



Komkommer jaarrond in balans met minimaal energieverbruik

Multigrow | Plant Lighting | Botany

Thom van Mullekom | Govert Trouwborst | Frank Huijs



Inhoud

- Projectpartners
- Doelstelling onderzoek
- Opbouw (wat hebben we gedaan)
- Koers
- Resultaten (energie en productie)
- Energiekosten per kg komkommer
- Leerpunten
- *Berekening assimilatenbalans proef en simulaties*
- Vragen centraal beantwoorden nadat Thom, Frank en Govert presentaties hebben gedaan

Projectpartners



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



**Projectpartners KAE
Hogedraad komkommer**

**Alleen ben je sneller,
samen kom je verder**



Doelstellingen proef

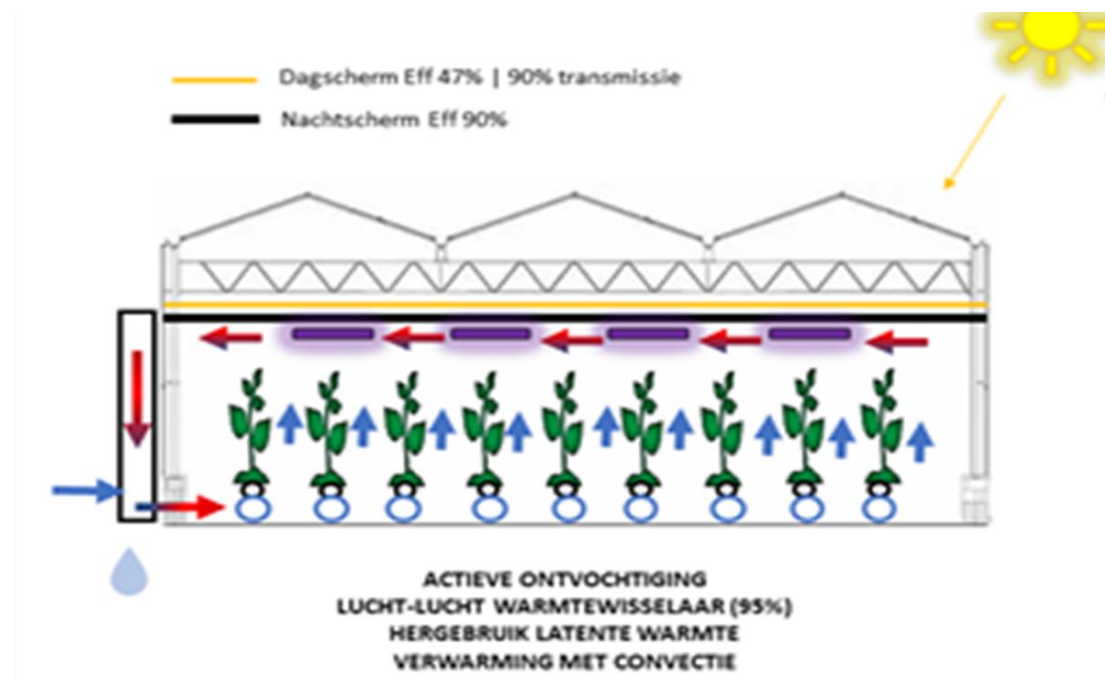
Belichte winterteelt komkommerteelt met minimaal energieverbruik:

De volgende eisen zijn gesteld aan het begin van de teelt:

- $10 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^2$ (gemiddeld zo'n $\pm 0.5 \text{ m}^3/\text{week}$)
- 100 kWh/m^2 elektra
 - 95 kWh/m² belichting
 - 5 kWh/m² ontvochtigingssysteem (air&energy)

Opbouw van proef

- Proefduur: week 41/2022 tot en met week 13/2023 = ±25 weken
- Kascompartiment van 260m²
- Twee schermen
 - Lichtuitstootscher姆
 - Energiescher姆
- Actief ontvochtigingssysteem (air&energy-systeem)
- Plantdichtheid: 1.7 pl/m²
- Belichting: max 180 μmol, spectrum: R74%–G9%–B8%–Fr9%
- Kop eruit op: 7 Maart

