S.V.P. niet verspreiden zonder toestemming Plant Lighting B.V.

LED: gevolgen voor warmtebalans, verdamping en watergift

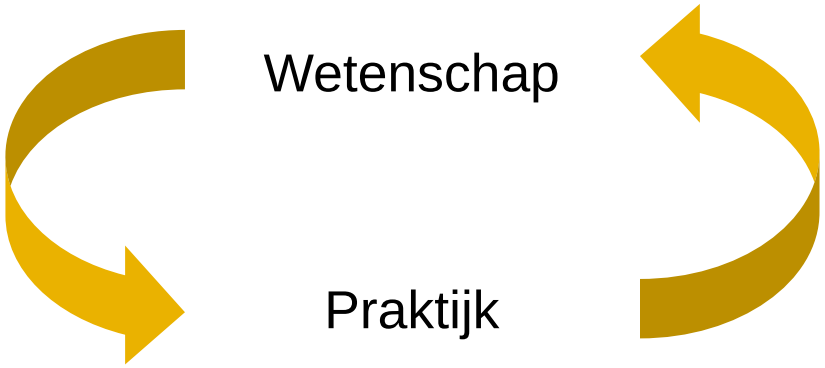
Govert Trouwborst
Plant Lighting B.V.

7 juni 2023
Energiekevent

Plant Lighting BV

- Team:
  - Dr. ir. Sander Hogewoning, Dr. ir. Govert Trouwborst, Dr. Alex Boonman ir. Stefan van den Boogaart, Martijn Wiekens MSc, Marius Bongers MSc, Wilmar Kunz, Ursula van Bemmel

- Expertise o.a.:
  - Fotosynthese, verdamping en CO_2
  - Plantreacties op lichtkleur
  - Lichtbronnen (o.a. LED) en stuurlicht
  - Phenotyping



- Wij doen onderzoek voor:
  - Tuinders & veredelaars
  - Toeleveranciers
  - Kennisinstituten, overheden en belangenorganisaties

Missie: Vertaling van wetenschappelijke kennis naar praktijk-innovaties

Dure energie: komende winter(s) wordt op een ander manier geteeld

- Zo zuinig mogelijk met elektra. Snelle transitie naar LED.
- Wat verandert er allemaal voor het gewas als we SON-t vervangen door LED?

Gevolgen overstap SON-t naar LED

- Fotosynthese
- Spectrale effecten op gewasontwikkeling
- Zichtbaarheid gewas
- Warmte-toevoer naar het gewas
- Elektragebruik (en indirect ook warmtevraag) kas
- Gewasverdamping
  - Kun je het meten?

Warmtetoevoer naar gewas en verdamping

- Bij de overstap van SON-T naar LED-belichting heb je niet alleen te maken met een ander lichtspectrum.

- Ook de *energiebalans* van het gewas en kas verandert. Doordat er per micromol belichting minder warmte wordt toegevoerd:
  - Gewas: de *drijvende kracht voor verdamping* gaat omlaag.
  - Kas: Lagere energie-input per mol PAR belichting

- Kan je gewas nog voldoende verdampen onder LED?

- Energiebalans en verdamping is natuurkunde: hier kan je aan meten en rekenen….

Van SON-T naar LED: Straling naar gewas

- Moderne 1000W SON-T armatuur:
  - 1.85 µmol/Joule
  - ~38% energie omgezet in PAR
  - ~37% energie omgezet in NIR (near infra-red)
  - overige ~25% convectie-warmte + lang-golvige straling (IR)

- Moderne LED RB(FR) armatuur:
  - 3.2-3.7 µmol/Joule (zeg 3.5 in berekening)
  - ~65% energie omgezet in PAR
  - 0% energie omgezet in NIR
  - overige ~35% convectie-warmte + lang-golvige straling

