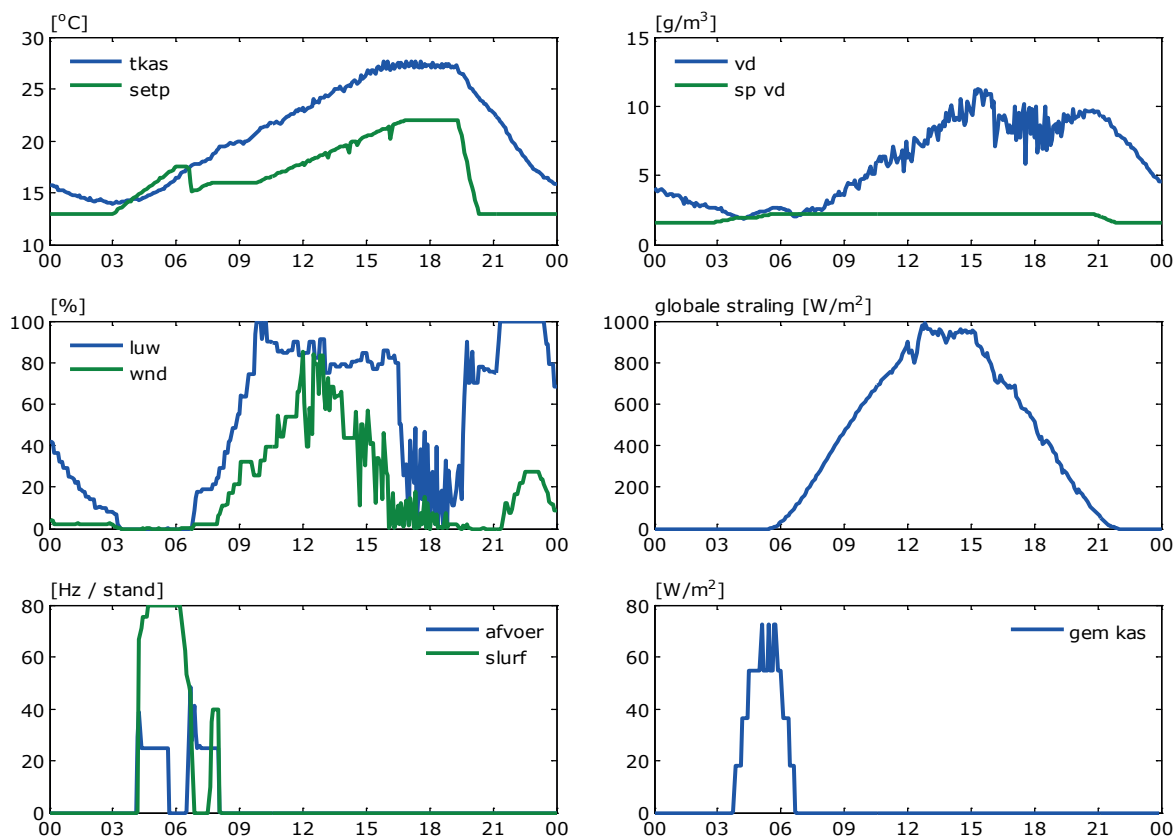
Met behulp van de in het vorige hoofdstuk beschreven methode kan dus de wateropname berekend worden, zoals in figuur 4 weergegeven.





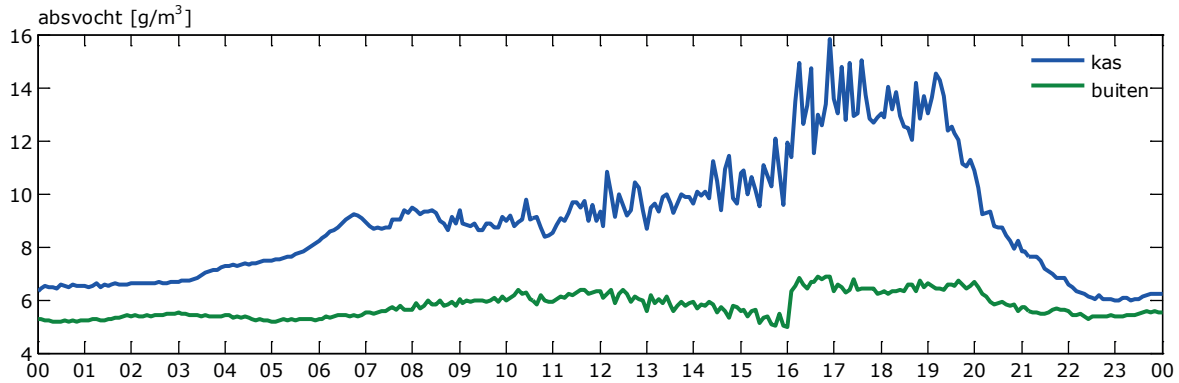
**Figuur 4** Wateropname door het gewas op 5 juni 2013 per m<sup>2</sup> kas.

Bovenstaand figuur laat zien dat in de nacht de wateropname vrij constant afneemt tot ca. 5 uur met een minimum van rond de 12 gr/m<sup>2</sup>/uur. Deze wateropname in de nacht is gedreven door het vochtdeficiet en eventuele input van energie. Om deze interactie te verduidelijken is in figuur 5 een aantal kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen, de snelheid van de ventilatoren en de globale straling als belangrijkste energiebron getoond.



**Figuur 5** Kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen, snelheid van de ventilatoren en de globale straling op 5 juni 2013.

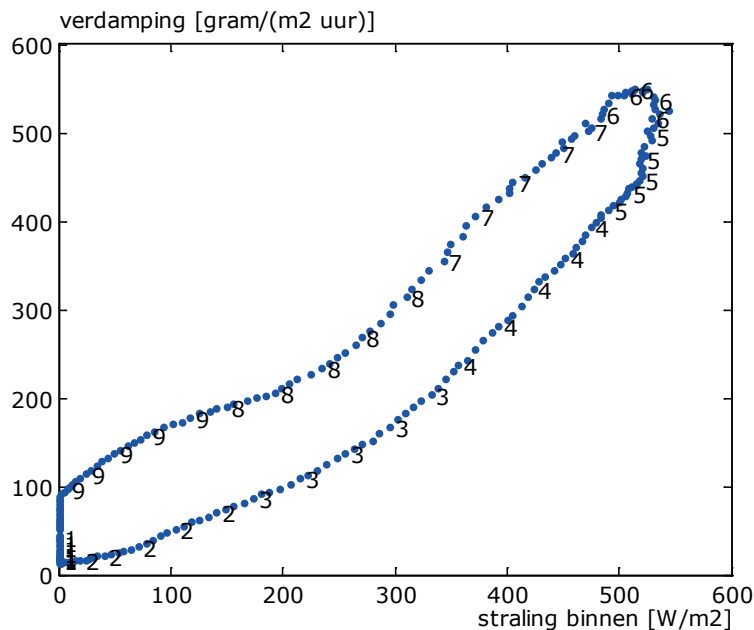
Deze dag zijn de luchtramen maar kort gesloten geweest, tussen 3 en 7 uur, ook dat de periode is dat er verwarmd wordt en iets aan ontvochtiging gedaan wordt met de buitenluchtaanzuiging (linksonder in subfiguur 'afvoer'). Door het in de avond en nacht langdurig ventileren, neemt het vochtdeficiet slechts langzaam af. Ook de kasluchttemperatuur neemt slechts langzaam af van ca. 21°C om 21:00 uur tot ca. 14°C om 03:00 uur. In deze nacht is de vochtafvoer een aantal uren beperkt gezien het kleine absolute vochtverschil wat er is tussen de kas- en buiten-lucht, zoals figuur 6 laat zien.



**Figuur 6** Absoluut vocht van de kaslucht en buitenlucht op 5 juni 2013.

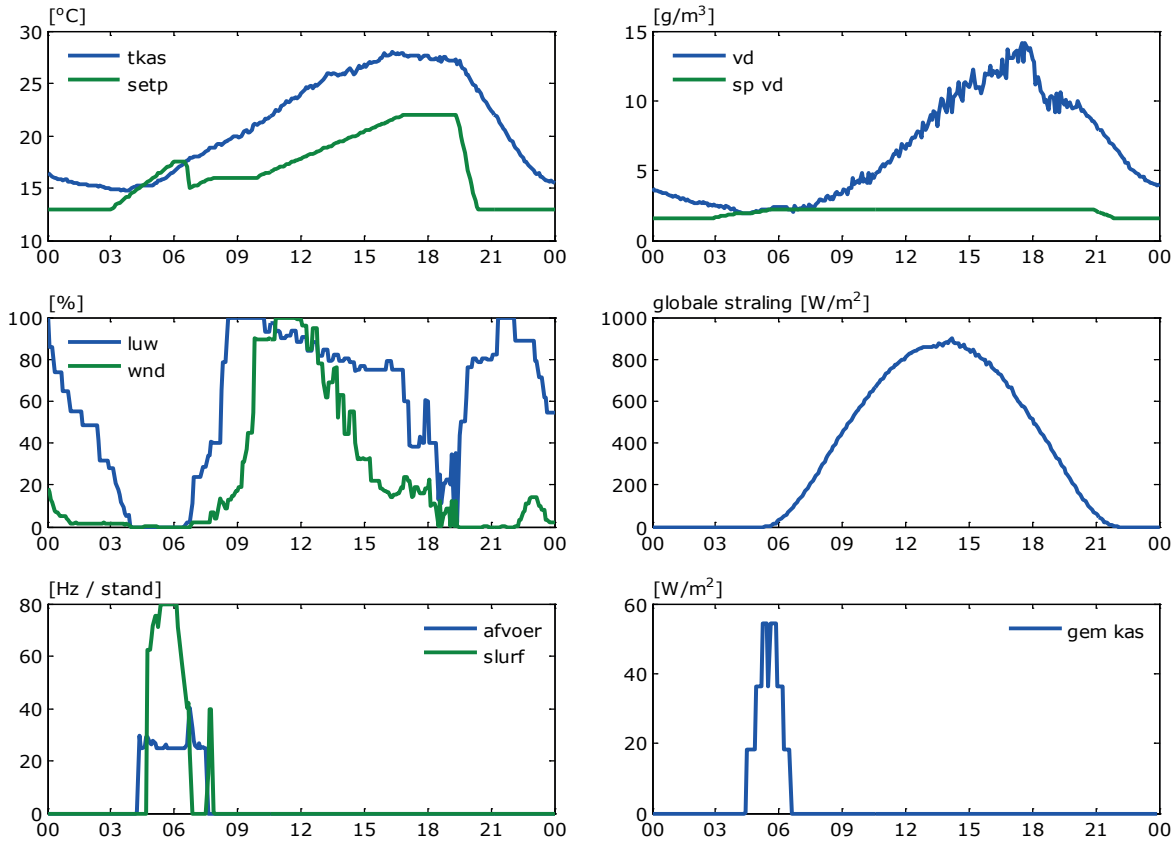
### Wateropname versus straling

Voor de wateropname is overdag de straling veruit de belangrijkste energiebron. De wateropname is dan ook sterk gerelateerd aan de straling, zoals figuur 6 nog eens laat zien. In dit figuur is de straling in de kas uitgezet tegen de wateropname. Op een mooie dag, in dit geval 7 juni, komt in de kas twee keer de zelfde stralingsbelasting voor, in de morgen bij toenemende zon en in de middag bij afnemende zon. De figuur laat echter zien dat in de middag de zelfde hoeveelheid straling meer wateropname geeft. De dag is opgedeeld in een 9-tal perioden en de weergegeven nummers komen overeen met de perioden: 1 van middernacht tot 4, 2 van 4 tot 8, 3 van 8 tot 10, 4 van 10 tot 12, 5 van 12 tot 14, 6 van 14 tot 16, 7 van 16 tot 18, 8 van 18 tot 20 en 9 van 20 tot 22 uur. De waarnemingen van 22 tot middernacht vallen in de donkere uren bij 0 W/m<sup>2</sup> straling binnen.



