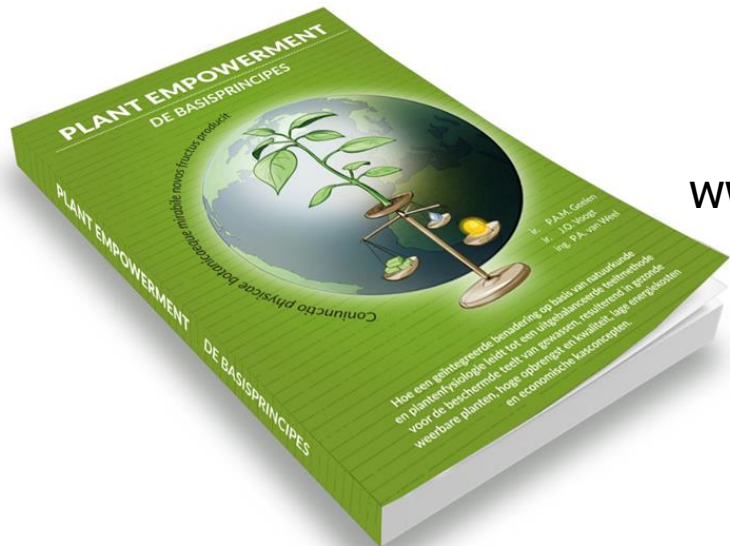


# Peter van Weel

1976 - 2016: Onderzoeker kassystemen WUR

2016 - heden: Privé-auteur en ontwikkelaar

weel.invent@gmail.com



[www.plantempowerment.academy](http://www.plantempowerment.academy)



# Waarom deze lezing?



- De hoge energieprijzen dwingen tot extra isoleren en dat heeft negatieve gevolgen voor het gewas als je geen aandacht besteedt aan voldoende afvoer van vocht uit het gewas en uit de kas
- De omschakeling naar LED heeft de gewasverdamping sterk verminderd. Dat was te wijten aan slechte afvoer uit de kas en aan gebrek aan luchtcirculatie binnen het gewas.
- Een ontvochtigingssysteem of ventilatie kan zorgen voor betere afvoer van vocht uit de kas, maar het resultaat hangt dus wel sterk af van de vraag hoe je zo'n systeem aanstuurt in combinatie met verwarming, schermkieren en ramen.

Uiteindelijk hoop ik te bereiken dat de kas maximaal geïsoleerd kan worden en er onder de schermen een optimaal klimaat kan worden gemaakt waarbij schimmelziekten worden voorkomen door te snappen hoe ze veroorzaakt worden.

## 2 SOORTEN SCHIMMELPROBLEMEN bij gerbera onder LED en relatie met schermgebruik



### **Botrytis -smet**

SCHIMMEL OP BLOEM DOOR CONDENSATIE

***BLOEMTEMPERATUUR ZAKT ONDER  
LUCHTTEMPERATUUR DOOR UITSTRALING***

Verkeerde schermstrategie  
Achterblijvende bloemtemperatuur na start LED

### **Rotkoppen**

CELSCHADE IN BLOEM DOOR GUTTATIE

***ONBALANS WORTELDRUK - VERDAMPING***

Te hoog vochtgehalte en temperatuur wortels  
Te lage vochtafvoer uit het gewas  
Te lage vochtafvoer uit de kas

# Een goed scherm reduceert langs 3 wegen het energieverbruik:



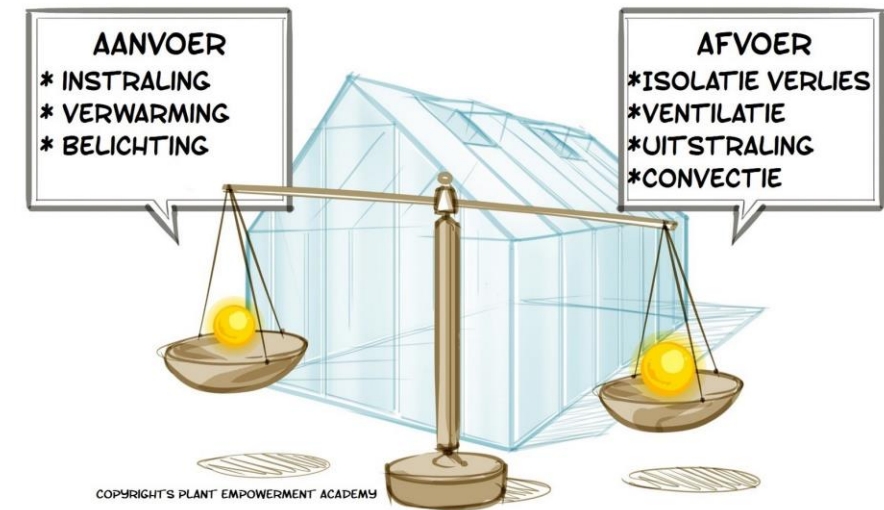
- CONVECTIE en geleiding via kasdek door temperatuurverschil kaslucht-buitenlucht
  - 1/3e van het warmteverlies
  - Scherm zonder kieren maakt de kasdek temperatuur lager

- Stralingsoverdracht kasdek-hemel (UITSTRALING):

- 1/3e van het warmteverlies
- Scherm sluiten verlaagt de kasdek temperatuur, zelfs met kier

- VENTILATIE (afvoer van verdamping en warme lucht):

- 1/3e van het warmteverlies
- Beperk verdamping en ventilatie door een luchtdicht en volledig gesloten scherm in combinatie met bestuurbare ventilatie

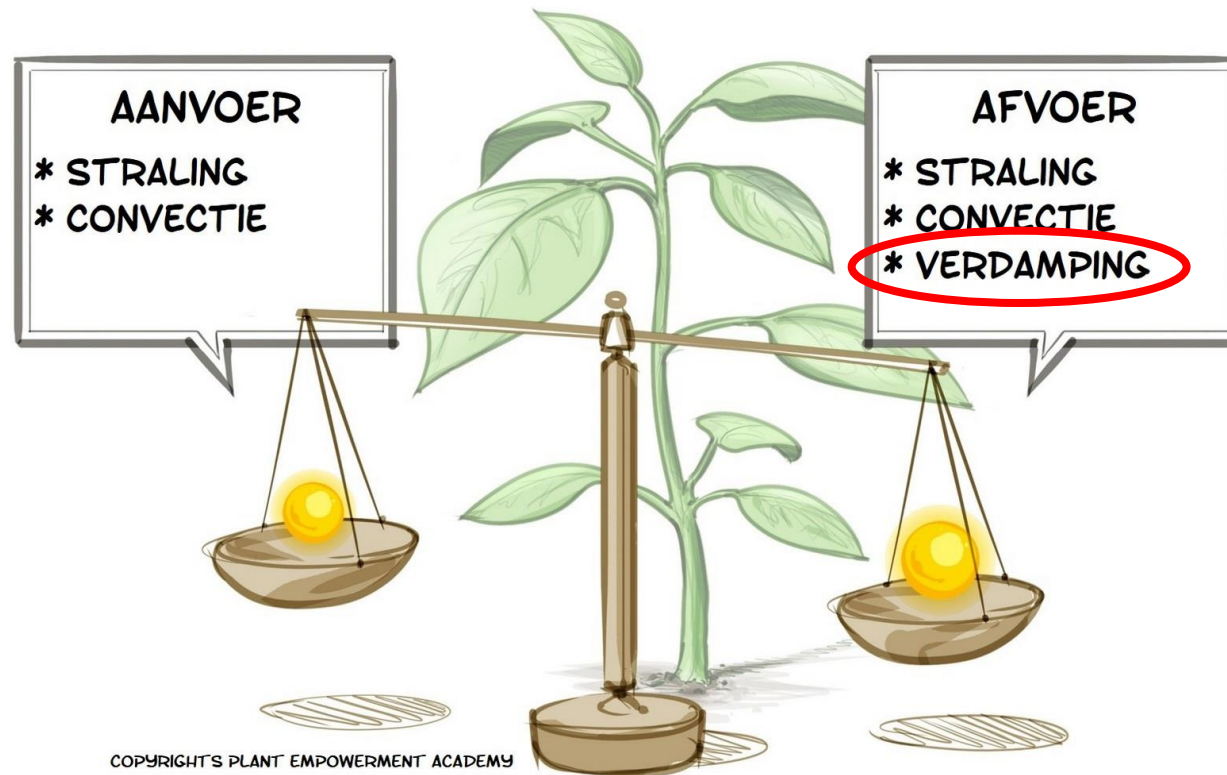


Intensiever en slim schermen is de weg naar Fossilarm, maar gebrekkige VENTILATIE kan een probleem worden voor schimmelziekten!

# Schimmelp Problemen worden het beste aangepakt door een betere beheersing van de energiebalans van het blad



$$(R_n + Q_{in}) = (G + Q_{uit} + V)$$



# De energiebalans maakt het mogelijk om de Verdamping te berekenen



$$\text{Verdamping} = \frac{R_{\text{netto}} + \{h * (T_{\text{lucht}} - T_{\text{blad}})\}}{2,5 \text{ kJ/gram}}$$

Diagram annotations:

- Callout bubble pointing to  $R_{\text{netto}}$ : straling
- Callout bubble pointing to  $h * (T_{\text{lucht}} - T_{\text{blad}})$ : convectie
- Callout bubble pointing to the denominator  $2,5 \text{ kJ/gram}$ : verdampingswarmte

- $R_n$  = netto door gewas opgenomen straling:

Geleverd door zon, buizen, lampen, bodem.

Maar uitstraling moet daarvan afgetrokken en kan zelfs een negatieve stralingsom opleveren

- $h * (T_{\text{lucht}} - T_{\text{blad}})$  = de convectieve warmteoverdracht van lucht naar blad

$T_{\text{lucht}}$  hoger dan  $T_{\text{blad}}$  → (extra) Verdamping

$T_{\text{lucht}}$  lager dan  $T_{\text{blad}}$  → Geen Verdamping, tenzij straling

Factor  $h$  is afhankelijk van de **luchtbeweging langs blad** (1 mm/sec is al genoeg)

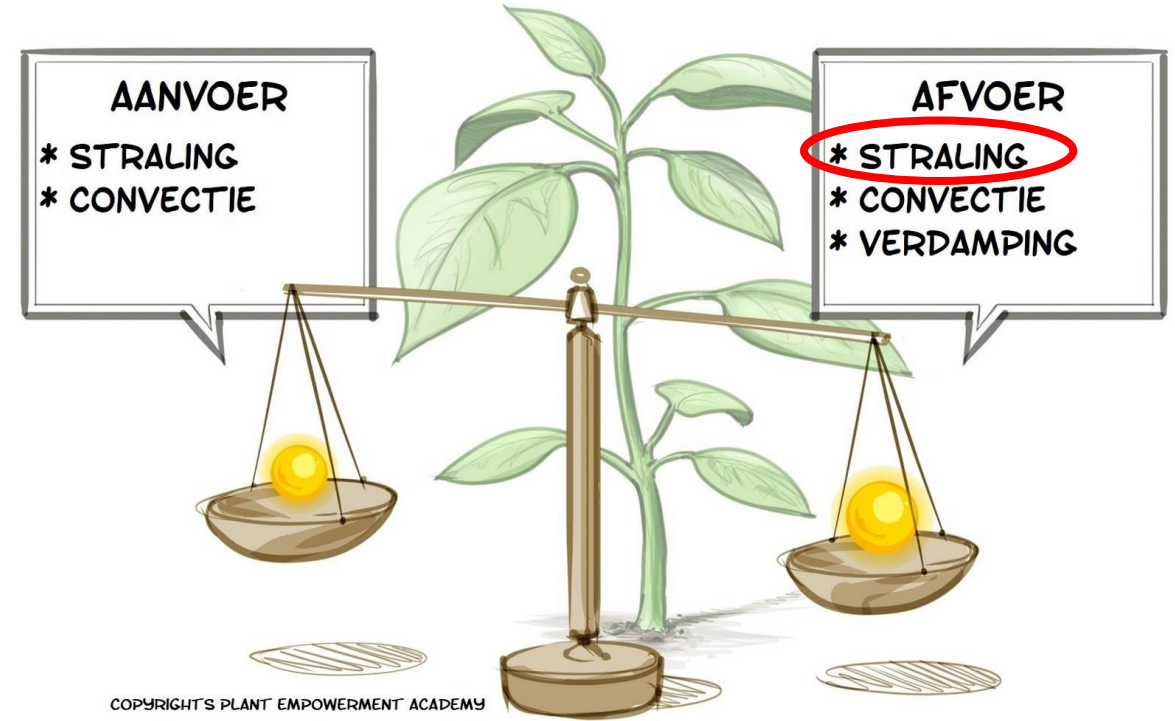
Zonder luchtbeweging geen energietoevoer = geen verdamping, tenzij straling