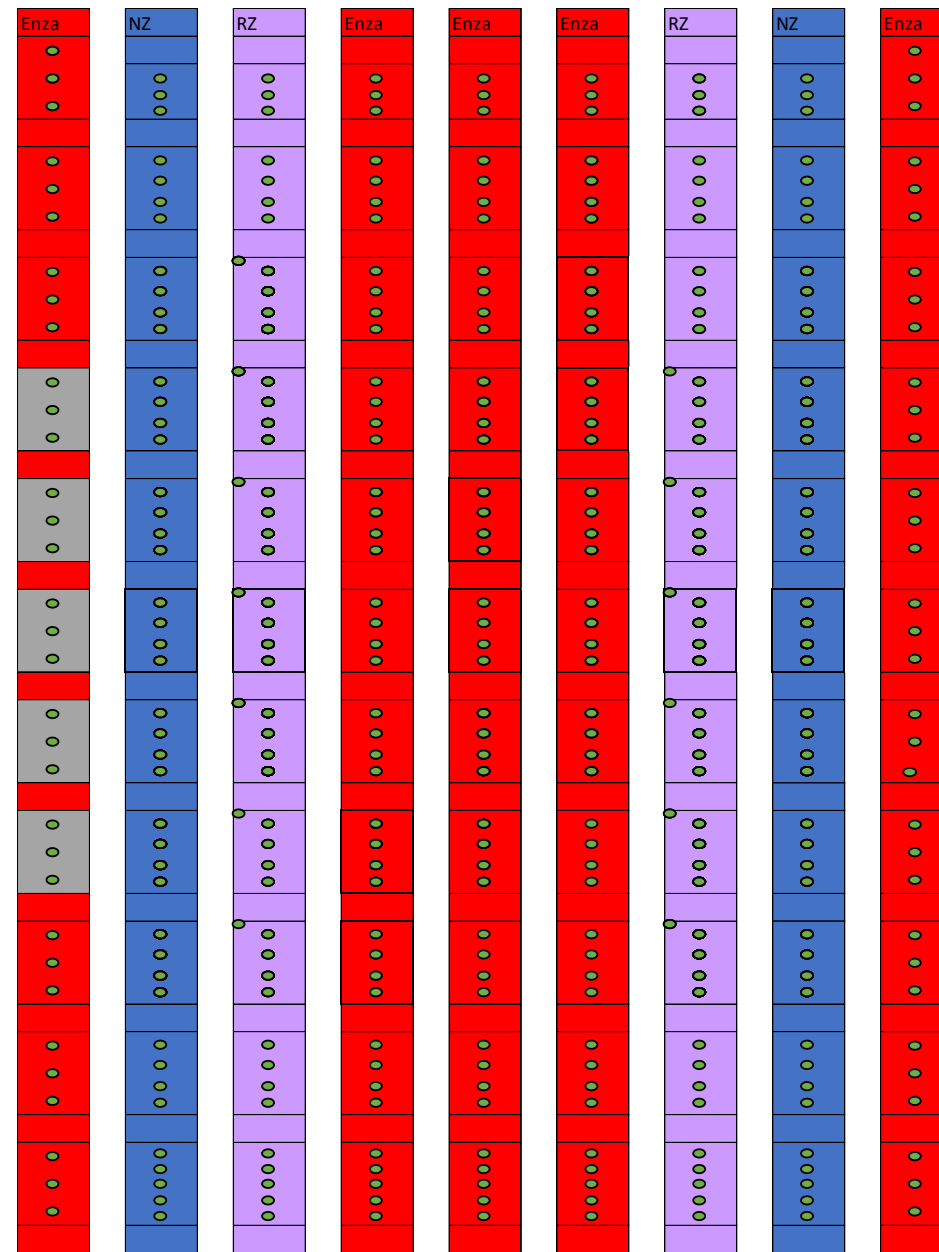


Opbouw van proef

Hogedraadteelt komkommer met 3 rassen

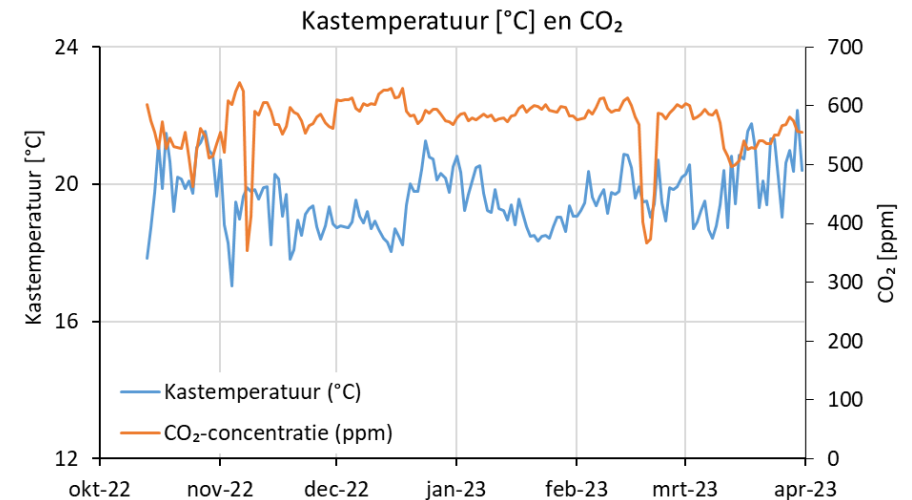
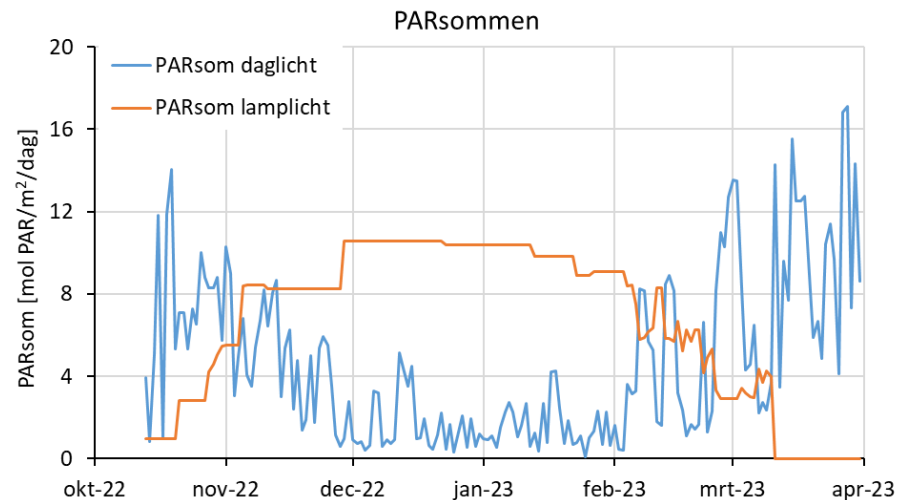
- Dee-Flexion (hoofdras) verzoek BCO tuinders
- Hi Power
- 24-HW318

- 4 planten mat
- 2 keer per week LAI metingen per ras
- 1 keer per week plantmetingen per ras apart
- 5 keer per week geogst en indien nodig 6 keer



Koers

- Aan de hand van de doelstelling is een belichtingskoers uitgezet
 - Uitgangspunten:
 - Maximale intensiteit: 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 10% verrood (PFD=198 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
 - Belichtingkoers gestuurd op schakelbaar verrood en groen
 - Maximaal 16 uur vol belichten (10.4 mol PAR uit lamplicht)
 - Sturen op PARsom tussen de 12–13 mol PAR/dag
- Relatief koel geteeld voor komkommer: 19.6°C in plaats van ~21°C (etmaal)
 - Gewas had hele teelt een (te) ‘sterke kop’ (oordeel BCO)

