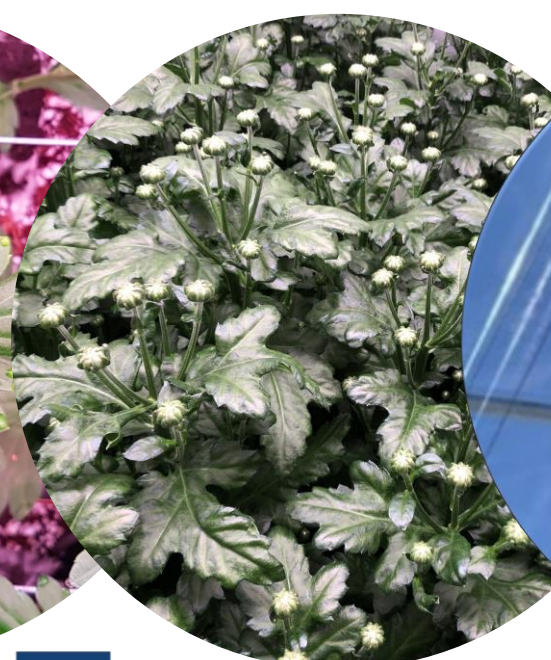


Verdamping: hoeveel is ervan nodig en hoe kun je het sturen?

EnergiekEvent, workshop 10

02-07-2024

Stefan van den Boogaart (Plant Lighting), Silvester de Nooijer (Delphy) & Jos Paul (WUR Glastuinbouw)



Indeling presentatie

- Het project “Kennisonwikkeling over verdamping”
- Theoretisch kader: verdamping, limiterende factoren
- Onderzoek: op zoek naar de grenzen van verdamping
 - Afgeronde, lopende en toekomstige proeven
- Vervolg
- Discussie

Aanleiding project “Kennisonwikkeling over verdamping”

- Bij telen met full LED en minder energie in winter 2022-23 zijn er in de praktijk problemen ontstaan
 - Houdbaarheid Chrysant
 - Slechte doorkleuring vruchten, kroonschimmel (tomaat)
 - Broeikoppen, bolblad, vrucht abortie (komkommer)
 - Bladranden, rotkoppen, bloemkleur... (diverse gewassen)
 - De problemen worden toegeschreven aan lagere verdamping
 - Minder verdamping en het kunnen toelaten van hogere RV's bespaart energie
- ➔ er is meer kennis nodig over (grenzen van)verdamping (icm LED) bij energiezuinige teelt strategieën

Samenwerking drie kennisinstellingen

Kas als Energiebron ('23) en PPS verdamping ('24 – '26)



Chrysant (indoor)



Tomaat (belichte winterteelt in kas)



Komkommer (indoor, later in de kas)

Theoretisch kader van verdamping en de energiebalans

Waarom moet een gewas verdampen?

- Om CO₂ op te kunnen nemen voor assimilatie? **Nee**
 - Als de huidmondjes open zijn, kan een blad CO₂ opnemen. Dat gaat via diffusie, waarbij de CO₂-concentratie in het blad lager moet zijn dan buiten het blad.
 - Maar, als de huidmondjes open zijn, hoeft een blad nog niet altijd te verdampen...
- Is energie nodig om te kunnen verdampen? **Ja**
 - Verdamping is een energiedreven proces.
 - De overgang van vloeibaar naar gasvormig water kost 2450 Joule energie per ml water.
 - Energietoevoer kan via straling en via convectie (T_{lucht} warmer dan T_{blad}).
 - Dus verdamping kost energie!
- Moeten we verdamping dan zoveel mogelijk vermijden? **Nee**

Verdamping is nodig voor:

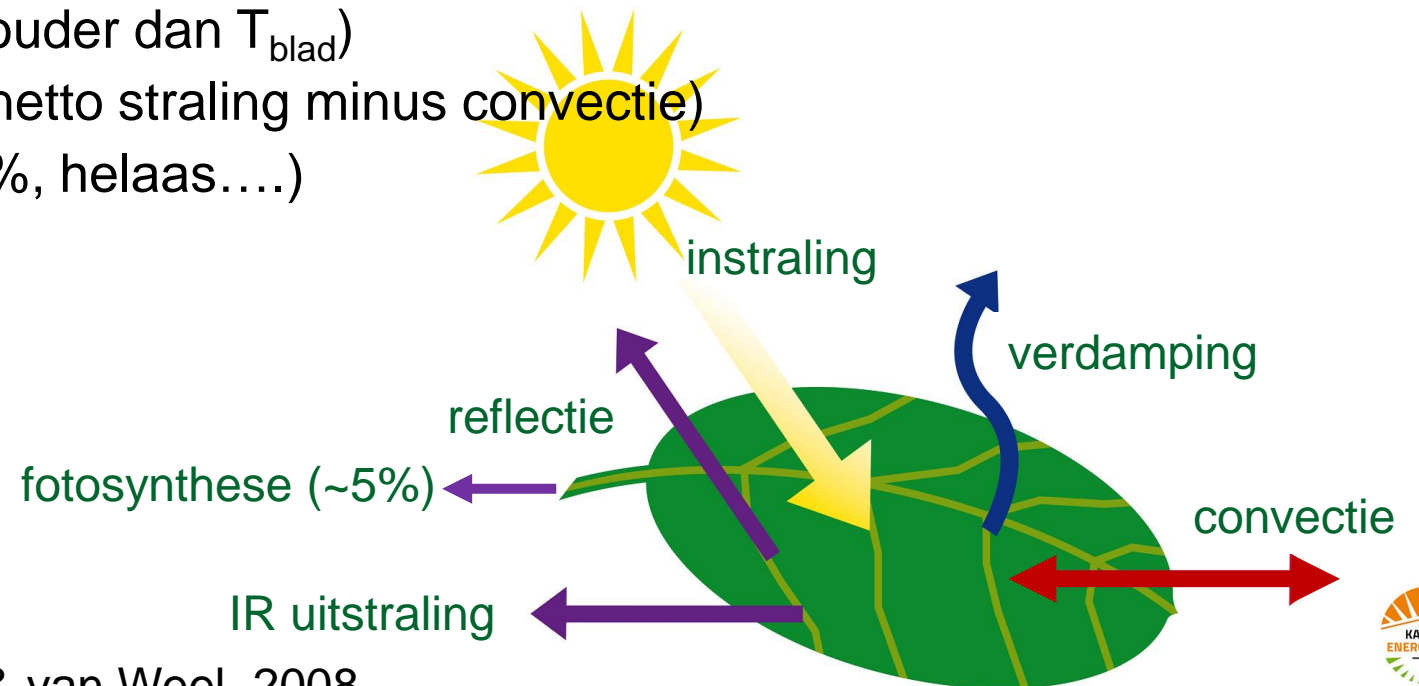
 - Transport calcium en andere minder mobiele nutriënten via de houtvaten.
 - Transport hormonen.
 - Koeling (als het te warm is...!)
- Dus hoe meer verdamping, hoe beter? **Nee**
 - Balans tussen noodzaak (transport) en overmaat (energieverspilling).