# UITSTRALING laat de plant afkoelen tot onder de luchttemperatuur en levert veel kwaliteitsverlies op



Uitstraling beïnvloedt alle plantbalansen en heeft invloed op:

- Verdamping
- Worteldruk
- Calciumtransport
- Assimilatentransport
- Celstrekking
- Condensatie risico

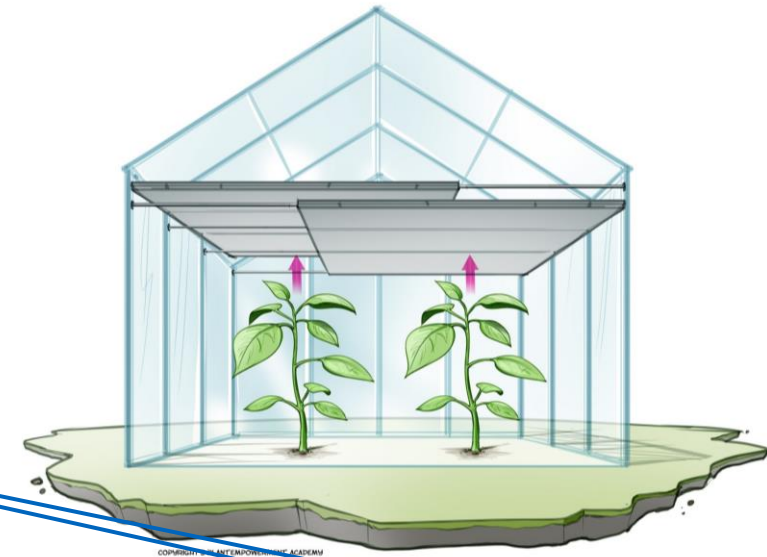


# Afkoeling van het gewas door uitstraling verminderen met een scherm



Kaslucht = 20 °C in 3 situaties:

- **Glas (geen scherm): T= 10 °C**
  - Bovenste blad: T = 18,5 °C
    - Uitstraling plant naar kasdek = - 44 W/m<sup>2</sup>
- **Enkel Scherm: T= 14 °C**
  - Bovenste blad: T = 19,0 °C
    - Uitstraling plant naar scherm = - 27 W/m<sup>2</sup>
- **3 Schermen: T= 18 °C**
  - Bovenste blad: T = 19,6 °C
    - Uitstraling plant naar scherm = - 10 W/m<sup>2</sup>



Bij  $T_{\text{lucht}} = 20 \text{ °C}$  en 92% RV is dauwpunt: **18,7 °C**

Elke 20 W/m<sup>2</sup> meer uitstraling koelt het blad  $\approx 0,5 \text{ °C}$  meer af.

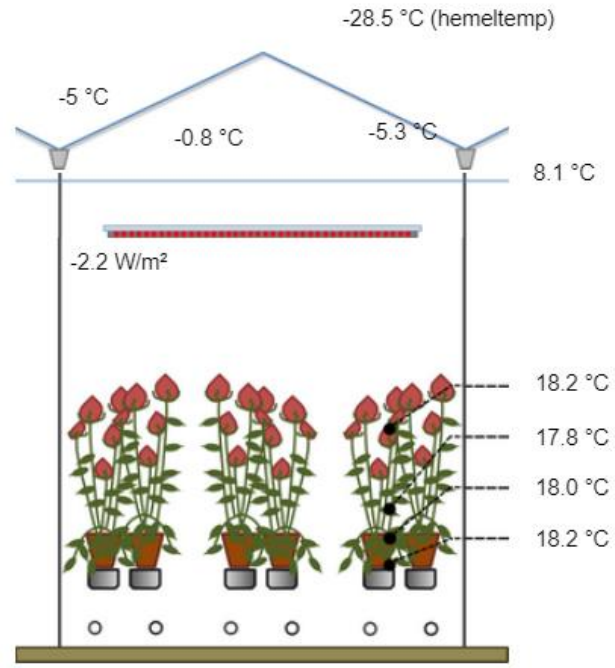
**Zelfs onder een scherm met kier wordt de uitstraling sterk verminderd en neemt de bladtemperatuur toe!**



# Zelf simuleren: <https://www.kasalsenergiebron.nl/besparen/het-nieuweteelen/ik-wil-eenvoudig-aan-de-slag/uitstralingsmonitor/radiation-monitor/>



Bewolgingsgraad	Onbewolkt	
Pyrgometer	-90	W/m <sup>2</sup>
Buitenstraling	0	W/m <sup>2</sup>
Buitemtemperatuur	-5	° C
Windsnelheid	10	m/s
Kaslucht temperatuur	18	° C
Kaslucht vochtigheid	90	%
Kasdek	Standaard tuindersglas	
Schermbestand Raamstand	5	%
<input checked="" type="checkbox"/>	Obscura 10070 WB+BW	
<input type="checkbox"/>	folieschermbestand	
<input type="checkbox"/>	Perf-Fclean (10x10)	
Gewas	Roos	
	0	% verwarming boven gewas
	40	% verwarming tussen gewas
	60	% verwarming onder gewas
Belichting	200	μmol/m <sup>2</sup> s
<input checked="" type="checkbox"/>	LED met 3.0 μmol/J	



Totale verdamping: 27.3 g/(m<sup>2</sup> u)  
uit laag 1 (0.10 m<sup>2</sup>): 0.7 g/(m<sup>2</sup> u)  
uit laag 2 (0.90 m<sup>2</sup>): 10.8 g/(m<sup>2</sup> u)  
uit laag 3 (0.90 m<sup>2</sup>): 8.7 g/(m<sup>2</sup> u)  
uit laag 4 (0.90 m<sup>2</sup>): 7.1 g/(m<sup>2</sup> u)

Dauwpunt 16.3 °C  
Verwarming 58 W/m<sup>2</sup>  
Lichtintensiteit 216 μmol/(m<sup>2</sup> s)  
Effectieve k-waarde 2.5 W/(m<sup>2</sup> K)  
Ventilatie 22.4 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> uur)



