

Belichting, verdamping en energieverbruik

Energiebesparing 3.0

Case study Komkommer

EnergiekEvent
2 juli 2024

Plant Lighting:
Govert Trouwborst
Alex Boonman
Martijn Wiekens
Sander Hogewoning

Botany B.V.
Frank Huijs (projectleider)
Maarten Vliex
Bram Rongen
Conny Vervoort



Botany[®]

**Plant
Lighting**

Plant Lighting BV

- Team:
 - Dr. ir. Sander Hogewoning, Dr. ir. Govert Trouwborst, ir. Stefan van den Boogaart, Dr. Alex Boonman, Marius Bongers MSc, Martijn Wiekens MSc, Daphne Ruiter MSc, Wilmar Kunz, Ursula van Bommel, Thijmen Westenbrink Ba
- Expertise o.a.:
 - Fotosynthese, verdamping en CO₂
 - 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



Projectpartners winterteelt komkommers



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Inhoud en boodschap

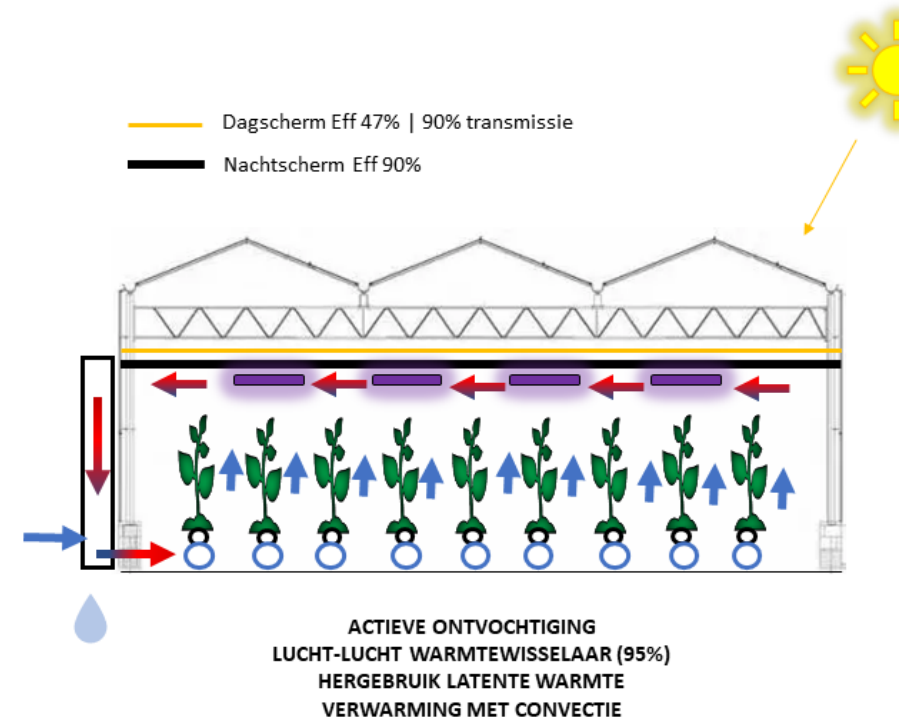
- Winterproductie en energieverbruik
 - Méér belichten is energie-efficiënter dan minder belichten!
 - Bespaar niet op temperatuur als er daardoor te weinig vruchten/week worden aangelegd
- Winterproductie en energiebesparing
 - Energiebesparing 1.0 = kasisolatie door scherming
 - Energiebesparing 2.0 = actief ontvochtigen
 - Energiebesparing 3.0 = besparen op de verdamping per mol PAR
 - Alleen als er bespaard wordt op de verdamping per mol PAR draagt een hogere belichtingsintensiteit positief bij aan kasopwarming

Doelstelling proeven komkommer

- Winter '22/'23: Belichte winterteelt komkommer met minimaal energieverbruik I
 - Eis:
 - 100kWh/m² elektra
 - 10m³ gas/m², gemiddeld zo'n 0.5m³/week in de winter
 - 50/50 verdeling in elektriciteit/warmte
- Winter '23/'24: Belichte winterteelt komkommer met minimaal energieverbruik II
 - Doelstelling:
 - 140kWh/m² elektra
 - 6m³ gas/m², gemiddeld zo'n 0.3m³/week in de winter (voorwaarde van relatief lagere verdamping)
 - 70/30 verdeling in elektriciteit/warmte
- 1m³ gas = 9.8kWh dus 10kWh \approx 1m³ gasequivalenten
 - Totaal 20m³ gasequivalenten
 - De verdeling van de energie bepaalt de efficiëntie!