Wat weten we over verdamping?

- Weten we hoeveel een gewas moet verdampen om binnen veilige grenzen te telen? **Nee**
- Weten we op welke momenten van de dag een gewas moet verdampen? **Nee**
 - Is nachtelijke verdamping belangrijk? Of vooral overdag?
 - Mag verdamping een gedeelte van de dag wel heel laag zijn?
 - Maakt het teeltstadium nog uit?
 - Bladeren alleen bovenin of ook onderin gewas?

Energiebalans bepaalt de verdamping

- Energiebalans wordt opgesteld door:
 - Inkomend:
 - Straling (straling zon en IR-straling van kasdek, scherm, verwarmingsbuizen)
 - Convectiewarmte (T_{lucht} warmer dan T_{blad})
 - Uitgaand:
 - Straling (reflectie van straling zon en lampen, en IR-uitstraling van gewas naar scherm of kasdek)
 - Convectiewarmte (T_{lucht} kouder dan T_{blad})
 - Verdamping (berekening netto straling minus convectie)
 - Fotosynthese (slechts ~5%, helaas....)



Wat heeft nog meer invloed op verdamping?

- Luchtbeweging
 - energieoverdracht tussen kaslucht en gewas beïnvloedt convectie-energie voor verdamping.
 - dit kan twee kanten uit!
- Luchtvochtigheid (RV)
 - Geen invloed op stralingsgedreven verdamping.
 - Wel invloed op convectieverdamping ('natte bol verdamping'): hogere RV → lager VD → minder drijvende kracht voor verdamping → blad warmt op → minder overdracht energie kaslucht naar blad.
- EC?
 - Vooral bij erg hoge EC in de mat beperking verdamping?

Hoe verdamping te stimuleren?

- Meer luchtbeweging realiseren.
 - Meer energieoverdracht van kaslucht naar blad (meer 'natte bol verdamping').
 - Kost warmte als je RV niet laat oplopen.
 - Tenzij je vocht afvoert met latent warmteterugwinning (kost wel elektriciteit).
- Hoger vochtdeficiet door lagere RV en/of hogere kasluchttemperatuur.
 - Meer energieoverdracht van kaslucht naar blad (meer 'natte bol verdamping').
 - Kost warmte om meer vocht af te voeren.
 - Tenzij je vocht afvoert met latent warmteterugwinning (kost wel elektriciteit).
- Minder uitstraling door meer schermen/low e-glas.
 - Let wel op: ook minder vochtafvoer door condensatie tegen glas.
 - Hoe kan je vocht beheersen zonder energievoordelen teniet te doen?
- Meer belichten.
 - Meer stralingsenergie.
 - Nb vervangen SON-T door LED geeft bij een gelijke intensiteit PAR juist minder straling, want LED straalt alleen PAR uit en SON-T straalt PAR en nabij-infrarood (NIR) uit.

Verdamping meten

- Weegschalen en loadcellen voor substraat (zie foto) en planten (alleen bij komkommer en tomaat)



Kennisontwikkeling over verdamping:
van fundamenteel naar toegepast

Experimenten Chrysant



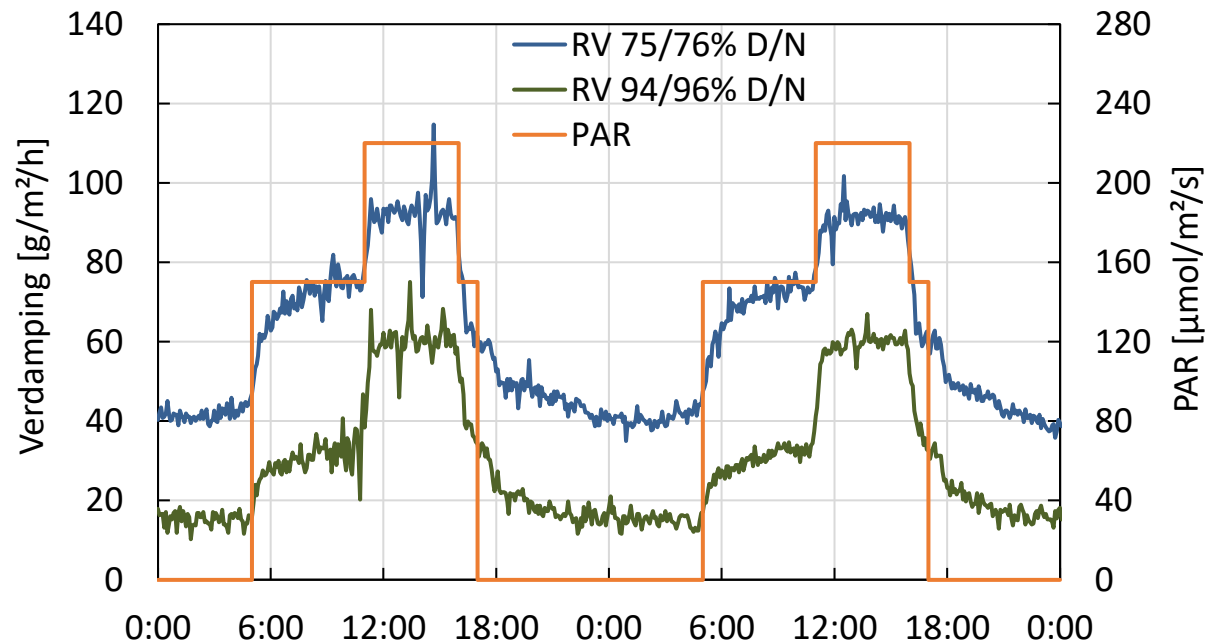
Uitvoering chrysanten verdampingsonderzoek



- Verdampingsproeven in twee klimaatcellen bij Plant Lighting te Bunnik.
 - Dit biedt de mogelijkheid om gelijktijdig verschillende klimaatcondities te toetsen.
- Teeltsystemen die volledig rusten op weegschalen, om zo de verdamping over de tijd te kunnen monitoren.
- Onderzoek naar contactloze meting verdamping met sensoren.