Van SON-T naar LED: effect op de energiebalans

- Wat gebeurt er als je dezelfde lichtintensiteit (µmol/m²/s) aanhoudt?
  - Rekenvoorbeeld bij 200 µmol belichting:

	SON-T	LED	LED gelijk vermogen
intensiteit [µmol/m²/s]	200	200	378
conversie [µmol/W]	1.85	3.5	3.5
energie/elektra-input [W/m²]	108	57	108
% straling	75%	65%	65%
stralingsenergie [W/m²]	81	37	70
lampwarmte (convectie+IR) [W/m²]	27	20	38

- Simpele berekening: bij gelijke lichtintensiteit ruwweg halvering van de stralingsenergie (PAR + NIR) van de lampen.
  - In de berekening zit geen lampwarmte (convectiewarmte + IR-straling)
  - Van LED-straling wordt meer energie door blad geabsorbeerd dan van SON-t straling
  - Is dat belangrijk? Ja! Maar het ligt eraan naar welk proces je kijkt…

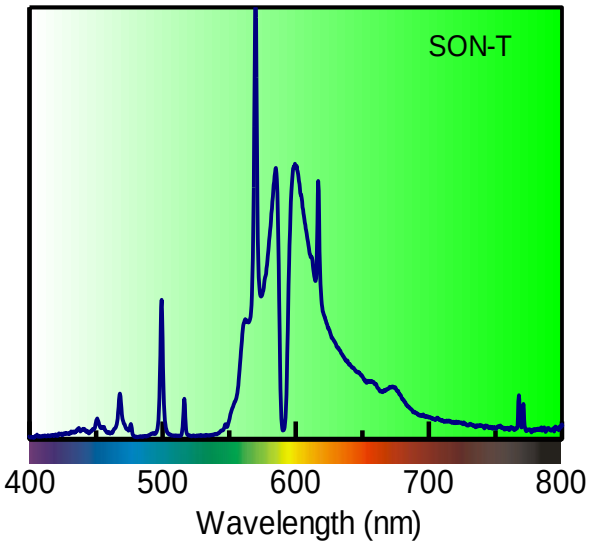
Straling en verdamping: welk effect kijk je naar?

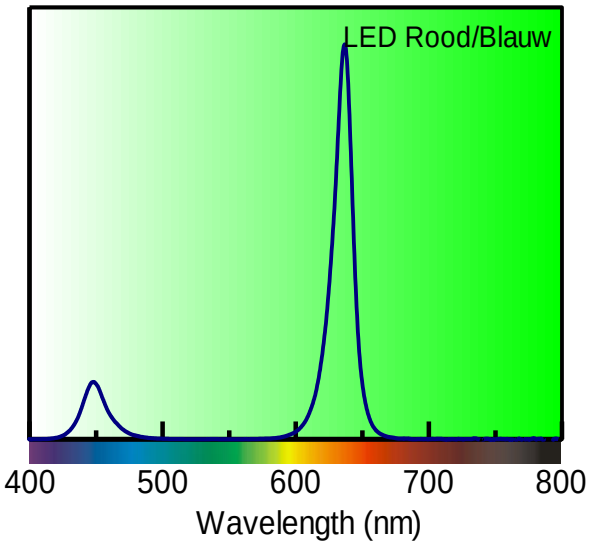
- Toevoer energie naar bovenste bladlaag?
  - belangrijk voor verdamping en nutriënten-toevoer jonge bladeren

- Toevoer energie naar hele gewas?
  - belangrijk voor gewasverdamping en watergift
  - meer verdamping dan nuttig is voor het gewas is energieverspilling.
  - uitdaging: vindt de *balans tussen noodzaak en overmaat*….