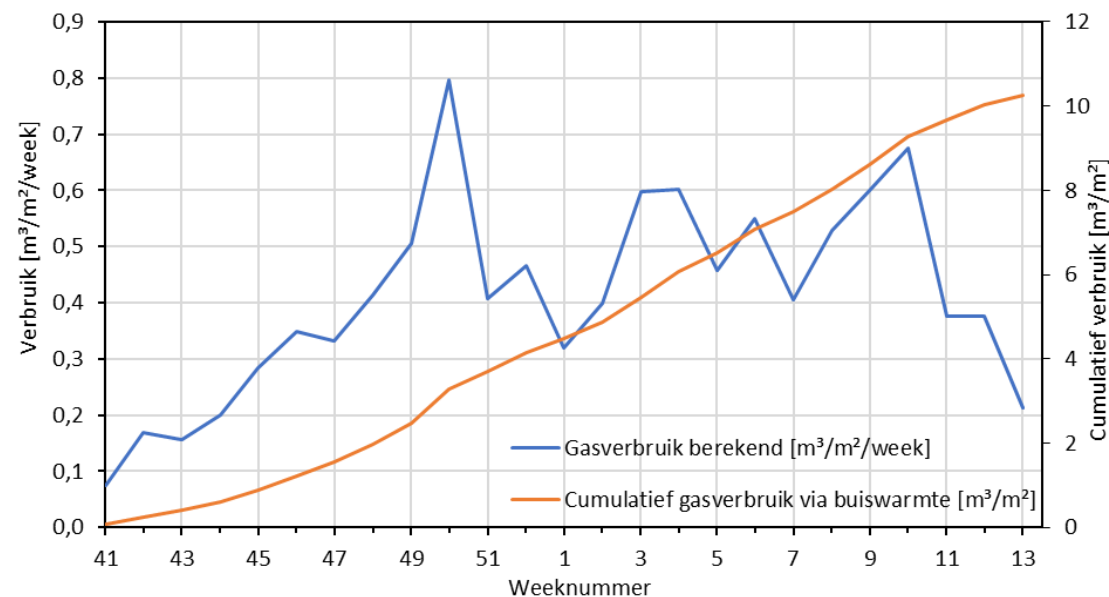
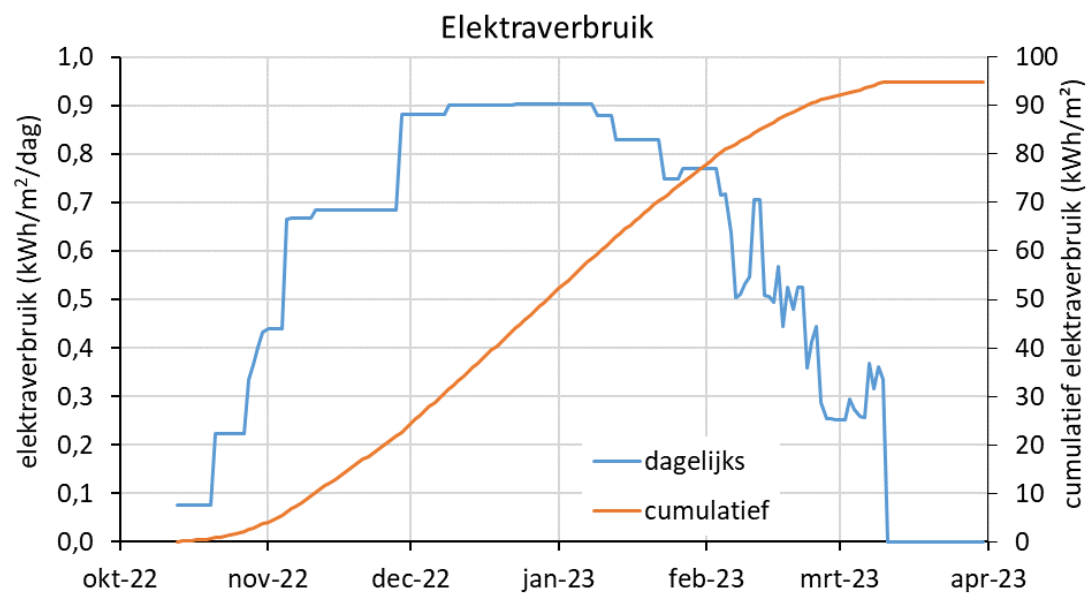


Resultaten proef: energie

• We did!

- 10 m³ gas/m²
- 100 kWh/m² elektra
 - 95 kWh/m² belichting
 - 5 kWh/m² ontvochtigingssysteem (air&energy)