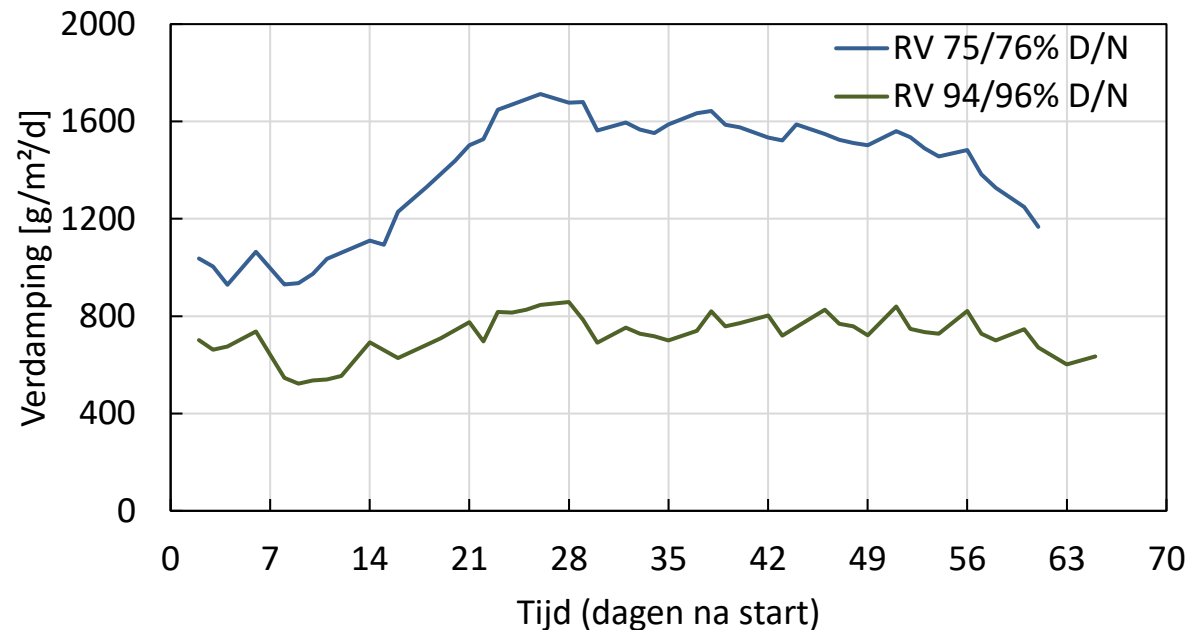
Verdamping op uurbasis bij verschillende RV's

- Reageert de verdamping van een chrysantengewas snel op wijzigingen in het klimaat?
 - Ja, waarbij deze sneller opschaalt dan afschaalt.
- Is het aandeel nachtelijke verdamping verwaarloosbaar?
 - Nee, in deze proef is 1/3 van de totale verdamping in de nacht gerealiseerd.
- Verdamping kan flink gereduceerd worden door onder een hoge RV te telen.
 - NB straling en luchtuitwisseling zijn gelijk tussen behandelingen, dus het verschil zit in convectie.



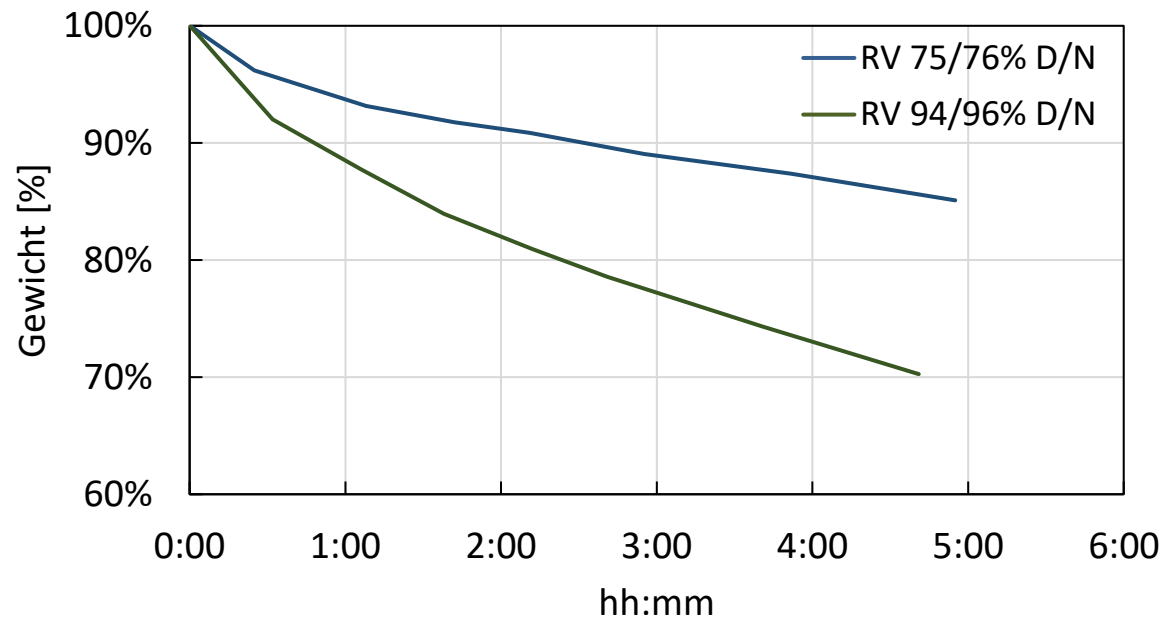
Verdamping op dagbasis bij verschillende RV's

- Resulteert gewasgroei in meer verdamping?
 - Ja, in de eerste weken wanneer volop blad wordt aangelegd neemt de verdamping nog toe.
 - NB eerste 7 dagen wordt bij chrysant een lange dag gegeven (fors hogere lichtsommen).
- Verdamping neemt af nadat bloemen open gaan (bij lage RV was de bloemontwikkeling verder).



Huidmondjestest van bladeren uit verschillende RV's

- Huidmondjestest wordt uitgevoerd door blad na plukken frequent te wegen.
- Verliezen bladeren geteeld bij een hoge RV meer of minder vocht?
 - Meer, door acclimatisatie van de huidmondjes aan de hoge RV sluiten deze niet (goed) meer. Mogelijk dus dysfunctionele "luie" huidmondjes.



Samenvatting verdampingsonderzoek chryasant (tot op heden)

Resultaten:

	Verdamping [g/m ² /d]	Ontwikkeling gewas [goed/slecht]	Gewichtsafname blad na 5 uur [%]	Vaasleven [d]
Continu ±75% RV	1600	Goed	15%	11
Continu ±95% RV	800	Goed	30%	7-10-12
Fluctuerende RV, 3 uur 75%, 21 uur 95%	1000	Goed	30%	11
Continu ±99% RV i.c.m. gereduceerde luchtbeweging	400	Slecht	50%	-
Meer luchtbeweging bij 95% RV	1000	Goed	30%	9

NB Alle bovenstaande waardes zijn gerealiseerd in een wintersimulatie i.c.m. met 150 µmol/m²/s LED belichting

Voorlopige conclusie:

- Bladkwaliteit lijkt meer een klimaatkwestie te zijn dan verdampingskwestie
 - Telen bij een hoge RV vergroot de kans op slechtere naogstkwaliteit, maar is geen gegeven

Vervolg:

- Waar ligt de ondergrens voor verdamping met behoud van kwaliteit?
 - In de vervolg ronde wordt er met enkel 100 µmol/m²/s LED geteeld

Kennisonontwikkeling over Verdamping Proef in Full-LED Tomaat



Worldwide Expertise for Food & Flowers

Aanpak en hypothese

- ✦ Een onderdeel van *'Verdamping – Vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt'*
- ✦ Gericht op energiezuinige belichte tomatenteelt onder full-LED
- ✦ Meten en analyseren van verdamping bij twee verschillende klimaatstrategieën (hoog/lager vocht)
- ✦ Meten en analyseren van verdamping bij twee verschillende voedingsstrategieën (hoge/lage EC)
- ✦ **Hypothese:** Te lage verdamping in de belichtingsperiode leidt tot kwaliteitsproblemen en productieverlies, waarbij de rol van watergift en voeding van belang is om tot het gewenste teeltresultaat te komen.