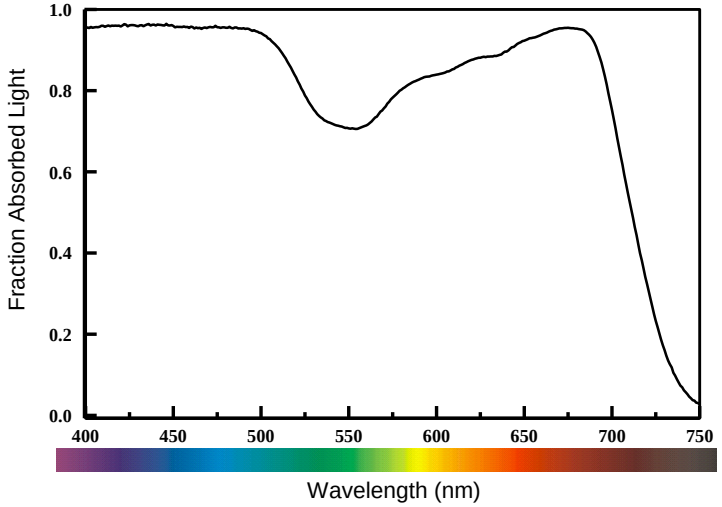
- Opwarming kas?
  - warmere kaslucht bevordert verdamping via convectie
    - NB formeel het temperatuursverschil tussen lucht en blad

Gevolg overstap SON-T naar LED: berekening absorptie licht

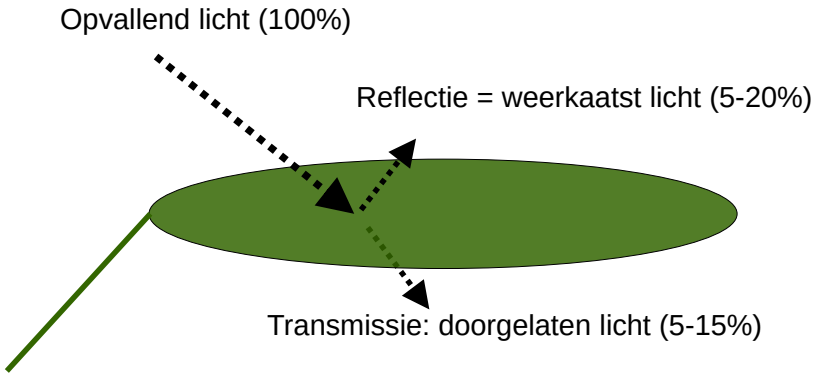




Absorptie per lichtkleur van een enkel komkommerblad:



Bron: Hogewoning et al. 2012. Plant Cell 24: 1921-1935

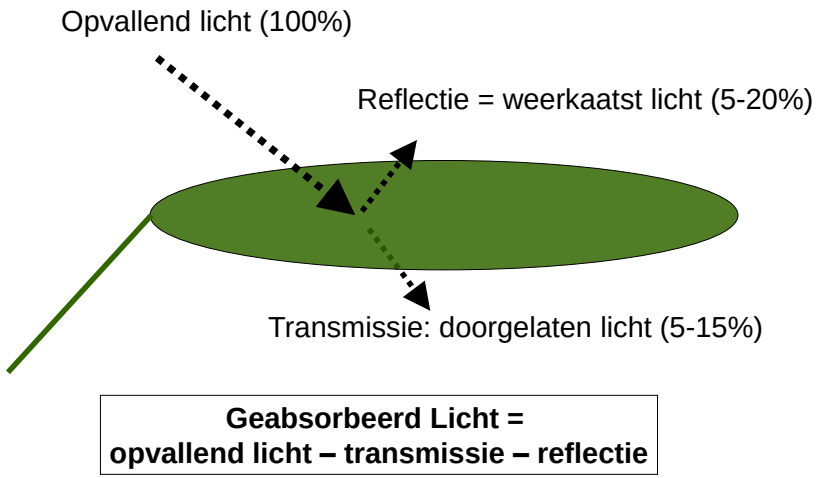


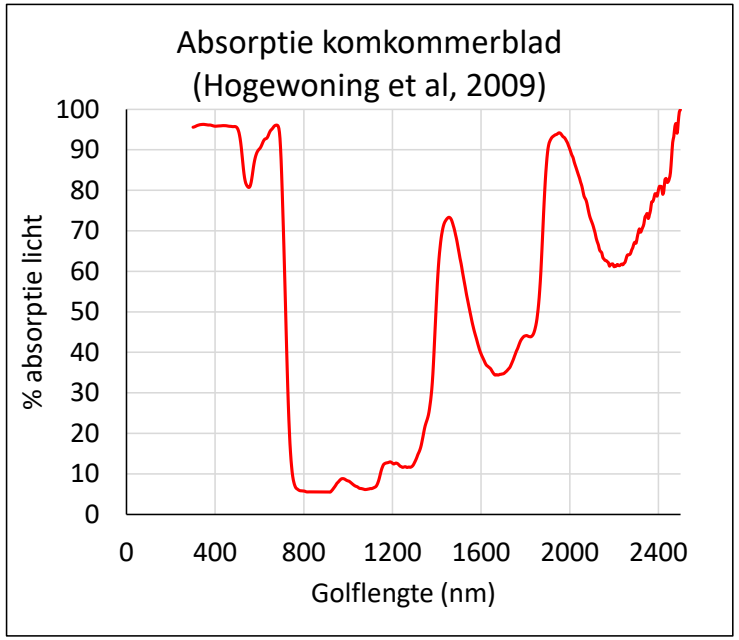
Geabsorbeerd Licht =
opvallend licht – transmissie – reflectie

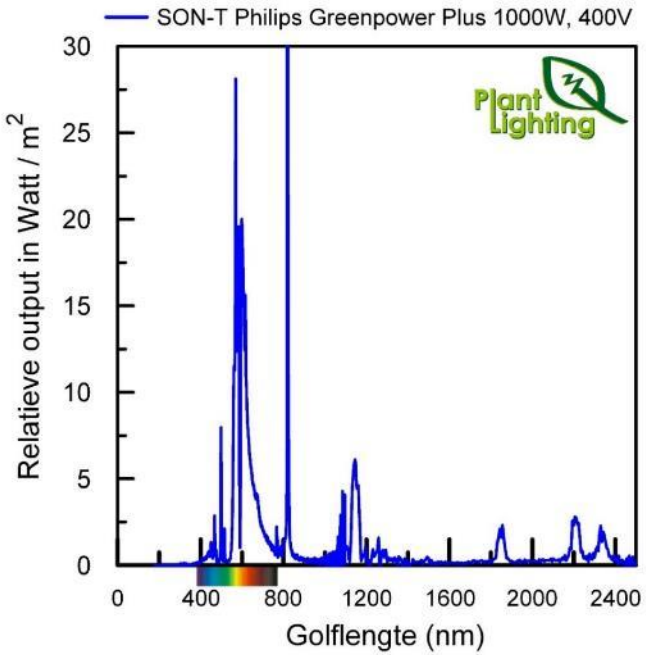
- Ook groen (500-600 nm) wordt grotendeels geabsorbeerd.
- Licht dat een enkel blad doorlaat kan alsnog door het gewas benut worden.
- We negeren hier de straling >750 nm. Die is wel van belang voor je energiebalans en verdamping!

Gevolg overstap SON-T naar LED: berekening absorptie straling

Hoeveel warmtetoevoer richting gewas door PAR en NIR? Absorptie x lichtspectrum.