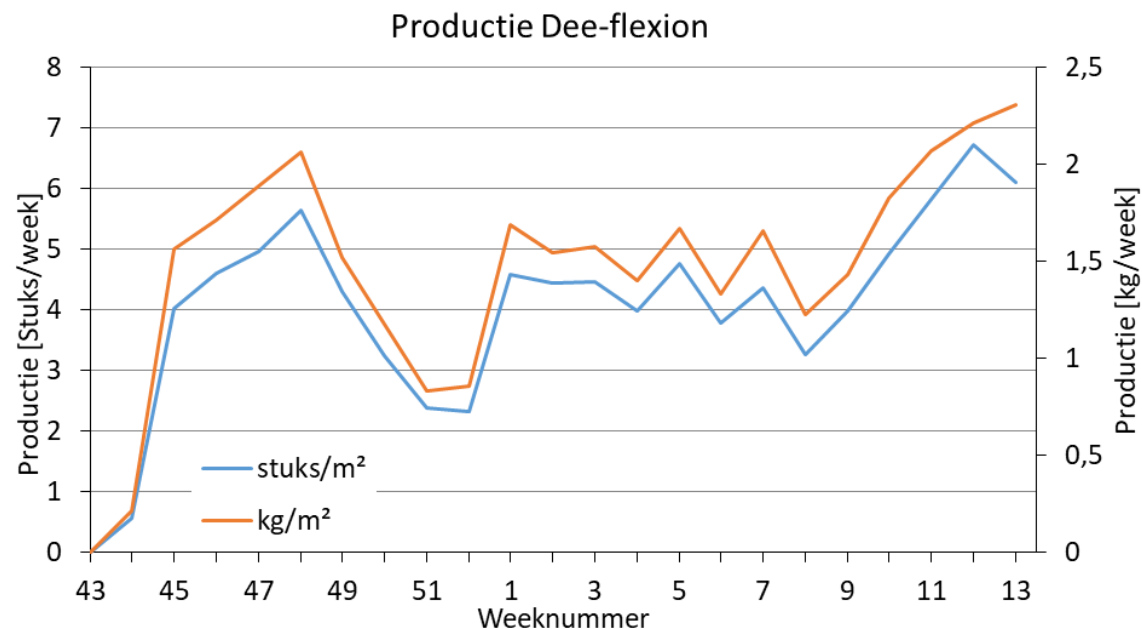
DONE



Resultaten proef: productie

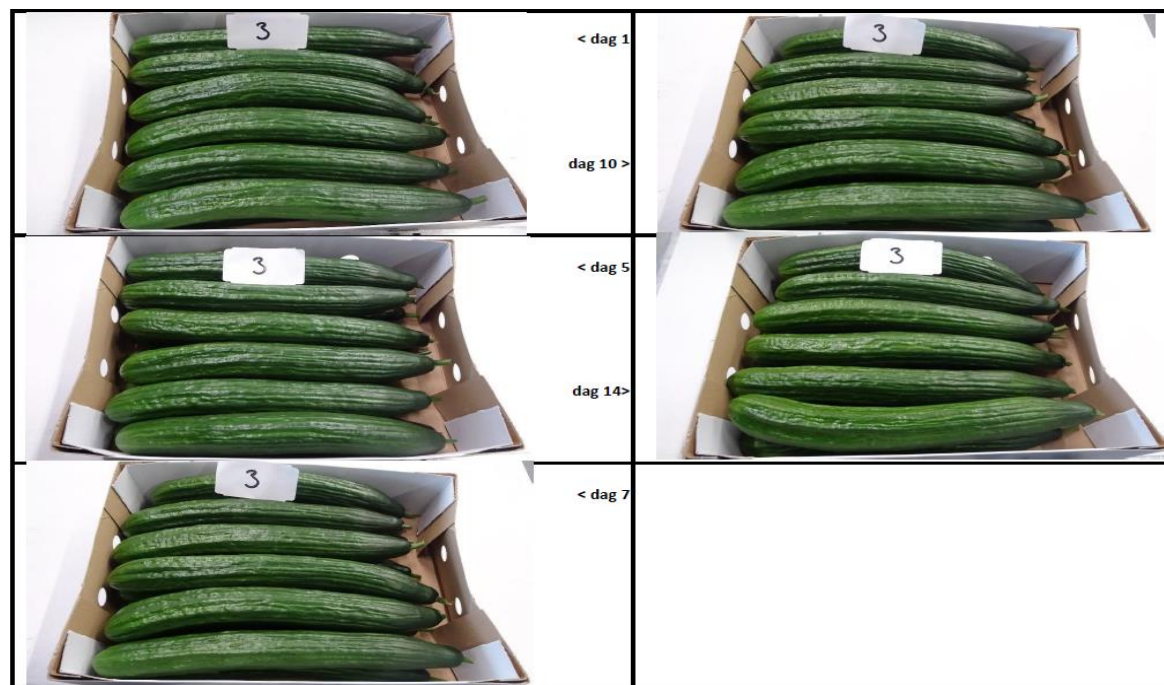
Komkommer ras	stuks/m ²	kg/m ²	gr/mol
Dee-Flexion	93.2	33.7	18
Hi Power	91.8	31.7	18
24-HW318	93.7	34.3	18