Opzet - Kasuitrusting

- ✦ Proefkas: 2* 150m²
- ✦ Plantdatum: 6 oktober 2023
- ✦ Plantdichtheid: 3 stengels/m²
(verhoogd naar 3.5)

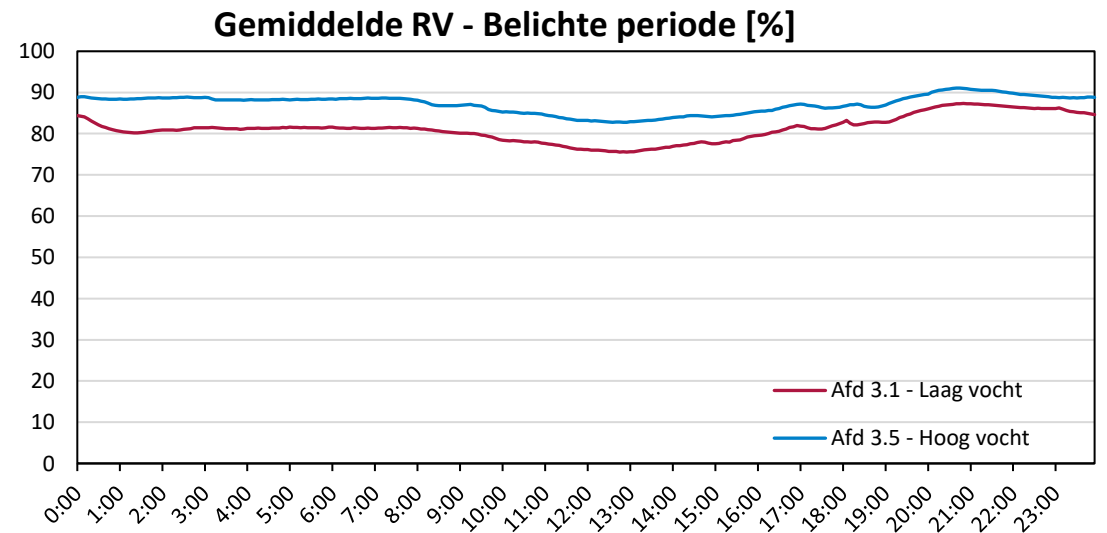
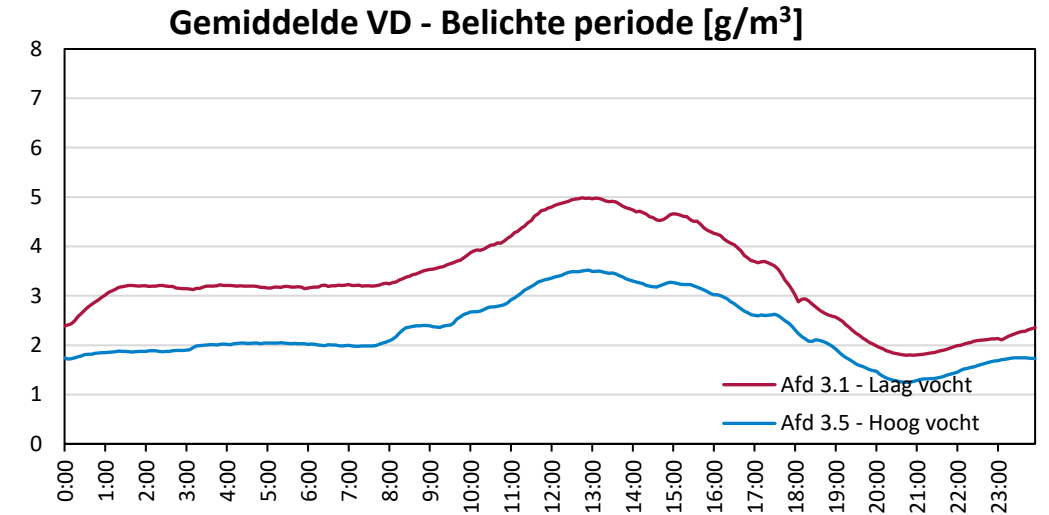
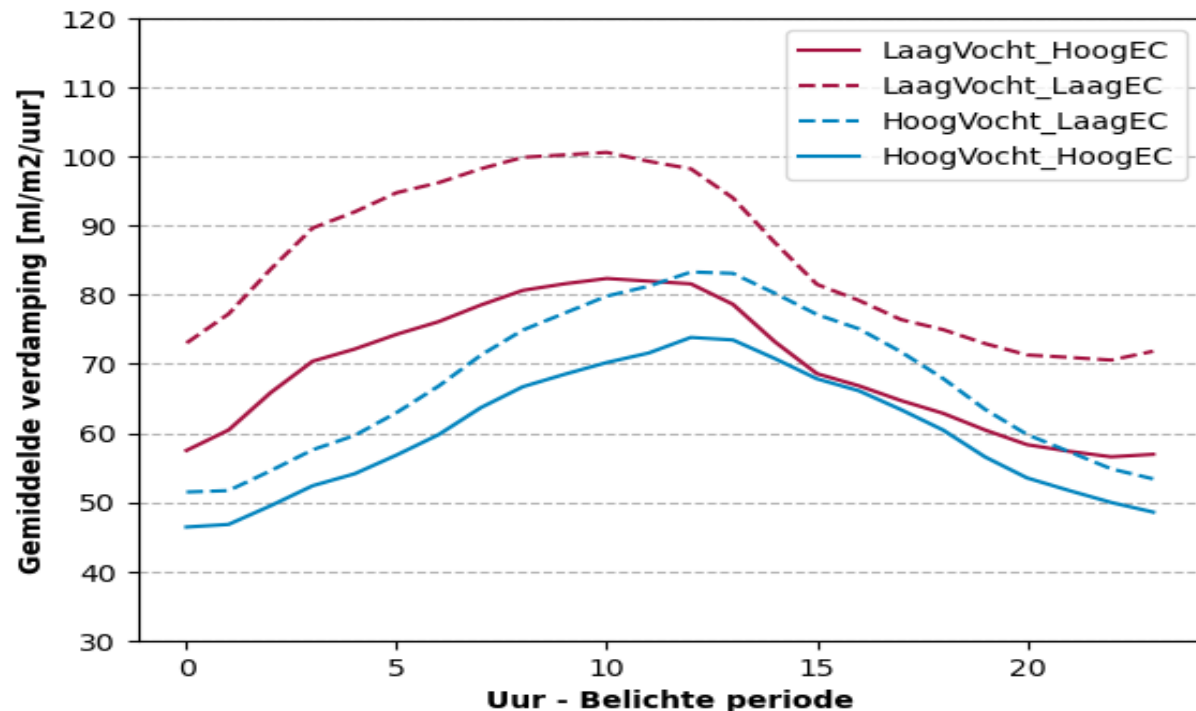
- ✦ Ras: Perimos (HR, Enza)
- ✦ Onderstam: E16R. 4164 (HR, Enza)