Groot verschil absorptie PAR en NIR

<u>Absorptie PAR + NIR volledige spectrum in Watts:</u>

- SON-T: 61% (bovenste blad) of 79% (hele gewas-aanname reflectie verloren en transmissie niet)
- LED R/B: 95% (bovenste blad) of 97% (hele gewas-aanname reflectie verloren en transmissie niet)

Gevolg overstap SON-T naar LED: Warmtetoevoer bovenste blad of gewas

	SON-T	LED	LED gelijk vermogen
intensiteit [µmol/m²/s]	200	200	378
conversie [µmol/W]	1.85	3.5	3.5
energie/elektra-input [W/m²]	108	57	108
% straling	75%	65%	65%
stralingsenergie [W/m²]	81	37	70
lampwarmte (convectie+IR) [W/m²]	27	20	38
straling+50% lampwarmte op blad [W/m²]	63	45	86
straling+50% lampwarmte op gewas [W/m²]	78	46	87

- Op de bovenste bladlaag een verschil van 18 W/m² → iets koudere kop
- Op gewasniveau een verschil van 32 W/m² → fors minder energie

- Bij eenzelfde vermogen wordt gewas onder LED juist warmer!

Energie-input kas: van SON-T naar LED

- Energie-input kas bij 18 uur belichting

	SON-T	LED	LED gelijk vermogen
Intensiteit [µmol/m²/s]	200	200	378
Elektra-input [W/m²]	108	57	108
Elektra-input kas dagbasis [MJ/m²]	7.0	3.7	7.0
Elektra-input kas dagbasis [kWh/m²]	1.95	1.03	1.94
Elektra-input kas dagbasis [m³/m² aardgas eq]	0.20	0.11	0.20

- Balans:
  - LED bespaart veel kWh
    - Groot voordeel als de prijs van warmte lager is dan van elektra
  - Bij warme teelten kost overstap op LED bijna evenredig meer gas
    - Besparing LED zit in de lagere verdamping: Verdamping zelf en afvoer van het vocht (opstoken uitgewisselde lucht van buiten)
      - Hoeveel?
  - Bij (momenten van) warmte-overschot biedt LED dus extra voordeel: verlaging overschot
    - Zeker als stroombesparing verkocht kan worden

Verdamping en straling

- Verdamping is energie-gedreven proces (straling+convectie)
  - NB convectie kan ook energie afvoeren als Tplant > Tlucht
- Verdamping kost energie, maar is ook nodig voor een gezond gewas.
  - 2450 Joule/gram
  - vuistregel 3cc/joule (30% drain) omgerekend naar mol PAR = 140 ml/mol verdamping
- Winterdag 18 uur belicht:

	SON-T	LED
verdamping gewas (straling + 50%lampwarmte) [g/m²/dag]	2052	1217
verdamping per mol PAR [ml/mol PAR]	158	94
theoretische verdamping op totaal vermogen lampen:		
verdamping per mol PAR [ml/mol PAR]	221	117

- Dus 0.8L minder gieten met LED. Dat bespaart energie!
  - Verdamping zelf en de bijbehorende luchting!
- In goed geïsoleerde kas is verdamping grootste energiepost!
  - Vanuit oogpunt energie: bij lagere verdamping blijft lampenergie over voor kasverwarming
- Maar mogelijk wordt verdamping TE laag?

Verdamping te laag onder LED?