**Figuur 6** Relatie straling in de kas en de wateropname door het gewas op 7 juni 2013.

De getoonde ellips is wel een patroon welke meestal zo terugkeert, echter doordat de straling gedurende de dag vaak sterk varieert komt dit op die dagen minder duidelijk in een grafiek naar voren. Oorzaak van het "grote" verschil in opgaande zon en afgaande zon wateropname moet gezocht worden in verschillende kasluchttemperaturen en VD's die sterk vergelijkbare vormen kennen als deze tegen de straling binnen in de kas worden uitgezet. In figuur 7 zijn de kasparameters van deze dag weergegeven.

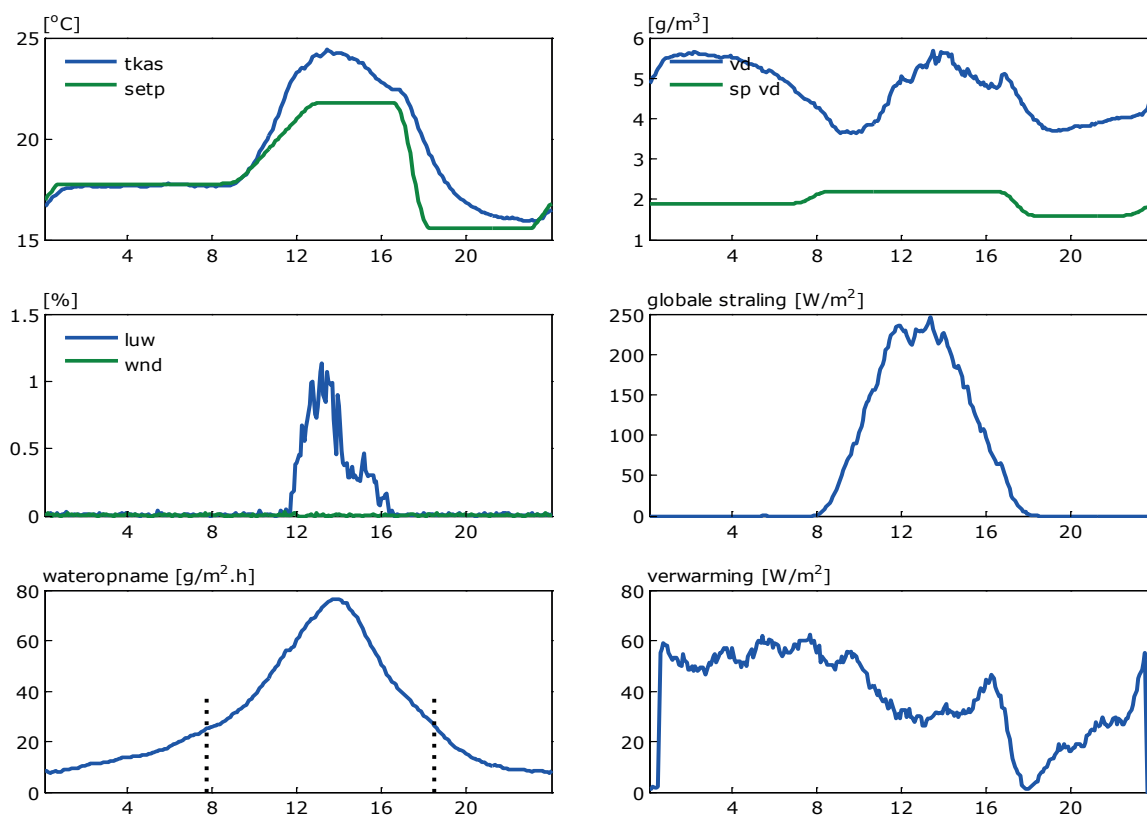


**Figuur 7** Kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen, snelheid van de ventilatoren en de globale straling op 7 juni 2013.

### Wateropname door de dag

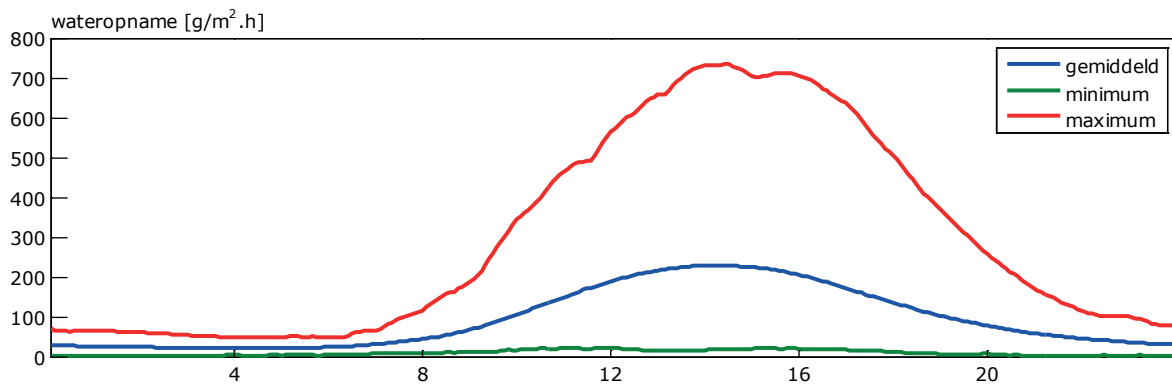
De opname van water in de nacht ligt op veel lagere niveaus vergeleken met de dag situatie. Vanuit energie inzet gezien heeft deze wateropname vele malen meer invloed op het energiegebruik dan de daguren waar deze energie "gratis" wordt aangeleverd. Figuur 5 en 7 laten echter ook zien dat de periode dat er daadwerkelijk externe energie ingezet wordt op deze dagen beperkt blijft tot de 2 á 3 uur rond zonsopkomst. Dit is uiteraard wel sterk gerelateerd aan de zomer periode.

Om de wateropname gedurende het jaar wat beter in beeld te krijgen, is er vanaf 1 februari (de teeltstart op 18 januari tot 1 februari is even buiten beschouwing gelaten omdat het gewas nog erg klein was) in 4 wekelijkse perioden de wateropname en enkele kasparameters als een cyclisch gemiddelde weergegeven. In figuur 8 de maand februari. Deze periode kenmerkt zich door de ontwikkeling van het gewas en daarmee de toename van de LAI in deze tijd. Dat heeft ongetwijfeld zijn invloed. In het subfiguur linksonder is met behulp van de stippellijn de overgang dag/nacht weergegeven. De subfiguur rechtsonder, waar het verwarmingsvermogen in is weergegeven impliceert rond middernacht een warmteafgifte van rond de nul. Dat is in werkelijkheid niet zo, echter de meterstand wordt dan gereset. Deze periode kenmerkt zich door het vrijwel continue verwarmen, alleen bij zon onder valt de verwarming altijd wel even weg, ook omdat er dan een forse setpoint temperatuurverlaging wordt doorgevoerd. In der nacht loopt de wateropname terug tot onder de 6 g/m<sup>2</sup>.h. In deze periode is het scherm in de nacht vrijwel altijd gesloten. In de afkoelperiode blijft het scherm open (als het overdag open is geweest) echter zodra er warmtevraag ontstaat, sluit het scherm. In deze periode is het scherm tussen zonsondergang en zonsopkomst altijd gesloten.



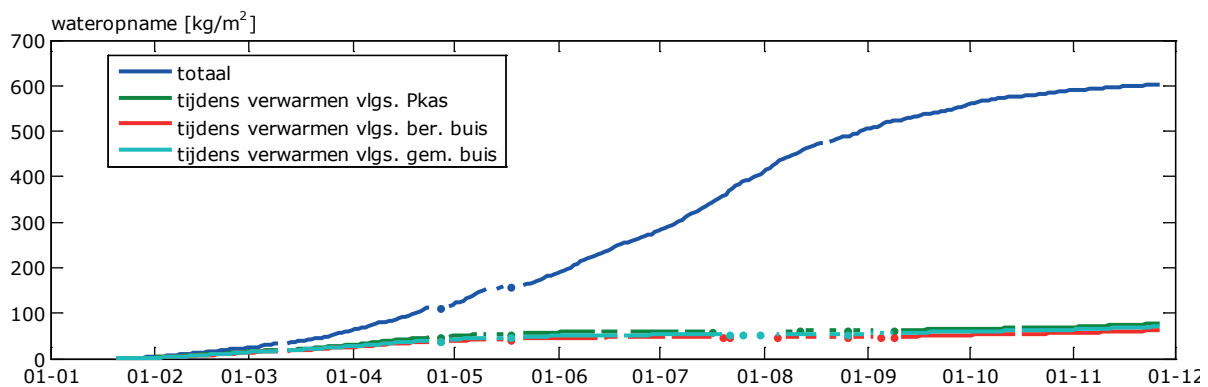
**Figuur 8** Cyclisch gemiddelde wateropname van het gewas met enkele kasklimaatparameters als vochtdeficiet, kasluchttemperatuur, raamstand, het toegevoerde verwarmingsvermogen en de globale straling in de periode van 1 t/m 28 februari 2013.

In figuur 9 is over de periode 1 februari tot en met 12 november 2013 de minimale, gemiddelde en maximale wateropname getoond. De getoonde lijnen hoeven niet van één aaneengesloten dag te zijn, (vrijwel zeker niet).



**Figuur 9** Cyclisch minimale, gemiddelde en maximale wateropname van het gewas in de periode van 1 februari t/m 12 november 2013.

De kas kent 3 verwarmingssystemen; de buisrail, slangverwarming (slave) en de lbk aan het begin van de slang (master), die onafhankelijk van elkaar gestuurd kunnen worden. Aan de hand van de berekende buistemperatuur per verwarmingsnet is bekend of er warmtevraag in de kas is. Door alle momenten te tellen dat ten minste één van de berekende buistemperaturen een temperatuur groter dan de kasluchttemperatuur heeft, is de verdamping op dat moment mede gerelateerd aan de verwarming. Daarnaast zijn alle drie de verwarmingssystemen gekoppeld aan één warmtemeter in het centrale verdeelstuk. Mocht dit signaal warmtevraag detecteren, dan is in die periode de verdamping gerelateerd aan verwarming. Het oplossend vermogen van dit signaal is echter beperkt zodat het resultaat iets anders uit kan pakken dan volgens de berekende buis methode. Beiden hebben voor en nadelen. Als derde optie is in plaats van de berekende buistemperatuur ook de gemeten buistemperatuur gebruikt. In figuur 10 is de totale wateropname en de wateropname tijdens verwarming volgens de berekende buismethode en de warmtemeter methode cumulatief voor het hele teeltjaar 2013 weergegeven.



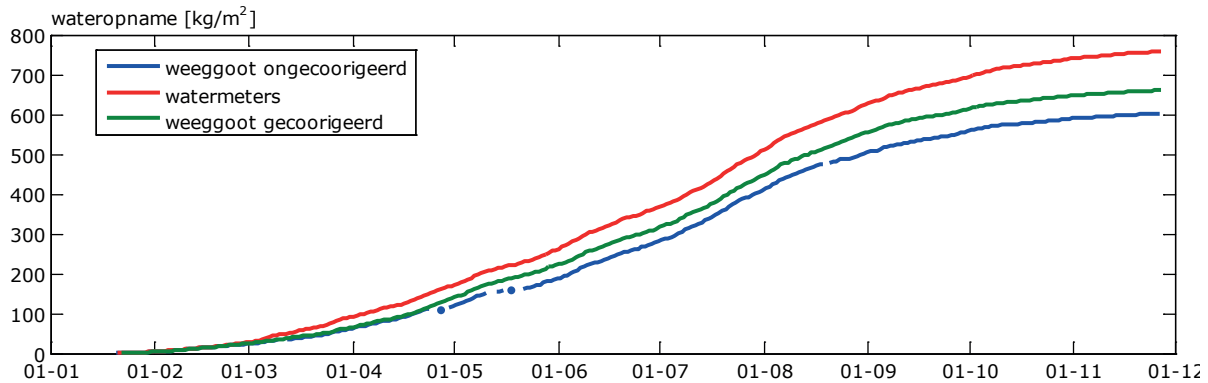
**Figuur 10** Cumulatieve totale wateropname en wateropname tijdens het stoken volgens de berekende buis methode en de warmtemeter methode van het gewas in de periode van 20 januari t/m 25 november 2013.

In de blauwe totaal lijn worden enkele gaten getoond. Van deze dagen is door storingen data verloren gegaan. De wateropname tijdens het verwarmen is dan ook verloren gegaan. Daarnaast zijn in de verwarmings gerelateerde wateropname lijnen meerdere gaten te zien, vooral tussen half juli en begin september, dit zijn dagen dat er in het geheel niet gestookt is.

De totale wateropname is exclusief de ontbrekende data 602 kg terwijl de verwarmings gerelateerde wateropname 77 62 en 71 kg voor respectievelijk de warmtemeter en berekende buis en gemeten buistemperatuur methode is.

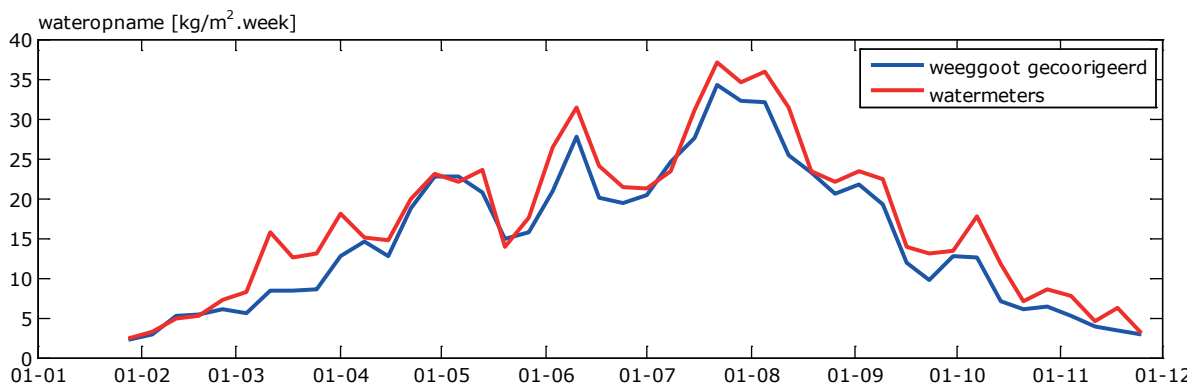
### Wateropname weeggoot in vergelijking met wateropname van de kas

De weeggoot representeert met 2.35 m<sup>2</sup> slechts een klein deel van het totaal beteelde oppervlak in deze kas die voor ca. 420 m<sup>2</sup> beteeld is. Voor de hele kas worden watergift en drain ook gemeten met behulp van watermeters. Vanuit de watermeters kan een vergelijking met de weeggoot gemaakt worden, zoals in figuur 11 is getoond waar de blauwe lijn gelijk is aan deze als getoond in figuur 10, de groene lijn de blauwe lijn is maar dan gecorrigeerd voor de ontbrekende meetdata en de rode lijn de wateropname van het gewas is zoals deze door de watermeters van de hele kas geregistreerd is. De totale wateropname is 602, 662 en 755 kg/m<sup>2</sup> voor respectievelijk weeggoot ongecorrigeerd, weeggoot gecorrigeerd en de watermeters.



**Figuur 11** Cumulatieve totale wateropname volgens de weeggoot, de weeggoot gecorrigeerd voor ontbrekende meetdata en volgens de watermeters in de periode van 20 januari t/m 27 november 2013.

De verschillen tussen de gecorrigeerde weeggoot en de watermeters is per week ook nog eens gepresenteerd in figuur 12.



**Figuur 12** weeksom van de wateropname volgens de weeggoot gecorrigeerd voor ontbrekende meetdata en volgens de watermeters in de periode van 20 januari t/m 27 november 2013.

De figuur toont dat de wateropname volgens de watermeters altijd gelijk of groter is dan van de weeggoot. Dit is zeker plausibel omdat de weeggoot midden in de kas staat en de watermeter meting ook te maken heeft met gevelrijen die beduidend meer licht ontvangen en dus meer zullen verdampen. Op jaarbasis is het verschil 14%. Rekening houdend met deze geveleffecten zal het verschil beduidend kleiner worden.

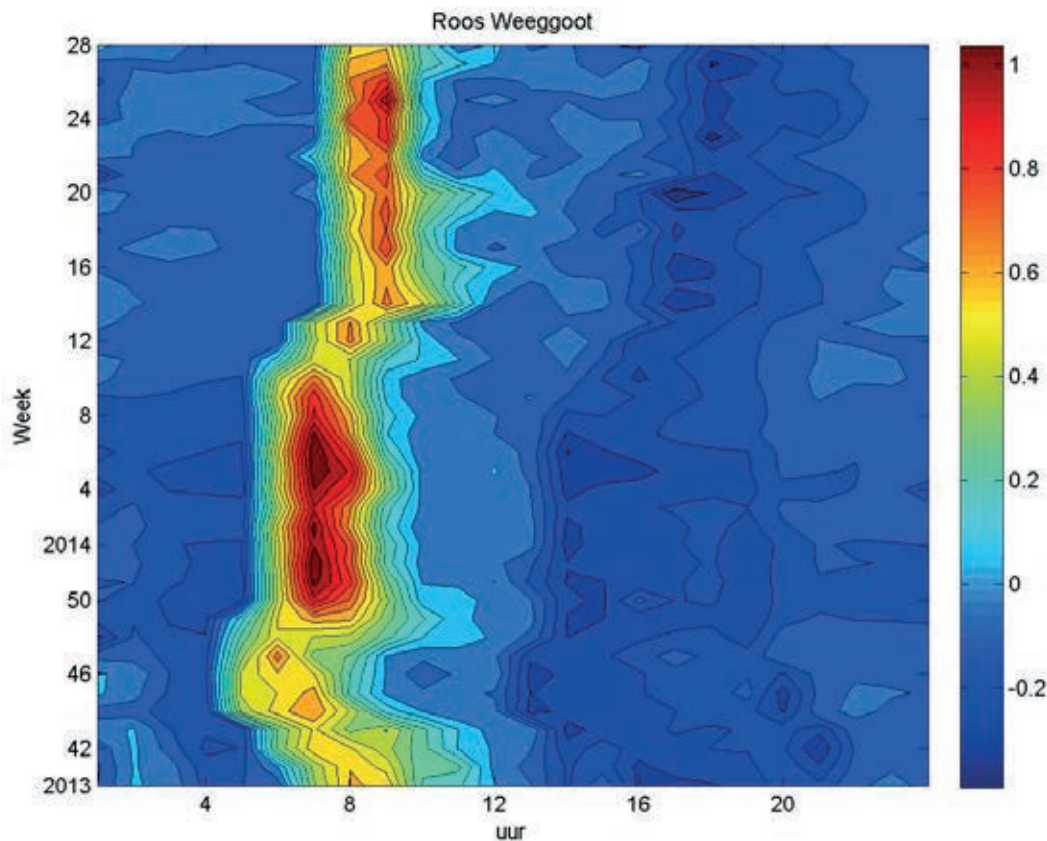
# Bijlage 6 Verdamping roos in: Een Perfecte Roos, Energiezuinig geteeld.

**Arie de Gelder**

In het project Een Perfecte Roos, Energiezuinig geteeld worden energiegebruik, de watergift en drain voor de teelt dagelijks gevolgd met de standaard hulpmiddelen van het Improvement Centre. Energie gebruik met warmtemeters en kWh meters. Watergift en drain via registratie van het aantal beurten, de beurtgrootte, de start- en stoptijden van de watergift, de gemeten drain, het drain percentage en de gift EC, pH en de drain EC en pH. Daarnaast zijn er watergehalte meters die de matvochtigheid van de substraat mat volgen.

Tijdens de winter van 2013-2014 bleek dat het gebruik aan warmte in de periodes 12 en 13 van 2013 en 1 en 2 van 2014 hoger was dan voorzien was in de prognose voor de teelt. Er werd slechts 10% bespaard ten opzichte van de referentie terwijl dit 50% had moeten zijn. Opvallend was ook dat de watergift in die periode bijna 2 keer zo hoog was dan in de praktijk gebruikelijk. Vanuit het project over verdamping en energiebesparing is het een logische gedachte dat de extra warmte die moest worden ingebracht veroorzaakt is door een hoge verdamping. In de kas met rozen is ook een weeggoot geïnstalleerd die per 5 minuten het gewicht van 2 matten met rozen registreert. De gewichtsverandering in gram/(uur.m<sup>2</sup>) van de weeggoot over een etmaal is gemiddeld per week berekend en grafisch weergegevens in Figuur 1.

Duidelijk is te zien dat in de periode van week 48 tot week 8 er rond 7 uur 's morgens door de watergift een sterke toename is van het gewicht van de weeggoot (donker rood). Dit is duidelijk meer dan in de periode daarvoor en daarna. Rond week 24 in 2014 is er opnieuw een sterke gewichtstoename, maar wel later op de dag. De start van de watergift in de zomer is later omdat er niet wordt belicht in de morgen. Een tweede opvallend punt is dat de afname van het gewicht vanaf week 44 van 2013 aan het begin van het etmaal en het begin van de middag hoog is (donker blauw). Dit komt overeen met een groot waterverbruik. De verdamping in die periode is hoog en vergeleken met de praktijk zeker hoger. De verdamping is hoger dan op basis van de energie van de lampen mag worden verwacht. In andere weken komt er in de middag ook wel eens een hoge afname in gewicht= verdamping voor, maar dat hoort bij een hoge straling. In de winter branden wel de assimilatie lampen, maar is de invloed van de zon veel kleiner.



**Figuur 1** Gewichtsverandering gedurende 24 uur gemiddeld per week van een weegopstelling bij roos. De legenda loopt van een afname van 0.4 kg/(m<sup>2</sup>.uur) tot een toename van 1 kg/(m<sup>2</sup>.uur).

Bij verdere analyse van het probleem bleek dat in de winterperiode het Actieve Ventilatie Systeem (AVS) van Van Dijk Heating, dat droge lucht via de slurven onder het rozen gewas blaast, en het systeem van de OPAC van LEK Habo in de verwarmingsmodes samen werden gebruikt. Het AVS blaast droge lucht in het gewas die tussen het gewas vocht opneemt. De OPAC in verwarmingsmodus met een hoog toerental van de ventilatoren blies deze 'droge lucht' met hogere snelheid langs de rozenbladeren, waardoor deze sterker gingen verdampen. Daardoor bleef de luchtvochtigheid bij de meetbox hoog zodat het AVS niet uitschakelde maar op volle toeren ging draaien. De ventilator van de OPAC bleef in die periode op hoge toeren draaien. In feite werd er dus met de kraan open – door luchtbeweging gestimuleerde verdamping, getracht de luchtvochtigheid te beheersen. Nadat er voor gekozen was te gaan verwarmen via de buizen in plaats van via de OPAC zakte direct de wateropname, de verdamping en het energie gebruik. De groei van het gewas had hier niet van te lijden. Uit deze proef bleek duidelijk dat een onjuiste combinatie van instrumenten de verdamping onnodig kan stimuleren. Onjuist gebruik verhoogd het energiegebruik in plaats van het energie gebruik te verminderen. Er is niet gerekend aan het effect op het energie gebruik, maar een extra verdamping van ca 1 l/(m<sup>2</sup>.dag) geeft een extra energie input van ca 0.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.week).



# Bijlage 7 Mycosphaerella in komkommer

## **Arie de Gelder**

Toepassing van het nieuwe telen bij kwekerij Zuidgeest Delfgauw BV in een komkommer teelt heeft in 2014 geleid tot een zware aantasting met *Mycosphaerella*, waardoor te veel vruchten moesten worden weggegooid en de besparing op energie te niet werd gedaan door verlies aan potentiële productie. Bovendien heeft een partij komkommers van een bedrijf met *Mycosphaerella* in de afzet een groter risico op zichtbaar kwaliteitsverlies. Voor Marco Zuidgeest is deze ervaring reden om volgend jaar toch weer meer terug te gaan naar zijn normale strategie van eerdere jaren of zoals hij het op [Energiek2020.nu](http://Energiek2020.nu) verwoordde "volgend jaar gaan we toch behoudender te werk".

Deze ervaring is voldoende aanleiding om een analyse te maken van het klimaat bij Zuidgeest gedurende zijn winterteelt 2014. Deze teelt startte 19 december 2013 met het ras Venice. Zuidgeest teelt op bakken met perlite waarbij hij met kleine beurtjes water geeft en weinig drain realiseert, maar ook in de nacht weinig intering laat ontstaan. In de dagen na mijn bezoek, begin april, wordt er tussen geplant, zodat begin mei de laatste vruchten van de winter planting worden geoogst.

De problemen met Mycos werden volgens Marco het eerst gezien rond begin februari en in zijn aantekeningen van 28 februari staat dat de druk met Mycos fors toenam. Begin april bij de teelt wisseling is de druk weer wat minder en Marco verwacht dat hij naar de zomer toe steeds minder last van Mycos zal hebben.

In het gesprek gaf Marco aan dat het gebruik van Fungaflor in plaats van Rocket voor de bestrijding van meeldauw bijgedragen kan hebben aan een mindere beheersing van de Mycos. In het rapport over Mycos van Hofland-Zijlstra et al.(2011) wordt het neveneffect van met name middelen die zijn ontwikkeld voor botrytis en meeldauw bestrijding genoemd. Uit dit rapport is komt niet naar voren dat Fungaflor en Rocket verschillen in effectiviteit (blz 42, 45, 53), beide worden voor effectiviteit als goed beoordeeld (tabel blz 45). De praktijk ervaring is dat er wel verschillen zijn.

## **Advies en conclusies**

- Het schermdoek moet 's avonds niet zo worden gesloten dat de luchtvochtigheid kan oplopen door activiteit van de plant. Dit verhoogt de kans op natte bloemen die niet goed opdrogen in de nacht.
- Er zijn een aantal momenten in de teelt geweest dat de kasttemperatuur zeer snel is opgelopen met kans op natslag op het gewas met name in februari.
- De afstemming van de etmaal temperatuur op de lichtsom kan nog beter. Vooral gelet op de afwijkingen over langere tijd die voorkwamen.

## **De onderbouwing van advies**

Vocht is essentieel voor het ontstaan van Mycos (Hofland-Zijlsta, 2011, blz 57 ).

De etmaalgemiddelden van RV en VD over de gehele teelt laten geen bijzondere waarden zien, de etmaal RV is in februari maximaal 87.5% en het etmaal VD is minimaal 2 g/m<sup>3</sup>. Dat zou niet direct op een te hoge vochtigheid wijzen. Van 15 tot 19 maart is de etmaal RV hoger met een piek van 90% op 19 maart zonder dat dit tot een extra toename van Mycos leidde. Dus moeten we meer kijken naar andere factoren.

Er kan ook gekeken worden naar het verloop van VD en RV over het etmaal. Lastige daarbij is dat in een gemiddelde over meerdere dagen effecten van scherm instellingen en verschuiving van zon-op en zon-onder in de tijd versturende invloeden zijn op het gemiddelde verloop. De effecten moeten dan per dag worden bekeken en kunnen moeilijk worden veralgemeniseerd. Ik doe dit in combinatie met andere factoren.

## ***Gebruik van folie en doek***

Gelet op de etmaal temperaturen van 3 meetboxen heeft Marco gebruik gemaakt van een AC- folie in de periode 6 januari tot 6 februari. Na 6 februari is het schermdoek intensiever gebruikt, vooral overdag, maar ook vroeger in de avond gesloten.

Dan komen er dagen voor dat het schermdoek 100% van de tijd gesloten is. Al eerder kort voor het verwijderen van het folie, van 3 tot en met 5 februari is het energie scherm intensiever gebruikt. In die periode is het energiescherm meer gesloten geweest. Dit heeft waarschijnlijk tot relatief meer licht verlies geleid na 3 Februari dan door het gebruik van het AC folie is opgetreden in Januari. Het gewas groeide echter in de periode zeer goed.

Als problemen met Mycos gemeld worden begin Februari dan waren ze al ontstaan met het folie, maar kwamen na het verwijderen van het folie sterker naar voren.

Als we goed kijken naar de periode van overgang van Folie+ Doek naar alleen Doek dan is opmerkelijk het RV verloop op 3 en 4 februari gecombineerd met de straling en de doekstand. In de morgen voor het openen van het doek en in de avond direct na het sluiten van het doek loopt de RV op. De stralingsniveaus buiten zijn op dat moment nog ruim boven de 100 W/m<sup>2</sup>. 'smorgens komt de verdamping van het gewas dus al opgang voor het openen van het doek en 's avonds gaat dit dus nog even door zodat het vocht niet afgevoerd kan worden.

In Januari is bij het sluiten van het doek nooit een stijging van de luchtvochtigheid te zien. Het doek werd toen vaak laat gesloten. In Februari is juist vaak bij het sluiten van het doek een hogere luchtvochtigheid te zien. Daarbij is op 20 februari vanwege de lage lichtintensiteit het doek helemaal niet open geweest en is de gehele dag een hoge luchtvochtigheid voorgekomen. Deze daalde naar 21 Februari wel sterk, maar die moet aan een verandering van de buitenomstandigheden hebben gelegen.

Van 20 naar 21 februari is een sterke overgang in straling overdag terwijl de luchtvochtigheid dan 's nachts onder het doek daalt. Overdag blijft de luchtvochtigheid wel hoog, en dit wijst er op dat er geen probleem met de wateropname is. De overgang in van lage lichtintensiteit naar hoge lichtintensiteit door het sluiten van het scherm lijkt hier dus niet nodig te zijn.

In februari blijkt als gekeken wordt naar het verloop van de RV en het VD na het sluiten van het scherm dat gedurende ruim 1 uur de RV onder het gesloten scherm opliep en daarna weer ging dalen. Voor het VD geldt het omgekeerde. Dat betekent dat gedurende ruim een uur het gewas meer verdampte dan er aan vocht afvoer mogelijk was. Daarbij werd die verdamping niet meer gestimuleerd door straling want het scherm neemt de instraling weg. Omdat de verdamping in de periode daarvoor met open scherm en instraling van de zon hoger is zal de wortelactiviteit van de plant hoog zijn. Na het sluiten van het scherm duurt het dus blijkbaar ruim 1 uur voordat de wortelactiviteit zover gedaald is dat de verdamping van de plant lager is geworden dan het vocht afvoer uit de kas. Dit zou een moment kunnen zijn waarop de bloemen vochtig worden, als gevolg van worteldruk, en moeilijk opdrogen. Dit pleit er dus voor om hoewel je na een zonnige dag, warmte in de kas wilt houden het energie scherm toch niet te snel of te sterk te sluiten maar er eerst voor te zorgen dat de verdamping afneemt. Dit zou kunnen door bijvoorbeeld het scherm op 80 % te sluiten, licht wegnemen die de verdamping stimuleert en toch zorgen dat de lucht voldoende kan drogen en na een uur geheel te sluiten. Bewijs voor het ontstaan van "natte bloemen" door worteldruk en guttatie bij sluiten van het scherm zou in een onderzoek moeten worden aangetoond.