- ✦ Full-LED belichting
- ✦ Scherminstallatie
 - Verduisterschermb (Obscura 9950 FR W)
 - Energieschermb (Luxous 1147 FR)



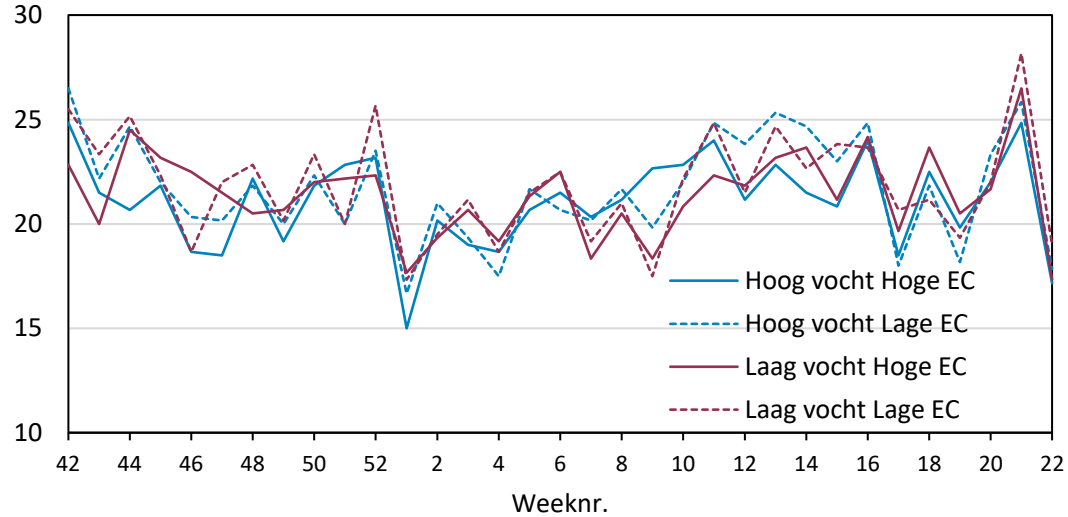
Resultaat – vocht & verdamping

- ✦ 4 behandelingen
 - Meer/minder vocht (2 kassen)
 - Hoge/lage EC

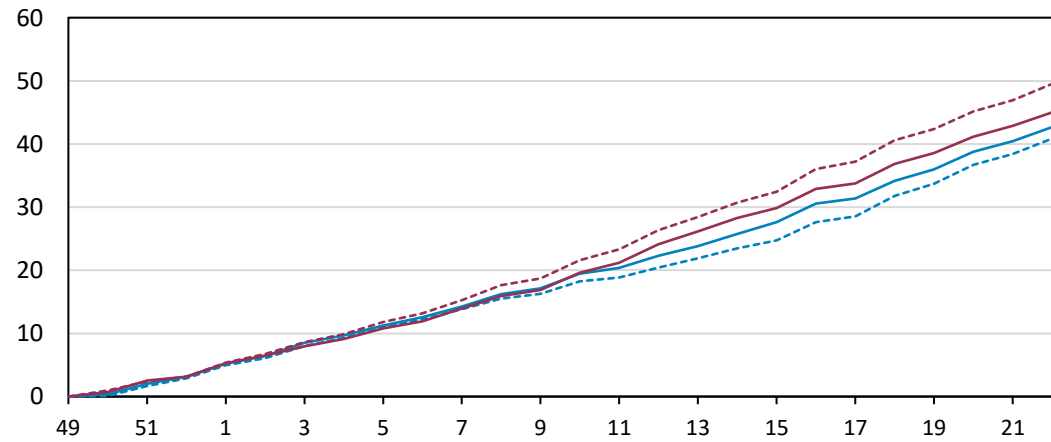


Effect op de plant

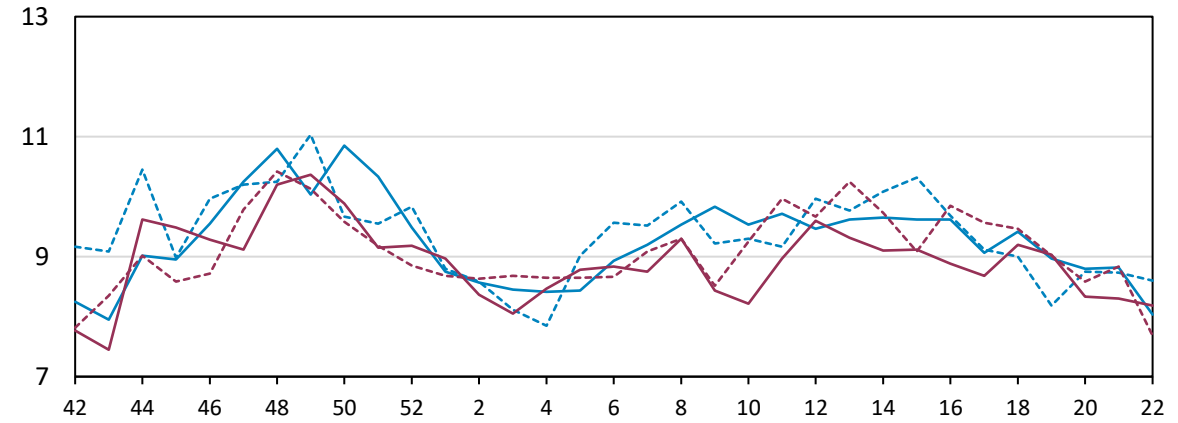
Lengtegroei [cm/week]



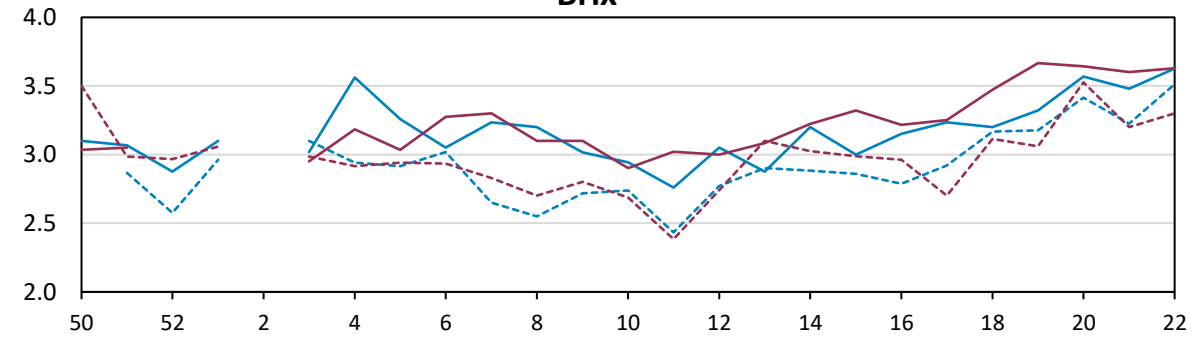
Cum productie excl. afval [kg/m²]