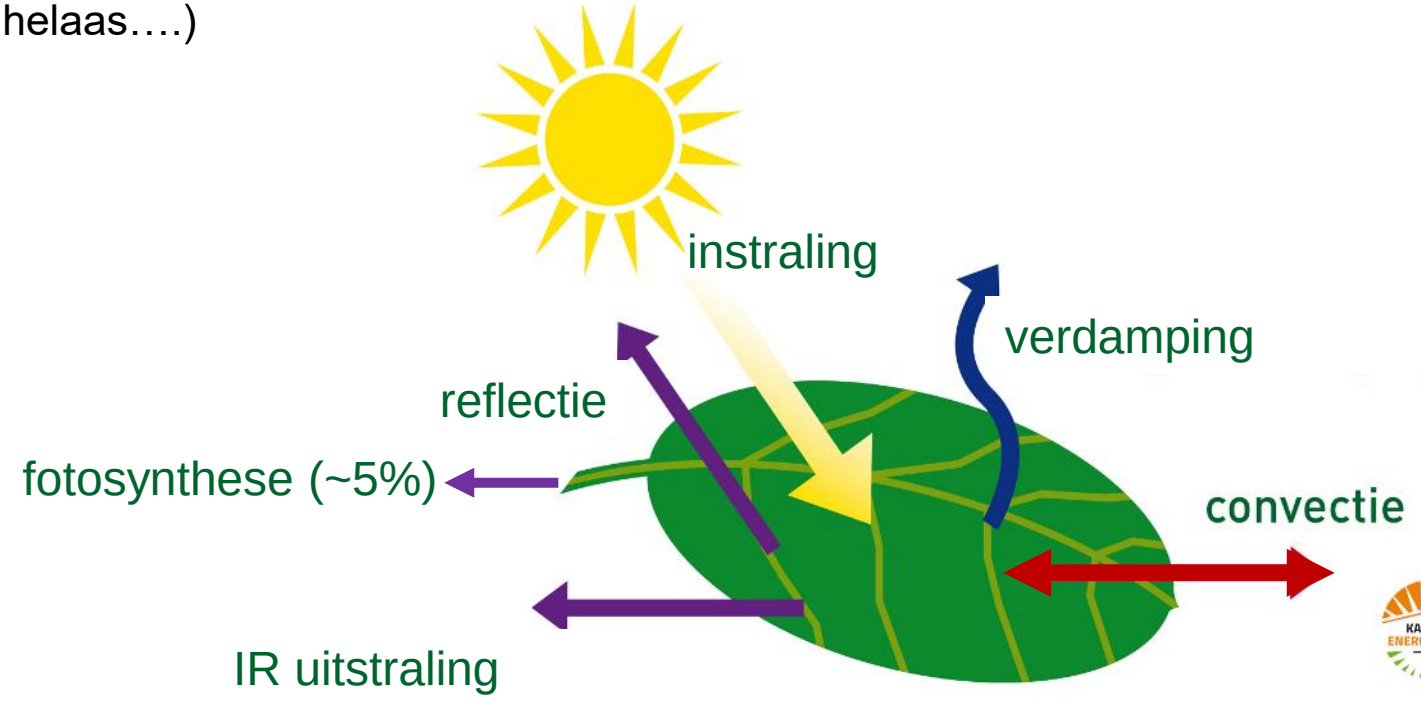
- Verdamping is nodig voor transport van bepaalde voedingselementen en hormonen.

- Kan je te weten komen *wanneer* een gewas *hoeveel* verdampt?

- Ja, in grote lijnen wel:
  - Nauwkeurig wegen als dat gaat (lastig in volle grond)
  - Via de energiebalans van de bovenste gewaslaag
  - Andere methodes: Alex van Klink

Energiebalans gewas samengevat

- Energiebalans wordt opgesteld door:
  - Inkomend:
    - Straling (straling zon + lampen, en IR-straling van kasdek, scherm, verwarmingsbuizen)
    - Convectiewarmte (Tlucht > Tplant)
  - Uitgaand:
    - Straling (reflectie van straling zon en lampen, en IR-uitstraling van gewas naar scherm of kasdek)
    - Convectiewarmte (Tlucht < Tplant)
    - Verdamping (berekening netto straling minus convectie)
    - Fotosynthese (slechts ~5%, helaas….)