Versie:  
Nov 2018

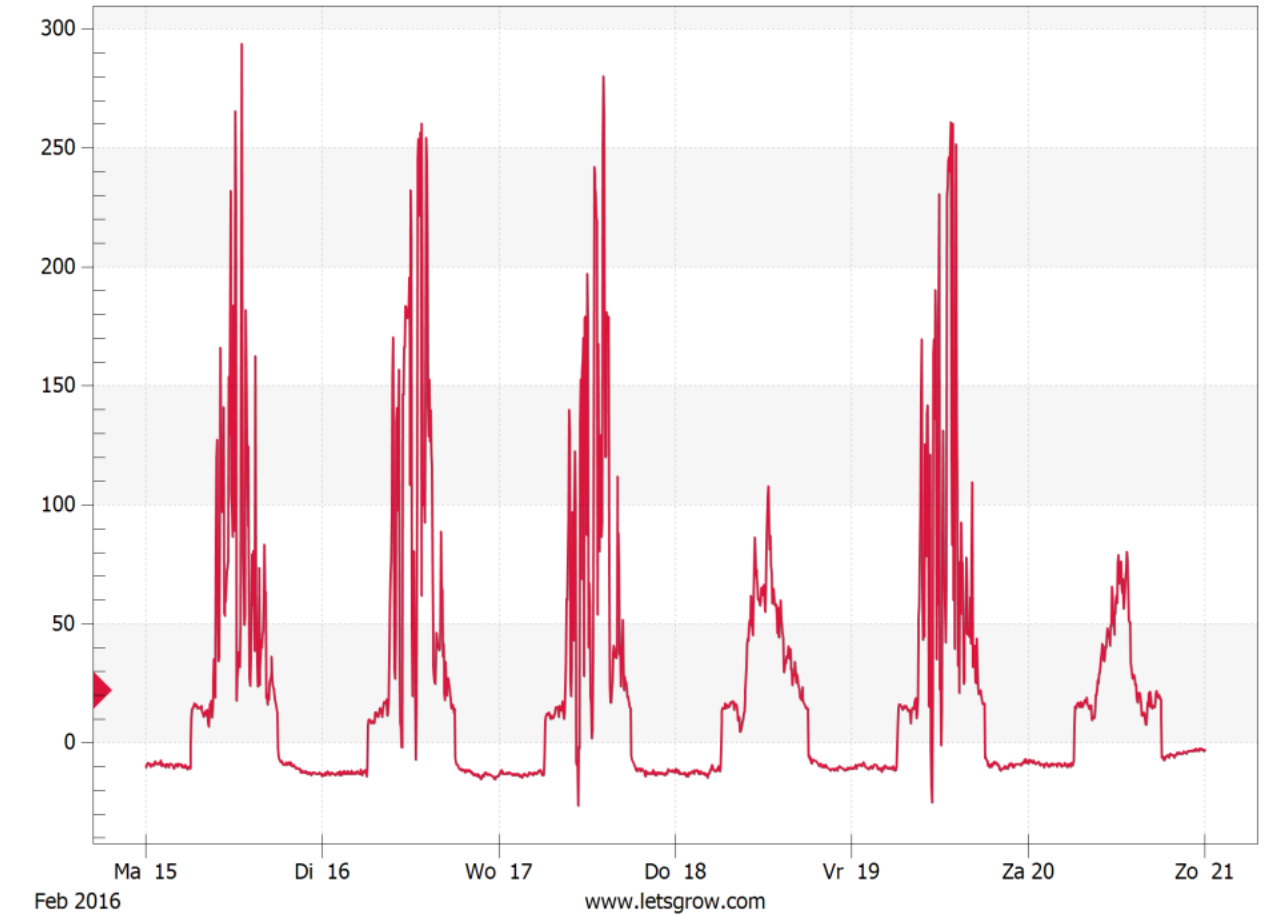
Info Run Help



# Meting uitstraling met netto stralingsmeter



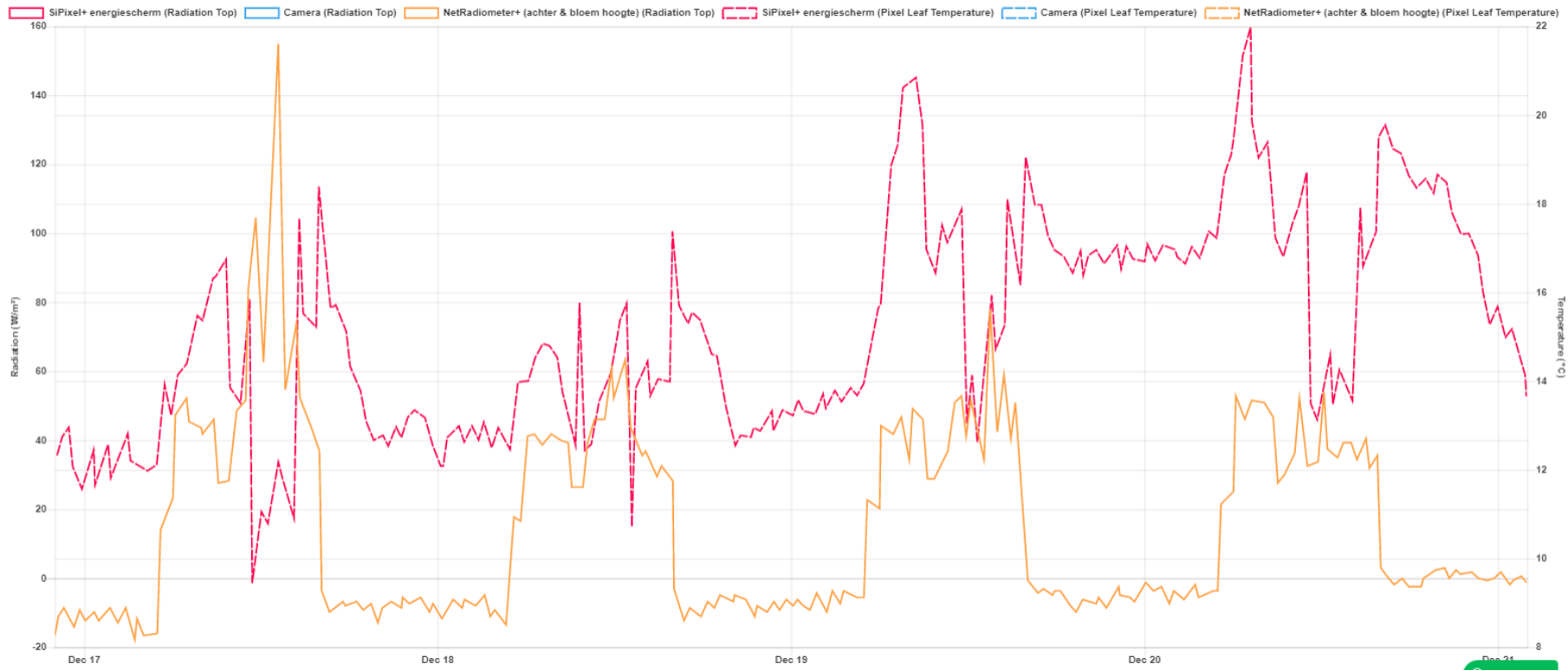
Eén sensor kijkt omhoog, de andere omlaag:  
zichtbaar + infrarood licht gebied



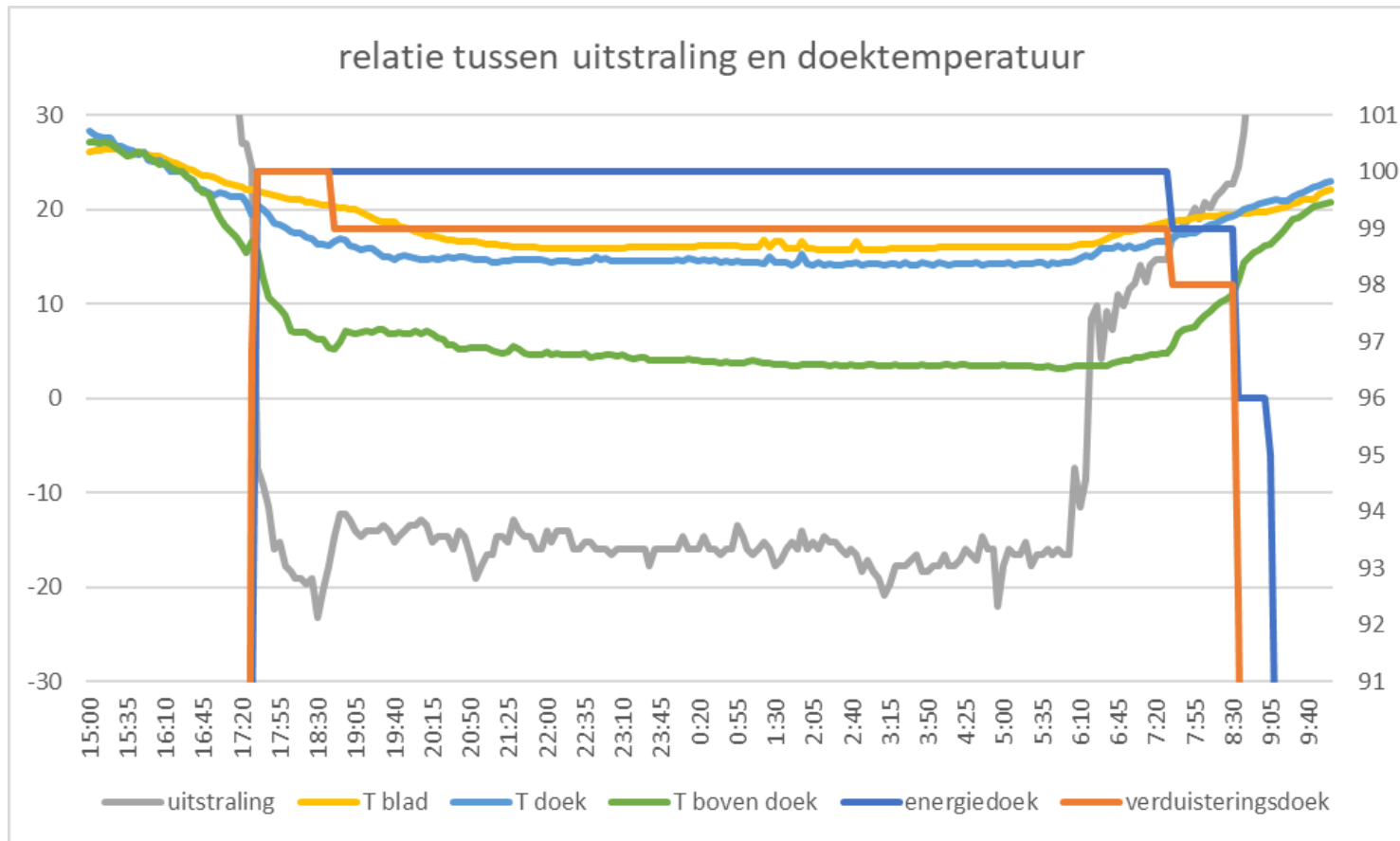
	Kleur	Naam en eenheid	Apparaat	Fact	As	Min	Max	Gem	Leeslijn
1	■	netto straling ber. - W/m <sup>2</sup> - 5 min: i4All 4580 - netto meting	Calculator-jvo	1	<	-26,2	293,8	22,2	-10,1

Vorige Volgende

Meten van de scherm temperatuur is ook mogelijk.  
*Als dan ook de bladtemperatuur gemeten wordt kan de uitstraling worden berekend.*



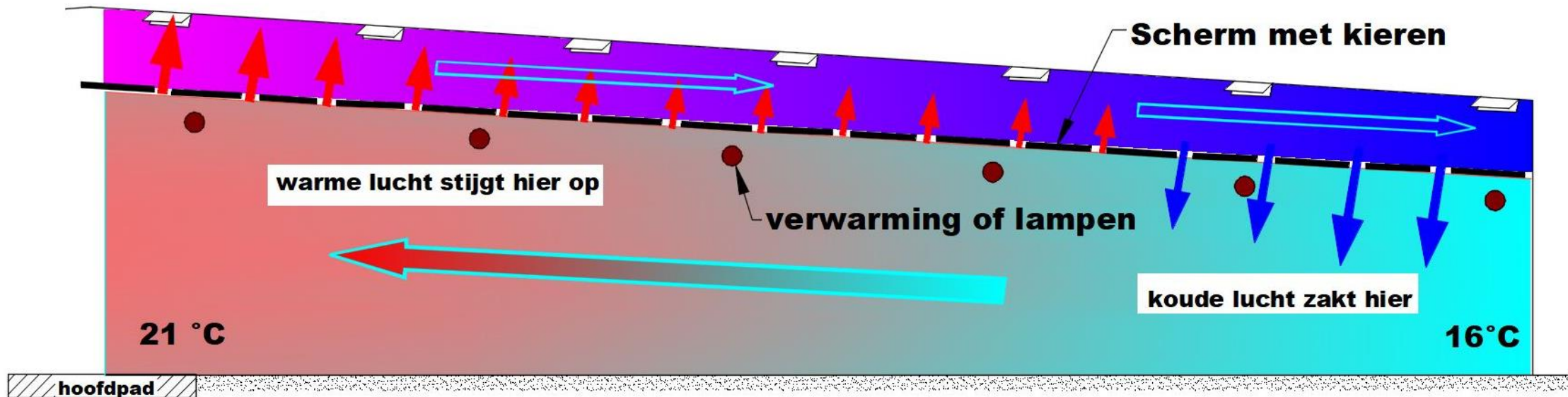
Het meten van de temperatuur van het blad en het doek maakt het mogelijk om beter te sturen met een schermkier in het onderste doek en het bovenste doek dicht te houden. Daardoor daalt de uitstraling.



Schermkieren veroorzaken koude lucht die tussen het gewas valt. Ook dat verstoort de verdamping. Daarnaast worden de horizontale temperatuur verschillen in de kas groot.



**warme lucht boven het scherm koelt af en stroomt naar laagste punt**



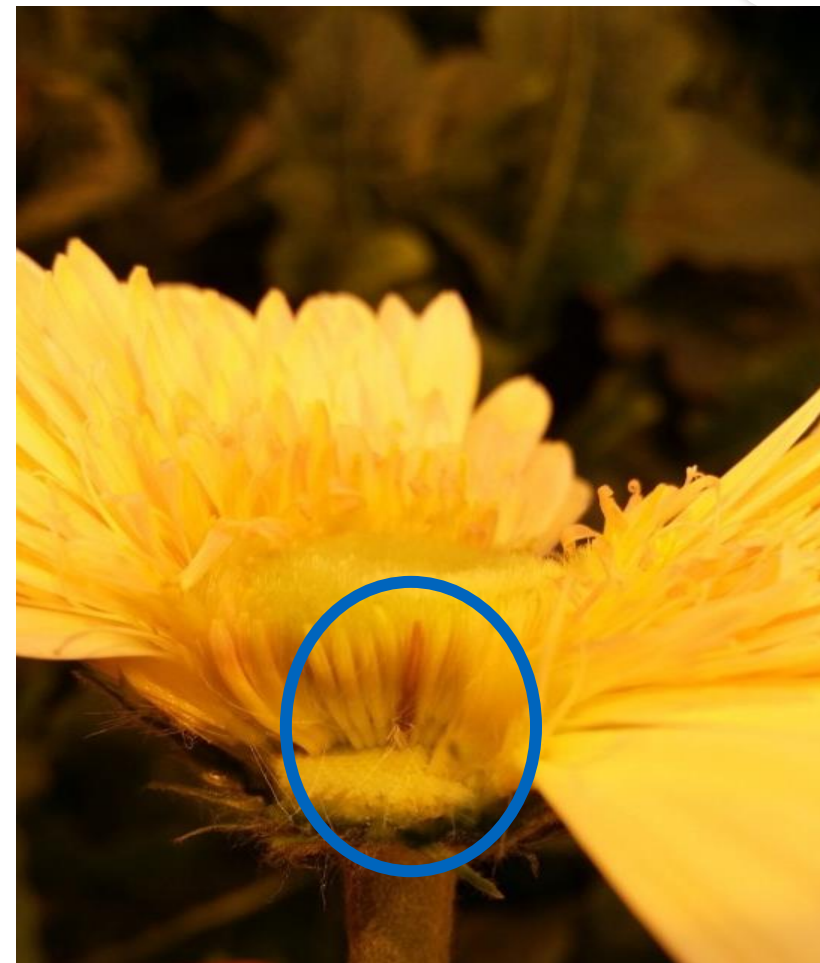
# Schimmelziekten en slechte kwaliteit door calcium of kalium gebrek in de donkerperiode kun je voorkomen door op tijd te schermen en de verdamping te meten en te besturen.



- De verdamping in het donker heeft energie nodig in de vorm van straling en/of warme lucht plus luchtbeweging.
- Dat betekent dat er niet meer alleen gestuurd moet worden op RV of VD, maar vooral op verdamping.
- RV of VD alleen nog bewaken om natslaan te voorkomen, maar een egale bladtemperatuur laat wel een hogere RV of lager VD toe.
- Teveel verdamping door bijvoorbeeld een hete minimum buis of door het blazen van te veel droge lucht door het gewas heen kost onnodig veel energie en kan op plekken waar het gewas afkoelt door uitstraling juist tot condensgevaar leiden.

Ondanks het op tijd schermen  
ontstond een nieuw probleem  
onder LED in combinatie met  
intensief schermen (vanwege de  
hoge gasprijs):

ROTKOPPEN = GUTTATIE



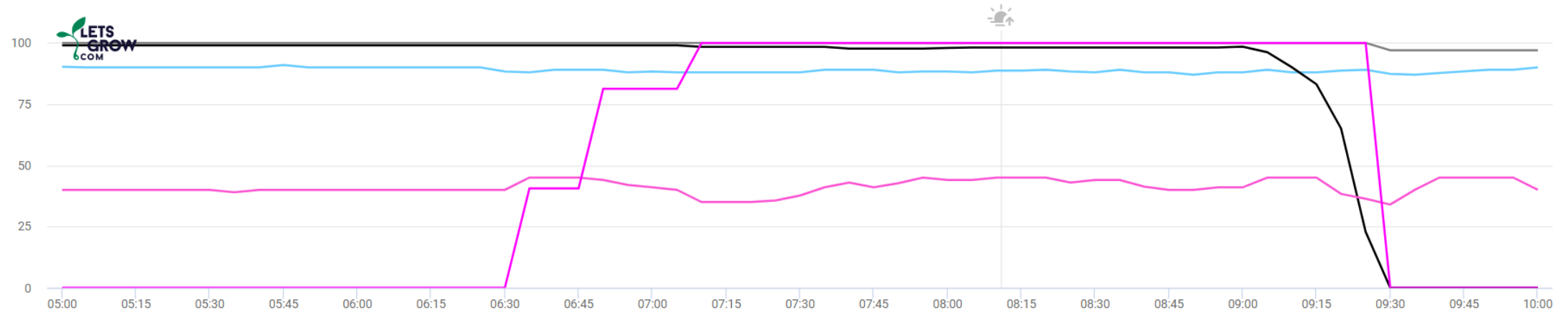
# Te lage verdamping levert gevaar op Guttatie

- Als de verdamping daalt en de wortels actief druk blijven opbouwen door een hoge temperatuur, of teveel makkelijk opneembaar vocht kan er water uit de plant druppelen. Dat is vooral aan de einden van de vaten.
- Het treedt dus op wanneer worteldruk en verdamping niet in evenwicht zijn met elkaar.
- Achterblijvende druppels vormen zoutresten die leiden tot celschade of langdurig ophopend vocht die zich later uit als botrytis. Ook schade als Mycosphaerella, neusrot en rand beginnen zo.





De meetbox van de computer liet bij het optreden van rotkoppen geen RV stijging in de kas zien, dus wat was er aan de hand?

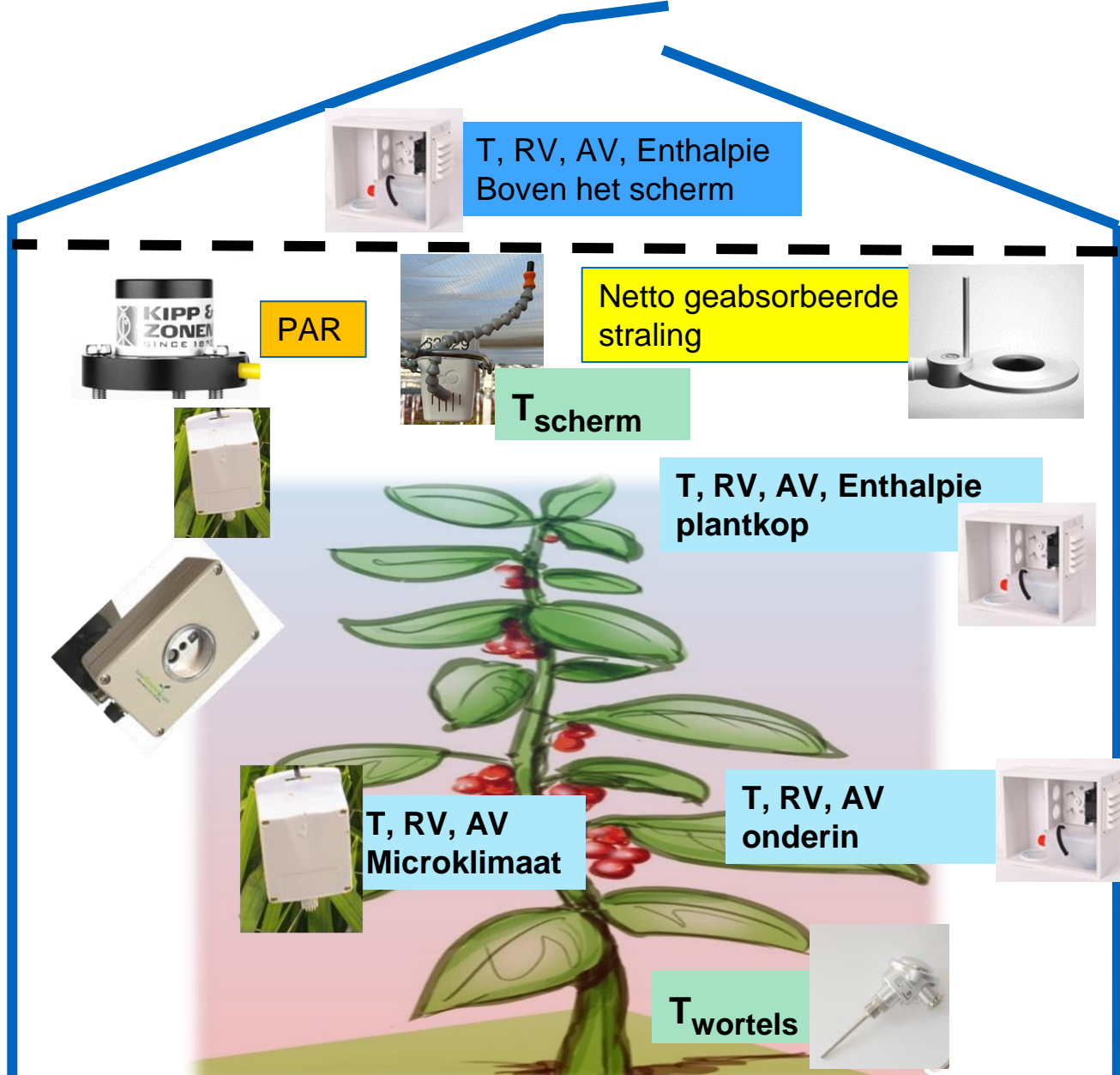


< 23-11-2022 - 23-11-2022 > [Icons: Print, Share, Settings]

Legenda verbergen ▾

<input type="checkbox"/>	Naam	Apparaat	Factor	As	Min	Max	Gem	Leeslijn
<input checked="" type="checkbox"/>	RV kas - % - 5 min:		1	←	87	91	89	-
<input checked="" type="checkbox"/>	energiedoek - % - 5		1	←	97	100	100	-
<input checked="" type="checkbox"/>	verduisteringsdoek		1	←	0	99	86	-
<input checked="" type="checkbox"/>	onderbuis: ber - °C		1	←	34	45	41,1	-
<input checked="" type="checkbox"/>	assimilatie belichti		1	←	0	100	54	-

# Met nieuwe sensoren is gezocht naar het klimaat tussen het gewas, de verdamping en de vochtafvoer uit de kas

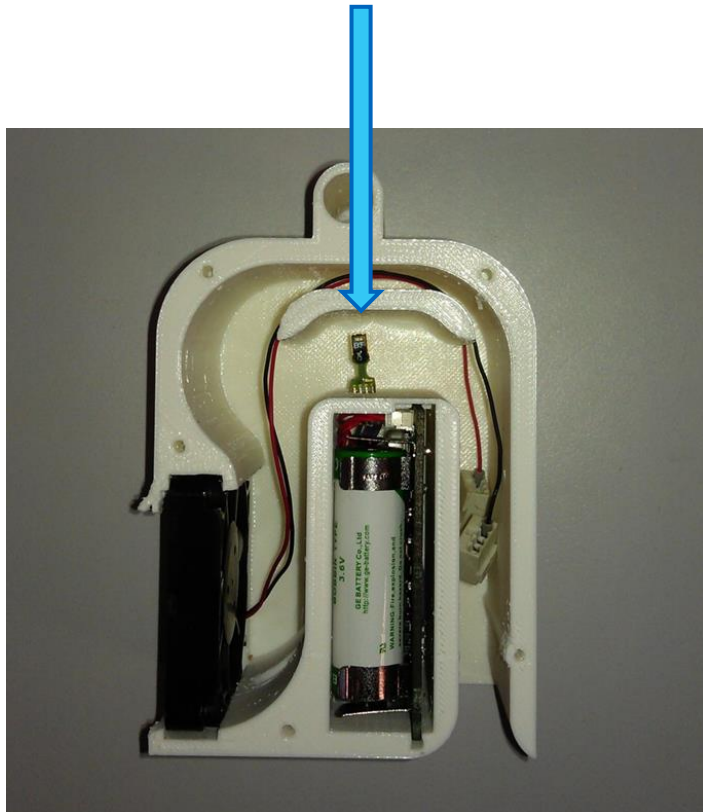


# Lucht rondom het blad (microklimaat)

## Goede meetapparatuur laat zien wat de plant ervaart

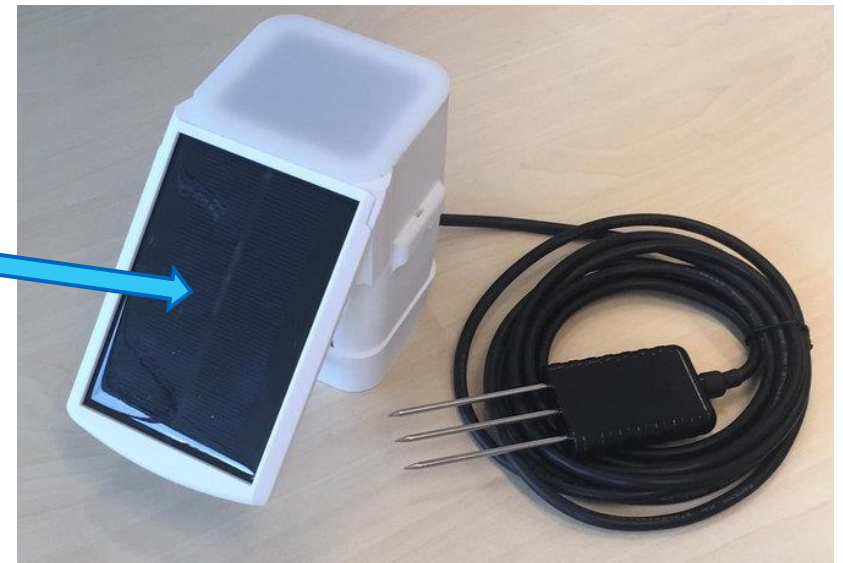


Sensor voor T, RV, AV en Enthalpie



- Een standaard meetbox is te ver weg van het blad of de luchtstroom verstoort de luchtlaag rondom het blad.
- Een kleine draadloze sensor in een dubbel geïsoleerde behuizing met kleine door zonnepaneel aangedreven maakt een accurate microklimaat meting mogelijk.

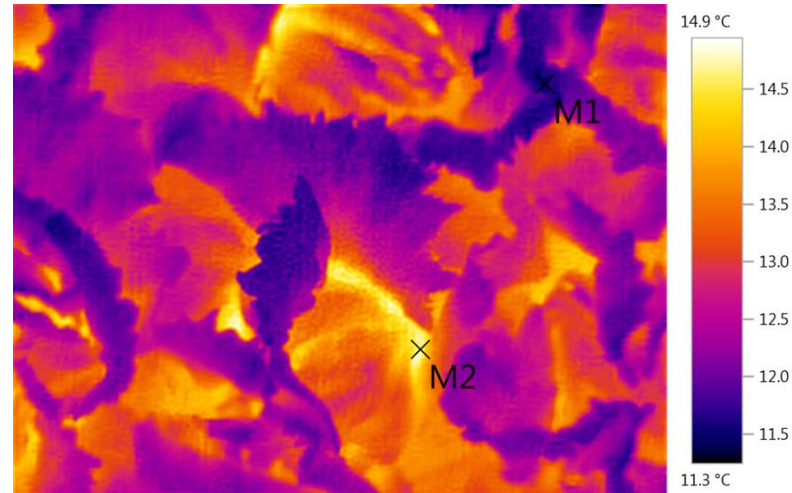
Commerciële versie (Sigrow)  
T, RV, PAR, CO<sub>2</sub>,  
mat (*temperatuur, EC, water inhoud*)



# Een goede meting van de bladtemperatuur is ook nodig om op basis van de energiebalans de verdamping en de kans op condensatie te berekenen



Omdat het verschil in temperatuur tussen blad en omringende lucht maar heel klein is moeten beide metingen zeer nauwkeurig zijn.

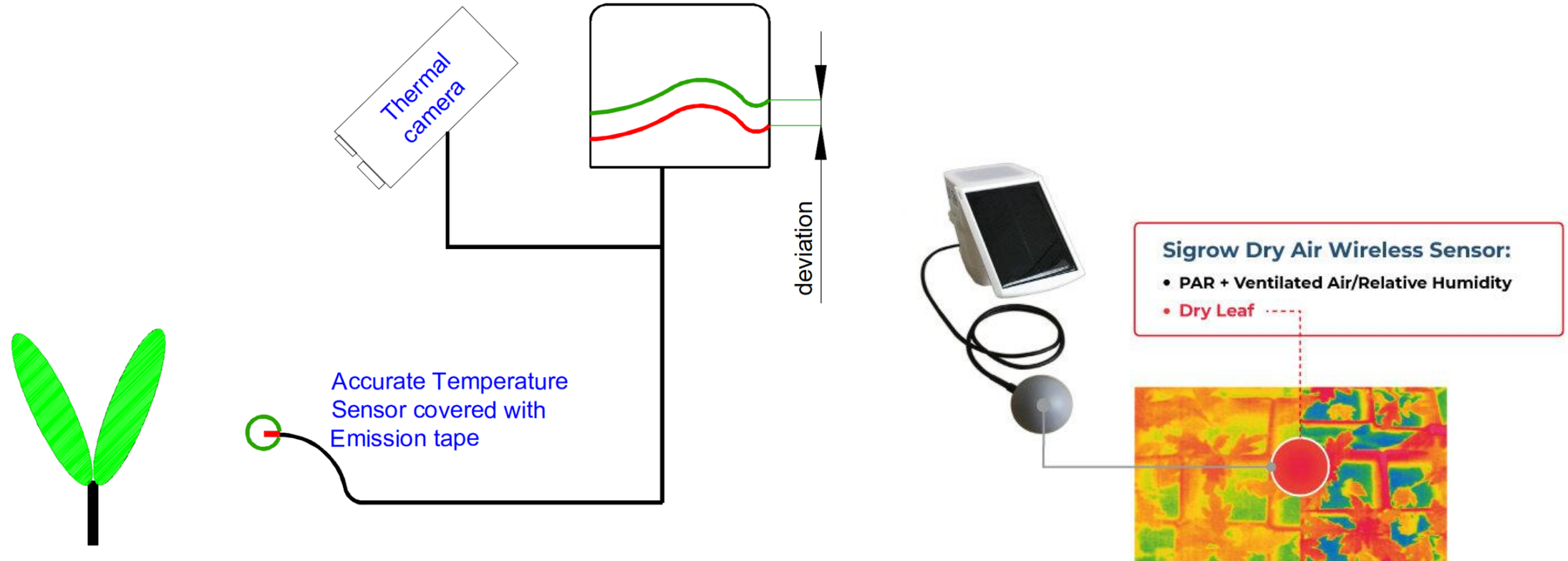


Thermische camera  
(iedere pixel → temperatuur)

# Een standaard thermische camera is 2 °C nauwkeurig



Dat moet naar 0.2 °C door een referentie sensor in het beeld toe te voegen.



# De energie toevoer van verschillende soorten licht naar kas en plant



	Zonlicht	SONT	LED
PAR [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ]	200	200	200
Efficiency [ $\mu\text{mol}/\text{J}$ ]		1,9	3,3
Energie naar de kas [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	93	104	61
PAR energie [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	42	42	42
Convectieve energie [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	indirect	26	14
NIR energie [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	47	36	5
UVB energie [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	5	--	--
Energie opgenomen door gewas zonder convectie warmte= 85% [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	79	66	40
Energie opgenomen door gewas inclusief convectie warmte = 85% [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]		88	52

# Verskil tussen LED en SONT: minder geabsorbeerde energie → minder verdamping

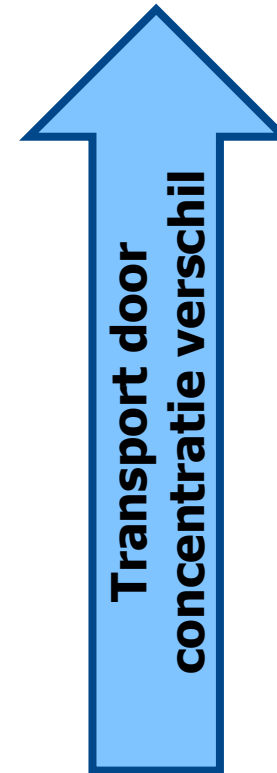
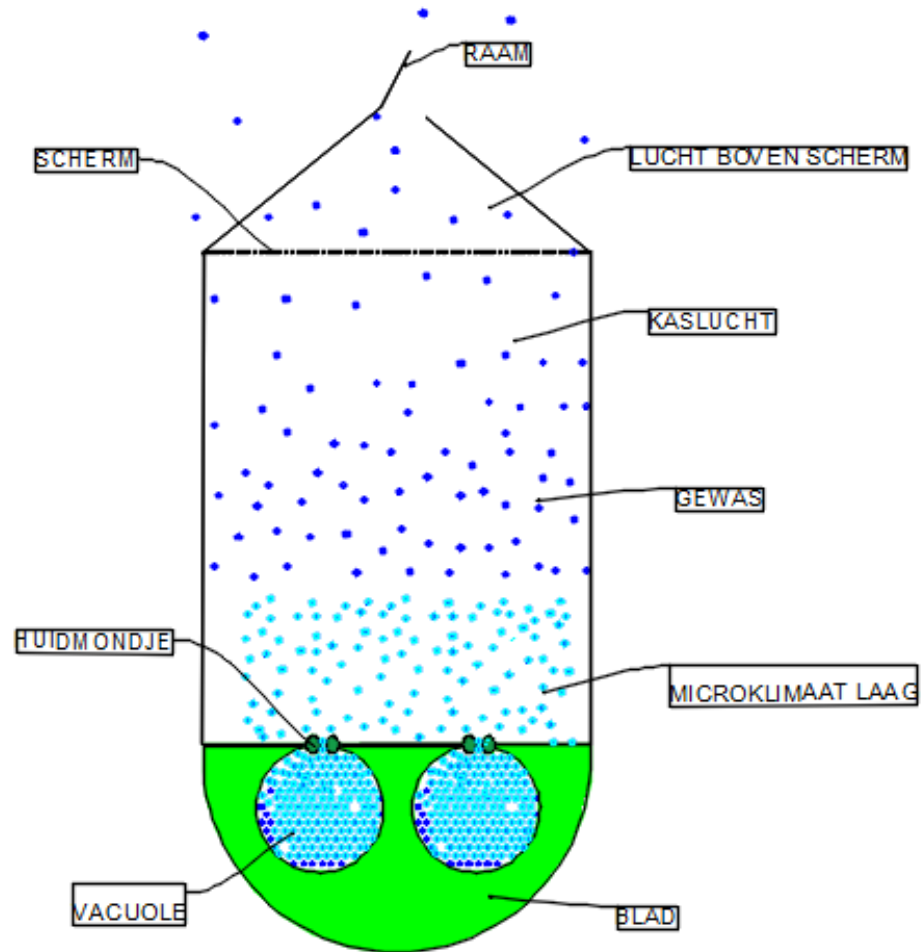
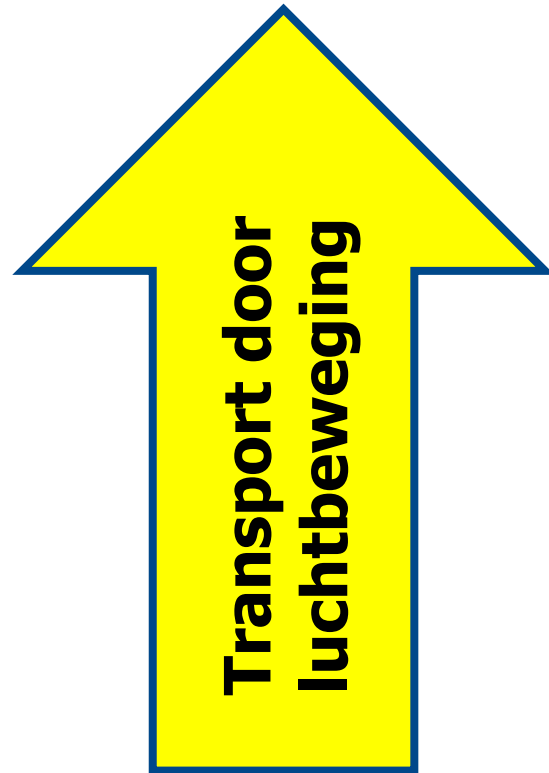


Om 1 gram water te verdampen moet 2,5 kJ energie door het blad worden opgenomen

	SONT	LED	Vershil
PAR [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ ]	200	200	
Energie geabsorbeerd door blad [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	66	40	
Energie geabsorbeerd door blad [ $\text{kJ}/\text{m}^2.\text{h}$ ]	238	144	
Gewasverdamping zonder convectie [ $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$ ]	95	58	39%
Energie geabsorbeerd door blad incl. convectiewarmte [ $\text{kJ}/\text{m}^2.\text{h}$ ]	316	187	
Gewasverdamping incl. convectie [ $\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$ ]	126	75	40%