Opbouw proeven

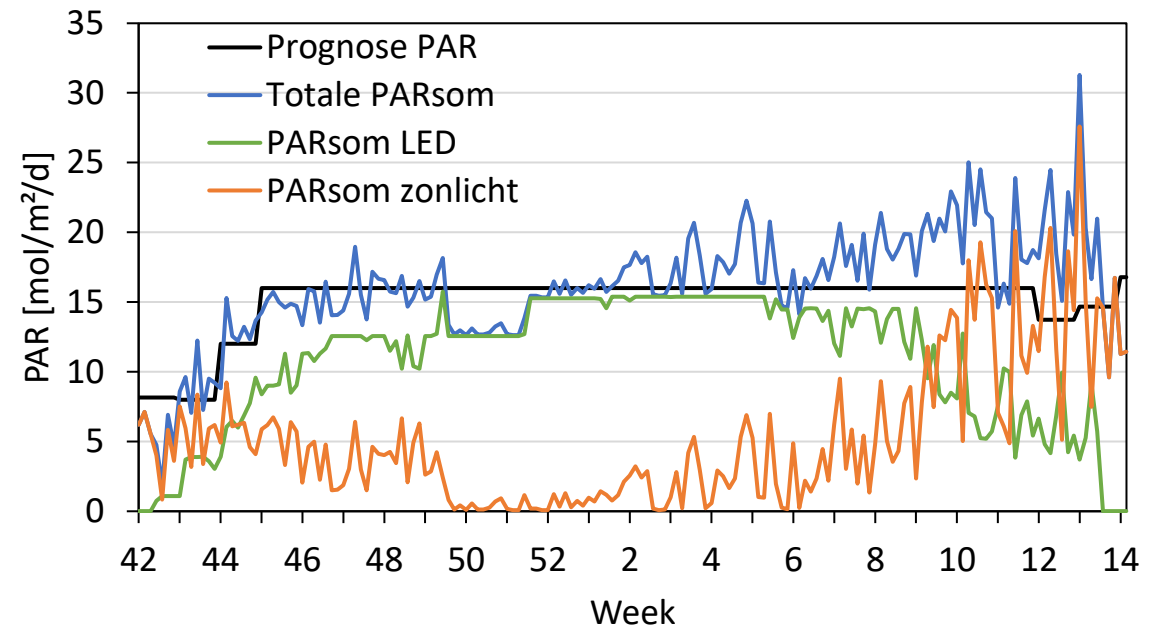
- Proefduur: week 41/42 tot en met week 13 (± 24 weken)
- Kascompartiment van 260m²
- Twee schermen
 - Lichtuitstootschermb
 - Energieschermb
- Actief ontvochtigingssysteem met warmteterugwinning
 - Air&energy-systeem
- Hogedraadteelt komkommer met 3 rassen
 - Dee-Flexion als hoofdras
- Belichting:
 - Spectrum: R74%-G9%-B8%-Fr9%
 - Dynamisch stuurbaar



Proefkoers

	'22/'23	'23/'24
Dagsom PAR [mol/m^2]	12	16
Intensiteit PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	180	235
Daglengte [uur]	16	18
Tetmaal [$^{\circ}\text{C}$]	19.6	21.0

- Relatief koel geteeld voor komkommer:
 - '22/'23: 19.6°C in plaats van $\sim 21^{\circ}\text{C}$
 - '23/'24: 21°C in plaats van $\sim 22/23^{\circ}\text{C}$