#### *Afstemming Lichtsom-Etmaal temperatuur*

Bij Het Nieuwe Telen wordt gestreefd naar een goede verhouding tussen straling en temperatuur. Als de etmaal temperatuur wordt uitgezet tegen de globale straling per dag dan is er een verhoging van de etmaal temperatuur van 1.71 °C per 1000 J/(cm<sup>2</sup>.dag) bij een basis temperatuur van 19.46 °C. De correlatie coëfficiënt (R<sup>2</sup>) is niet heel sterk, maar wel aanwezig. Als in de tijd wordt gekeken naar het verschil tussen temperatuur die bij de straling van die dag zou horen en de werkelijke temperatuur dan blijkt dat begin Januari de temperatuur relatief hoog was. Dit was bij een ontwikkelend gewas dat nog weinig vruchten droeg. Daarna is eind januari de temperatuur relatief laag. Dat blijft ook zo als de straling wordt gecorrigeerd voor het dicht hebben van het vaste folie. In die periode kon de plant dus meer in het gewas investeren. Pas eind februari (22 -28 februari) is de temperatuur relatief hoog ten opzichte van de straling. De plant is volop in productie. Op dat moment komt de plant assimilaten te kort en wordt dus relatief verzwakt. In die periode is ook het energie doekoverdag veel gebruikt wat, door de licht reductie niet gunstig is voor de hoeveelheid assimilaten dat de plant kan maken. Volgens het rapport van Hofland-Zijlstra *et al.* (2011) is een hoge plantbelasting mogelijk bevorderlijk voor Mycosphaeralla: " Wanneer we deze drie onderzoeken samenvatten lijkt er dus wel een lichte verhoging van de aantasting te zijn bij zwaardere plantbelasting, maar zijn de verschillen niet of nauwelijks aan te tonen." (blz 23). De hogere temperatuur in verhouding tot het licht eind februari zal de kans op Mycos eerder verhogen dan verlagen.

De afstemming bij Zuidgeest tussen lichtsom en temperatuur had volgens mij beter gekund. Met name eind februari is de etmaal temperatuur te hoog geweest.

Zouden er andere momenten of redenen zijn waarop of waardoor vocht een probleem kan vormen?

In de discussie over broeikoppen in de Sunergie kas is gesteld het openen van het scherm een moment zou zijn waarop de verdamping geheel wegvalt en de worteldruk die dan al is opgebouwd tot problemen zou kunnen leiden. De oorzaak van het stoppen van de verdamping zou dan de uitstraling van het gewas zijn waardoor geen energie afvoer via verdamping nodig is. Bij Zuidgeest lijkt dit voor het ontstaan van Mycos op de vruchten niet plausibel. Zuidgeest teelt in een paraplusysteem waarbij de uitstraling wordt opgevangen door de bovenste bladeren en niet door de bloemen op de rankvruchten.

Watergift en bemesting zijn op het perlietsysteem zeer gecontroleerd. Kleine hoeveelheden afhankelijk van de intering op 3 weegsystemen.

Temperatuurstijging met kans op natslag.

Op 18 januari, op 15, 17 en 19 februari en op 14 maart zijn er uren geweest waarin de temperatuur meer dan 2.5 °C per uur steeg.

Bijvoorbeeld op 19 februari stijgt de temperatuur tussen 12:00 uur en 12:30 uur met 3.75 °C van 22 naar 25,7°C. Het VD is dan 2.2. in die tijd kan het gewas nat geslagen zijn.

Mogelijk nog grotere kans op natslag is geweest op 15 februari. Dan zakt de RV van de kas ook terwijl de temperatuur stijgt en de straling snel toenam. Het schermdoek ging kort voor dit moment open. Dit zou een moment kunnen zijn dat het gewas actief werd en toch het vocht niet goed kwijt kon met kans dus op natslag. Het voorkomen van natslag wordt als een van de praktische adviezen geformuleerd door Hofland-Zijlstra (blz 25). In deze situatie had dus op basis van de temperatuur stijging geventileerd kunnen worden.



# Bijlage 8 Broeikop in Sunergie kas: Een poging tot analyse

**Arie de Gelder**

Tussen 13 maart en 17 maart 2014 is er een stevige mail wisseling over het onderwerp "Schermproef IDC Broeikoppen". Aanleiding hiervoor is dat het gewas in de Sunergiekas, waar een project met intensief schermen boven komkommer loopt, "broeikoppen" heeft (Project ontwikkeling hoog isolerende scherming). Het gewas toont op dat moment de symptomen van broeikoppen in sterke mate. De vraag is waar dit door komt.

In de mail wisseling zijn verschillende verklaringen geopperd. De meningen zijn zeker niet eens luidend. Dit vroeg om een meer gestructureerde analyse van wat er is gebeurd in klimaat en teelt. Deze notitie beschrijft mijn analyse en voorlopige conclusies.

In mijn analyse heb ik me gericht op het vinden van mogelijke oorzaken voor de broeikoppen op het gebruik van de schermen, de temperatuur, de luchtvochtigheid, de watergift, de bemesting en de EC in de mat.

## **Moment van ontstaan**

De mail wisseling is tussen 13 en 17 maart, maar op 26 februari heeft Peter van Weel al een mail gezonden waarin gemeld wordt dat er broeikoppen zijn waargenomen. "Ik heb even met Arie de Gelder en Jan Janse overlegd over de mogelijke oorzaak van de broeikoppen".

De conditie van het gewas op 12 maart toen ik zelf in de kas ben gaan kijken wees ook op een eerder moment van ontstaan. Rond 12 maart was er al weer sprake van een herstel in de bovenste bladeren.

Voor het ontstaan van de broeikoppen moeten we dus naar mijn mening het zoeken in de periode tussen 18 en 26 februari. Dat valt gelijk met de periode rondom de oogst van de eerste vruchten werden op 24 februari. Op 26 maart heb ik in de kas bepaald waar de bladeren met de ergste bolblad symptomen (zitten ten opzichte van de kop van de plant. - Het bolblad symptoom is het gevolg van de broeikoppen, waarbij de bladranden niet meer kunnen uitgroeien.- De ergste symptomen zitten ongeveer 20 bladeren onder de kop. Bij een ontwikkelingsnelheid van ca 6 bladeren per week zijn dat bladeren die in de kop zaten rond  $20/6 \times 7 = 23$  dagen terug. Dat is dus rond 3 maart. De aanleg van deze bladeren is nog ongeveer een week eerder en dus rond 24 februari. Het is niet mogelijk om de exacte datum van aanleg te terug te halen, maar met deze aannames klopt het redelijk. Maar ergens tussen 24 februari en 3 maart zullen deze bladeren dus onderdeel van de kop van de plant zijn geweest.



**Figuur 1** Door bolblad misvormde bladeren in het komkommer gewas.

## Klimaat in de kas

### Schermgebruik

De proef in de Sunergie kas gaat om maximaal gebruik van schermen. Het zijn er drie boven elkaar. Het boven scherm is alleen 's nachts dicht. Dit wordt weergegeven door het blauwe vlak in Figuur 2. Daarin is te zien dat de nachtlengte geleidelijk afneemt.

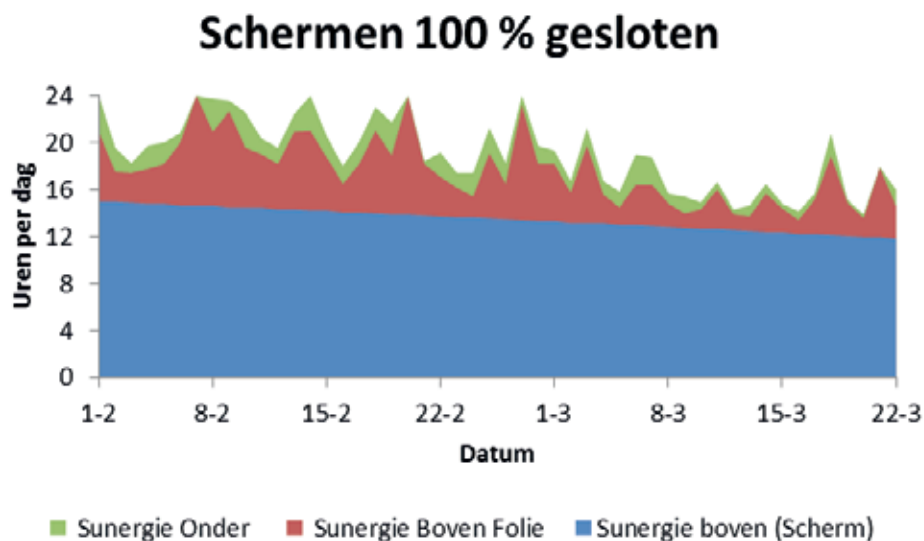
Overdag zijn er 2 of 1 of geen folie schermen dicht. Eerst gaat van de beide folies het bovenste open en daarna het onderste. Bij sluiten is dat juist andersom. Opvallend is dat er veel uren zijn dat er twee schermen dicht zijn en relatief weinig uren dat er slechts 1 scherm dicht is. De instellingen van de beide folie schermen stonden dus blijkbaar dicht bij elkaar.

Verder is op te merken dat al vanaf begin februari overdag beide schermen open zijn geweest, maar dat er ook dagen in februari zijn dat er geen scherm open is geweest gedurende een hele dag.

Deze constatering is een nuancering op de omschrijving van Peter van Weel: " De broeikoppen zijn ontstaan nadat we meer zonlicht hebben gekregen. Voor die tijd hielden we overdag vaak twee transparante schermen dicht". Ook eerder waren er geregeld perioden per dag dat beide folies open lagen en toch zijn er geen broeikoppen waargenomen.

Als we uitgaande van 26 februari terugkijken is de periode 18, 19 en 20 februari een periode met veel schermen overdag. Op 20 februari zijn de folie schermen geheel gesloten gebleven. Terwijl in de dagen daarna alle schermen ruim 5 uur openliggen.

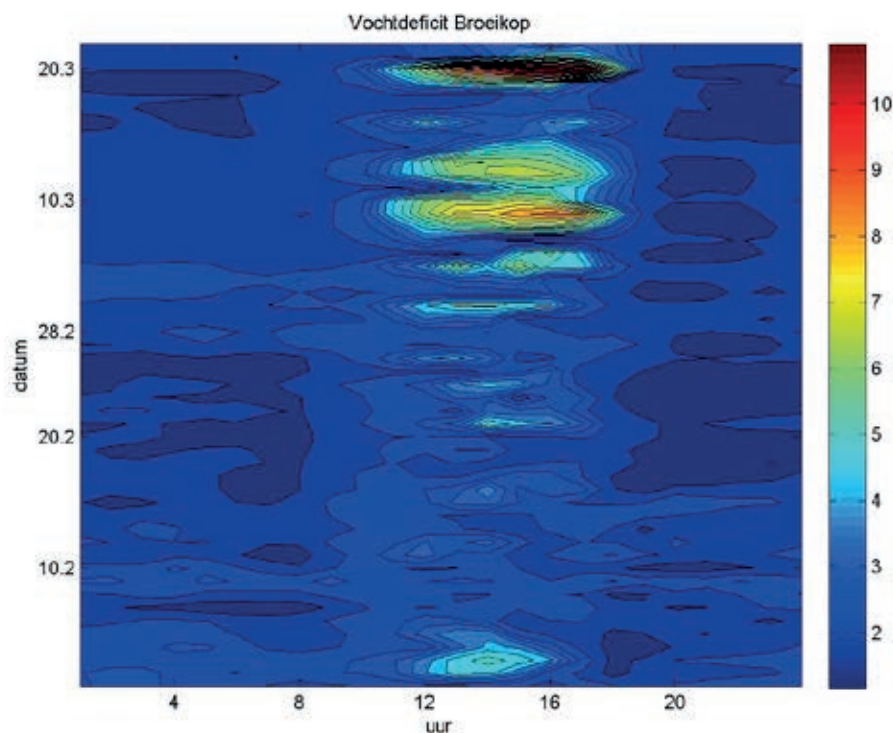
Op 28 februari, dat is dus na het constateren van broeikoppen, is het volledig gesloten zijn van het scherm gedurende een dag nogmaals voorgekomen.



**Figuur 2** Het aantal uren dat de schermen volledig gesloten zijn per dag (5 minuten waarde schermstand = 100).

### Vochtdeficit.

Voor de verdamping van het gewas is belangrijk dat er energie toevoert of dat er een groot vocht deficit is. In onderstaande Figuur 3 is over de periode 1 februari tot 22 maart het vochtdeficit per uur per dag uitgezet. In de nacht is het vochtdeficit veelal laag en overdag kan het afhankelijk van het weer oplopen. Vooral aan het eind van de analyse periode zie je hoge VD waarden overdag. In de periode voor 26 februari valt met name op dat het VD in de nacht van 24 naar 25 februari laag is.



**Figuur 3** Het vochtdeficit van de kaslucht gemiddeld per uur in  $g/m^3$ .

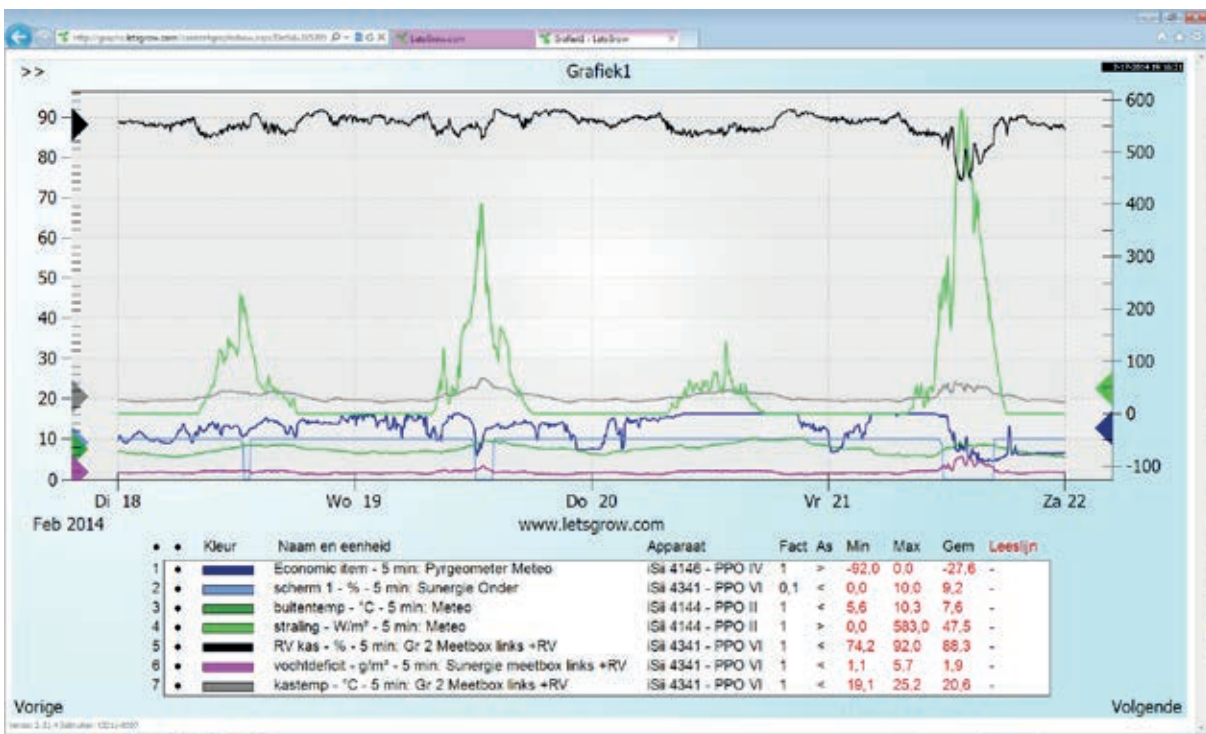
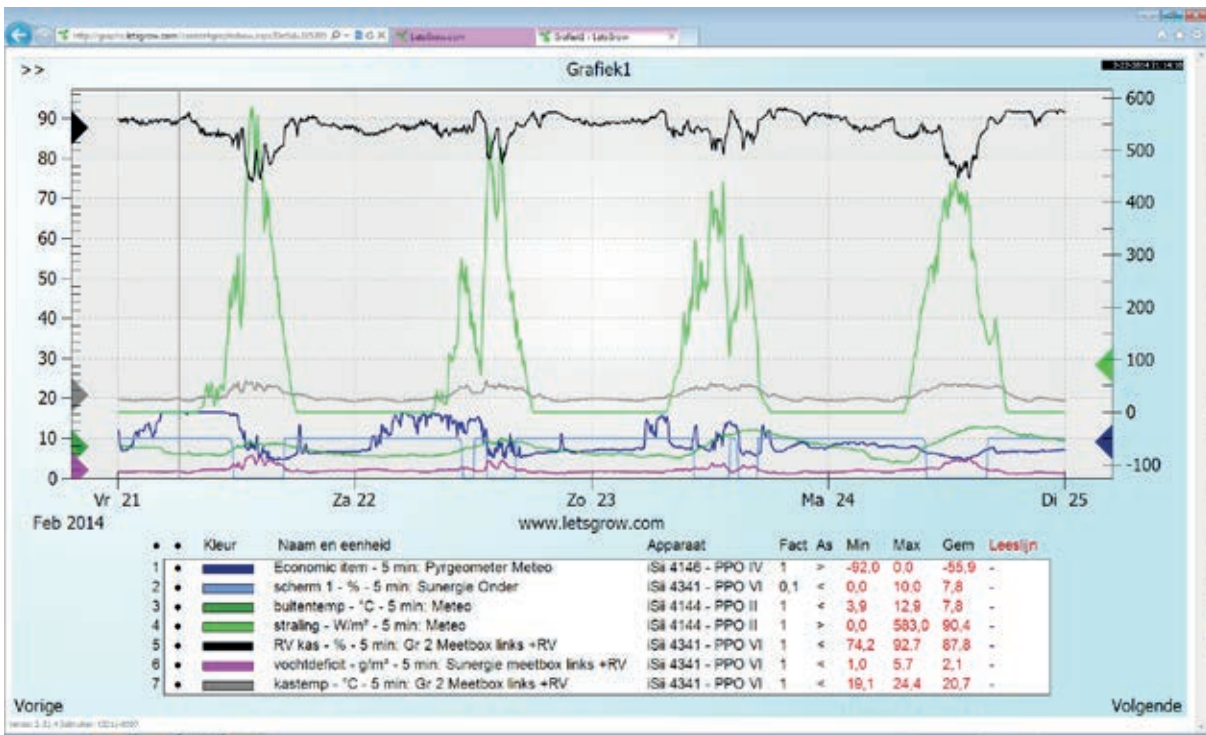
### Wisselend weer

Als we inzoomen op de periode voor 26 februari dat zie ik het volgende.

Het zijn stralingsrijke dagen van 21 tot 24 februari, maar de dagen ervoor 18 tot 20 februari zijn juist heel somber. Op 21 februari en op 24 februari stijgt de luchtvochtigheid bij het sluiten van het folie scherm sterk. Vooral op 21 februari is het opvallend hoe de RV stijgt en dus het VD daalt gelijktijdig met het sluiten van het folie. De plant was blijkbaar nog volop aan het verdampen. Deze sterke overgangen zouden passen bij een moment dat de worteldruk te hoog is geworden en cellen kapot gedrukt worden.

Het kan ook zijn dat na zo'n dag de druk de gehele nacht hoog blijft en cellen kapot gaan. Dan zou de snelheid van sluiten geen verschil uitmaken.

In de dagen daarvoor met weinig instraling en gesloten scherm hebben de planten juist weinig hoeven te verdampen.



Tot zover lijkt dit dus aardig te passen in een plaatje van broeikoppen. Weinig verdamping in een periode met gevolg gebrek aan Ca in de kop gevolgd door een sterk verdampende periode waarbij aan het eind van de dag de luchtvochtigheid snel stijgt met een forse worteldruk tot gevolg en dus kapotte cellen. Nutriënten en EC.

De watergift in de afdeling is in de loop van februari- maart per dag toegenomen, maar dat is redelijk gecorreleerd met de straling. Gemiddeld is 2.9 ml/ (Joule.cm<sup>2</sup>) aan water gegeven. Dit is een normale hoeveelheid. De drainmeting is niet alle dagen goed verlopen zodat niet duidelijk is wat de wateropname per dag precies is geweest.



Uit de registratie van de EC in de mat met een WGM meter blijkt dat deze van ruim 3.5 begin Februari daalde naar 1.9 rond eind Februari en daarna weer is gestegen tot bijna 4 op 22 maart. Om het in populair te zeggen: in februari vrat de plant alle voeding op. Ook volgens de teelt verantwoordelijken was de nutriënten opname hoger rond de eerste oogst van de vruchten op 24 februari. Uit de analyse cijfers van Groen Agro Control blijkt dat de verhouding van K/Ca in de mat op dat moment lager is dan bij het begin van de teelt en half maart.

#### Analyse gegevens

	Analyse 11-2	Analyse 24-2	Analyse 18-3	
EC	2.3	2.4	3	
K	5.3	4.4	8	mol/m3
Ca	5.2	6.4	6.2	mol/m3
K/Ca	1.02	0.69	1.29	

#### Samenstelling voedingswater

	In druppel	Start	dd 14/2	dd 20/2	dd 26/02	dd 7/3	dd 20/3	
EC	3.5	3	3.5	4	4	3.2	3.2	
K	8.98	9.98	13.30	15.24	16.24	12.94	12.14	mol/m3
Ca	7.58	6.37	6.65	7.62	7.25	5.77	6.07	mol/m3
K/Ca	1.19	1.57	2.00	2.00	2.24	2.24	2.00	

Uit de analyse cijfers blijkt dat er 2 keer de hoeveelheid K t.o.v. Ca meegegeven, maar de opname van K is groter in februari waardoor de concentratie in de mat zakt. De EC van het matwater steeg niet ondanks dat het druppelwater een EC van 4 had. Dit geeft aan dat de plant actief nutriënten opnam. De EC in de mat is lager dan de EC van het voedingswater.

Mijn gedachte is dat het opnemen van veel K en een lage EC van de mat maken het voor de plant gemakkelijker op veel water op te nemen en daardoor een hogere worteldruk te realiseren. Ondanks deze sterkere water opname mogelijkheid neemt de opname van Ca niet duidelijk toe. Er wordt zelfs minder Ca mee gedruppeld vanaf 7 maart. Blijkbaar is het niet de mogelijkheid om Ca op te nemen maar de verdeling van de Ca in de plant.

#### Uitstraling

Peter van Weel heeft naar aanleiding van het gesprek met mij en Jan Janse wel de scherm strategie iets aangepast en volgens hem heeft dat juist verkeerd uitgepakt. Hij komt in zijn mail van 17 maart tot een geheel andere verklaring.

*"Broeikoppen komen vooral voor in het voorjaar en dan is de buitentemperatuur laag en de uitstraling hoog. Trek je dan een scherm te vroeg open of te laat dicht, dan kan de kasdek temperatuur zo laag zijn, bij buitenstraling van >200 W/m<sup>2</sup>, dat de plantkop sterk in temperatuur zakt. Daarmee gaat de verdamping naar nul terwijl de wortels nog flink drukken. Dat geeft mogelijk een zodanige celstrekking (van zwakke cellen) dat ze kapot worden gedrukt.*

*In mijn proef zakte de kasdektemperatuur extreem laag door de perfecte isolatie, waardoor de temperatuur boven het scherm door uitstraling van het kasdek zelfs lager wordt dan de buitentemperatuur. Vanaf begin maart ben ik begonnen om de schermen eerder te openen omdat "de planten meer moesten verdampen". Achteraf denk ik dat ik die oude theorie beter niet had kunnen toepassen."*

Past deze verklaring bij de verschijnselen en bij het klimaat. Volgens mij niet. Het sterkst isolerende scherm wordt standaard bij zonop opgetrokken, waarna de kas mag opwarmen door de zon totdat de straling > 100 W/m<sup>2</sup> is.

De vraag is zijn de planten dan al sterk aan het verdampen. Dat antwoordt is nee. In de morgen moet juist altijd door de instraling de verdamping en daarmee de wateropname opgang komen en zie je eerder dat de plant afneemt in gewicht door verdamping. Het is dus niet logisch dat de plant al sterk drukkende wortels heeft. Kan de kop sterk dalen in temperatuur door uitstraling? De kop van de komkommer plant is vrij compact en harig. Die zal naar alle kanten uitstralen. Het zou dan eerder logisch zijn dat bladeren sterk uitstralen naar het dek. Je zou dan condensatie op de bladeren verwachten.

Als de hypothese van uitstraling zou kloppen dan zouden ook later opnieuw broeikoppen ontstaan moeten zijn. Peter stoelt zijn hypothese op de waarneming dat bij het langdurige gebruik van een scherm de mate van broeikoppen juist afnam. Hoe dat kan kom ik later op terug.

Broeikoppen kwamen in het onderzoek van Bakker en Sonneveld zowel in voorjaar en najaar voor. Daarbij gebruikten zij een paraplu systeem waarbij de koppen helemaal niet gericht zijn naar het koudere kasdek.

### **Ca gebrek**

De theorie over Ca gebrek als belangrijke oorzaak van bolblad en andere fysiogene afwijkingen is uitvoerig beschreven door Cees Sonneveld en Wim Voogt in hun boek : Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Voor komkommer verwijzen zij naar het onderzoek van Bakker en Sonneveld uit 1988.

Bakker en Sonneveld beschrijven dat Ca gebrek en een "hoge luchtvochtigheid" de symptomen van bolblad/ broeikop verhevigen. Dat onderzoek is gedaan met het paraplu systeem. Alleen wat zij hoge luchtvochtigheid noemen- een vochtdeficit van 0.4 kPa- is in de moderne komkommer teelt een normale tot lage luchtvochtigheid, want 0.4 kPa bij 20 °C is een vochtdeficit 2.9 g/m<sup>3</sup> of een RV van 83 % gemiddeld over een etmaal. In de Sunergie kas is het vochtdeficit over de hele maand februari 2.1 g/m<sup>3</sup>. Dit zou volgens het onderzoek van Bakker en Sonneveld tot ernstig bolblad geleid moeten hebben. Opmerkelijk in het onderzoek van Bakker en Sonneveld is dat een hogere EC het probleem van bolblad verergerde. Dit zou niet kloppen met de gedachte dat een hoge worteldruk de zwakke cellen kapot drukt, want een hogere EC van de mat zou volgens mij moeten leiden tot juist een lagere worteldruk. Maar een hogere EC kan wel hebben geleid tot minder Ca opname door minder verdamping. De vraag is echter opnieuw of het de hoeveelheid opgenomen Ca is of de verdeling.

### ***Wat is er dan aan de hand? Mijn Hypothese***

*1. Ontwikkelingsstadium van de plant, die invloed heeft op de nutriënten opname, in combinatie met lage verdamping geeft zwakke cellen.*

In de periode van 18 februari tot 20 februari is de plant volop in ontwikkeling en worden de eerste vruchten groot. Daarvoor neemt de plant verhoudingsgewijs veel K op. Er is dus wel volop wortelactiviteit en zeker geen gebrek aan wortelactiviteit. De wateropname zelf is door de lage instraling op deze dagen en het gebruik van de schermen gering. De plant heeft daardoor in de ontwikkelende kop te weinig Ca beschikbaar. De beschikbare Ca gaat vooral naar de vruchten en de grote bladeren. Er worden in de kop zwakke cellen aangelegd.

### *2. Worteldruk*

Op 21 en 24 februari is na een dag van volop verdamping het scherm in de avond gesloten en is de plant door blijven gaan met water opname en is er worteldruk opgebouwd die de zwakke cellen heeft beschadigd. Op 26 februari is het 's morgen zonnig en wordt 's middags het scherm dichtgetrokken met een sterke stijging van het vocht tot gevolg.

Op 27 en 28 februari gevolgd door 2 maart en 5 maart met vergelijkbare omstandigheden hebben het fenomeen versterkt.

Op 9 maart is de sterkste stijging van de luchtvochtigheid in de kas te zien. Toch heeft die stijging niet voor nieuwe problemen geleid. Dan zou dat op 12 maart sterk zichtbaar geweest moeten zijn. Blijkbaar was de plant toe in staat om deze sterke stijging op te vangen.

## **Hoe was het te voorkomen geweest?**

### *A. Voorkomen van ontstaan van zwakke cellen door verdamping van de kop*

Als mijn analyse klopt is het dus van belang om juist in de fase van sterke K opname er voor te zorgen dat de plant ook voldoende Ca opneemt en naar de kop stuurt om voldoende sterke cellen aan te leggen. Dit kan gestimuleerd worden door tenminste een aantal uren bijvoorbeeld 4 per dag het folie scherm geheel te openen. Je kunt de verdamping van de kop ook stimuleren door enige uren een warme buis bij de kop te hebben. Dit hoeft niet noodzakelijkerwijs overdag te zijn maar zou in de nacht kunnen op momenten dat er nu met de buisrail verwarming is gestookt voor warmte. Dus een buisje bij de kop die je als primair net met een maximum buis temperatuur van 45 °C de kop laat opwarmen. Dat is dus niet specifiek s morgens maar gedurende een periodes dat het scherm langdurig gesloten blijft.

### *B. Voorkomen dat er worteldruk ontstaat*

Op een dag met veel instraling de schermen niet te snel sluiten maar zorgen dat het vocht dat de plant produceert nog enige tijd kan worden afgevoerd. Dit kan bijvoorbeeld door een vochtregeling op de kier van het scherm gedurende 3 uur na het dichtlopen, zodat er een kier van 20% wordt getrokken zodra het VD onder de 2 komt en dit dan langzaam afbouwen.

Telen met een iets hogere EC zodat de plant geen worteldruk kan opbouwen. (Dit is dus net andersom dan de kennis uit het werk van Bakker en Sonneveld.) Je krijgt echter ook minder Ca opname.

Bij een overgang van somber naar scherp weer de eerste dagen het scherm op een kier te houden. Dit vermindert de warmte op de plant iets, waardoor die minder gaat verdampen. Het houdt het vocht onder het scherm iets hoger dat ook de verdamping remt. Daardoor is de worteldruk minder en worden de zwakke cellen niet stuk gedrukt. Op die momenten is er wel voldoende Ca opname en transport om nieuwe cellen voldoende sterk te maken.

Ontwikkelingsstadium van de plant en beperken van de worteldruk door gesloten folie zijn volgens mij de redenen dat Peter Geelen constateert dat er bij gebruik van folie minder broeikoppen ontstonden.

Als ik nu terug ga naar mijn eigen mail waarin ik de verschillende invalspunten noemde

In de mail wisseling worden een aantal opties genoemd als verklaring- proces wat er gaande is.

- Wortel activiteit - onvoldoende (Peter) of juist te veel (Jan V., Aat). Te veel of te weinig? (Leo).
- Gebrek aan Calcium (Jan V., Aat) of Calcium is niet het probleem(Leo).
- Lokale verdamping (Peter).
- Licht overgang – donker naar helder weer (Peter, Leo).
- Kop temperatuur (Peter).
- Te lage verdamping in de nacht (Jan V).
- Te sterke verdamping overdag (Peter).

Dan is het eerder een teveel aan wortel activiteit om druk op te bouwen en K op te nemen dan te weinig.

Er is een lokaal Ca tekort dat leidt tot zwakke cellen.

De verdamping lokaal bij de kop is tijdelijk te laag.

Overgangen van donker naar helder weer in combinatie met snel sluiten van scherm op een heldere dag.

Niet de koptemperatuur zelf. Daarvoor is volgens mij onvoldoende grond.

Een te lage verdamping gedurende meer dan 24 uur voor een goede Ca opname.

Het onderzoek van Bakker en Sonneveld heeft wel een basis gelegd, maar is in de praktijk daarna veel meer verfijnd en toegespitst in de toepassing. Het gaat om een subtiel evenwicht.

### *Heb ik nu te veel op de 'oude' kennis gebouwd?*

Volgens mij niet. Het belang van de juiste K/Ca verhouding om broeikoppen en bolblad te voorkomen is goed onderbouwd vanuit onderzoeken en is bij praktische toepassing steeds geldig gebleken.

Zorg dat de plant voldoende Ca in de jonge bladeren kan inbouwen. Als dat niet is gebeurd is de gevoeligheid van wisseling in de waterstatus groter. Je hebt dus beide factoren nodig om symptomen te krijgen. Waarbij ze elkaar enigszins versterken. Ca gebrek en worteldruk samen zorgen voor een probleem.