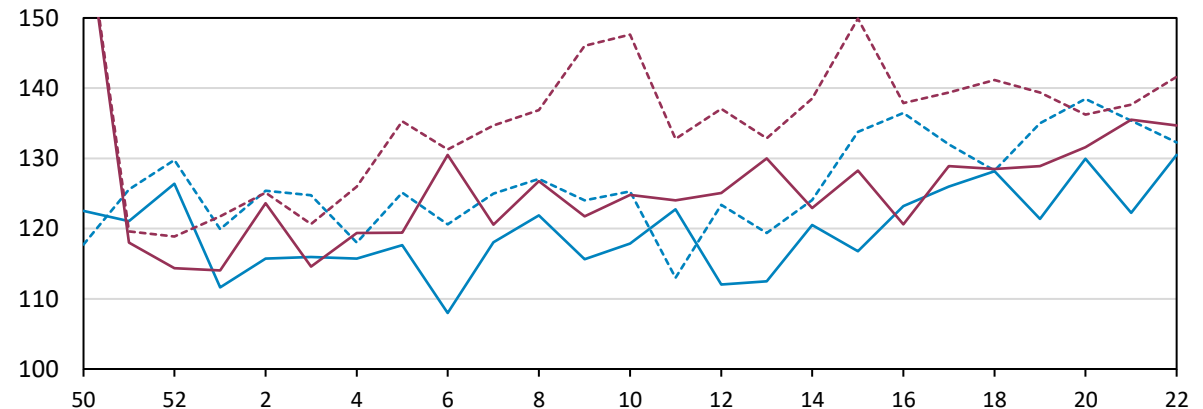
Kopdikte [mm]



Brix



Gem vruchtgewicht [g]



Observaties en conclusies

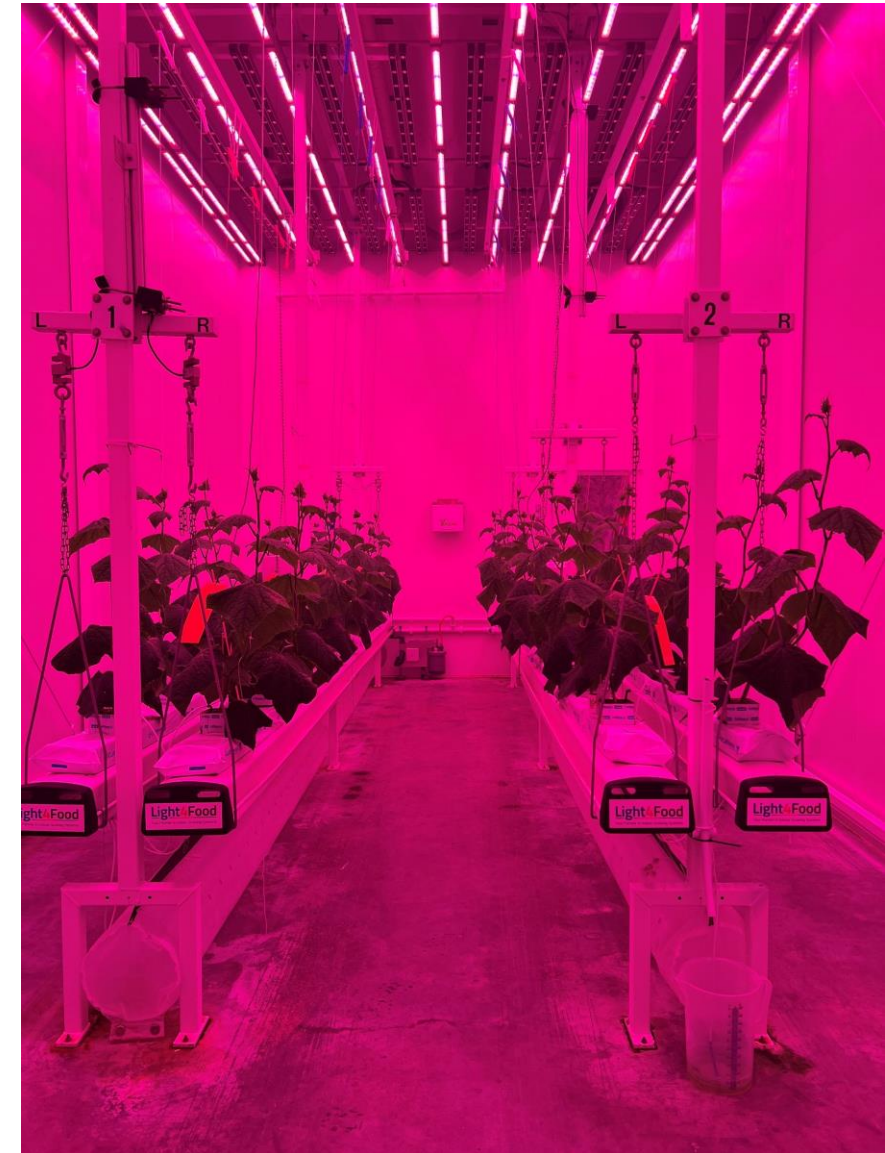
- ✦ Oedeem en Botrytis in hoog-vocht kas, met name bij gevel
 - Door niet-uniforme luchtbeweging?
- ✦ Hoog vocht en hoge EC leiden tot minder verdamping
- ✦ Vruchtkwaliteit
 - Geen problemen met wankleur
 - Neusrot in laatste weken van beide kassen
 - Houdbaarheid in beide kassen matig
 - Lager vruchtgewicht bij hoog vocht
- ✦ Lagere productie bij hoog vocht
 - Grotendeels veroorzaakt door Botrytis
 - Deels ook door wat vegetatiever gewas

Vervolg – proef 2024-2025

- ✦ Doelstelling
 - gewasgezondheidsproblemen voorkomen door luchtbeweging
 - Zo uniform mogelijke luchtcirculatie
- ✦ Nu beide teelten bij hoog vocht
- ✦ Variëren hoeveelheid luchtbeweging
 - Bepaling impact op verticale vocht- en temperatuurverdeling
 - Bepalen impact op verdamping

Komkommer onderzoek bij WUR

- Ras: Dee Flexion
- 2 klimaatcellen → 2 behandelingen per teelt
- Behandelingen gestart vanaf planten
- Licht: 16 uur; 16,5 Mol/m² dag, 286 μmol/m² s
 - Licht is opgebouwd (7→10→13,5→16,5 Mol/dag)
- Temperatuur: 24,5/21,5 °C (d/n)
- CO₂: 600 PPM
- RV/VD: behandelingen volgende slide



Proeven

- Teelt 1: Nacht VD
- Teelt 2: Dag VD
- Teelt 3: Omgekeerde VD (10-6 gestart)

Teelt	Cel	Behandeling	VD			RV	
			Dag	Nacht	24h	Dag	Nacht
1	HWC 1	Hoge d+n VD	4.9	2	3.9	75%	88%
	HWC 2	Hoge dag, lage nacht VD	4.9	0.8	3.5	75%	95%
2	HWC 1	Intermediate VD, lage nacht VD	2.9	0.8	2.2	85%	95%
	HWC 2	Lage d+n VD	0.8	0.8	0.9	96%	95%
3	HWC 1	Medium VD, lage nacht VD	1.9	0.8	1.5	90%	95%
	HWC 2	Omgekeerde VD	0.8	2.9	1.5	96%	82%