- Licht efficiëntie kan beter door generatiever te telen
 - Hogere vruchttemperatuur
- Dal in productie rond de weken 50-52 door abortie
 - Misgelopen productie: 0,5-1,5kg
 - Oorzaken: te hoge belasting, groeibuis 'te laat'



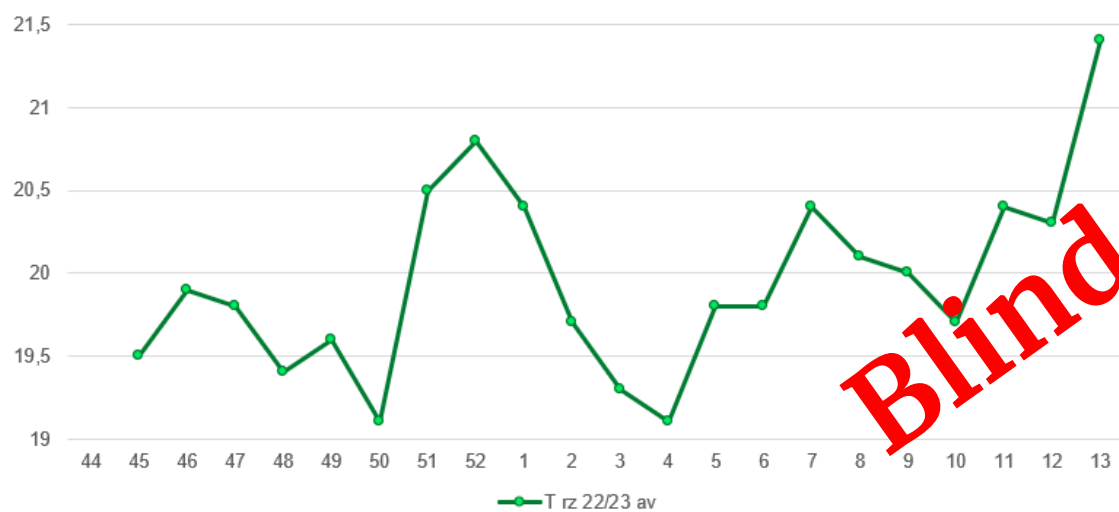
Resultaten proef: houdbaarheid

- Monitoring door Kompany
- Houdbaarheid komkommers proef BETER dan Spaans product!!
- Houdbaarheidsrapport beschikbaar

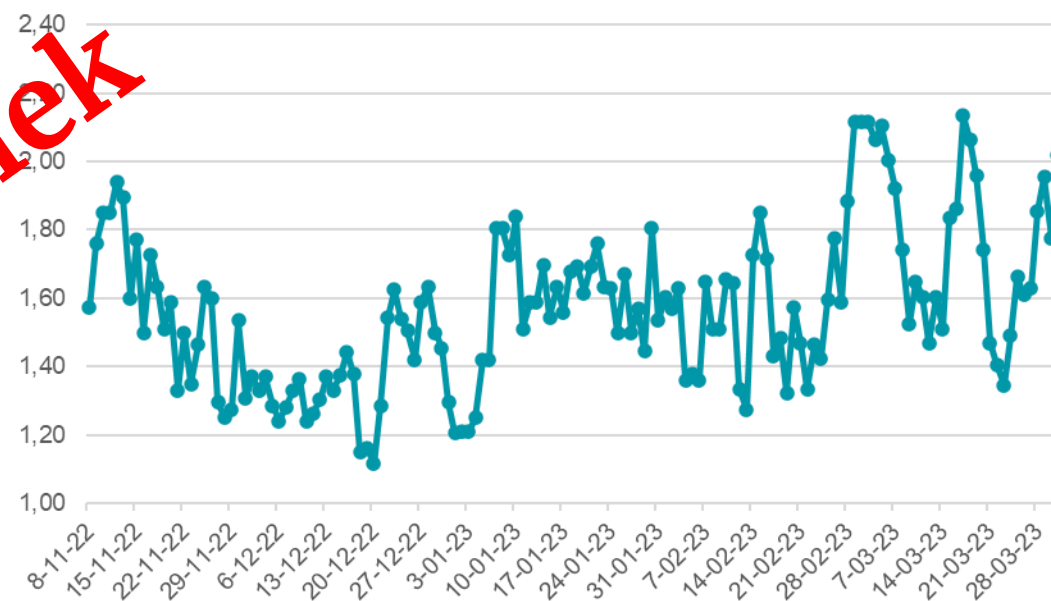


Resultaten proef: rootzone

Gem. Temperatuur rootzone/week (°C)