# Het vochtgehalte in de kas is het hoogst tussen het gewas

- TENZIJ ER LUCHTBEWEGING IS BINNEN HET GEWAS





# Luchtbeweging vergroot vochtafvoer tussen gewas



Introductie	Vochtafvoer	Vochttransport	Energiebehoefte	Energieschermen	Ventilatiesnelheid
-------------	-------------	----------------	-----------------	-----------------	--------------------

hnt.letsgrow.com

## Invloed van luchtbeweging van vochttransport in de kas.

**Binnen**

Temp  °C  
RV  %  
Vochtgehalte AV 12.47 g/kg

**Lucht tussen gewas**


Temp  °C  
RV  %  
Vochtgehalte AV 13.93 g/kg

**Ventilator luchtbeweging**

Gemiddelde snelheid  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur

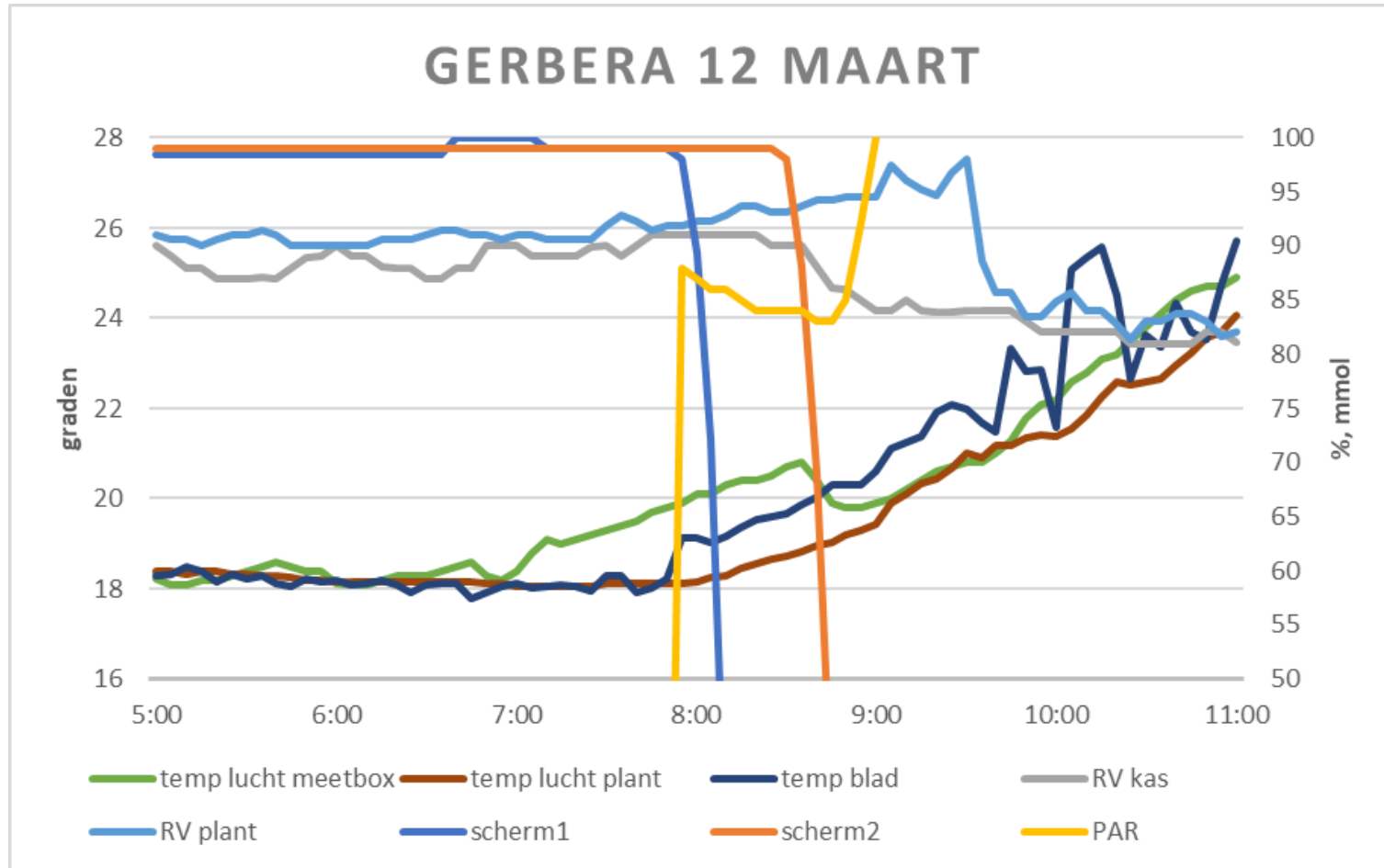
**Vochttransport door gewas**

Gewashoogte  m  
Diffusie 0.154 gr/m<sup>2</sup>.uur  
Luchtbeweging 0.14 cm/sec  
Totale vochttransport 83.13 gr/m<sup>2</sup>.uur

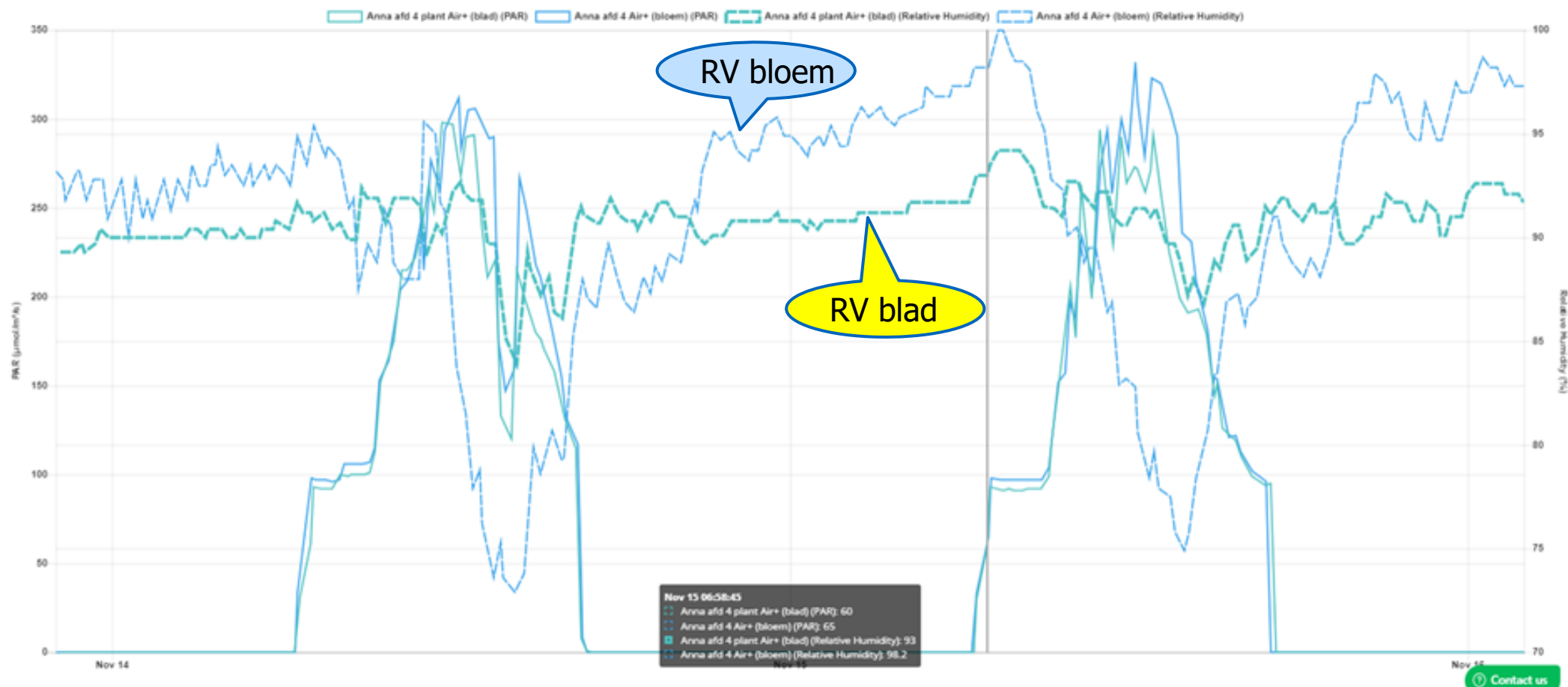
 **Leerpunten** **Opdracht1** **Opdracht2** **Opdracht3** **Opdracht4**

- Zonder luchtbeweging vindt transport van vocht vanuit het gewas alleen plaats door diffusie.
- Diffusie ontstaat als de absolute vochtigheid tussen het gewas hoger is dan de absolute vochtigheid in de kaslucht.
- Diffusie is afhankelijk van concentratieverschil (g/kg) en afstand (gewashoogte).
- Diffusiesnelheid van vocht in de kaslucht is erg laag -> gemakkelijk vochtophoping tussen het gewas.
- Al bij geringe luchtbeweging door ventilatoren wordt het vochttransport sterk bevorderd.

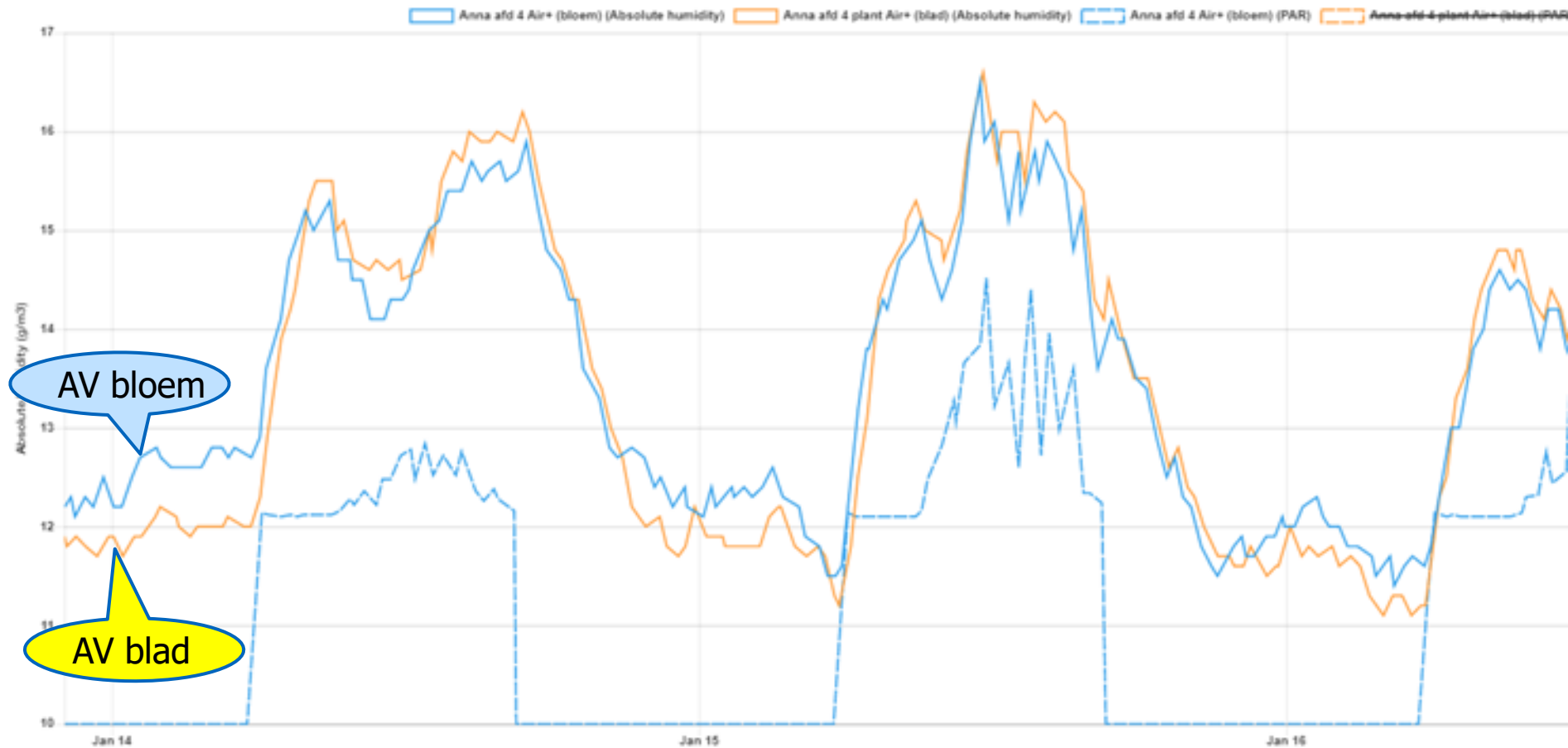
Bedrijf met Drygair (bovenaf 15 gram/m<sup>2</sup>.uur ontvochtigen):  
Na het aan gaan van het licht loopt de RV tussen het blad op omdat de  
lucht tussen het gewas niet snel genoeg opwarmt. Zeker niet als ook  
scherm 2 open gaat.



Bedrijf met slurven onder het gewas ( $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ ). Dat levert ongeveer  $15 \text{ gram}/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$  ontvochtiging.