Oogst week 1, teelt 2



Lage nacht VD en "intermediate" dag VD

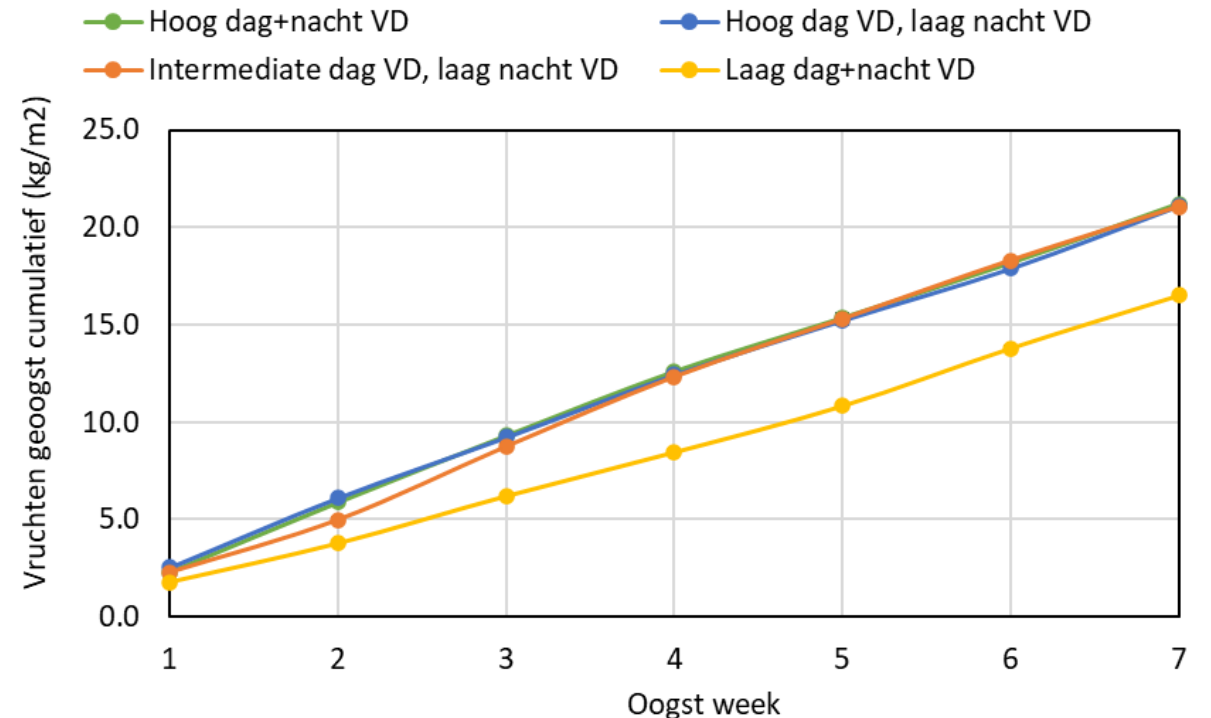
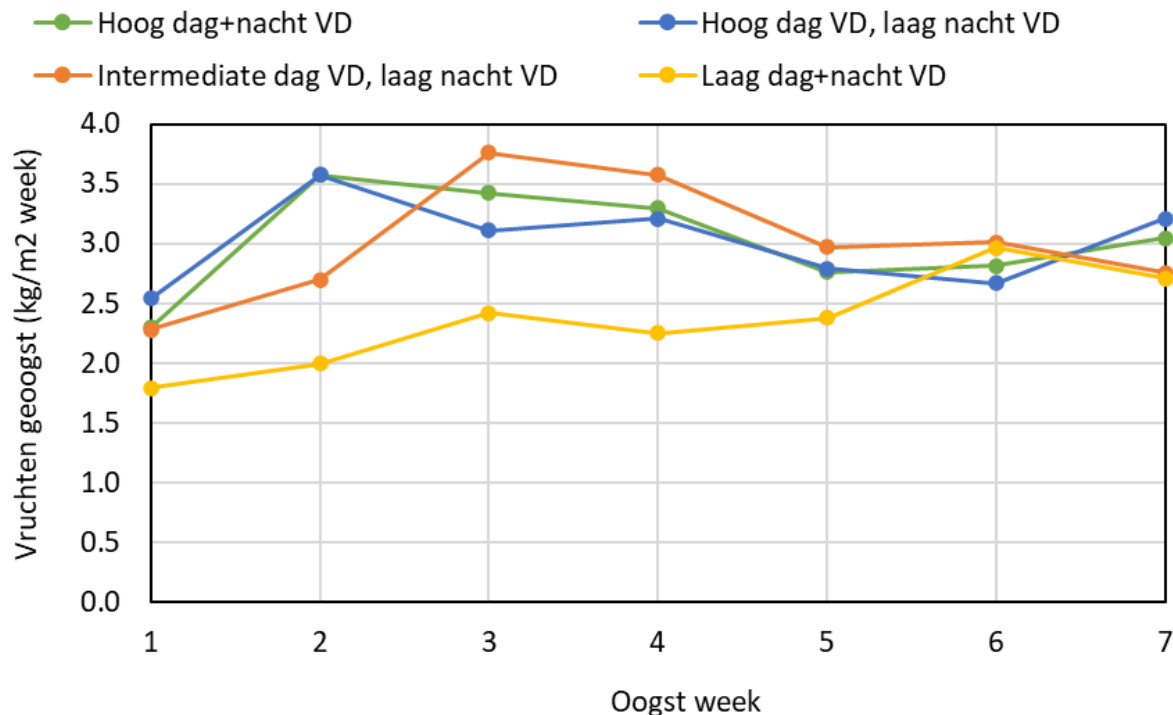
- Goed gewas, goede productie
- Geen afwijkingen
- Geen abortie