Resultaten energie

- Winter '22/'23:
 - 100kWh/m² elektra → 100kWh/m² elektra
 - 10m³ gas/m² → 10m³ gas/m²

- Winter '23/'24:
 - 142 kWh/m² elektra → 151 kWh/m²
 - 5 kwh/m² door een veel donkerder seizoen dan langjarig gemiddelde
 - 6m³ gas/m² → 7.2 m³ gas/m²
 - onder voorwaarde relatief lagere verdamping → zoektocht

Resultaten productie

- Door andere energieverdeling een spectaculaire sprong in productie:

	Proef '22/'23	Proef '23/'24	% toename
Stuks [Aantal/m ²]	93	133	42%
Gewicht [Kg/m ²]	33.7	48.8	45%
Gemiddelde lichtsom [mol/m ² /dag]	11.3	16	42%
Totale lichtsom [mol/m ²]	1900	2711	42%
LBE totaal (gram vers/mol PAR)	17.7	18	1.7%

- Zijn we er? Nee!
 - LBE veel te laag, hoort zeker 22 gram/mol te zijn
 - LBE hoort te stijgen bij meer licht vanwege basisbehoefte PARsom van 5-6 mol voor vegetatief gewas
 - % Drogestof vruchten veel te hoog, resp. 3.2 en 3.4% in plaats van ~2.8%
 - LBE zou dan wèl stijgen naar 22 gram/mol
 - Totale productie te laag ten opzichte van een referentieteelt in 2021
 - Saldo berekening: Besparing op energiekosten weegt niet op tegen verlies van productie, dus technische oplossing voor besparing verdient zichzelf niet terug

Teelt in hoofdlijnen: vergelijk winter '23/'24 ten opzichte van '22/'23

- Succesvolle verbetering koers ten opzichte van seizoen eerder
 - Verbeterde productie + energie-efficiency → Méér belichten is energie-efficiënter dan minder belichten!

	Praktijk '22/'23 Okt-april	Proef '22/'23 Okt-maart	Proef '23/'24 Okt-maart	
Stuks [Aantal/m ²]	171	93	133	
Gewicht [Kg/m ²]	68	34	49	
Elektraverbruik [kWh/m ²]	175	95	151	
Elektra in aardgaseq. [m ³ /m ²]	17.9	9.7	15.4	
Gasverbruik [m ³ /m ²]	23	10	7.2	
Kosten Elektra [kWh/kg]	2.6	2.8	3.1	
Kosten gas [m ³ /kg]	0.34	0.3	0.1	
Energiekosten in m ³ gas eq./kg komkommer	0.60	0.60	0.47	

- Zoektocht naar optimale sturing heeft productie gekost:
 - 'Zoektocht' juiste temperatuur en verdamping
 - Te hoog percentage drogestof:
 - Respectievelijk 3.2 en 3.4% ten opzichte van praktijk ~2.8%
 - Kettingreactie?
 - Te lage temperatuur, te trage bladafplitsing/uitgroei, te weinig vruchten, te hoog %DS?

Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen? [1]

- Antwoord ligt in energiebalans kas:
 - Inkomende energie:
 - Zon
 - Lampen
 - Buiswarmte
 - Uitgaande energie:
 - Warmteverliezen via kasdek
 - Ventilatieverliezen
 - Afvoeren vocht (verdamping)
 - Uitgewisselde lucht weer op temperatuur brengen
- Hoe besparen op uitgaande energie?

Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen? [2]

- Hoe besparen op uitgaande energie?
 - Besparing 1.0:
 - Isolatie door scherming
 - Besparing 2.0:
 - Isolatie door scherming
 - Actieve ontvochtiging
 - Besparing 3.0:
 - Isolatie door scherming
 - Actieve ontvochtiging
 - Verminderen relatieve verdamping

Maximale isolatie - theorie

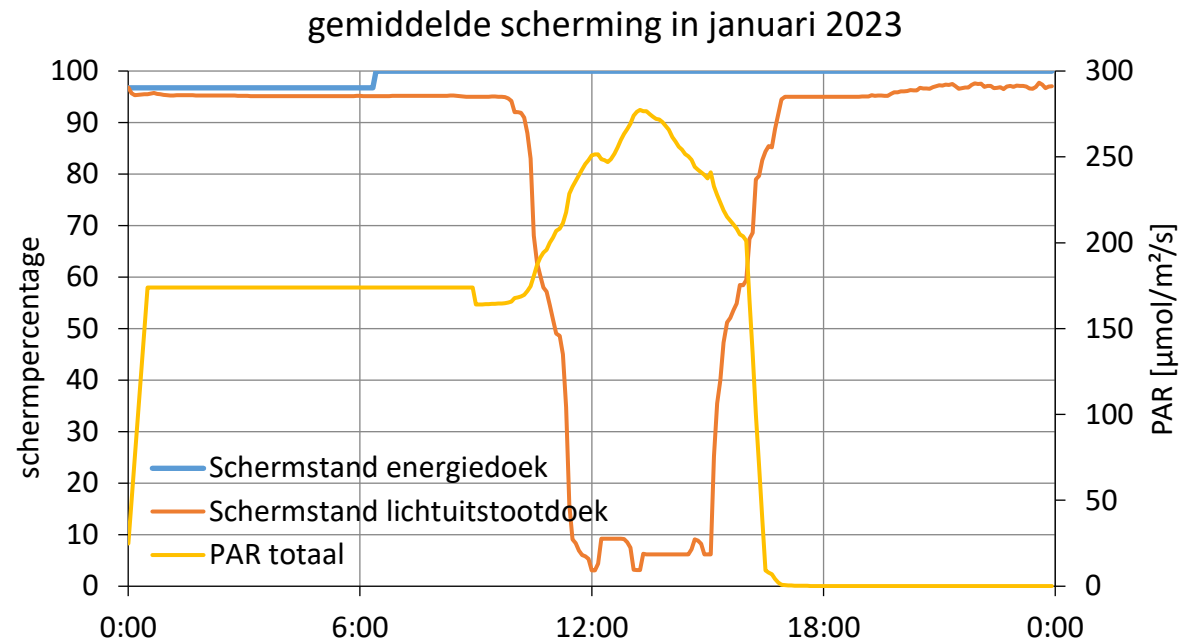
- Theorie verlies warmte door kasdek (bron: Fjo De Ridder):
 - Ongeschermd: $5.2 \text{ W/m}^2/\text{°C}$
 - Energiescherm dicht: $2.7 \text{ W/m}^2/\text{°C}$
 - Lichtuitstootscherm dicht: $3.2 \text{ W/m}^2/\text{°C}$
 - Beide dicht: $1.6 \text{ W/m}^2/\text{°C}$
- In een winterweek (5°C Tbuiten) kost op temperatuur blijven dus:
 - Ongeschermd:
 - $5.2 * (20-5) * 3600 * 24 * 7 = 47\text{MJ} \approx 1.3\text{m}^3 \text{ gas/week}$
 - Zwaar geschermd:
 - 50% tijd twee schermen dicht: $1.6 * (20-5) * 3600 * 12 * 7 = 7.3\text{MJ} \approx 0.20\text{m}^3 \text{ gas/week}$
 - 50% tijd energiescherm dicht: $2.7 * (20-5) * 3600 * 12 * 7 = 12.2\text{MJ} \approx 0.35\text{m}^3 \text{ gas/week}$
 - Totaal: $\approx 0.55\text{m}^3 \text{ gas/week}$
 - Verliezen door verdamping en ventilatie nog niet meeberekend
→ Door intensief schermen meer dan halvering energieverlies door kasdek
- Hoeveel hebben we echt geschermd?

Hoeveel hebben we geschermd?

- VEEL! Overall gemiddelde proef:

	'22/'23	'23/'24
Energiedoek	86%	90%
Intensiteit [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	67%	79%

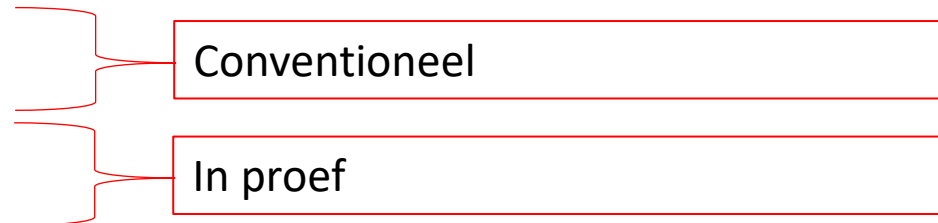
- Maandgemiddelde januari:



- Maar als je zoveel schermt? Hoe moet het dan met vochtafvoer en hoeveel energie kost dat?

Hoeveel verdamping was er ('22/'23)?

- Oude vuistregel: 3cc/joule watergift voor gesloten gewassen zoals tomaat, komkommer, roos
 - Geldig voor zonlicht en SON-T (200ml/mol PAR watergift)
 - Omgerekend naar verdamping en PAR: ~140-160 ml/mol PAR (bij 30-20% drain)
- Wat is gebeurd in winterweken van '22/'23?
 - 12 mol/dag en 1.4L/dag → ~120 ml/mol PAR opname (NB nachtverdamping zit hierbij in).
- Hoe vocht afvoeren?
 - Ventilatie
 - Condensatie aan kasdek
 - Air&energy-systeem



Wat zou conventioneel vocht afvoeren gekost hebben?

- Berekening voor wintersituatie (met dank aan Fjo de Ridder):
 - Verdamping: 12 mol/m² teelt, 1440 ml/m² verdamping (aanname: geen condensatie aan kasdek)
 - Energie verdamping: 1440*2450J/g=3.5MJ/dag → 0.7m³/week
 - Afvoeren verdamping via luchting kost 2MJ/dag → 0.4m³/week
 - Totaal: 1.1m³/week

	binnen	buiten	eenheid
RV	80	60	%
T	20	5	°C
AH	14	4	g/m ³

	waarde	eenheid
afvoer van vocht via ventilatie per kuub	10	g/m ³
kuubs ventilatie voor vocht	144	m ³ /m ²
soortelijke warmte lucht	710	J/kg/K
dichtheid lucht	1.29	kg/m ³
soortelijke warmte lucht	915.9	J/m ³ /K
warmte nodig voor opwarming	2.0	MJ/m ² /dag
	0.4	M ³ /m ² /week

Air&energy-systeem

- Opwarmen koude buitenlucht via de latente warmte van de kaslucht
 - >90% efficiency op niveau voelbare warmte (opgave fabrikant):
 - Uit: vochtige lucht van 20°C
 - In: droge lucht van 19°C



Energiebalans kas winterweek '22/'23: conventioneel of A&E-systeem

- Posten in aardgas-equivalenten/week:

Inkomend	Uitgaand conventioneel luchten	Uitgaand met Air&energy
Zon 2 mol: 0.2m ³ eq./week	Kasdek: 0.55 m ³ eq./week**	Kasdek: 0.55 m ³ eq./week
Lamp 10 mol: 0.6m ³ eq./week	Verdamping: 0.70 m ³ eq./week	Verdamping: 0.70 m ³ eq./week
Buis: 0.5m ³ eq./week*	Ventilatie: 0.40 m ³ eq./week	Air&energy: 0.03+0.04 m ³ eq./week
Totaal: 1.3m³ eq./week	Totaal: 1.7m³ eq./week	Totaal: 1.3m³ eq./week

*gemiddeld over hele proef, in winter meer, in najaar en voorjaar minder!

** als je conventioneel teelt, kun je minder schermen dan nu gedaan is.

- Energie van zon+lampen (0.8m³) gaat min of meer op aan de verdamping zelf (0.7m³)
 - Vuistregel: verdamping is >80% stralingsgedreven
- Verdamping afluchten: ~0.4 m³ eq./week tekort per week! Conventioneel wordt dit opgelost door bijstoken
- Met Air&energysysteem ~90% reductie op energieverlies conventionele ventilatie
- **Bij goede isolatie kasdek kost verdamping (+afluchting) het grootste deel aan energie**
 - Grenzen van benodigde verdamping opzoeken is dus interessant!

Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen? [3]

- Energiebesparing 1.0: kasisolatie door scherming:
 - Energieverlies van ongeschermd rond $1.3\text{m}^3/\text{week}$ naar zwaar geschermd rond $0.5\text{m}^3/\text{week}$
- Energiebesparing 2.0: Actief ontvochtigen
 - Verdamping + klassiek ontvochtigen: rond $0.7+0.4=1.1\text{m}^3/\text{week}$
 - Verdamping + air&energysysteem (>90% efficiënt in warmteterugwinning): rond $0.7 + 0.1=0.8\text{m}^3/\text{week}$
- En hoe gaan we dan naar energiebesparing 3.0?

Besparen 3.0 [1]

- Energiestroom straling en verdamping min of meer in evenwicht ('22/'23)
 - Energie van zon+lampen (0.8m^3) gaat min of meer op aan de verdamping zelf (0.7m^3)
 - Absolute verdamping: 1.4L/dag
 - Relatieve verdamping: 1.4L/12 mol \rightarrow ~ 120 ml/mol PAR opname (NB nachtverdamping zit hierbij in).
- Maar hoeveel energie bevat een mol LED-licht?
 - Spectrum: R74%-G9%-B8%-Fr9% \rightarrow $3.3 \mu\text{mol/J}$ (2022)
 - 1 mol PAR bevat de energie om 124ml te verdampen: 124ml/mol PAR
- Conclusie:
 - Bij relatieve verdamping rond de 120ml/mol dragen de lampen niet bij aan kasopwarming
 - Alle lampenergie gaat dan op aan verdamping
 - Dan werkt meer belichten niet besparend op energie
 - Als we de verdamping weten te remmen naar 100 ml/mol PAR dan gaat lampwarmte bijdragen aan kasopwarming...

Besparen 3.0 [2]

- Plant heeft absolute hoeveelheid verdamping nodig (erboven is 'onnodig zweten')
 - Absolute hoeveelheid hangt samen met groeisnelheid (temperatuur)
- Theoretische situatie '22/'23 versus '23/'24 voor winterweek:
 - Hogere absolute verdamping per m², lagere relatieve verdamping per mol PAR

	'22/'23	'23/'24
PAR [mol/m ² /dag]	12	16
Verdamping per mol PAR [ml/mol]	120	100 (gewenst)
Verdamping per dag [l/m ²]	1.4	1.6 (gewenst)
Theoretisch mogelijk vanuit lampenergie [3.3μmol/J; ml/mol]	124	124
Besparing/week [m ³ /m ² gaseq]	0.04	0.2
Benodigde warmte-input [m ³ /m ² gaseq]	0.5	0.5
Warmte via buis [m ³ /m ² gas]	0.5 - 0.04 = 0.5	0.5 - 0.2 = 0.3

- Spannende vraag: lukt telen met 100 ml/mol PAR zonder problemen?
 - Hoe lager de lichtsom, hoe moeilijker!

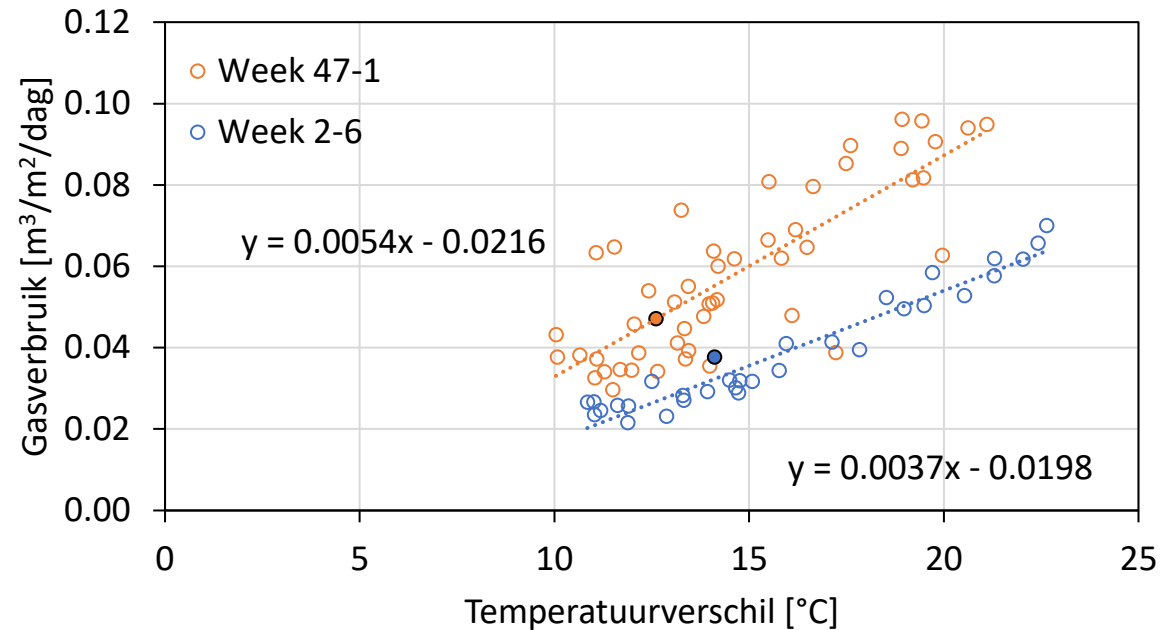
Hoeveel verdamping was er ('23/'24)?

- Twee methodes:
 - Gift minus drain = opname (NB verdamping = opname minus oogst; ~300g/dag)
 - Weeggoot mat = opname
- Vanaf week 2 koerswijziging door verlaging debiet van Air&energy-systeem:
 - Absolute opname steeg niet/nauwelijks terwijl lichtsom vanaf week 2 toenam: relatieve opname daalt!
 - Hierdoor ging lampwarmte nog meer bijdragen aan kasopwarming, hoeveel?

	week 45-1	week 2-8
Gift minus drain [L/m ² /dag]	1.6	1.6
Weeggoot [L/m ² /dag]	1.7	1.8
PAR [mol/m ² /dag]	15.1	17.8
Weeggoot/PAR [ml/mol PAR]	113	101
NB = opname, door oogst ~20ml er nog af	93	81

Gasverbruik en temperatuurverschil binnen-buiten

- In week 2 de 'sleutel' gevonden tot verdere besparing gas
 - Verlaging debiet air&energysysteem van 30 naar 12 m³/uur (capaciteit)
 - Relatief lagere verdamping (12 ml/mol PAR minder, ~0.1 m³ aardgaseq/week)
 - Minder koude lucht van buiten (~0.006 m³ aardgaseq/week)



	Gas [m ³ /m ² /dag]	Tkas-Tbuiten [°C]	PAR
Week 47-1	0.06	14.7	15.2
Week 2-6	0.04	15.9	17.4

Take home: Belichting, verdamping en energieverbruik

- Kunnen we zuinig komkommer produceren in de winter?
 - Seizoen '22/'23: Ja, zuinig per m², maar niet zuiniger per kg product!
 - Seizoen '23/'24: ja, zuinig per m² en zuiniger per kg product
 - Productiederving ten opzichte van referentiebedrijf nog steeds te hoog
- Hoe zuinig zijn?
 - Besparen 1.0: Isoleren door scherming
 - Besparen 2.0: Actief ontvochtigen met vorm van warmteterugwinning
 - Besparen 3.0: Verminderen relatieve verdamping
- Het 'spel' van besparen op verdamping en energie wordt makkelijker bij intensiever belichten
 - Stijging absolute verdamping en daling relatieve verdamping
- Hoe kan het energie-efficiënter dan nu gedaan?
 - Nog intensiever belichten: meer elektriciteit en minder gas gebruiken (totaal gelijke input)
 - Productie per m² omhoog
 - Lager % drogestof?
 - Verhoogde gram/mol?
 - Lagere m³ aardgaseq/kg product

Dank voor uw aandacht!



Govert Trouwborst

06 10 99 00 94

Govert@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