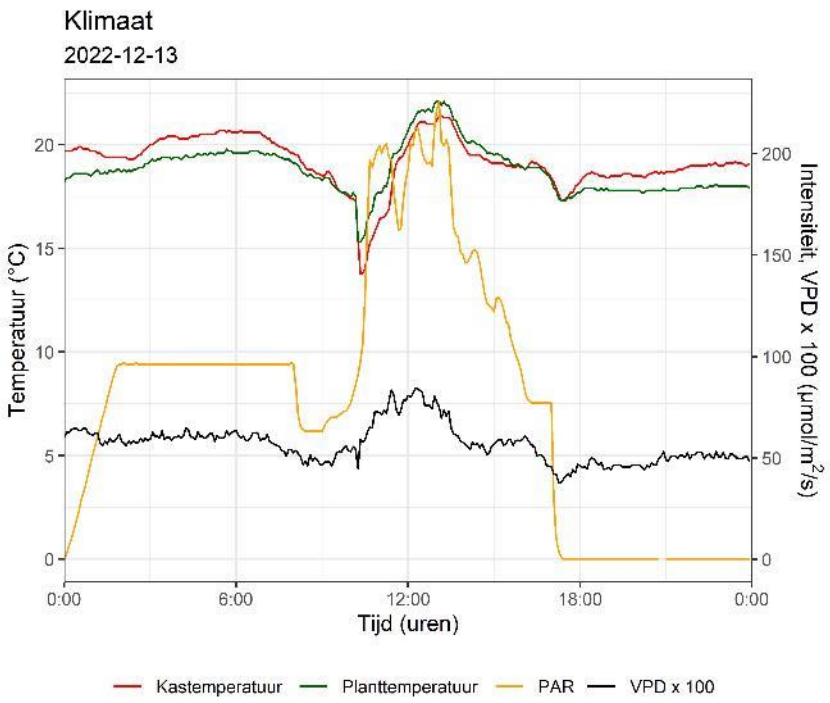


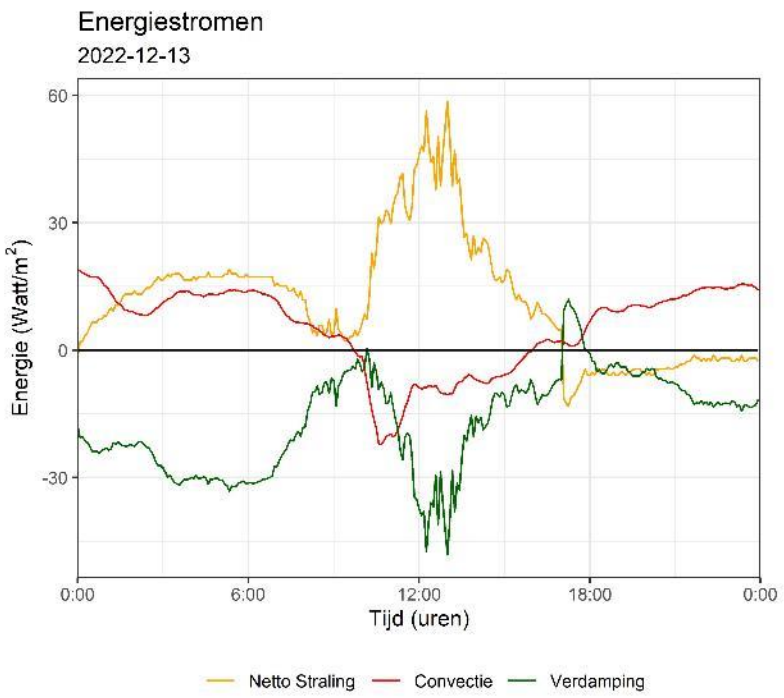
Methode Voogt&van Weel, 2008

Stomatasensor: verdamping en huidmondjesgeleidbaarheid over de dag

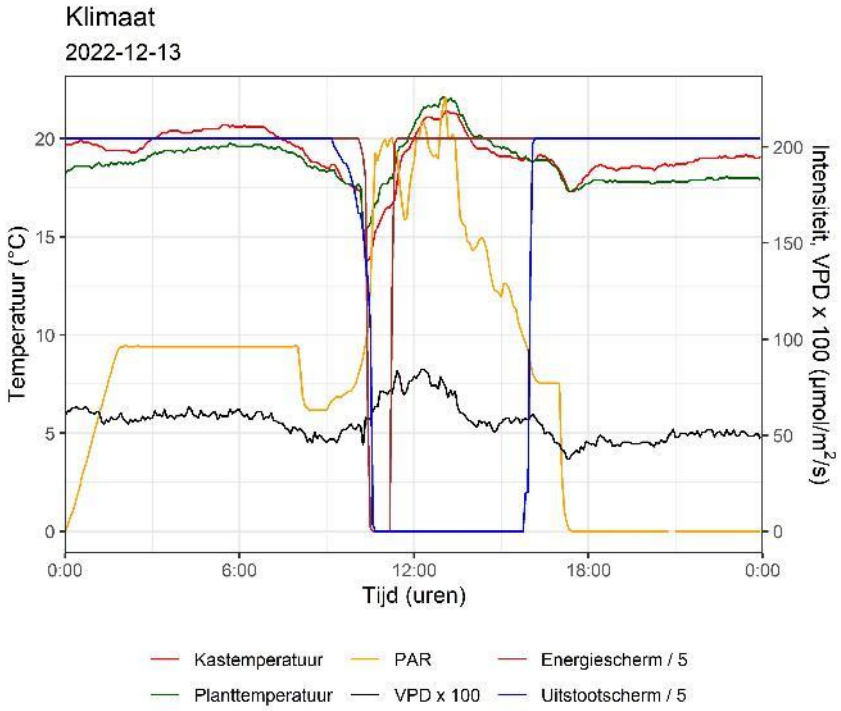
- Balans stralingsenergie wordt gemeten door: netto stralingsmeter
- Convectie-energie berekend door: verschil Tlucht-Tplant * warmteoverdrachtscoëfficiënt (W/m/K)
- Verdampingsenergie: netto straling plus convectie
  - als ≤0: geen verdamping
- Verdamping (g/m^2/s):
  - Verdampingsenergie (J/m^2/s) /2450 (J/g)
- Huidmondjesopening kan ook berekend worden
  - *valt buiten deze workshop…*

Methode geïntroduceerd door Voogt&van Weel, 2008





- 13 december 2022: een koude dag.
- Klimaat en energiestromen kan je relateren aan de klimaatregeling om te leren waarom verdamping kan stilvallen.
- In de ochtend valt de verdamping stil als het energiescherm opent. Energie-afvoer door koude lucht.
- In de middag valt de verdamping stil nadat de belichting uitgaat. Er zijn dan wel 2 doeken dicht. Er was geen buiswarmte op dat moment.
- Stilvallen verdamping: guttatie door worteldruk



Is er voldoende verdamping onder LED-belichting?