Laag VD dag en nacht

- Slechte selectiviteit
- Bolblad en broeikoppen
- Abortie, vrucht vervorming

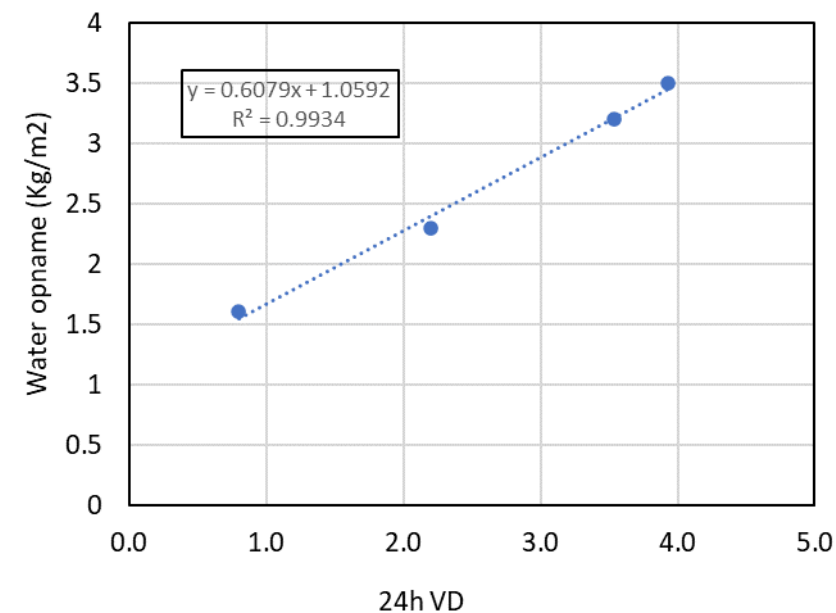
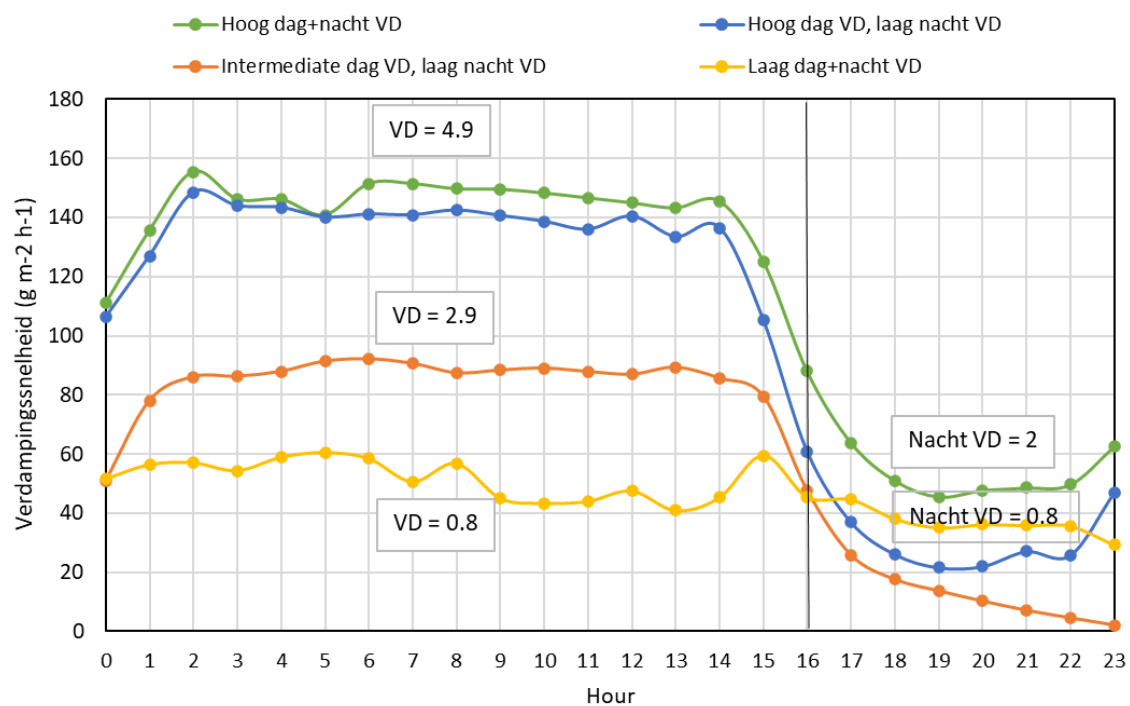
Productie

- Teelt 1: Geen verschillen met nachtverdamping
- Teelt 2: - Intermediate dag VD zelfde als Lage dag VD teelt 1
- Lage dag+nacht VD lagere productie



Verdamping en wateropname

Teelt	Behandeling	VD instellingen			Wateropn. & verd. tijdens productie fase			7w productie
		Dag VD	Nacht VD	24h VD	Water opname (L m ⁻² d ⁻¹)	Water opname (mL/mol)	Verdamping (L m ⁻² d ⁻¹)	Opbrengst (kg/m ²)
1	Hoog dag+nacht VD	4.9	2	3.9	3.5	212	3	22
	Hoog dag VD, laag nacht VD	4.9	0.8	3.5	3.2	194	2.7	21.8
2	Intermediate dag VD, laag nacht VD	2.9	0.8	2.2	2.3	139	1.8	22.2
	Laag dag+nacht VD	0.8	0.8	0.8	1.6	97	1.1	17.4



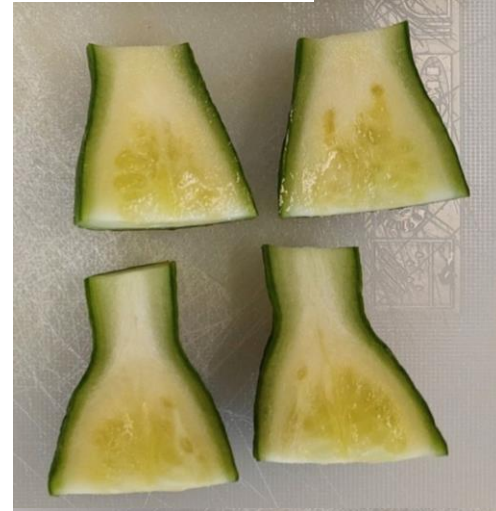
Productkwaliteit

- Teelt 1 geen verschillen tussen vruchten
- Bij de Lage dag+nacht VD smalle bovenkant (flessenhals)
- Bij de Lage dag+nacht VD kortere houdbaarheid

Na 18 dagen bewaring



Intermediate dag VD,
lage nacht VD



Lage dag+nacht VD

Vervolg PPS “Masterplan verdamping”

- “Verdamping en vochtbalans van plant en kas in een energiezuinige teelt”
 - Doel: goede productie en een goed product telen met zo laag mogelijke energie-input binnen veilige grenzen van verdamping
 - Voortzetting experimenten met deze drie voorbeeldgewassen
 - Meetmethodes verdamping
 - De plantkundige kennis en de meetmethoden omzetten in adviezen voor toepassingen in de tuinbouwpraktijk

Bedankt voor uw aandacht. Vragen & discussiepunten?

Met dank aan onze collega's

Sander Hogewoning

Martijn Wiekens

Stijn Jochems

Brigit Den Bakker

Silvester de Nooijer

Caterina Carpineti

Nieves Garcia

Jaco den Bakker

Anna Okula

Milou Hernandez

Gert Vletter



(extra WUR) Leaf nutrient composition: no difference

Organ	Treatment	Average of Ca(mmol/ kg ds)	Average of B(μ mol/ kg ds)	Average of K(mmol/ kg ds)	Average of K/Ca
old leaf	Intermediate VD	1053	5633	993	0,94
	Low VD	1057	5267	877	0,83
young leaf	Intermediate VD	410	1760	647	1,64
	Low VD	424	1820	607	1,54



(extra WUR) Resultaten huidmondjes gedrag en aantal komkommer

- Zijn er verschillen in aantal huidmondjes als gevolg van de behandeling? Nee, geen verschillen in aantal (boven of onderkant)
- Er zijn ook geen verschillen gemeten in snelheid van uitdroging van het blad of de vruchten