## Vervolg van de analyse

Na mijn mail van vrijdag 28 maart met een analyse van het ontstaan van de "broeikoppen" in de sunergie kas is er opnieuw een aantal mails gewisseld. Ik probeer in dit stuk de reacties op een rij te zetten en aan te geven waar mijn analyse aanvulling behoeft.

### 1. Broeikop en of bolblad

In de reacties wordt de vraag opgeroepen of broeikop en bolblad bij elkaar horen of verschillende fenomenen zijn.

Naar mijn mening is voor het ontstaan van bolblad het nodig dat in de kop- dat is in het jonge ontwikkelingsstadium van het blad- de bladrand deels afsterft. Dat kan bij één of meerdere bladeren gebeuren en vooral aan de punt van de bladeren. Als er slechts één plekje op één blad is waar het gebeurt wordt het niet in de kop waargenomen, terwijl het er wel is, maar als het met alle bladeren in de kop gebeurt zie je het in de kop en dat wordt een broeikop genoemd. Bolblad is zoals Peter van Weel met verwijzing naar Jan Janse beschrijft dus een verder ontwikkelingsstadium van een fysiologische afwijking in het blad die in een jong stadium is ontstaan.

In het geval van de sunergie kas werd het volgens mij waargenomen rond 26 februari in de kop. In de kop zitten dan 5 tot 7 bladeren en die vertonen daarna bij het uitgroeien allemaal het symptoom bolblad.

Als er geen maatregelen worden genomen bij het constateren van een broeikop kan de hele kop afsterven. In het geval van de sunergie kas zijn de omstandigheden ten gunste gekeerd en is de plant er doorheen gegroeid.



*De linker foto laat een bolblad zijn met aan de randen deels afgestorven weefsel, vooral aan de kant waar je de punt van het blad verwacht. De rechter foto de kop van een plant met in de cirkel het hart van de kop met daarin de 5-7 aanwezige bladeren. Bij een broeikop is het deel in het centrum als een beschadigd deel zichtbaar.*



*De derde foto is door Jan Janse gemaakt op 7 maart 2014. Toen groeide de plant in feite al weer door de fase van broeikop heen. Ik heb geen foto kunnen vinden van het allereerste stadium van broeikop, ook niet in ons foto archief.*

In het verhaal van Ep Heuvelink uit 2004 waar Peter van Weel naar verwijst geeft Ep als verklaring voor het afsterven van een rand van cellen dat bij te weinig ingebouwd Ca de celmembranen lek raken, via de lekke celmembranen komt vocht met een overmaat aan Ca in de cel. Daardoor sterft de cel en zijn omgeving af. Je hebt dus maar een heel beperkt aantal cellen dat aanvankelijk kapot gaat nodig om een groot effect in de rand te hebben.

In de sunergie kas zie je een set van zo'n 5 tot 7 bladeren waar bolblad in is ontstaan. Dat wijst op een beschadiging van de bladranden die juist in de kop aan de buitenkant zitten.

Verder zie je her en der hoger in de plant nog een enkel bol blad. Er zijn dus later nog momenten geweest waarop er enkele cellen doodgingen in een blad.

## *2. Uitstraling*

Jan Voogt heeft gelijk als hij er op wijst dat als ik uitstraling bij het onderzoek van Bakker en Sonneveld als reden uitsluit, dit niet hoeft te betekenen dat het nu geen rol zou hoeven te spelen.

Jan wijst ook terecht op het subtiele evenwicht tussen verdamping, uitstraling, planttemperatuur en VPD bij openen en sluiten van het scherm.

## *3. Effect van de nivolator en scherm type*

Aat Dijkshoorn merkt op dat er toch gewerkt is met nivolatoren. Die zouden door de extra luchtbeweging rond de kop voor extra verdamping zorgen. Maar het is de vraag of dit het gewenste effect heeft gehad. Als de nivolator de verdamping van de grotere bladeren direct onder de kop stimuleert kan de kop mogelijk juist te weinig krijgen. De kop is in concurrentie met bladeren en vruchten. Er is hieraan niet gemeten en het is dus ook niet achteraf vast te stellen.

Uit onderzoek van Andreas Savvides weten we dat de koptemperatuur van komkommer anders reageert op klimaat in een klimaatkamer dan de koptemperatuur van tomaat. De komkommer verdampt sterker dan tomaat en blijft koeler. Komkommer reageert daarbij sterker op een groter vochtdeficit dan tomaat.

## *4. Scherm of Folie*

Er is een groot verschil in vocht afvoer door een scherm en bij een folie. Helaas is het zo dat in de Sunergie kas er een groot deel van het vocht via de gevels afgevoerd kan worden. In de Venlow kas zijn de gevels juist om die reden van een extra folie laag voorzien. Bij opschaling naar de praktijk zullen we hier ons goed van bewust moeten zijn. Ik wil hierbij ook nog herinneren aan de toepassing van het AC folie bij het nieuwe telen op het IC. Een gewoon folie werd helemaal nat een AC folie veel minder. In de komkommer proef uit 2009 waren de telers verbaasd hoe droog het AC folie bleef. Terwijl het vocht werd afgevoerd door de perforaties van dat folie. Voor het ontstaan van de broeikoppen is het folie of scherm type minder van belang. Het is vooral belangrijk bij praktijktoepassing.

## *5. Luchtvochtigheid in vergelijking met andere telers*

Peter heeft een punt als hij er op wijst dat in de praktijk wel lagere vochtdeficiten voorkomen dan in deze proef zijn gemeten. Dat zou er op wijzen dat er voldoende verdamping mogelijk was. Daar staat tegenover dat van 18 tot 20 februari het foliescherm dicht was en weinig instraling zodat er ook weinig energie was als drijvende kracht voor de verdamping.

De combinatie van nivolator en de luchtvochtigheid zou in principe genoeg moeten zijn voor de verdamping. Dan moet er dus nog een andere factor een rol spelen.

## *6. Ventilatie*

Aat stelt ook nog een vraag over de ventilatie is in de periode 21 t/m 24 februari. Deze is maximaal 12.8 % op de luwe zijde en 2.3 % op de wind zijde geweest. Juist de combinatie van luchten op luwe en windzijde kan leiden tot een forse onttrekking van vocht. Dit werd op 21 februari ook nog gecombineerd met een daling van de luchtvochtigheid buiten. Pas vanaf 1 maart komt de ventilatie boven de 20% en vanaf 5 maart boven de 50%. De suggestie van Aat dat je dus moet oppassen met overdag te sterk ventileren waardoor de luchtvochtigheid na een vochtige donker periode te sterk daalt kan ik in mee gaan. Zorg voor niet te sterke verdamping na een periode van weinig licht. Dat is in feite ook wat Peter van Weel zegt met het openen van het scherm. Alleen wil hij het handhaven, terwijl ik het scherm gebruik zou willen afbouwen als het een aantal dagen lichtrijk blijft.

### 7. *Strekking of Ca*

Leo Oprel stelt dat we de Ca even moeten vergeten en dat het vooral een kwestie van strekking is. Later nuanceert hij dat wel.

Bolblad is het gevolg van verschillen in strekking tussen cellen. Maar de reden waarom een deel van de cellen niet kunnen strekken is deze kapot zijn gegaan door de lekkende celmembranen. Daar heb ik bij 1 al op gewezen. Een deel van de cellen aan de rand is beschadigd. Volgens mij is het geen probleem met water tekort van deze buitenste cellen op het moment dat de zon door komt. Water te kort uit zich veel meer in slap gaan van koppen en bladeren. Daarna zie je geen bolblad ontstaan.

### 8. *Samenspel van factoren*

Terecht vraag Aat zich af of de verdamping die bij dit niveau van  $VD > 1 \text{ g/m}^3$ , gebruik van nivolator en effect van vochttafvoer op de gevel hoort te klein was voor voldoende Ca transport naar de kop. Je zou verwachten dat het voldoende is

In de reactie van Peter van Weel wijst bij nog op de watergift bij Joost Mattijsen.

Zoals ik in de vorige analyse al schreef zie ik een combinatie van watergift, K/Ca verhouding in gift en opname, en fase van de ontwikkeling van het gewas, mogelijk ook nog specifiek voor dit ras, als een belangrijke factor in het ontstaan van de broeikop, waarbij ook klimaat gunstig moet zijn voor het ontstaan van het probleem.

Ik moet bij dit samenspel steeds terug denken aan de proef HNT komkommer uit 2009 waarbij we in de najaarsteelt bladverbranding kregen bij planten die op hoge matten waren geteeld en minder bij planten die op lage matten stonden. Daarbij speelde de verversing van het matwater een rol. Hoe gemakkelijk kan een plant water opnemen.

Nu ik er nog eens over nadenk en de gegevens bekijk zie ik vooral toch in de overgang van 20 naar 21 februari de grootste kans op een omstandigheid die het ontstaan van broeikoppen in de hand heeft gewerkt. Op 21 februari heeft de plant de overgang van somber weer naar volop instraling met lage luchtvochtigheid niet goed aan gekund. Als dat de reden is dan kun je dus twee wegen in de oplossing volgen. Bij somber weer zorgen dat de overgang naar helder weer rustig verloopt of zorgen dat de plant de overgang altijd aan kan.

Bij het nieuwe telen hoort dat je anticipeert op te verwachten weersovergangen. Dus tijdens een somber periode al zorgen dat de plant een geleidelijke overgang kan opvangen en de overgang in klimaat bij verandering van weer geleidelijk maken. Dus op de eerste zonnige dag na een sombere periode toch schermen bij veel instraling. Tijdens sombere dagen is de uitstraling juist gering en hoef je dus niet hard te stoken om die te compenseren. Dat het verstandig is om goed te letten op het verschil in temperatuur boven het folie bij het openen van het folie is strategie die mijns inziens ook bij deze vorm van gebruik van schermen hoort.

De lucht vochtigheid bij het sluiten van het scherm niet te snel laten oplopen. In analogie van beheersen van temperatuur stijging bij opwarmen van de kas in de morgen kun je streven naar een beheerste stijging van het vocht bij sluiting van een scherm. Als het vocht te snel stijgt moet het scherm nog even op een kier worden gehouden. Dit is iets wat we tot nu toe nooit hebben gedaan. Aan het eind van een warme periode wordt vaak afgelucht waarbij het niet erg is dat de luchtvochtigheid even sterk stijgt.

Ik ben het met Jan Voogt eens dat we moeten zoeken naar de wijze waarop we de juiste omstandigheden voor de plant realiseren op een energie zuinige wijze. Het lijkt daarbij misschien wat tegengesteld dat je een folie opent op een sombere dag en juist sluit op de eerste heldere dag. Maar het kan er wel voor zorgen dat de plant de wisselingen in het klimaat beter kan opvangen.



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wageningenur.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1383

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.