De slurven blazen droge lucht door het gewas en verhogen het AV op bloemhoogte (eerste nacht). Door een ander gebruik van ramen en schermen werd dit verbeterd (tweede, derde nacht)





## Was er wel genoeg verdamping?

- Ten opzichte van SONT mis je bij 12 uur belichten met  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ :  
 $(95-58)*12= 444 \text{ g}/\text{m}^2$  verdamping.
- In het najaar is er minder zonlichtsom.
- Bij meer isolatie is er minder buiswarmte nodig.
- Schermen dicht houden verlaagd zonder aangepaste ventilatie de verdamping.

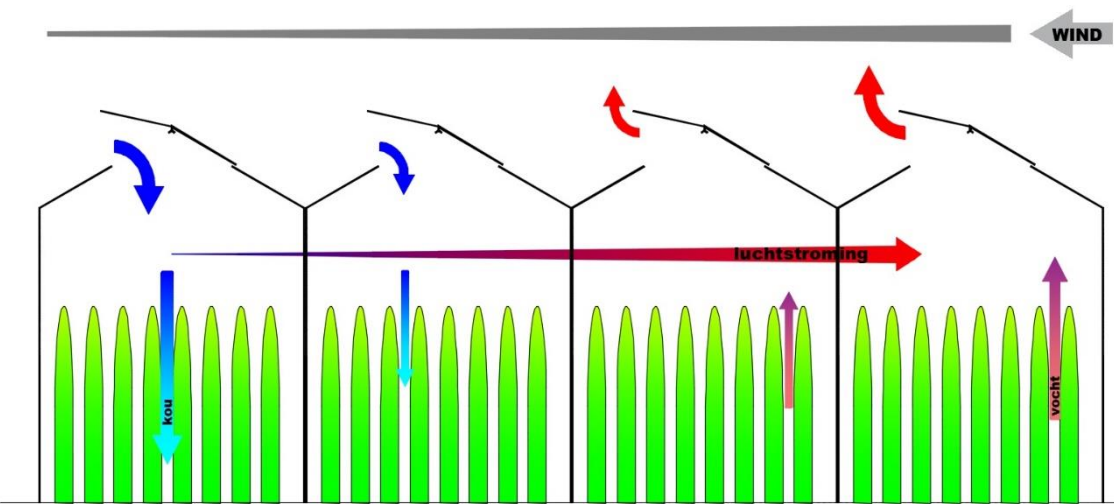
## Moet dit gecompenseerd worden?

## Hoe verdamping vergroten?

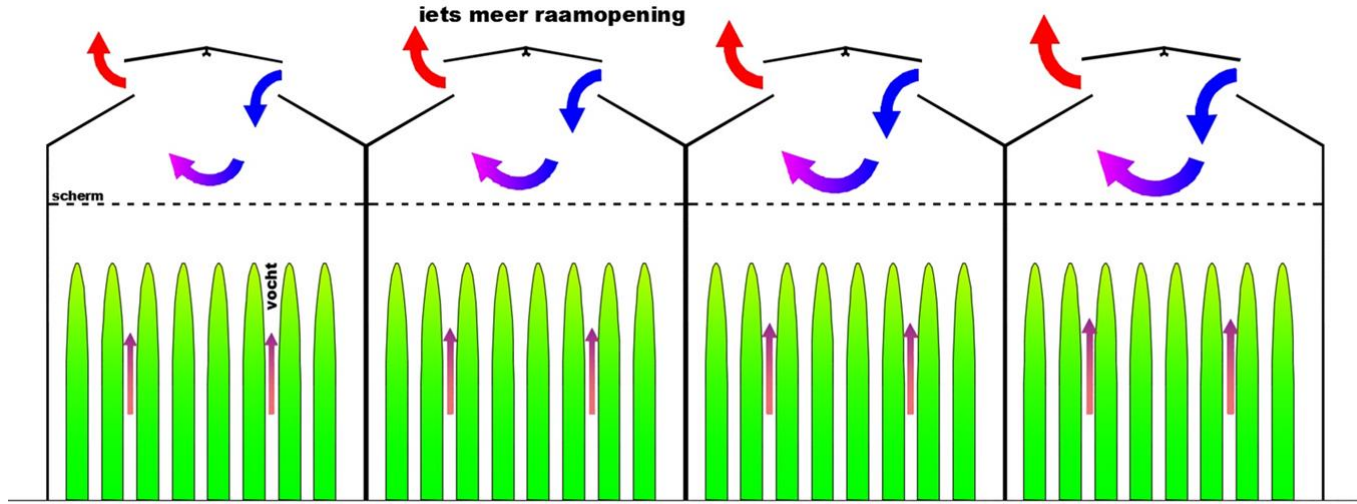
1. Ontvochtiger inzetten + verticale luchtbeweging in gewas + kier in onderste scherm + tweezijdig luchten.
2. Overdag zonlicht gebruiken door transparant dagscherm + verticale luchtbeweging.
3. Minimum onderbuis van  $42 \text{ W}/\text{m}^2$   
 $= (37 \text{ }^\circ\text{C bij } 18 \text{ }^\circ\text{C kas}) + \text{meer luchten.}$

# Anders omgaan met luchtramen

Tweezijdig luchten verbetert de afvoer van vocht en warmte boven een gesloten scherm en maakt het meer uniform.

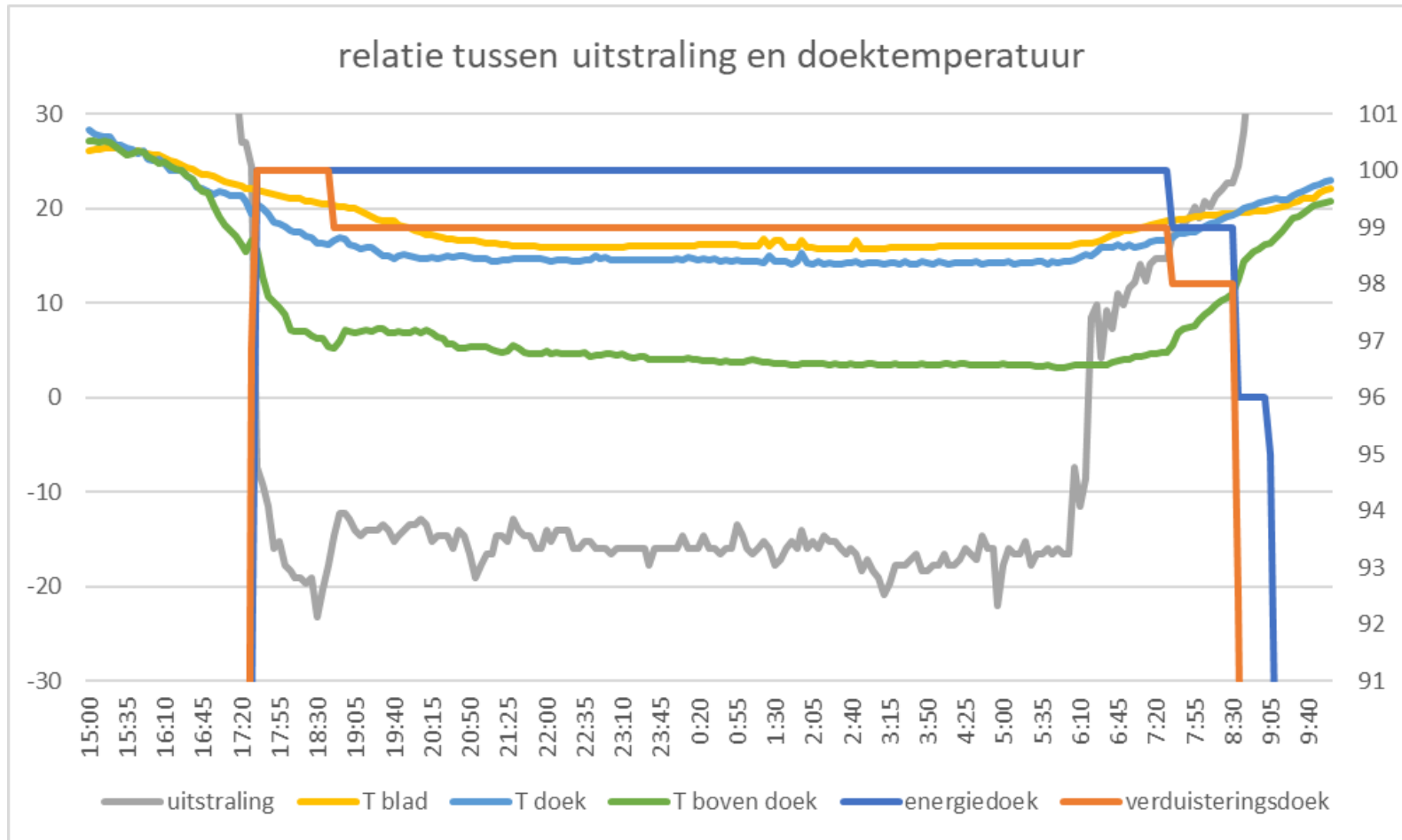


A. Luwe zijde open



D. Beide zijden open boven een scherm

Het meten van de temperatuur van het blad en het doek maakt het mogelijk om beter te sturen met een schermkier in het onderste doek en het bovenste doek dicht te houden. Daardoor wordt het blad warmer.



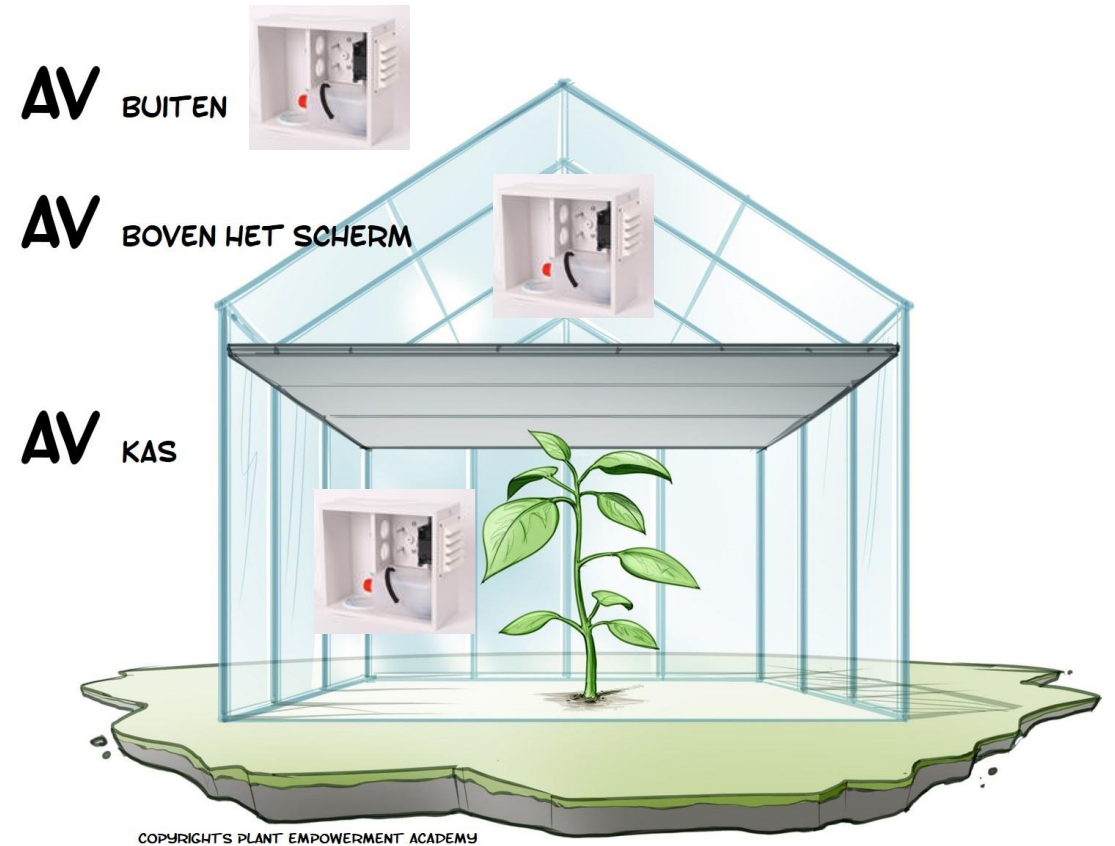
# Sturen van vochtafvoer door VENTILATIE



- Het sturen van de vochtafvoer uit de kas doe je op basis van verschillen in vochtinhoud met de lucht buiten en boven het doek.