- Het eerlijke antwoord is dat we niet weten hoeveel verdamping nodig is voor een gezond gewas. Dit is een belangrijk aandachtspunt:
  - Sterk vermoeden dat onder teeltomstandigheden met beperkte verdamping eerder problemen optreden: bladkwaliteit, houdbaarheid, rotkoppen, slechte beworteling….
  - LED lijkt niet zozeer ‘de oorzaak’ van verdampings-gerelateerde problemen, maar eerder het samenspel van beperktere energie-input (minder buiswarmte, minder luchten, minder straling lampen).

- Maar… voor verdamping is in ieder geval een positieve energiebalans nodig. Dat kan je meten! Zeker is dat je met LED ruim 1/3 minder warmte inbrengt dan met een gelijke PAR-intensiteit SON-t.

- Vragen waarop we nog geen antwoord weten:
  - Hoeveel verdamping is nodig?
  - Wanneer op de dag? Moet het de hele dag?
  - Is verdamping nodig in de nacht?
  - Is verdamping van de bovenste bladlaag bepalend voor goede bladkwaliteit, of ook van de bladlagen daaronder?

Telen met dure energie betekent dat scherper aan de wind gezeild zal moeten worden.

Dat is niet makkelijker, maar wel leuker?

Contact

Govert Trouwborst

+31 610990094

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik