

Sturen van gewasverdamping: is het zinvol? is het mogelijk?

Cecilia Stanghellini,
Wageningen UR Glastuinbouw
cecilia.stanghellini@wur.nl



Inhoud

- Sturen van de verdamping: waarom?
- Het proces
- Wat kunnen we sturen en hoe
- Wat kunnen we verwachten



Cecilia Stanghellini

Sturen van de gewasverdamping: waarom?

De gewasverdamping beïnvloedt:

- Versgewicht
- Door waterstress → productie (drogestof)
- Door condensatie → ziektes
- Opname van bepaalde nutriënten (m.n. Calcium)



Cecilia Stanghellini

Wel minder verdamping – geen effect op productie

Nederland:

- 4 Experimenten met “verdampingsregeling” (tomaat)
 - Minder ventilatie
 - Minder stoken
 - Bevochtigen
- Laag verdamping = 65% van referentie (dag EN nacht)
 - Vochtdeficit gemiddeld 0.24 kPa minder dan referentie
 - Temperatuur gemiddeld 1°C lager
- Productie gelijk



Cecilia Stanghellini

Verneveling (voorkoming van stress)

Spanje

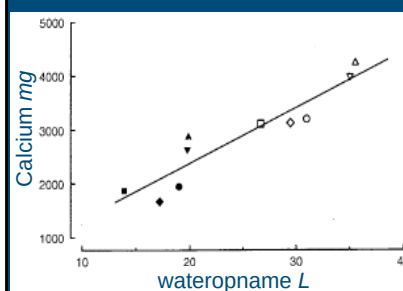
	Verdamping	Productie
Geen verneveling	100%	100%
Verneveling	68%	122%

- In Spaanse omstandigheden verneveling verhoogd productie
- Voornamelijk door grotere vruchten
 - Maar ook minder abortie
 - En meer drogestof



Cecilia Stanghellini

CA absorptie is evenredig met wateropname

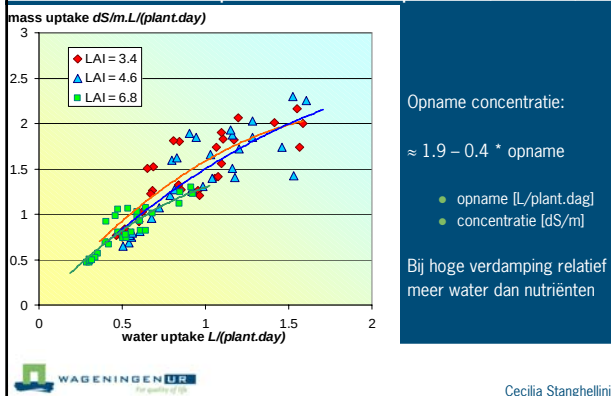


- Punt type = tomaat ras
- Open = laag EC
- Zwart = hoog EC
- Maar dit geldt niet voor ALLE nutriënten...



Cecilia Stanghellini

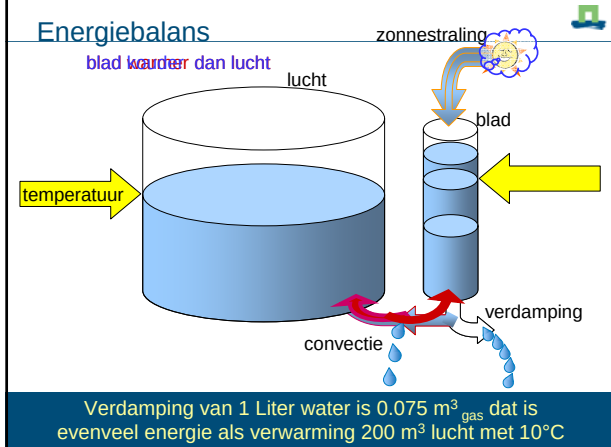
Bulk nutriëntenopname v wateropname (tomaat)



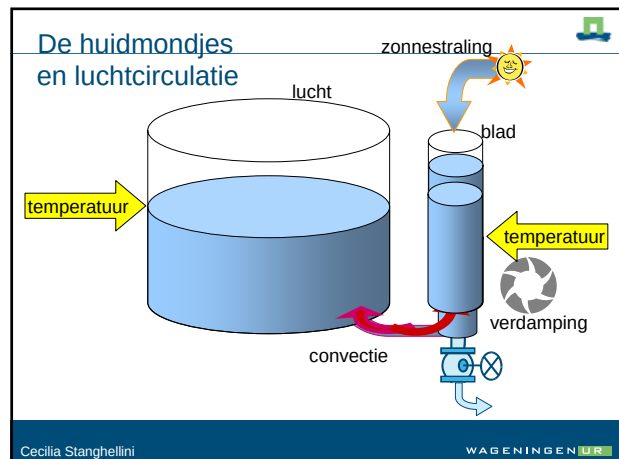
Inhoud

- Sturen van de verdamping: waarom?
- Het proces
- Wat kunnen we sturen en hoe
- Wat kunnen we verwachten

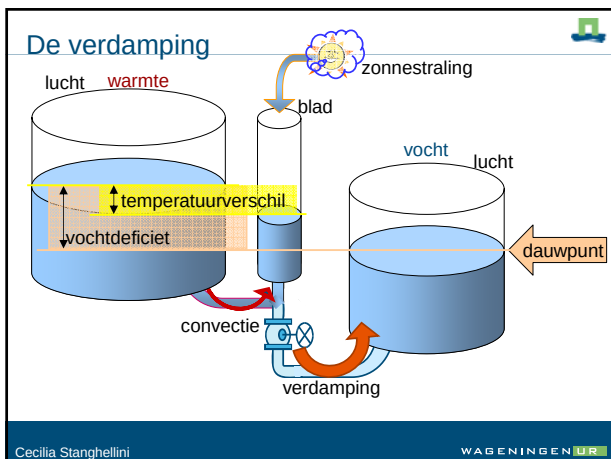
Energiebalans



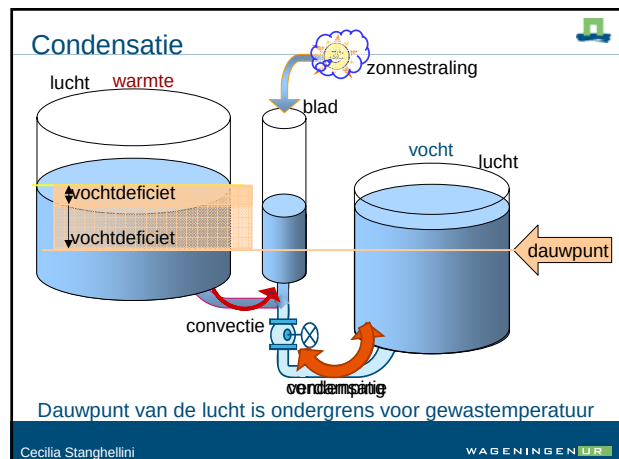
De huidmondjes en luchtcirculatie



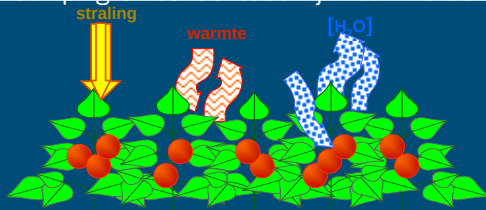
De verdamping



Condensatie



Verdamping en condensatie zijn nauw verbonden



- Condensatie wordt door de omstandigheden bepaald
- Geen controle vanuit de plant (huidmondjes)
- Hoe dichter de planttemperatuur bij de dauwpunt van de lucht, hoe hoger de kans dat gewasdelen daaronder komen te staan
- Kans grootste op "zware" organen (bij opwarming)



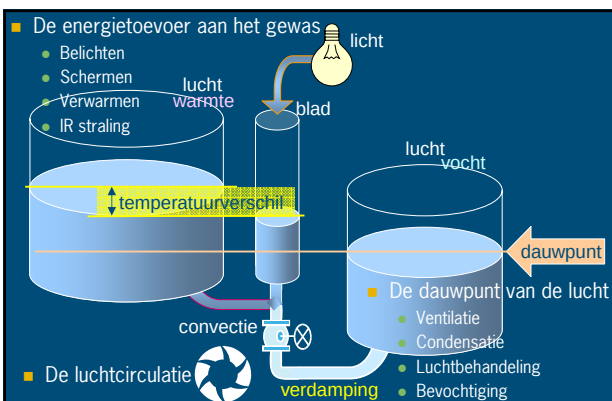
Cecilia Stanghellini

Inhoud

- Sturen van de verdamping: waarom?
- Het proces
- Wat kunnen we sturen en hoe
- Wat kunnen we verwachten



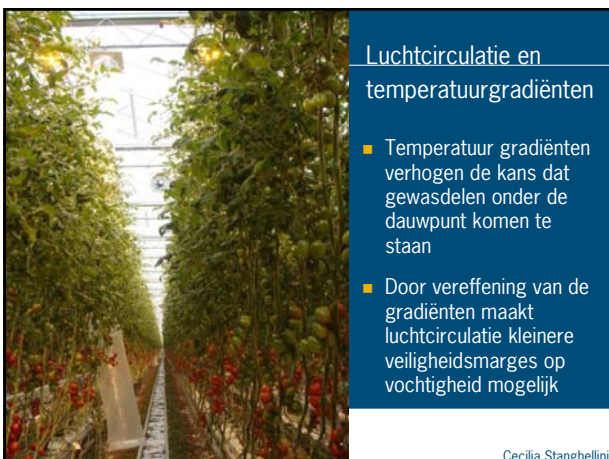
Cecilia Stanghellini



Cecilia Stanghellini

Lucht circulatie

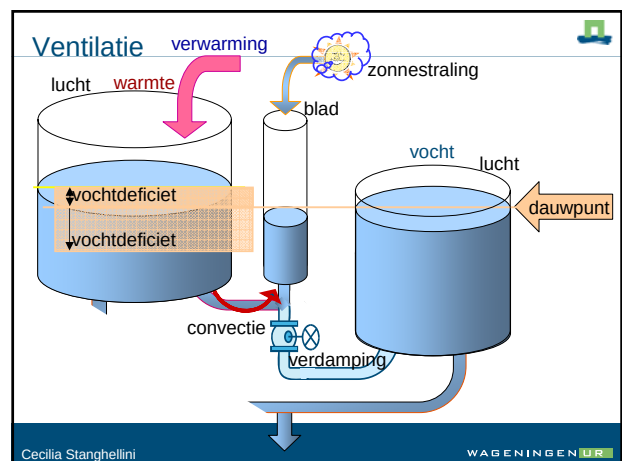
- Verkleint ALTIJD het temperatuur verschil tussen het gewas en de lucht
 - Koelt als gewas is warmer dan de lucht
 - Verwarmt als het gewas is koeler dan de lucht
- Dus zeker gunstig bij gevaar van condensatie



Lucht circulatie en temperatuurgradiënten

- Temperatuur gradiënten verhogen de kans dat gewasdelen onder de dauwpunt komen te staan
- Door vereffening van de gradiënten maakt lucht circulatie kleinere veiligheidsmarges op vochtigheid mogelijk

Cecilia Stanghellini



Cecilia Stanghellini

WAGENINGEN UR

Energieverbruik

1 liter verdamping = 2,45 MJ energie (latente warmte)

Ventilatie

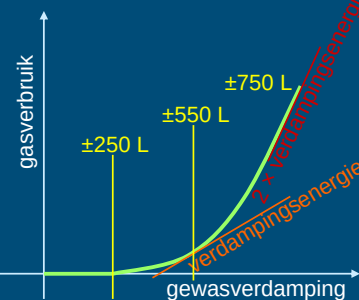
- 1 kuub lucht voert ~ 5 g waterdamp af ...
- ... en 12 kJ **voelbare** warmte (~ 10°C warmer dan buiten)
- Om 1 liter af te voeren moet ongeveer 200 kuub lucht geventileerd worden
- Dat is 2,45 en nog eens 2,4 M = 0.15 kuub gas

Vocht afvoeren in een energie efficiëntere wijze



Cecilia Stanghellini

Wat betekent het in een traditionele kas



- Ongeveer 1/3 van de verdamping komt van de zon
- Ongeveer 1/3 komt DEELS van de zon
- De rest betalen we en gooien we er ook nog iets bij



Cecilia Stanghellini

Inhoud

- Sturen van de verdamping: waarom?
- Het proces
- Wat kunnen we sturen en hoe
- Wat kunnen we verwachten



Cecilia Stanghellini

Vochtiger telen

- Een lagere verdamping kan geen kwaad
 - Noch in winter → kan veel energie besparen
 - Noch in zomer → kan zelfs de productie verhogen
- Vochtiger telen, vochtiger telen en vochtiger telen
- In donkere omstandigheden risico voor condensatie
 - Luchtcirculatie
 - Condensatie op het dek bevorderen door vochtlier
 - Energie-efficiënt vochtafvoer (terugwinning van warmte)



Cecilia Stanghellini

**Bedankt !
vragen?**



Verdamping en luchtvochtigheid: sturing en effecten in de praktijk

Sjaak Bakker en Cecilia Stanghellini, Wageningen UR Glastuinbouw

sjaak.bakker@wur.nl, cecilia.stanghellini@wur.nl



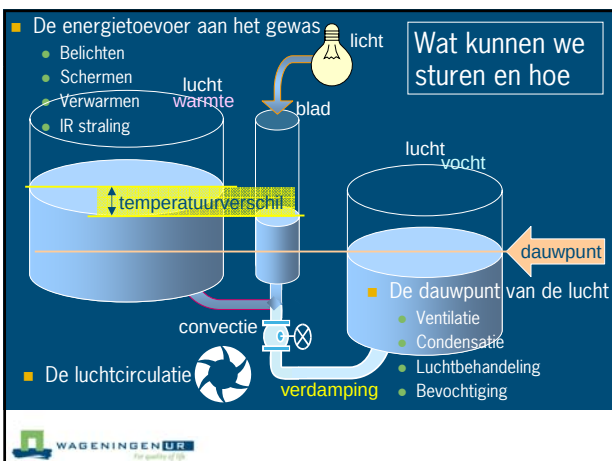
WAGENINGEN UR
for quality of life

Verdamping/ luchtvochtigheid en groei

- Gemiddeld wordt 90% van opgenomen water door de plant weer verdampt
- 10% van water voor groei (gewas en evt vruchten)



WAGENINGEN UR
for quality of life



WAGENINGEN UR
for quality of life

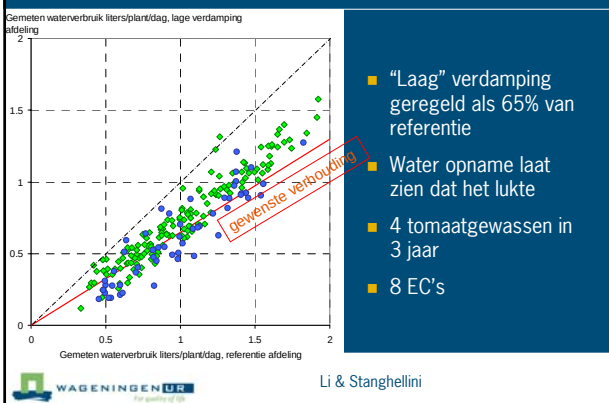
Verdamping: knoppen om aan te draaien

- Ventilatie
- Bevochtiging
- (NIR) Schermen



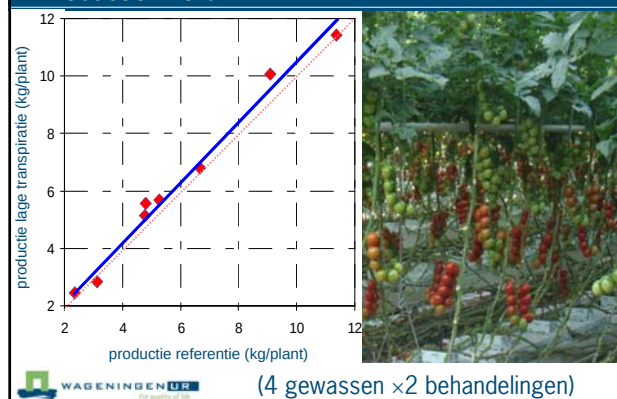
WAGENINGEN UR
for quality of life

Verdamping: verlaging door ventilatie en bevochtiging

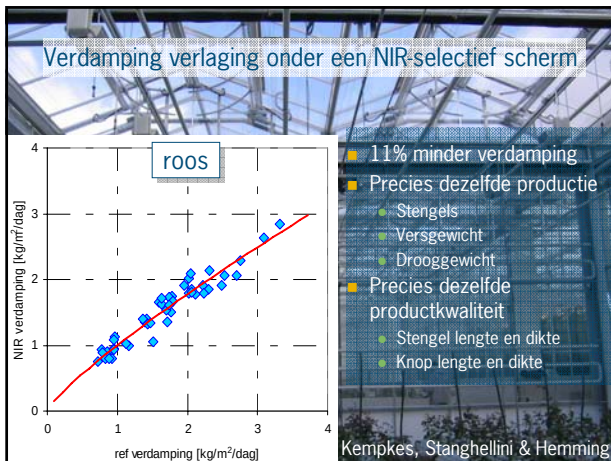


WAGENINGEN UR
for quality of life

Productie: +5%



WAGENINGEN UR
for quality of life



Verdampingsverlaging door bevochtiging:

effecten op bladgroei bij tomato

Door bevochtiging 30-40% minder verdamping, zolang $RV < 90\%$

	referentie	vochtig
Stengel (g drogestof /plant)	134	134
Blad (g drogestof /plant)	180	204

Li & Stanghellini



Verdampingverlaging door bevochtiging (voorkoming van stress)

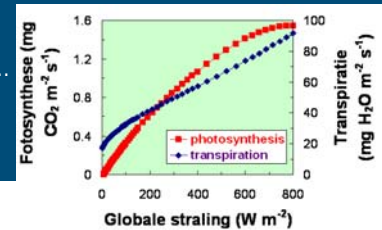
	Verdamping	Productie
Geen verneveling	100%	100%
Verneveling	68%	122%

- Onder Spaanse (extreme) omstandigheden: verneveling verhoogd productie
- Voornamelijk door grotere vruchten
 - ook minder abortie
 - meer drogestof

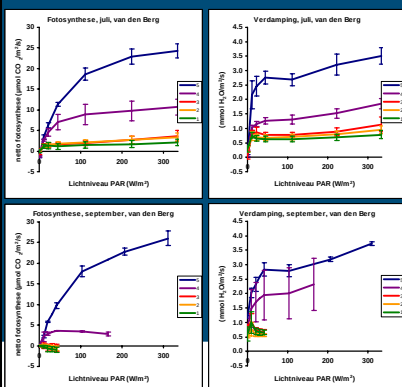


Straling, verdamping en fotosynthese

- Verdamping: afhankelijk totale instraling
- Fotosynthese: slechts afhankelijk PAR straling
- PAR dringt niet diep in het gewas door
- Niet-PAR (NIR) dringt (veel) dieper in gewas
- Bladeren laag in het gewas doen (bijna) niets aan assimilatie...
- ...maar wel aan verdamping



Verdeling fotosynthese en verdamping in paprika gewas



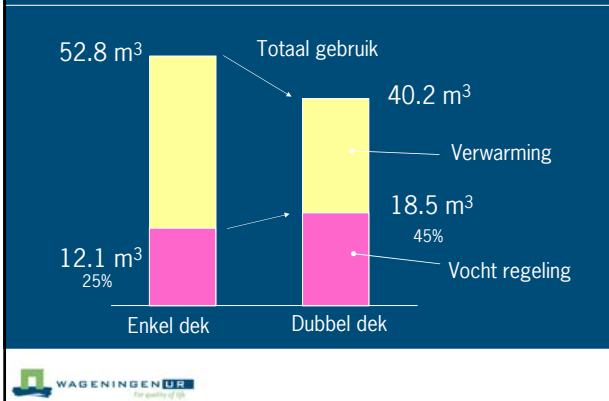
- Hoge zonnestand (juli)
 - Geringe bijdrage van onderste lagen aan assimilatie
 - Aanzienlijke bijdrage aan transpiratie
- Vrij lage zonnestand (september)
 - Vrijwel geen assimilatie in de laagste 87% van bladmassa
 - Nog wel verdamping
- Uit Dueck et al., "bladplukken bij paprika. Fase 2"

Conclusies verdamping

- Meer verdamping: geen extra groei
 - Hoog licht: veel verdamping én via de fotosynthese tot meer groei
- Verdampings/ vochtregeling kost wel (veel) energie
 - 6 liter verdamping: energie van 1 m³ gas
 - Vochtregeling: 20% energiegebruik
 - Actieve ontvochtiging (warmtewisselaar) kostbaarder dan via buitenluchtventilatie



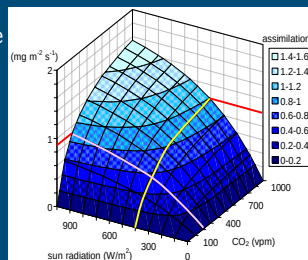
Vochtregeling en energiegebruik



Vochtregeling en energiegebruik

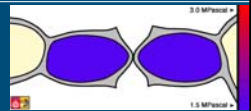
Effecten klimaatfactoren (I, T, CO₂)

- Licht: hoger, meer fotosynthese én verdamping
- CO₂: hoger: meer fotosynthese
- Temperatuur:
 - Ontwikkelingsnelheid, T hoger: meer bladafsplitsing, trossen, bloemen
 - Verdeling assimilaten: T hoger: meer naar bloemen, vruchten



Effecten klimaatfactoren (Luchtvochtigheid)

- Huidmondjesopening
- Celgroei en strekking
 - Hoge vochtigheid: meer strekking, extreme niveau's: Ca gebrek, verbranding
 - Lage vochtigheid: minder strekking, kleine bladeren, extreem: uitdroging, verbranding
- In range vochtdeficiet: 1.5-7.5 g/m³ weinig effect
 - (= 70-94% RV bij 25°C (60-90% bij 20°C))

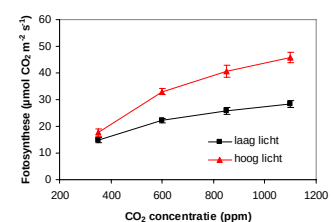


Overall effecten luchtvochtigheid op fotosynthese

- Belangrijkste effect is op huidmondjes
- Hoge RV: huidmondjesgeleidbaarheid groter (meer huidmondjes en verder open), hierdoor hogere fotosynthese (vooral bij veel licht)
 - effect in winter: paar procent
 - effect in zomer: groter (KANS VOOR GECONDITINEERDE TEELT!)

Met meer vocht is wat te winnen

- Traditioneel:
 - Hoog licht → veel ventilatie → laag CO₂ en lage vochtigheid en hoge temperatuur
- Geconditioneerd:
 - Hoog licht + hoog CO₂
 - Hoog licht en lage(re) temperatuur
 - Hoog licht en hoge(re) vochtigheid
- Kansen: hoog licht hoge vochtigheid en hoge CO₂



Effecten hoge luchtvochtigheden (winterperiode)

- Vochtdeficiet 6 of 1.5 g/m³ (24 uurs gemiddelde)

Tomaat		
Vochtdeficiet	6 g/m ³	1.5 g/m ³ (vochtig)
Vroege prod.(kg/m ²)	2.6	3.0
totale prod.(kg/m ²)	10.7	9.3



Vochtig → houdbaarheid 0-20% korter

- Komkommer:
 - hogere productie bij hogere RV, maar korter houdbaar



Gewasrespons Kas

Huisman

hogere vochtigheid en meer licht in zomer



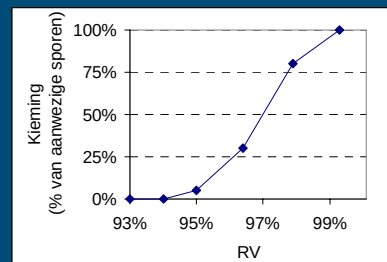
	lengte (cm)	Verskil referentie (%)	Verskil in Blad oppervlak	Verskil in vers gewicht
Areca	77	33	34	56
Anthurium sierra	36	0	39	46
Anthurium silence	38	-25	4	14
Croton red batik	57	100	59	95
Croton sunny star	64	50	149	168

Conclusies Vochtiger telen

- Een lagere verdamping kan geen kwaad
 - Niet in de winter → kan veel energie besparen
 - Niet in de zomer → kan zelfs de productie verhogen
- Risico's ?
 - Ziekten
 - Plantkwaliteit: mogelijk zwakkere plant ?
 - Kwaliteit (smaak, scheuren, houdbaarheid)
 - Werkklimaat voor medewerkers
 - Legionella?

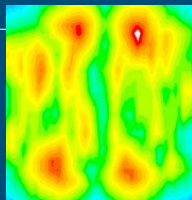
Hoge luchtvochtigheid → meer kans op ziekten?

Bijvoorbeeld Botrytis bij hoge luchtvochtigheid



Probleem: temperatuurverschillen

- Temperatuurverschillen leiden tot:
 - Verschillen in productie, kwaliteit
 - Toename lokale ziekerisico's (dauwpunt)
- Acties (algemeen)
 - Hogere temperatuur setpoints
 - Geringere marges voor temperatuur integratie
 - Lagere setpoints luchtvochtigheid
- Overall effect: hoger energie gebruik, lagere efficiëntie



Luchtcirculatie en temperatuurgradiënten

- Temperatuur gradiënten verhogen de kans dat gewasdelen onder het dauwpunt komen
- Vereffening van de gradiënten door luchtcirculatie maakt kleinere veiligheidsmarges op vochtigheid mogelijk

Luchtcirculatie

- Verkleint ALTIJD het temperatuur verschil tussen het gewas en de lucht
 - Koelt als gewas is warmer dan de lucht
 - Verwarmt als het gewas is koeler dan de lucht
- Dus zeker gunstig bij gevaar van condensatie



Luchtbeweging (recirculatie)

- Vermindering temperatuur verschillen
- Geen merkbaar effect op fotosynthese
- Geen effect op verdamping
- Geen morfologisch effect (plantvorm en opbouw)



Eind conclusies

- Plant kan veel meer hebben dan we standaard aannemen:
- Vochtiger telen biedt kansen in de winter:
 - energiebesparing
- maar met name in de zomer:
 - gunstig voor groei en productie
- Negatieve effecten van luchtvochtigheid vooral bij:
 - hoge vochtdeficiet $> 7.5 \text{ g/m}^3$
 - lage vochtigheden $< 1.5 \text{ g/m}^3$
- Risico op natslaan wordt verkleind door voldoende luchtbeweging
 - doordat lucht en bladtemperatuur dichterbij elkaar komen te liggen

Steering of fogging: control of humidity, temperature or transpiration?

Cecilia Stanghellini & Frank Kempkes
Wageningen UR Greenhouse Horticulture
cecilia.stanghellini@wur.nl



Background

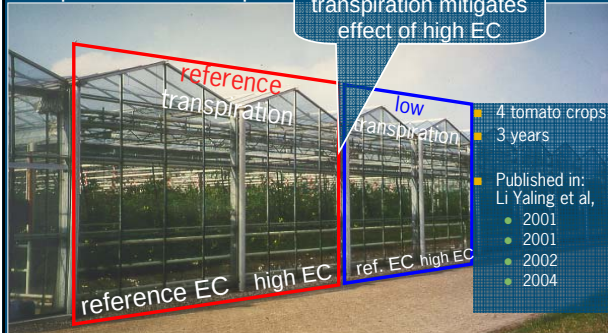
- Tendency to ventilate as little as possible
- Fog cooling, usually triggered by VPD
- Whish for more inclusive steering concepts
 - Fresh weight
 - Water stress
 - Chance of condensation
 - Uptake of nutrients
 - Blossom-End Rot
- Fresh look at an old experiment

} All related to/affected by crop transpiration



Cecilia Stanghellini

Experimental set-up

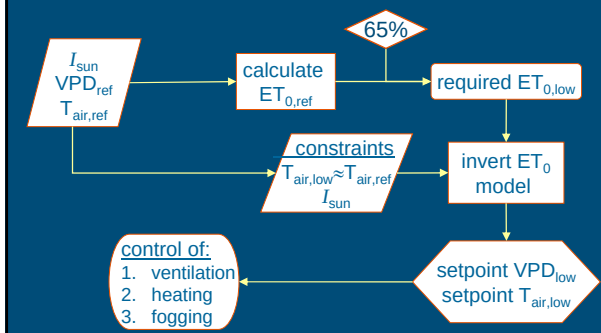


Hypothesis: low transpiration mitigates effect of high EC



Cecilia Stanghellini

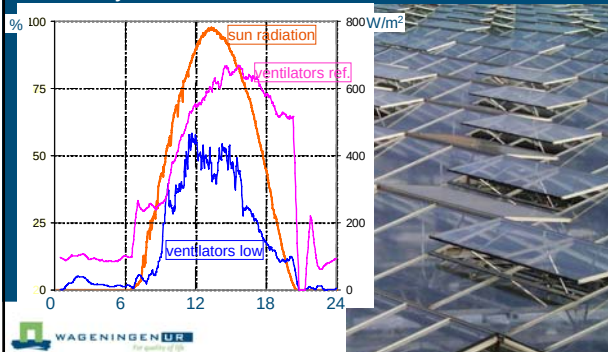
Model-based control of potential transpiration, ET_0



Cecilia Stanghellini

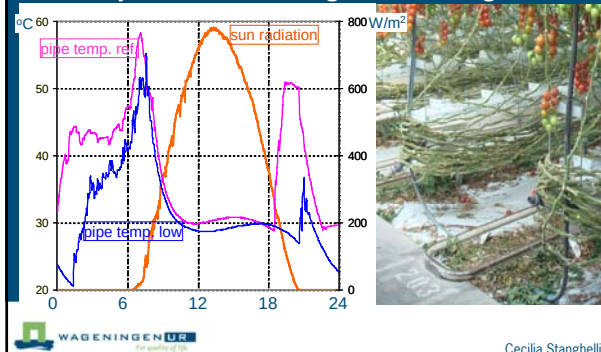
What does it means in terms of actuators?

- Priority 1: control of ventilation → less ventilation



What does it means in terms of actuators?

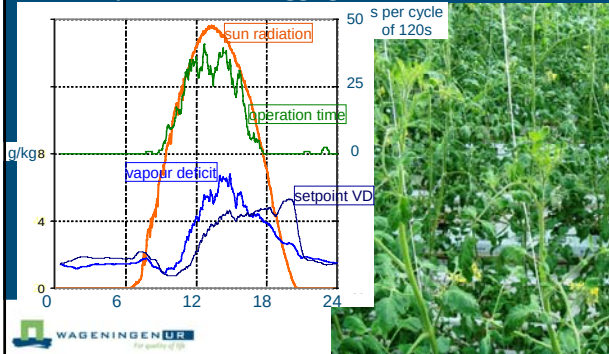
- Priority 2: control of heating → less heating



Cecilia Stanghellini

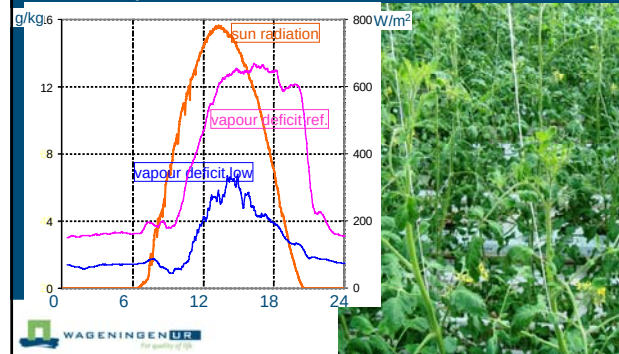
What does it mean in terms of actuators?

- Priority 3: control of fogging → variable



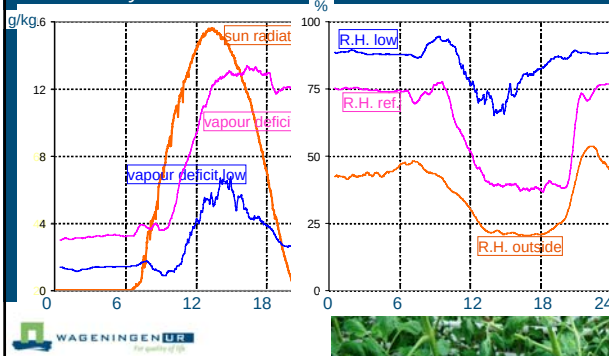
What does it mean in terms of climate?

- humidity



What does it mean in terms of climate?

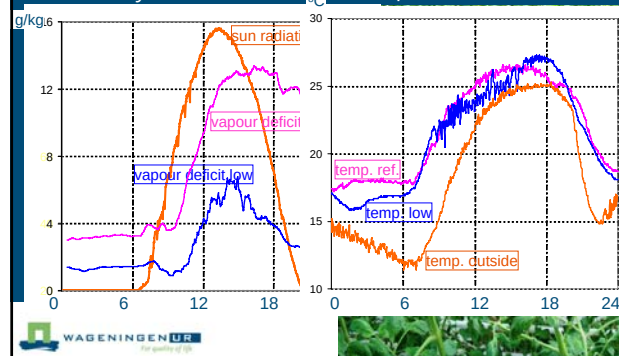
- humidity



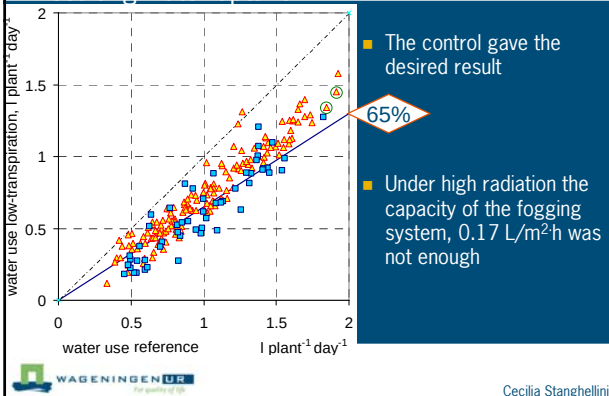
What does it mean in terms of climate?

- humidity

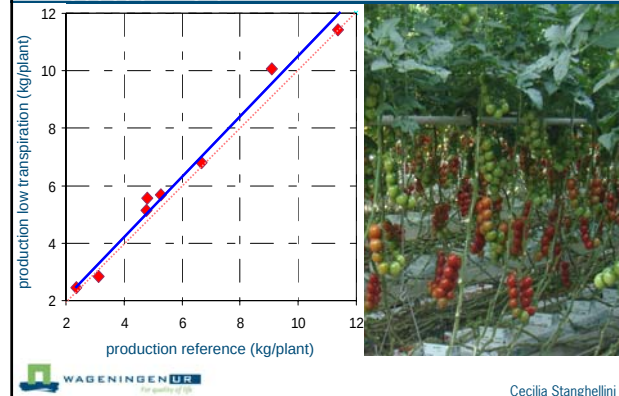
- temperature



Resulting water uptake



Production +5% ■ Confidence interval 0–10%



Conclusions

- A lower transpiration than we are used
 - does not lower production
 - allows for less ventilation
 - may result in quite some energy saving
- Potential transpiration as steering parameter:
 - accounts for radiation, humidity and temperature
 - delivers variable set-points with wheather conditions
- Comparison with other fog steering strategies
 - may be worthwhile



Steering of fogging: control of humidity, temperature or transpiration?

Cecilia Stanghellini & Frank Kempkes
Wageningen UR Greenhouse Horticulture
cecilia.stanghellini@wur.nl



Background

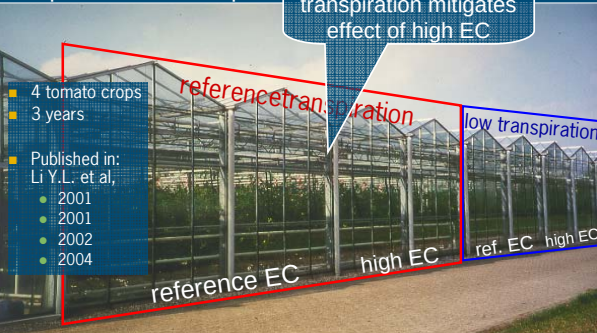
- Tendency to ventilate as little as possible
- Fog cooling, usually triggered by VPD
- Whish for more inclusive steering concepts
 - Fresh weight
 - Water stress
 - Chance of condensation
 - Uptake of nutrients
 - Blossom-End Rot
- Fresh look at an old experiment

} All related to/affected by crop transpiration



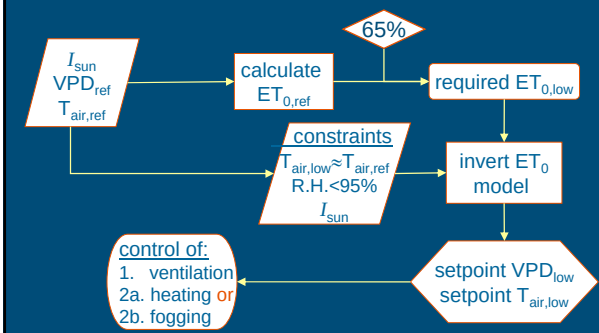
Cecilia Stanghellini

Experimental set-up



Cecilia Stanghellini

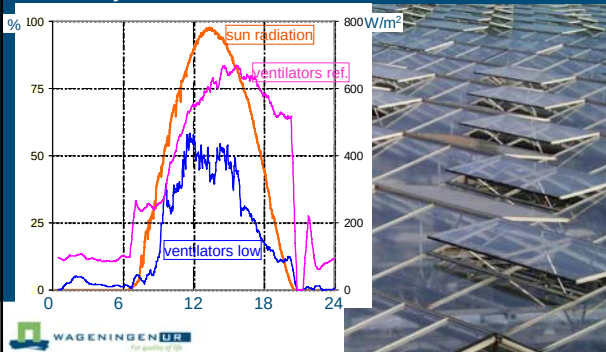
Model-based control of potential transpiration, ET_0



Cecilia Stanghellini

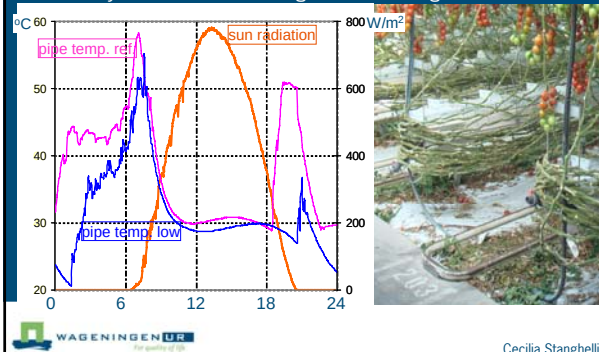
What does it means in terms of actuators?

- Priority 1: control of ventilation → less ventilation



What does it means in terms of actuators?

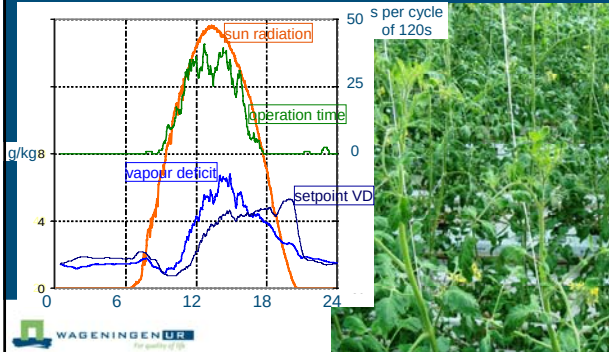
- Priority 2a: control of heating → less heating



Cecilia Stanghellini

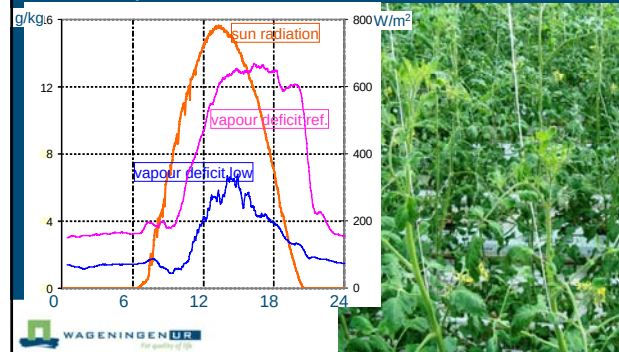
What does it mean in terms of actuators?

- Priority 2b: control of fogging → variable



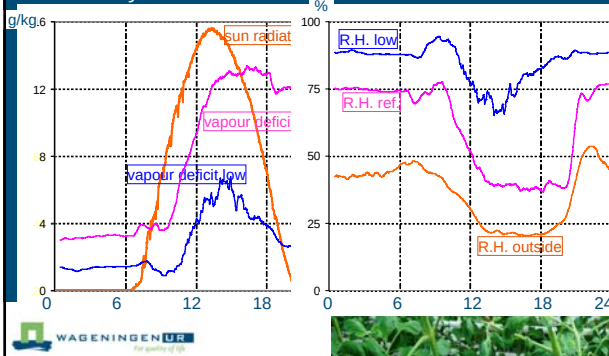
What does it mean in terms of climate?

- humidity



What does it mean in terms of climate?

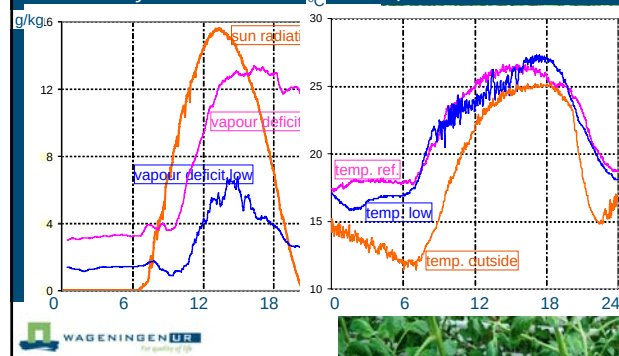
- humidity



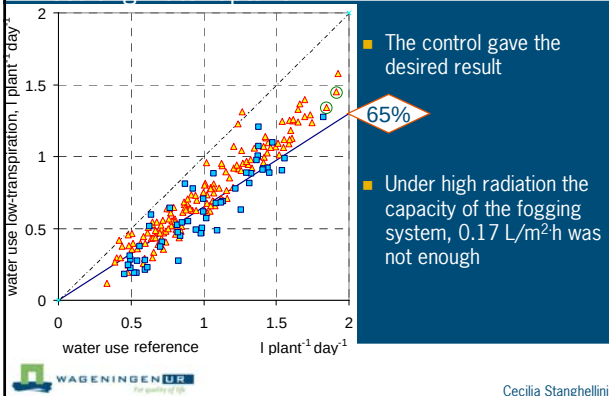
What does it mean in terms of climate?

- humidity

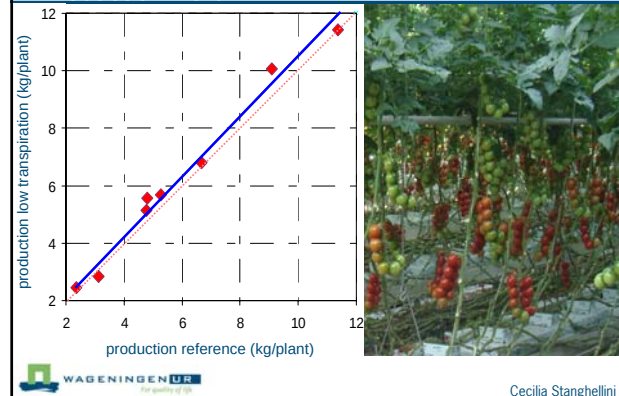
- temperature



Resulting water uptake



Production +5% ■ Confidence interval 0–10%



Misting to prevent stress in Spain

	Transpiration	Production
No misting	100%	100%
Misting	68%	122%

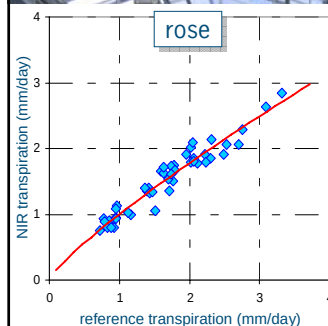
Romero-Aranda
et al., 2002

- In more extreme conditions:
lower transpiration → higher production
- Mainly thanks to bigger fruits
 - also less abortion
 - and higher dry matter production



Cecilia Stanghellini

Reduction of transpiration under a NIR-selective screen



- 11% less transpiration
- Same production
 - Number of stems
 - Fresh weight
 - Dry weight
- Same quality
 - Length & thickness of stems
 - Length & thickness of flowers

Kempkes, Stanghellini &
Hemming, 2008

Conclusions

- A lower transpiration than we are used to:
 - does not lower production
 - allows for less ventilation
 - may result in quite some energy saving
- Potential transpiration as steering parameter:
 - accounts for radiation, humidity and temperature
 - delivers set-points variable with weather conditions
 - may include many present empirical control settings
- Comparison with other fog steering strategies
 - may be worthwhile



Cecilia Stanghellini

Thank you!
questions?



Op weg naar optimale sturing gewasverdamping

in de huidige semi-gesloten kassen valt veel meer te sturen dan voorheen. Temperatuur en vochtigheid zijn afzonderlijk te regelen, wat in traditionele kassen niet kan. Dit maakt het mogelijk een gewas als tomaat optimaal te sturen, waardoor een sprong in productiviteit binnen handbereik ligt.

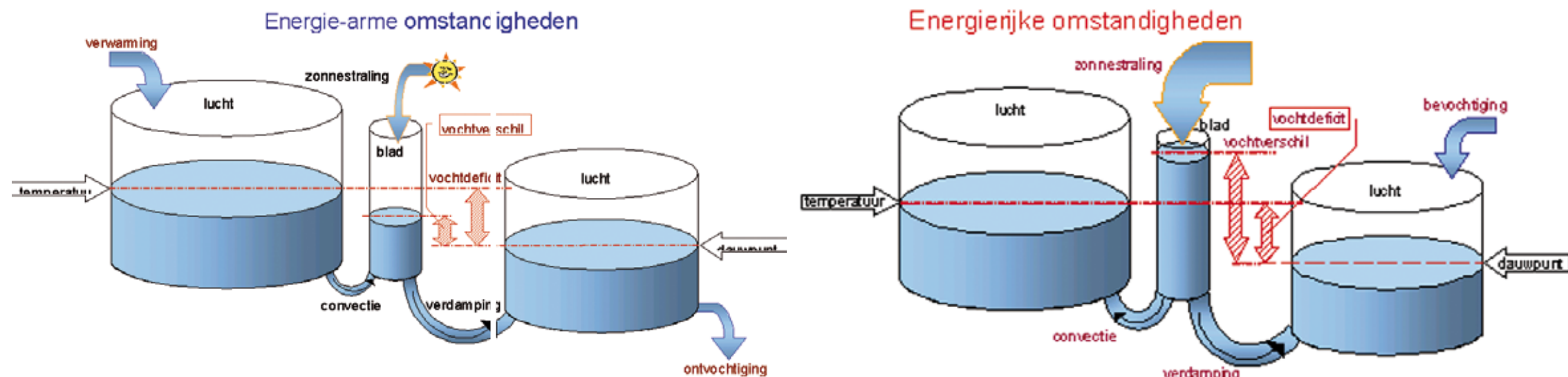
DOOR CECILIA STANGHELLINI EN EP HEUVELINK
Wageningen UR Glastuinbouw

In semi-gesloten kassen wordt hard gewerkt aan een sprong in de productiviteit naar 100 kilo per vierkante meter. Tot nu toe is dat nog niet gelukt, wat aangeeft dat er in de kennis over plantfysiologie witte vlekken zitten. Bovendien blijkt hieruit dat het nut van traditionele klimaatsturingconcepten om het klimaat in een semi-gesloten kas optimaal te regelen grenzen heeft. De vraag is dan welke middelen er nog zijn om bijvoorbeeld de gewasverdamping positief te beïnvloeden en wat nu precies de grenzen zijn als het gaat om sturing van kasklimaat.

VERDAMPING EN PRODUCTIE NIET ONAFSCHEIDELIJK
Vrijwel alle voedingsstoffen worden naar behoefte, onafhankelijk van de verdamping, door een tomatenplant opgenomen. Alleen bij calcium is de opname direct gerelateerd aan de wateropname. Een te laag calciumniveau werkt strekking van de cellen tegen en een tekort aan calcium kan leiden tot neusrot. Wat 'te laag' precies inhoudt en hoe dit moet worden vertaald in een te lage verdamping

De verdampingsregeling

In twee identieke kasafdelingen is het effect van gewasverdamping onderzocht: een traditioneel geregelde afdeling als referentie, met een hoge verdamping, en een afdeling met een wateropname van 65 procent van die in de referentieafdeling, dus een lage verdamping. Dat werd bereikt via een kasgewasverdampingsmodel waarbij online was berekend wat de momentane verdamping in de referentie-afdeling was. Met hetzelfde model werd het vochniveau berekend voor de afdeling met 65 procent verdamping, bij hetzelfde licht en dezelfde luchttemperatuur. Dit niveau werd het nieuwe vochtsetpoint voor deze afdeling, waarin vocht werd gestuurd via natuurlijke ventilatie en hoge-drukbevochtiging. De gemeten temperatuur en CO₂ in de referentie-afdeling werden overgenomen als setpoint voor de afdeling met lage verdamping, om er zeker van te zijn dat de regeling geen ongewenst effect had op de droge-stofproductie. Deze procedure werd om de twee minuten herhaald.



Figuren: de verdamping bij energie-arme (links) en energierijke (rechts) omstandigheden. In de eerste situatie worden minimumbuis (verhogen van het niveau links) en minimum luchtregeling (verlagen van het niveau rechts) gebruikt om de verdamping kunstmatig te verhogen.

is niet bekend. Aan de andere kant kan door een te hoge verdamping alle calcium naar de bladeren stromen, waardoor een tekort in de vruchten kan ontstaan, met een verhoogde kans op neusrot. Planten reageren op waterstress door (een deel van) de huidmondjes te sluiten, waardoor de opname van CO₂ vermindert en dus de groei. Waterstress ontstaat als een hoge verdampingsvraag gepaard gaat met onvoldoende opname van water door de wortels. In dit geval is het ook niet vanzelfsprekend wat een 'te hoge' verdamping precies is. In een heel breed gebied tussen de extremen te laag en te hoog is tot nu toe in onderzoek geen verband gevonden tussen verdamping en productie. In het verleden werd een reeks experimenten uitgevoerd waarbij in een kasafdeling de wateropname steeds 65 procent bedroeg van de opname in de referentie-afdeling, bij dezelfde assimilatie (kader). Vier tomatengewassen en drie jaar verder was er geen verschil in productie, bij een standaard ec. Wel werd aangetoond dat het bij een hoge ec het zelfs gunstig was de verdamping te verlagen.

VOCHTREGELING EN VERDAMPING

Ondanks het feit dat er in de loop van de jaren niet veel meer bekend is geworden over de optimale vochtregeling, wordt hierin toch veel energie geïnvesteerd. De vochtregeling wordt ook gebruikt om nat slaan van een gewas of delen daarvan te voorkomen als preventieve maatregel tegen schimmelziekten. Natuurlijk treedt geen condensatie op zolang de gewastemperatuur boven het dauwpunt van de lucht ligt. De gewastemperatuur hangt echter af van een aantal factoren. Gradiënten (en horizontale variaties) in deze factoren zorgen voor spreiding van de temperatuur in het gewas. Daarom is het zinvol ervoor te zorgen dat de gewastemperatuur een paar graden boven het dauwpunt ligt. Traditionele

regelingen vertalen dit in een maximaal toelaatbare waarde voor de relatieve vochtigheid (rv), waarboven acties als een minimum raamstand en minimum buistemperatuur worden ingezet. Het eerste probleem hierbij is dat in traditionele kassen een hydraulische feedback plaatsvindt, die als volgt werkt. Wordt meer vocht verdampt door een gewas, dan wordt de lucht vochtiger en wordt de vochtafvoer via ramen en/of condensatie groter. Hierdoor daalt de rv weer. Een actie om vocht af te voeren kan dus best effect hebben op de verdamping, maar het effect op de luchtvochtigheid kan nauwelijks meetbaar zijn. De verdamping hangt af van alle factoren die de bladtemperatuur beïnvloeden (straling, luchttemperatuur en bladweerstand), maar ook van het niveauverschil tussen bladtemperatuur en het dauwpunt van de lucht (als maatstaf voor de vochtinhoud van de lucht) en natuurlijk ook van de stand van de huidmondjes. Verdamping en het verschil tussen gewastemperatuur en dauwpunt zijn dus heel erg met elkaar verbonden. Ook al is het effect op de productie niet bekend, dan kan het best zinvol zijn om de verdamping te sturen.

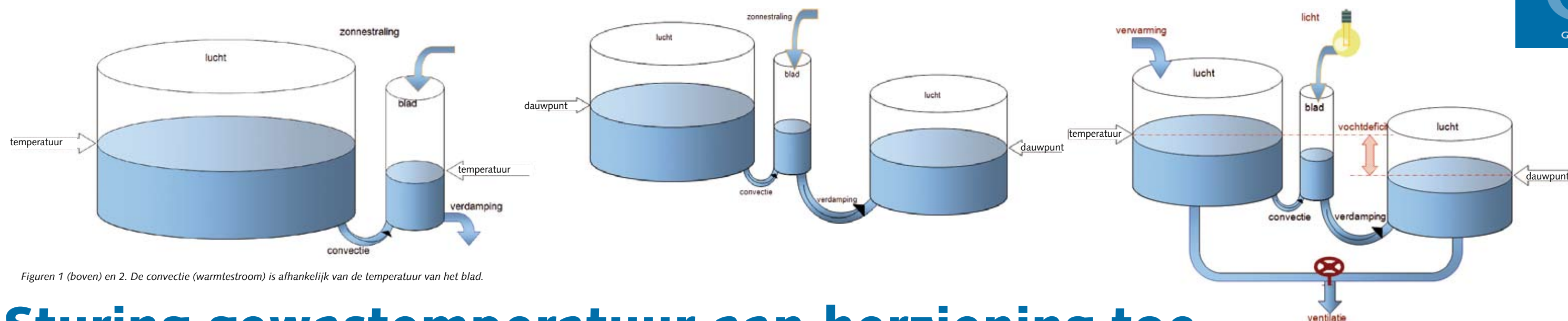
VERDAMPING STUREN

Niet alle hiervoor genoemde factoren zijn even belangrijk in het bepalen van de verdamping. Zo zorgt de zogenaamde thermische feedback er voor dat de verdamping (veel) minder dan evenredig verandert met beide 'debieten': de grenslaagweerstand en de huidmondjesweerstand. Het gaat ongeveer als volgt: wordt het voor een blad moeilijker om te verdampen, dan wordt het blad warmer, waardoor het temperatuurverschil met het dauwpunt groter wordt en dus de verdamping weer toeneemt. In traditionele kassen zijn dus de stuurmogelijkheden voor de verdamping zeer beperkt. Het komt neer op de bladtemperatuur verhogen (= energie toevoegen: licht of verwarming) en/of het dauwpunt van de lucht verlagen (vocht wegventileren). Dat dit precies is wat minimum buis en minimum raam doen, zal niemand verbazen. Omdat ventilatie ook warmte uit de lucht haalt, is het echter dweilen met de

kraan open. De winst in termen van gasverbruik moet worden gezocht in slimmere setpoints, bijvoorbeeld door een continue schatting van het verschil tussen gewastemperatuur en dauwpunt, in plaats van een bovengrens instellen voor de rv. Er zijn regelingen die dat proberen te doen, modelmatig dan wel instrumenteel met bijvoorbeeld kunsttomaten. Daarbij zijn meters voor gewastemperatuur de laatste jaren goedkoper en nauwkeuriger geworden. Bij gebruik van zulke meters is het wel van belang heel vaak met de meter mee te kijken om er zeker van te zijn dat het inderdaad de gewastemperatuur is die wordt gemeten. Daarnaast, bij het bepalen van de ondergrens van het verschil met het dauwpunt, moet rekening worden gehouden met factoren als luchtcirculatie, type verwarming en de aanwezigheid van schermen ook een rol.

WAAROP STUREN

In een kas met ontvochtiging en bevochtiging moet de gewasverdamping veel makkelijker zijn te sturen als bekend zou zijn waarop te sturen. In energiearme omstandigheden kan het gewas slechts 'uitgevoerde' waterdamp aanvullen (figuur 1). De verdamping is dan vrijwel evenredig met het vochtdeficiet van de lucht. Omdat de vochtregeling er voor zorgt dat de hydraulische feedback is doorbroken, kan het vochtdeficiet van de lucht een relevante variabele zijn om de verdamping te sturen, waarbij energiebesparing moet worden gehaald uit de dynamische bepaling van de setpoint. In energierijke omstandigheden (veel zon) is het gewas warmer dan de lucht en is de kans dat de temperatuur van delen van het gewas onder het dauwpunt komt te staan, erg gering (figuur 2). Sturing van de verdamping is dan pas gewenst als de kans op een tekort aan water zich voordoet. Bevochtiging is dan veel beter dan schermen, omdat geen negatief effect op de assimilatie ontstaat. Of het vochtdeficiet hierin een zinvolle stuurvariabele kan zijn, is de vraag. Hopelijk wordt hier binnenkort meer over bekend in een project van LNV en PT, waar de analyse van klimaatgegevens van een serie experimenten (kader) centraal staat. ■



Figuren 1 (boven) en 2. De convectie (warmtestroom) is afhankelijk van de temperatuur van het blad.

Figuur 3. Zo gauw de bladtemperatuur onder het dauwpunt komt, gaat de waterdampstroom andersom en treedt in plaats van verdamping condensatie op.

Sturing gewastemperatuur aan herziening toe

De temperatuur van een gewas hangt af van veel factoren. Een plant ontvangt niet alleen energie, maar geeft die ook af, tot er evenwicht ontstaat. Dat proces wordt gestuurd via de huidmondjes, maar ook een teler heeft mogelijkheden om de gewastemperatuur te sturen.

DOOR CECILIA STANGHELLINI EN EP HEUVELINK
Wageningen UR Glastuinbouw

De energiebalans van een plant is een heel nuttig basisprincipe van de klimaatregeling. Het wil zeggen dat alle plantdelen evenveel energie teruggeven aan de omgeving als ze ontvangen. De planttemperatuur waarborgt dit evenwicht. Deze energiebalans is te vergelijken met het niveau van een vloeistof in een kuip met een instroom- en een uitstroomgaatje. Via het instroomgat stijgt het vloeistofniveau (= gewastemperatuur) in de kuip. Daardoor neemt de druk toe en stroomt vloeistof weg via het uitstroomgaatje, tot evenwicht in de kuip ontstaat op een bepaald niveau. Wordt de instroom groter, dan stijgt het vloeistofniveau in de kuip naar een nieuw evenwichtsniveau. Andersom daalt door vergroting van het uitstroomgaatje het evenwichtsniveau. Deze denkwijze over evenwicht toepassen op de opname en afgifte van energie door bladeren in een kas betekent dat een teler dan met drie energiestromen rekening moet houden: straling, convectie en verdamping.

STRALING, CONVECTIE EN VERDAMPING

Op een zonnige dag neemt een blad de temperatuur aan waarbij evenveel energie via verdamping (latente warmte) en convectie (voelbare warmte) samen wordt afgegeven als het blad aan zonnestraling heeft opgenomen. Gewassen verdampen echter ook 's nachts, terwijl dan geen zonnestraling wordt opgenomen. Dat komt omdat de uitwisseling van energie via convectie tweerichtingsverkeer is. Wanneer een blad warmer is dan de omringende lucht, geeft het energie af aan de omringende lucht, maar is het blad koeler, dan onttrekt het energie aan de kaslucht. Dit is te vergelijken met de hiervoor genoemde kuip (het blad) die verbonden

is met een andere, veel grotere tank met een vast vloeistofniveau (omgeving in de kas). Als het niveau van de vloeistof in de kuip hoger is dan in de tank (figuur 1), stroomt vloeistof uit de kuip naar de tank. Zodra het niveau in de kuip onder het niveau in de tank komt (figuur 2), stroomt vloeistof in de kuip (= energie in het blad) ofwel stijgt de gewastemperatuur.

TEMPERATUUR VERHOGEN

Wil een tuinder de gewastemperatuur beïnvloeden, dan kan dat via de luchttemperatuur, met de temperatuurregeling. Daarnaast biedt verhoging of verlaging van de stralingsopname via belichting, schaduw of krijten mogelijkheden om de gewastemperatuur te sturen. Luchtcirculatie (verlagen van de grenslaagweerstand) tenslotte zorgt voor vergroting van het debiet van de 'convectiepijp'.

Het gewas kan het debiet van de 'verdampingspijp' zelf sturen, via de huidmondjes. Als de huidmondjes gedeeltelijk sluiten, leidt dit tot een kleiner debiet en stijgt de bladtemperatuur. Is het blad warmer dan de lucht, dan wordt de afgifte door convectie groter en als het blad kouder is dan de lucht, wordt de instroom van warmte via convectie juist kleiner.

Het verhaal is nog niet compleet, want ook een teler kan invloed uitoefenen op de verdamping. De stroom vloeistof (= warmte) door de convectiepijp hangt af van het 'debiet' én van het 'peilverschil' (= temperatuurverschil), terwijl de verdamping is getekend alsof vloeistof onbeperkt naar beneden zou kunnen stromen. Dit is niet het geval. Lucht kan niet onbeperkt waterdamp opnemen. In onze verbeelding, waar peil staat voor temperatuur, is het dauwpunt (vochtinhoud) van de lucht het referentiepeil voor de verdamping (figuur 3). Het dauwpunt is een even goede maatstaf voor de inhoud aan waterdamp in de lucht als de dampdruk,

waterdampconcentratie of het specifieke vochtgehalte, maar de relatieve vochtigheid (rv) is zeker geen goede maat hiervoor. Als de bladtemperatuur hoger is dan het dauwpunt van de lucht, vindt verdamping plaats. Hoeveel verdamping precies, hangt af van de huidmondjes. Zo gauw als de bladtemperatuur onder het dauwpunt komt, keert de stroom waterdamp om en vindt condensatie plaats. Dat brengt energie (de latente warmte) naar het blad. Er geldt daarbij wel een beperking in ons plaatje, omdat de huidmondjes geen rol spelen bij de condensatie. Wel geeft de teler sturing (bewust of onbewust) aan het dauwpunt. Bevochtigen dan wel ontvochtigen komt overeen met het dauwpunt respectievelijk verhogen en verlagen. Vocht 'weg ventileren' is gelijk aan ontvochtigen, maar heeft ook een indirect effect op de luchttemperatuur, wat zeker de stuurbaarheid van het vochtpeil vermindert.

WAT HET BETEKENT

Bij voldoende zonnestraling is een blad warmer dan de lucht en wordt de stralingsenergie teruggegeven aan de omgeving, zowel in voelbare warmte als in verdamping. Bij relatief weinig (of geen) zonnestraling moet een deel (of het geheel) van de energie voor de verdamping komen uit voelbare warmte en moet het blad koeler dan de lucht zijn.

Het dauwpunt van de lucht is de ondergrens voor de bladtemperatuur. Stuurmiddelen die een teler hierbij kan hanteren, zijn luchttemperatuur, straling, luchtcirculatie en dauwpunt (vochtinhoud) van de lucht. Dit geldt trouwens voor alle plantorganen. Het enige verschil is dat het bij 'zware' gewasdelen langer duurt voordat de planttemperatuur het evenwicht heeft bereikt. Met deze vertraging moet rekening worden gehouden. Met andere woorden, bij een veranderend klimaat kan de temperatuur tijdelijk onder het dauwpunt komen, met condensatie als gevolg, ook al is de evenwichtstemperatuur in de plant hoger.

HOOG OPGAAND GEWAS IN SEMI-GESLOTEN KAS

In een diep gewas is altijd sprake van een verloop aan straling. Bladeren en gewasdelen onderin ontvangen minder licht en dus ook minder energie dan bladeren bovenaan. Deze bladeren en gewasdelen zijn dus koeler dan de rest van de plant. In een traditionele kas is meestal sprake van een omgekeerd verloop van de vochtinhoud van de lucht (dauwpunt). De bron van waterdamp is

immers het gewas en de afvoer vindt plaats bij het dek (condensatie of ventilatie).

Samen zijn dit twee goede redenen waarom de verdamping van bladeren heel sterk afneemt van boven naar beneden in een diep gewas. Dat heeft een corrigerend effect op de temperatuurgradiënt. Die gradiënt is kleiner dan je zou kunnen verwachten alleen op basis van de stralingsafname. Het ondernet van de verwarming versterkt dit, omdat daarmee ook een tegengesteld verloop in de luchttemperatuur wordt gecreëerd. In vrijwel alle nieuwe kasconcepten wordt bij hoge instraling koude, droge lucht onderin het gewas geblazen. Dat zijn dus nog twee redenen voor een sterk afnemende temperatuurgradiënt van boven naar beneden in het gewas. Andersom is - om dezelfde reden - het verloop in de verdamping waarschijnlijk minder sterk dan in een traditionele kas.

De fysiologische kennis van een gewas is zeker (nog) niet toereikend om een uitspraak te kunnen doen over de mogelijke gevolgen van deze veranderde gradiënten voor de productie. Wel is ook nu al duidelijk dat efficiënt gebruik van nieuwe stuurmogelijkheden in moderne kassen vraagt om een herevaluatie van de bestaande denkbelden over luchttemperatuur- en vochtregeling. Daarbij staat de energiebalans op blad-, gewas- en kasniveau centraal. ■

Temperatuur en vochtigheid

In de huidige kassen valt dankzij luchtbehandelingskasten en luchtbevochtiging veel meer te sturen dan voorheen. Luchttemperatuur en vochtigheid zijn in een breed gebied afzonderlijk te regelen, wat in traditionele kassen niet kan. Hierdoor zou het gewas optimaal kunnen worden gestuurd en lijkt een sprong in productiviteit 'naar de 100 kilo' binnen handbereik. Het feit dat deze winst nog niet is gerealiseerd, toont enerzijds de witte vlekken in de kennis van gewasfysiologie aan en anderzijds de grenzen van de toepasbaarheid van traditionele 'stuurconcepten' in nieuwe systemen. In dit artikel gaat het om de gewastemperatuur: welke mogelijkheden heeft een teler om die te beïnvloeden en wat zijn de grenzen aan de stuurbaarheid. In een volgend artikel staat de verdamping centraal.

Steering of Fogging: Control of Humidity, Temperature or Transpiration?

C. Stanghellini and F. Kempkes
Wageningen UR Greenhouse Horticulture
Wageningen
The Netherlands

Keywords: semi-closed greenhouse, ventilation, water use, plant water relations

Abstract

Fogging systems are increasingly used to cool greenhouses and prevent water stress. More recently, fogging systems are applied also in relatively low radiation environments (such as The Netherlands), for a better control of product quality than whitewashing and to reduce need for natural ventilation – thus allowing for higher CO₂ concentrations to be maintained in the greenhouse. Most commonly the steering of such systems is done by setting an upper limit to the deficit of specific humidity that, whenever exceeded, triggers the fogging system. In both cases, however, one may wonder whether static and pre-fixed set points are the most effective choice.

In the experiment presented in this paper, fogging and venting were controlled with the purpose of steering crop transpiration. The desired transpiration rate was the input of an algorithm that calculated on-line the required humidity and air temperature set points in view of the current weather factors. The set points were then the input of a standard P-controller that calculated vent opening and time of operation of the fogging system. In this paper, the resulting climate and actuator control operations are discussed and compared with a similar greenhouse controlled in a traditional fashion. The study concluded that a desired crop transpiration rate (an all-round indicator of crop well-being) could be used to select dynamic set points for the climate control in a greenhouse equipped with a fogging system.

INTRODUCTION

The management of humidity has two purposes: maintaining crop transpiration within boundaries and preventing condensation on the crop. With respect to transpiration: too low and too high rates may result in local Ca deficiencies; in addition, a high rate – not matched by water uptake – results in turgor loss, partial stomatal closure and loss of assimilation. Condensation is known to increase incidence of pathologies such as mildew and botrytis (Köhl et al., 2007). In a traditional greenhouse both aims are combined in set-points for humidity (a maximum relative humidity or a minimum humidity deficit) whose crossing triggers procedures combining ventilation and heating, estimated to result in some 20% of the energy consumption of Dutch greenhouse (Bakker, 1991). There is little that can be done in a traditional greenhouse about too high transpiration, except shading or whitewashing, which obviously lower assimilation.

Fogging systems are a very effective tool to prevent water stress. Most commonly the steering of such systems is done by setting an upper limit to a measure of the deficit of humidity that, whenever exceeded, triggers the fogging system. The underlying assumption is that the deficit of humidity is a good indicator of potential evaporation, and limiting the deficit is equivalent to limit crop transpiration. It is known, however, that the same deficit of humidity can result in quite different potential evaporations, depending on other climate factors, particularly solar radiation, so that one may wonder whether static, pre-fixed set points are the most effective choice. Since they have become relatively cheap, high-pressure fogging systems are applied also in fairly low radiation environments (such as The Netherlands), for a better control of product quality than whitewashing and to reduce need for natural ventilation, thus allowing for higher CO₂ concentrations to be maintained in the greenhouse. The so-called semi-conditioned greenhouses (venting, heating, fogging and cooling, sometimes coupled to thermal

storage) make it possible to control independently the temperature and humidity, which is not possible in more traditional greenhouses.

In the lack of a relevant body of knowledge, growers apply the steering criteria and set points they know. In view of the need of applying water resources in the most effective way possible and as the productivity in such greenhouses has not grown so as to pay back the additional investment that is required, there is an increasing awareness that such advanced systems should aim at the direct control of growth related processes and be based on simple indicators of plant welfare (Dieleman, 2008). This, together with the increasing energy prices, has spawned the need in particular for a fresh look at humidity, the purpose(s) of controlling it and to which extent our knowledge about its effect in plant processes has been conditioned by the constraints to its management in a natural system.

In this perspective, this study had a “fresh look” at data obtained from a series of experiments that was performed to test the hypothesis that lowering the transpiration rate could mitigate the yield loss caused by high salinity. This was proven and has been reported extensively (Li and Stanghellini, 2001; Li et al., 2001, 2002, 2004) and has been implicitly confirmed by Romero Aranda et al. (2002). Central to the experiment was a “transpiration control”, an algorithm that constantly maintained crop transpiration to 65% of the rate in an identical compartment, using the opening of the roof ventilators and fogging as sole actuators. This paper describes how this was implemented and discusses the results in terms of climate attained and control of actuators, in order to show how a desired crop transpiration rate (an all-round indicator of crop well-being) could be used to select dynamic set points for the climate control.

MATERIALS AND METHODS

The experiments were performed in two identical compartments (300 m² each) of a multi-span Venlo glasshouse (Wageningen, the Netherlands, 52° N), where round tomato crops were grown in rock-wool, with a plant density of 2.2 m⁻² and grown according to standard Dutch cultural practice. The greenhouses were equipped with a hot-water heating system and natural ventilation through alternate zenith opening on both sides of the ridge. One of the two compartments (the low-transpiration one, LT) was equipped with a high-pressure fogging system, with a constant capacity 0.17 L m⁻² h⁻¹. The experiments were designed as split-plots, the subplots (half of each compartment) being the salinity treatment. So, there were two re-circulating nutrient solutions, each supplied to two halves of a compartment. A drain fraction around 70% and continuous recirculation for two hours after 2 a.m. were meant to prevent accumulation of salts in the slabs, which was indeed avoided. The transpiration control algorithm was implemented in the greenhouse climate control system and performed at two-minute intervals, 24 hours a day with the following procedure:

1. Reference transpiration rate was calculated through the model of Stanghellini (1987) – as implemented by Stanghellini and Van Meurs (1992) – as a function of current solar radiation (or lack thereof, at night), humidity and temperature in the reference compartment (high transpiration, HT) and an estimated Leaf Area Index (LAI). Solar radiation available for the crop was estimated from the weather station data, through the measured mean transmittance of the compartment.
2. The same model was inverted, to calculate the combinations of specific humidity deficit and temperature that would yield a transpiration rate which is 65% of the reference, under the same solar radiation (or lack thereof) and LAI.
3. Among those combinations, the one was selected that least modified the air temperature (with respect to the reference), under the constraint that the relative humidity, R.H., would not exceed 95%. The selection criterion was in view of the well known effects of temperature on crop growth and development and the constraint on R.H. aimed at eschewing mould pathologies (which never appeared).
4. A proportional (P) controller aimed first at attaining the desired humidity deficit through the control of the ventilators. When this was not enough, then it calculated the required operation time of the fogging system.

5. If necessary, the heating system was activated by a P-controller, as in the reference compartment.

To prevent differences in potential assimilation, CO₂ concentration in the LT compartment was made to be equal to the other one, which was controlled to 700 and 400 ppm, with closed and open vents, respectively. All climate and actuators data were logged by the greenhouse climate control system and saved at two-minute intervals. Transpiration was monitored by the following means: 8 plants on trays, supported by a frame resting on electronic weighing balances (60 kg full scale, 0.1 g nominal accuracy) one in the reference compartment and one in each salinity treatment in the low-transpiration compartment. Irrigation flow to each subplot was monitored through pulse flow meters with an accuracy of 0.5 litres. Drain of all subplots was collected separately in small tanks hence it was pumped back – through flow meters of the same kind – into the corresponding irrigation tank, by pumps triggered by floaters. For additional checks, a drain gauge (tipping spoon) measured drain flow, EC and pH from 8 plants in each subplot. In addition, the water use for refilling the two nutrient solution tanks (compound water use of the two equal salinity treatments in the two compartments) was metered as well. With hindsight, so many cross checks were not unnecessarily cautious, since all methods were rather prone to failure. The weighing balances could not be fully trusted while the fogging was on, and the two hours of continuous recirculation (and other incidents) caused leakages in some instances.

RESULTS AND DISCUSSION

Nevertheless, enough valid water use and transpiration data were collected to support the conclusion that the transpiration control achieved what it was meant to do (Fig. 1). As shown by Li et al. (2001), no effect was ever observed on the dry matter production or on plant development. There was a trend of more fresh weight production in the low transpiration compartment, that progressed from small and non-significant at EC = 2 dS m⁻¹ to large and highly significant at EC = 9 dS m⁻¹.

How the “transpiration control” translated in terms of actuators is shown in Figure 2, displaying climate and actuator data during a sunny day. In the HT compartment, the humidity control caused a combination of minimal venting (C) and heating (D) in the hours before sunrise, whereas in the LT compartment vents were open more shortly and heating was applied for a shorter time and to a lower pipe temperature. The ventilation was much less during the whole day (C), though dynamic set points for temperature and deficit of humidity resulted in more variability in ventilation. A higher air temperature was allowed in the morning and afternoon (D) in the LT compartment. The steering of the fogging (A) was more variable than it would be if it were solely based on one variable, such as humidity or radiation (C). The capacity of the system was too limited to deliver the desired humidity (B) in such a sunny day, in spite of the almost continuous operation between noon and 5 p.m., which explains why the measured transpiration was slightly higher than the desired level (Fig. 1). The daily daytime and night-time average climate in the two greenhouses, for two experiments lasting nearly a whole year, is displayed in Figure 3. We may infer that the same productivity was attained in spite of significant differences in humidity management (mean humidity difference 1.3 g/kg) and, to a lower extent, temperature (mean difference 1.5 and 0.8°C for the 1st and 2nd experiment, respectively).

CONCLUSION

The use of a complex indicator of plant well-being, such as the potential transpiration, allows for dynamic set points for climate actuators to be derived. This may reduce energy costs for humidity control and it may also reduce the need for ventilation (making possible increased CO₂ concentrations).

ACKNOWLEDGEMENTS

This “fresh look at old data” has been made possible by a joint grant of the Dutch

Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality and the Dutch Horticultural Board (PT proj. 13235).

Literature Cited

- Bakker, J.C. 1991. Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables. PhD Dissertation, Wageningen University p.155.
- Dieleman, A. 2008. Effecten van luchtvochtigheid op groei en ontwikkeling van tomaat. Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Report 519:28.
- Köhl, J., de Visser, P.H.B. and Wubben, J. 2007. Risico's op schimmelaantasting in vruchtgroenten. Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Report 467:41.
- Li, Y.L., Stanghellini, C. and Challa, H. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 88:11–29.
- Li, Y.L. and Stanghellini, C. 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Scientia Horticulturae* 89:9–21.
- Li, Y.L., Stanghellini, C. and Challa, H. 2002. Response of tomato plants to a step-change in root-zone salinity, under two different transpiration regimes. *Scientia Horticulturae* 93:267–279.
- Li, Y.L., Marcelis, L.F.M. and Stanghellini, C. 2004. Plant water relations as affected by osmotic potential of the nutrient solution and potential transpiration in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *The J. of Horticultural Science and Biotechnology* 79(2):211–218.
- Romero-Aranda, Soria, R.T., and Cuartero, J. 2002. Greenhouse mist improves yield of tomato plants grown under saline conditions. *J. of the American Society of Horticultural Science* 127:644–648.
- Stanghellini, C. 1987. Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. Ph.D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen. p.150.
- Stanghellini, C. and van Meurs, W.T.M. 1992. Environmental control of greenhouse crop transpiration. *J. of Agricultural Engineering Research* 51:297–311.

Figures

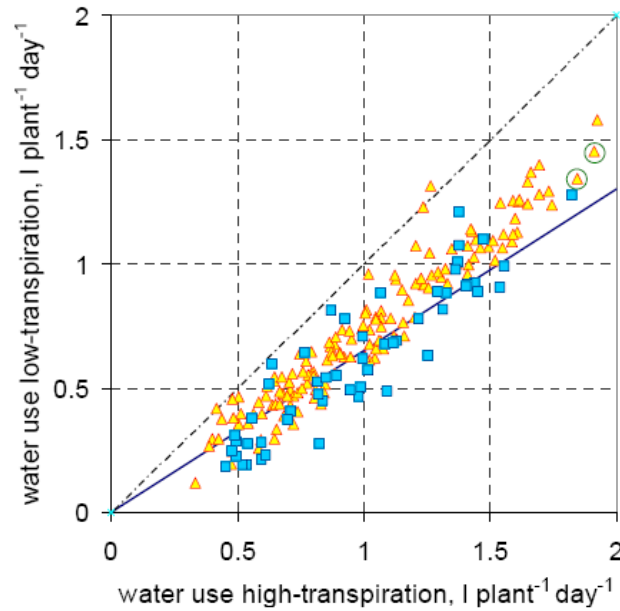


Fig. 1. Water use (liters per plant per day) measured in the low-transpiration compartment v water use of the same EC treatment, measured in the reference, years 1996 and 1997. Squares indicate a root zone salinity of 2 dS m⁻¹ and triangles of 9 dS m⁻¹, two different experiments. The thick line indicates the target trend of the transpiration controller. The two circled triangles refer to the day discussed in Figure 2.

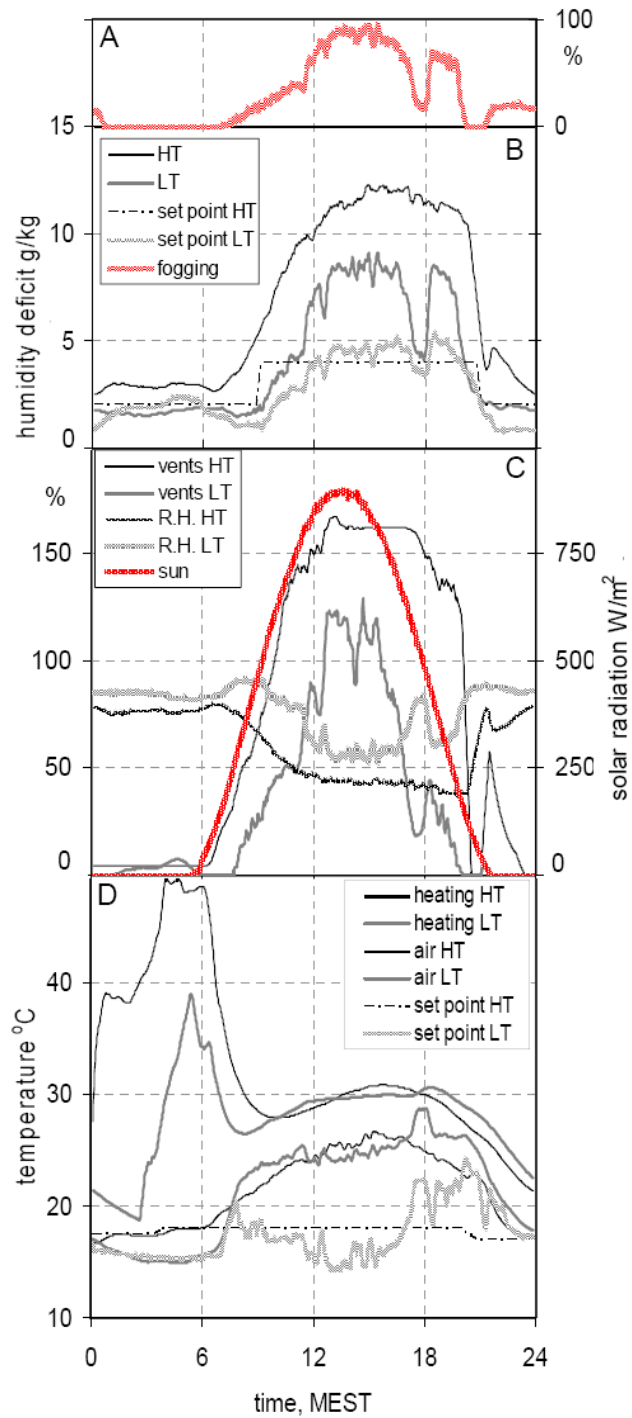


Fig. 2. Set points, actuators and climate in the two compartments (HT = high and LT = low transpiration, respectively), June 3rd, 1997, a sunny day. A) operation of the fogging system, % of time, at least 16 seconds without operation were left each 2-min cycle; B) measured specific humidity deficit and its “set point”. Set point in HT is minimum, in LT is used for P-control of venting and/or duration of fogging; C) solar radiation, relative humidity and vents opening, sum of both sides in % of the maximum opening; D) temperatures: “heating” is pipe temperature; “air” is measured, the set point in HT is the heating set point for air temperature, in LT it is used for P-control of both heating and ventilation.

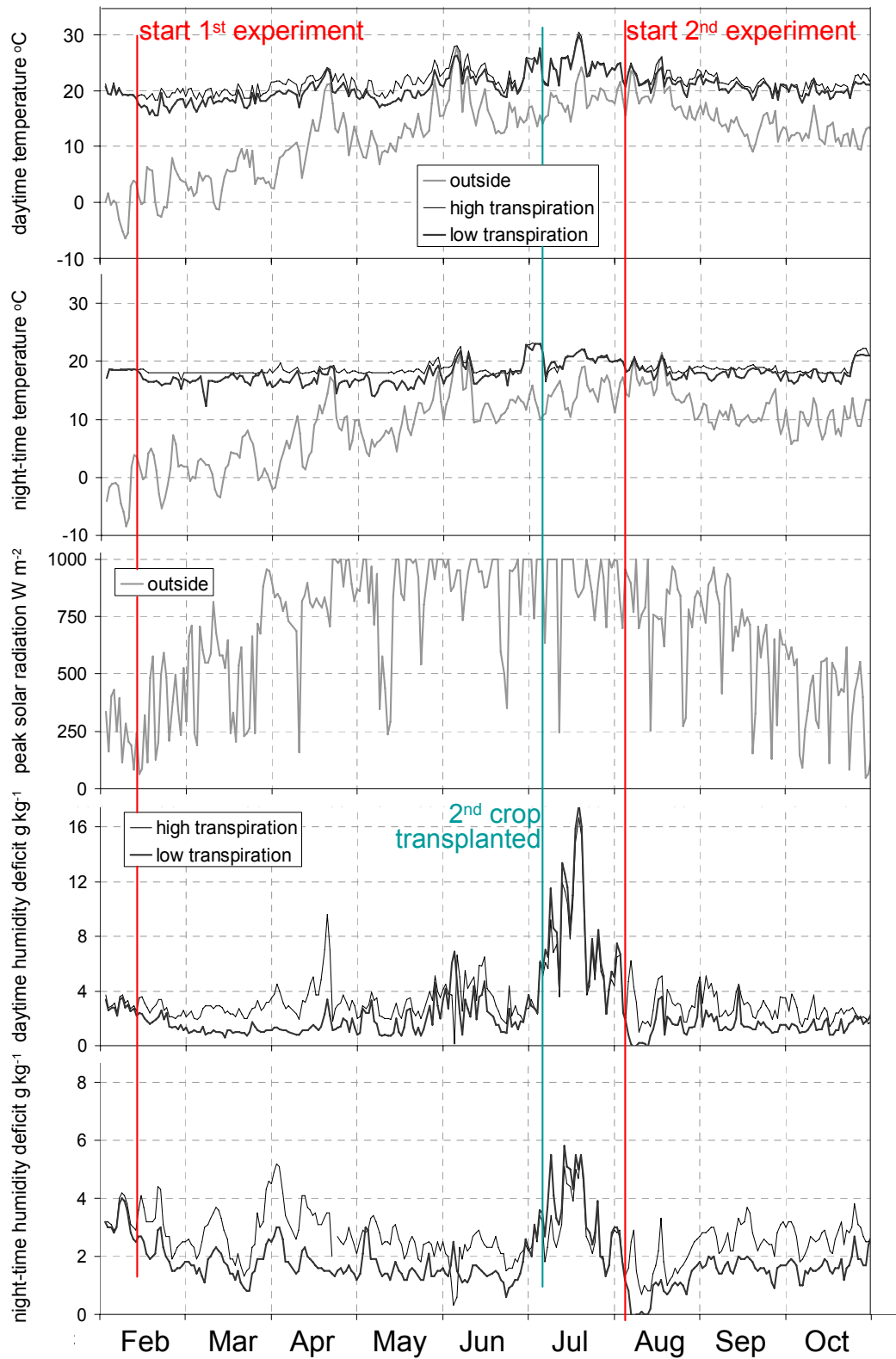


Fig. 3. Average ambient climate data in the two greenhouses, for two subsequent crops, 1996. The first crop had been transplanted on Dec. 15th, 1995. The peaks in humidity deficit in July are due to the coincidence of sunny weather and a very young crop.

Regelen van verdamping en regelen op verdamping

Cecilia Stanghellini,
Wageningen UR Glastuinbouw
cecilia.stanghellini@wur.nl



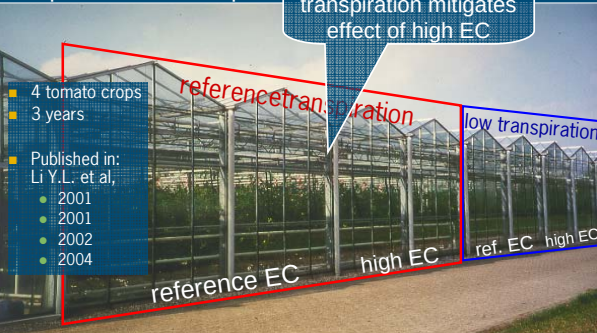
Voorgeschiedenis

- Planten kunnen doen met [50%] minder verdamping
 - Uitspraak uit een “vochtworkshop” 2 jaar geleden
- Bestaande data-set van “verdampingsregeling”
 - onderzoek op interactie wateropname & salinity



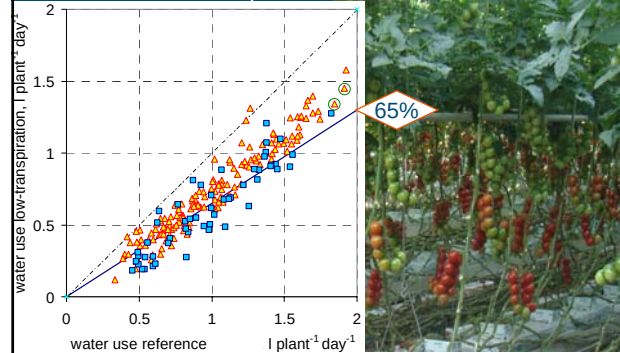
Cecilia Stanghellini

Experimental set-up



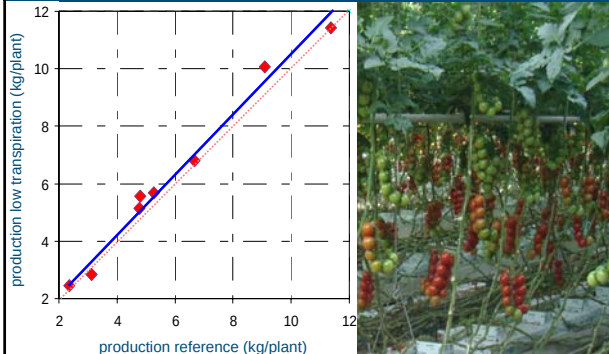
Cecilia Stanghellini

Results: 1. wateropname ✓



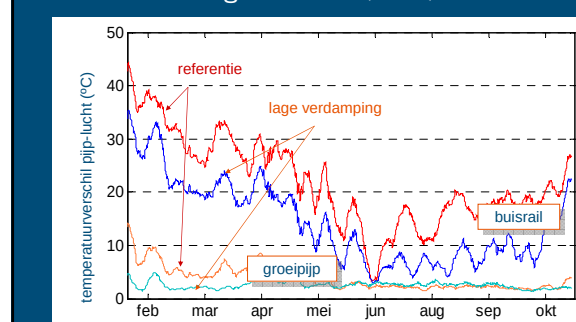
Cecilia Stanghellini

Results: 2. Production ✓



Cecilia Stanghellini

Results: 3. Energieverbruik (-27%) ✓



Cecilia Stanghellini

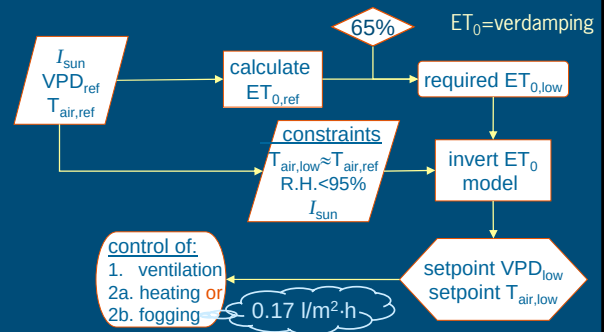
Doolstelling van huidige project

- Evaluatie van data mbt klimaatactuatoren
- Analyse van de stuurbaarheid van de verdamping
- Richtlijnen tbv van huidige regeling & nieuwe telen



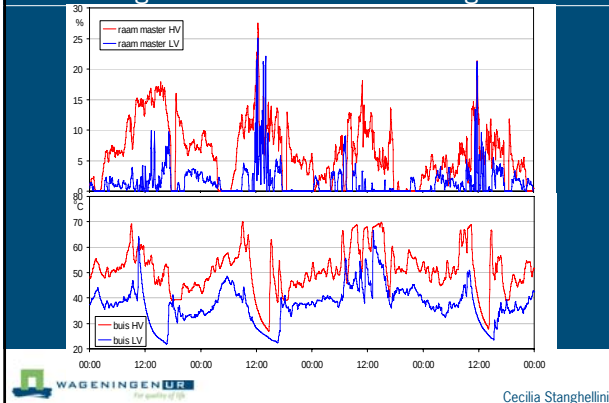
Cecilia Stanghellini

Hoe werkte de “verdampingregeling”?



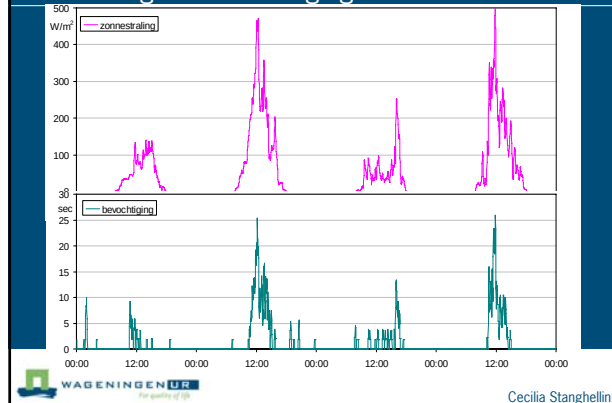
Cecilia Stanghellini

Sturing van ventilatie en verwarming



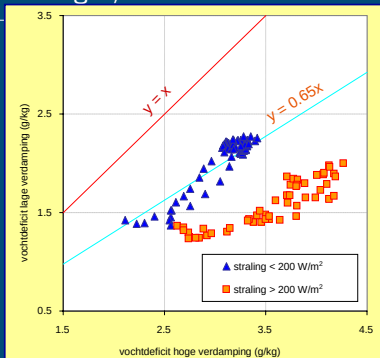
Cecilia Stanghellini

Sturing van bevochtiging



Cecilia Stanghellini

Vochtiger, maar niet in een directe wijze

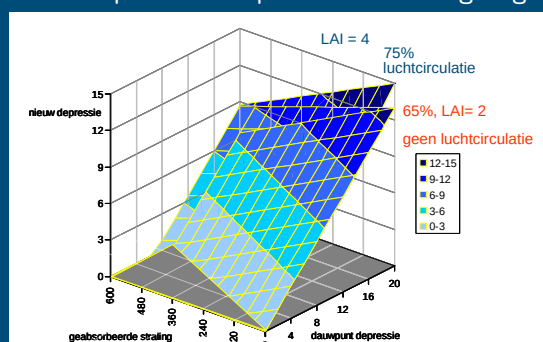


- Anders bij hoge of lage instraling
- Bij hoge instraling wordt het verschil groter



Cecilia Stanghellini

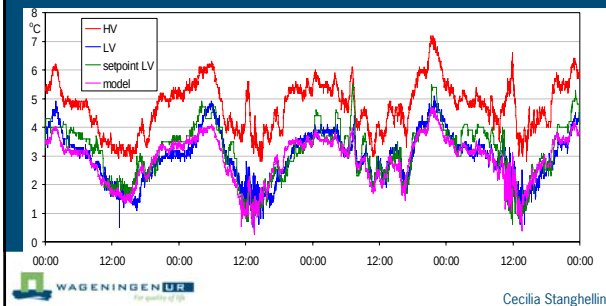
Een simpele herinterpretatie van de regeling



Cecilia Stanghellini

Om de verdamping tot een fractie F te verlagen moet:

$$\Delta T_{dauw,LV} = F \cdot \Delta T_{dauw,ref} - (1 - F) \frac{g_{rens} \cdot \Delta T_{dauw,ref}}{2LAI \rho c} AI_s$$



Conclusies

- De gewasverdamping mag [veel] lager zijn
- Dit kan heel veel energie besparen
- Vochtdeficit dan wel dauwpuntdepressie omlaag
- Nog lager (vochtiger) naar mate de straling
- De “stralingscorrectie” kan kleiner zijn bij:
 - Veel blad
 - Luchtcirculatie



Vochtbeheersing bij het nieuwe telen: bottlenecks, kritische momenten en te volgen strategieën

Cecilia Stanghellini,
Wageningen UR Glastuinbouw
cecilia.stanghellini@wur.nl



WAGENINGEN UR
For quality of life

Het nieuwe telen

- Wens om zo min mogelijk te ventileren
- Aanwezigheid van bevochtiging e/o LBK e/o luchtcirculatie
- Behoeftte aan algemenere sturingsconcepten gebaseerd op:
 - Vers gewicht
 - Nutriëntenopname
 - Water tekort
 - Kans op schimmelziektes
 - **Kwaliteit**

} allemaal gerelateerd naar/
beïnvloed door
gewasverdamping

WAGENINGEN UR
For quality of life

Cecilia Stanghellini

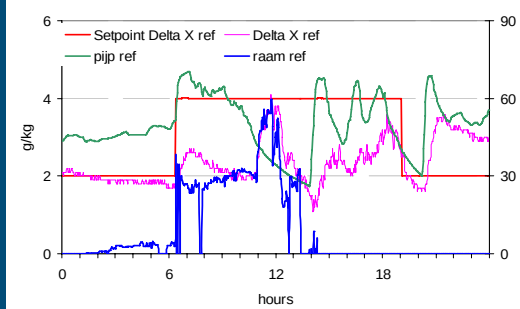
Inhoud

- Vochtiger telen, wat houdt het in?
- Waar moeten we op letten?
- Wanneer zijn we de sturing kwijt?
- Conclusies

WAGENINGEN UR
For quality of life

Cecilia Stanghellini

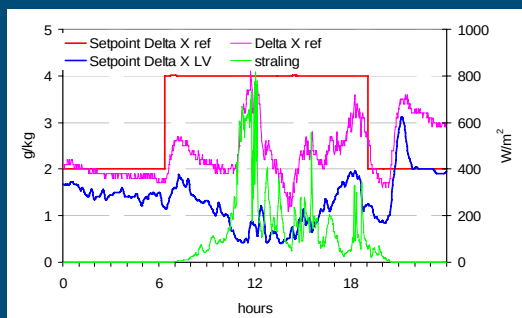
Gangbare vochtregeling



WAGENINGEN UR
For quality of life

Cecilia Stanghellini

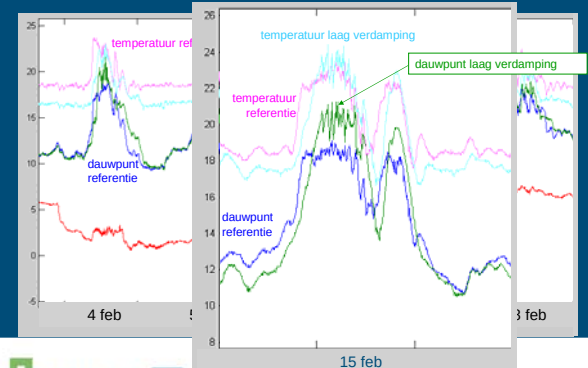
Met het weer mee... 1. vochtdeficit



WAGENINGEN UR
For quality of life

Cecilia Stanghellini

Met het weer mee 2. stoken en 3. minder ventileren



WAGENINGEN UR
For quality of life

Cecilia Stanghellini

Wat houdt het in?

- Vochtregeling overdag e/o bij belichting [bijna] loslaten
- Stooklijn lager
- Dode zone tussen stooklijn en ventilatie veel breder

Waar wel op letten?



Cecilia Stanghellini

Condensatie en verdamping



- Verdamping evenredig met temperatuur verschil gewas-dauwpunt
- Risico van condensatie omgekeerd evenredig met temperatuur verschil gewas-dauwpunt
- Condensatie vermijden = vermijden van [te] lage verdamping



Cecilia Stanghellini

Condensatie vermijden

- Temperatuurverschil gewas-dauwpunt niet te klein
- Gewastemperatuur ↑
 - Schermen
 - Belichten
 - Verwarmen
- Dauwpunt ↓
 - Energie-efficiënt vochtafvoer
 - Koeling



Cecilia Stanghellini

Horizontale en verticale variaties



- Horizontale en verticale distributie van dauwpunt
 - Hogere homogeniteit = kleiner "veiligheidsmarge"
- Variatie in gewastemperatuur
 - Stralingsprofiel
 - Warmtecapaciteit van gewasdelen



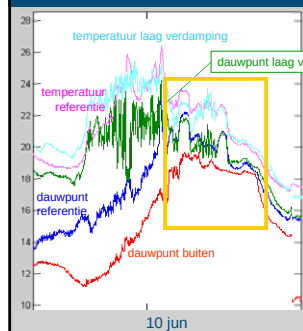
Cecilia Stanghellini

Lucht circulatie

- Verkleint ALTIJD het temperatuurverschil tussen het gewas en de lucht
 - Koelt als gewas warmer is dan de lucht
 - Verwarmt als het gewas koeler is dan de lucht
- Dus zeker gunstig bij gevaar van condensatie



Wanneer wordt het moeilijk in een gewone kas?



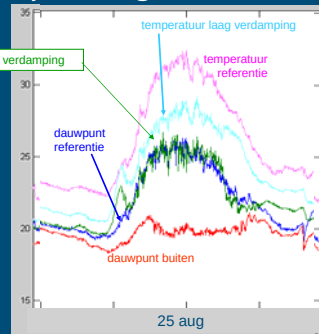
- Als de dauwpunt buiten bijna zo hoog is als binnen...
 - Sturing mogelijk alleen door koeling bij gesloten ramen



Cecilia Stanghellini

Wanneer wordt het moeilijk in een gewone kas?

- Als buiten zo warm is dat je "uitgeventileerd" bent
 - Sturing mogelijk alleen door bevochtiging of koeling



Conclusies

- Flexibeler met het weer meegaan
 - Koeler/warmer en vochtiger laten worden
- Condensatie vermijden
 - Dauwpunt horizontaal/verticaal homogeen
 - Rekening houden met verschillen in het gewas
 - Luchtcirculatie
 - Schermen
 - Zo nodig energie-efficiënt vochttafvoer
 - Belichten & koelen ook hiervoor inzetten
- Verneveling e/o LBK zo nodig inzetten

Het dauwpunt als
vochtparameter maakt
de zaken overzichtelijker