AV = absoluut vocht:

Aantal grammen vocht dat 1 m<sup>3</sup> lucht bevat





# Vochtafvoer door buitenlucht toe te voeren

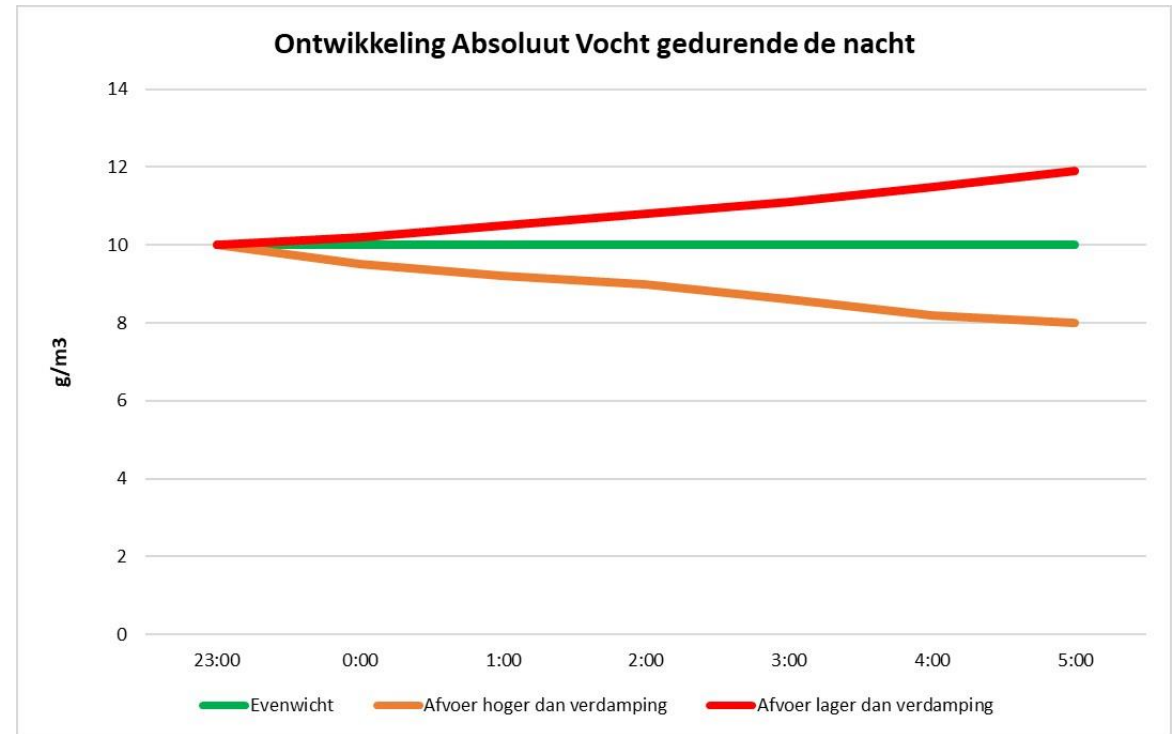
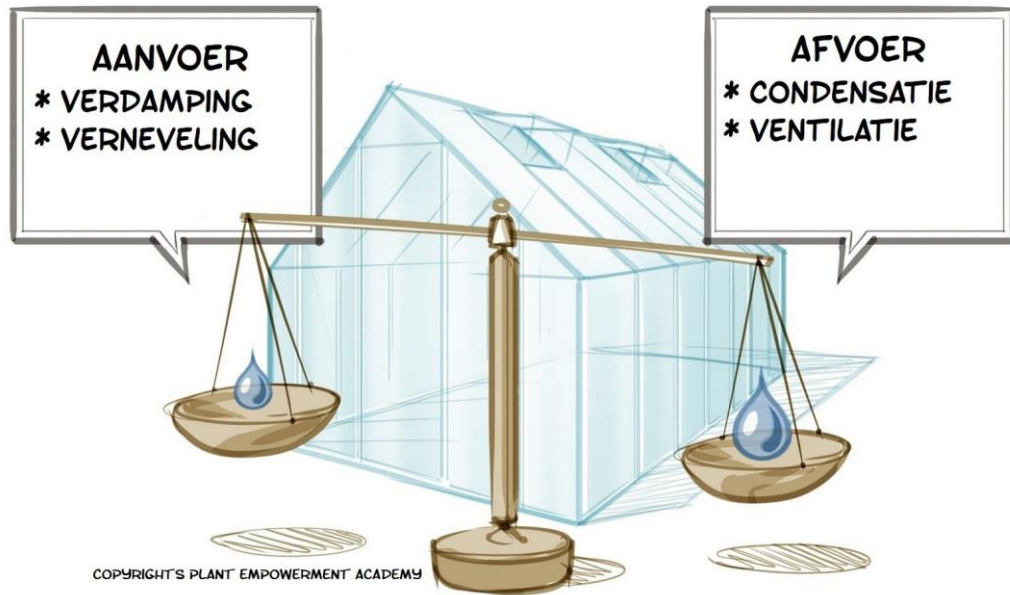


Hoe werkt dat?

- Vochtinhoud lucht = Absoluut Vocht (AV)
- 1 m<sup>3</sup> lucht van 20 °C en 90% RV bevat 15,7 gram vocht.
- Vervangen door buitenlucht van 10 °C en 100% RV (9,4 g/m<sup>3</sup>)
- Per m<sup>3</sup> lucht wordt dan (15,7-9,4)= 6,3 gram vocht afgevoerd
- Je wilt 75 gram/m<sup>2</sup>/uur verdamping realiseren?

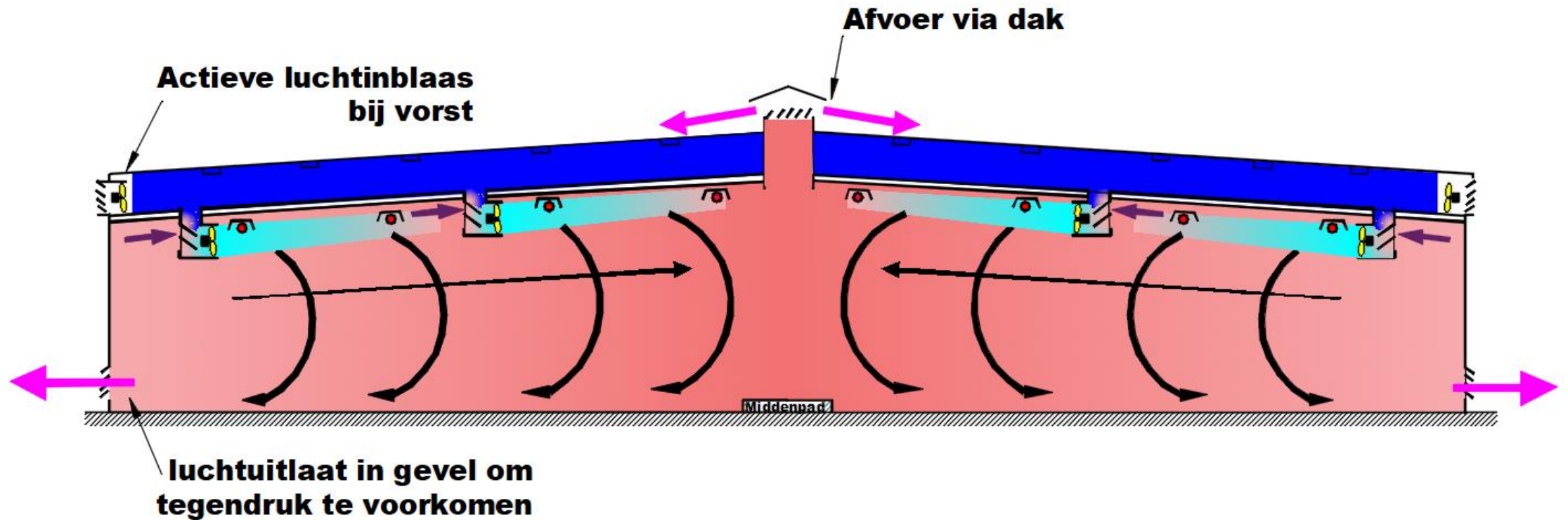
Dan is:  $75/6,3 = 12$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> uur ventilatie nodig

# AV is het resultaat van aanvoer en afvoer van vocht in de kas



Onafhankelijk van de temperatuur, dus ook al daalt de temperatuur, dan daalt AV niet. Stijgt de verdamping, of daalt de ventilatie dan neemt AV toe. Condensatie kan ook het AV laten dalen.

# Hoe dichter het scherm, hoe meer aandacht er moet komen voor goede doorstroming (afvoer)

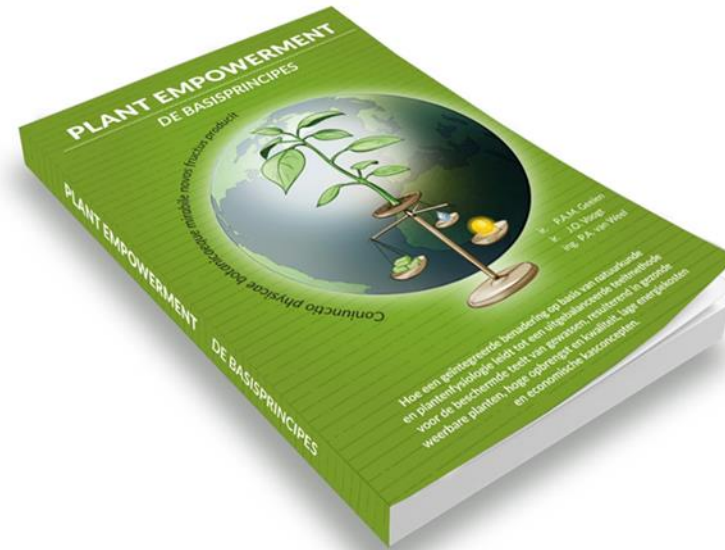


## Kortom:



1. Botrytis treedt op onder LED omdat de uitstraling niet genoeg wordt gecompenseerd.
  - Oplossing: temperatuur plant en schermdoek of uitstraling meten.
  - Op basis daarvan bovenste scherm 100% sluiten en kier trekken in onderste scherm
2. Rotkoppen treden vooral in de lichtarme maanden op. LED levert niet voldoende verdamping.
  - Oplossing: gewasverdamping vergroten door luchtbeweging en ontvochtiging.
  - Vochtafvoer uit de kas moet dan ook vergroot door tweezijdig luchten en eventueel kier in onderste scherm.
3. Extra energiebesparing is mogelijk door twee schermen liefst 100% te sluiten.
  - Daarbij moet bedacht worden dat een kier in het scherm al gauw 20% extra warmteverlies betekent.
  - Een eventueel tekort aan vochtafvoer uit de kas kan beter worden gecompenseerd door tweezijdig te luchten en/of ontvochtiging met voldoende capaciteit (= 58 gram/m<sup>2</sup>/uur bij 200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ ).
  - Tevens moet worden gezorgd voor goede vochtafvoer uit het gewas door luchtbeweging (niet door een warmere buis).
4. Er is prima te telen onder Full-LED mits aanpassingen in aansturing van vochtafvoer uit het gewas en uit de kas.
5. Nuttige metingen zijn: temperatuur en RV van plant bloem, temperatuur of uitstraling van het schermdoek en het verloop van het Absoluut Vocht in de kas, boven het scherm en buiten.

# Vragen?



[www.plantempowerment.academy](http://www.plantempowerment.academy)  
[weel.invent@gmail.com](mailto:weel.invent@gmail.com)