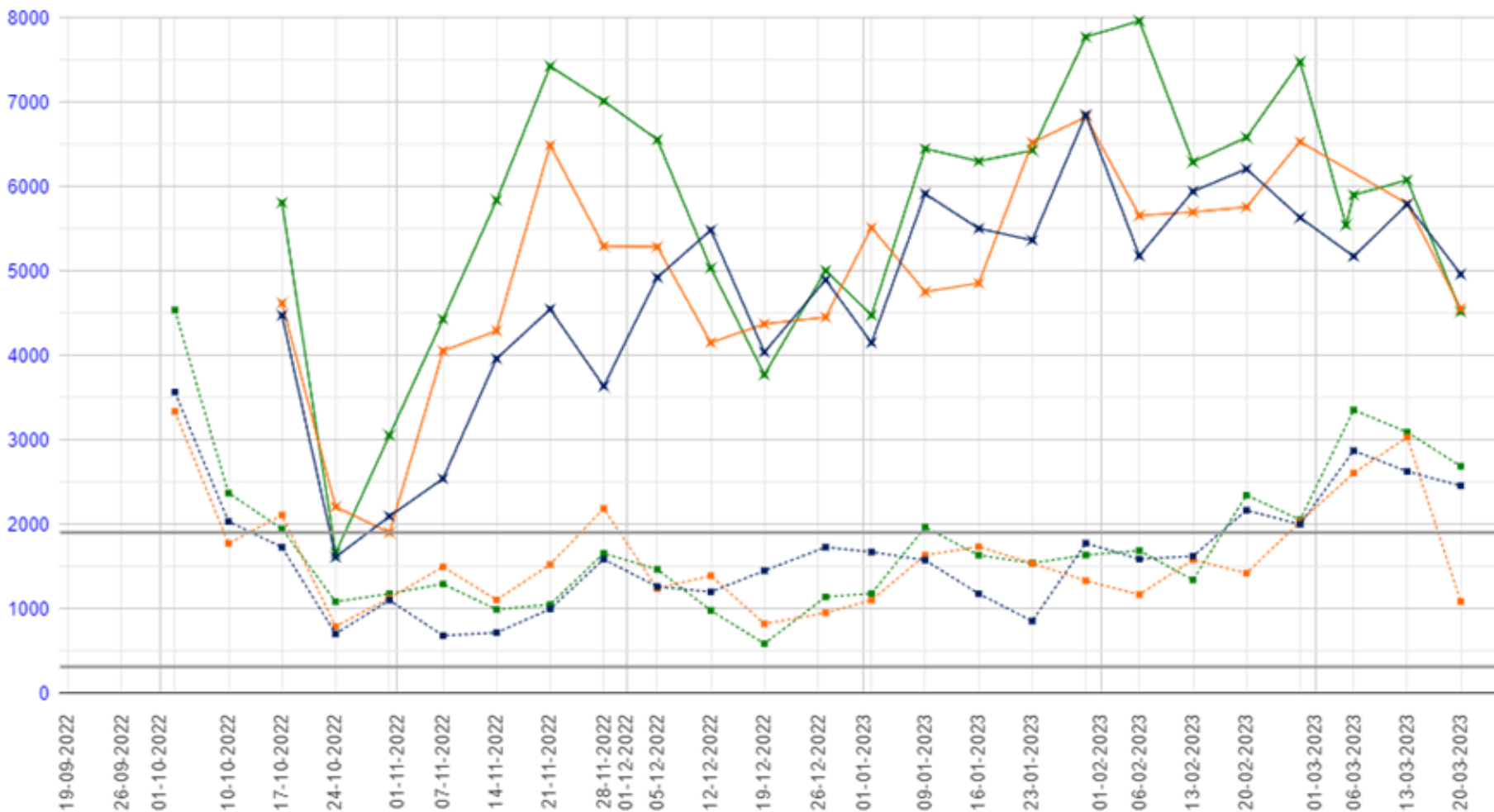
Wateropname (l/m2/dag)



Resultaten proef: rootzone

NO3 - Nitraat [ppm]

1 - 2022 Hogedraad KK BASF - Blad (jong) 1 - 2022 Hogedraad KK BASF - Blad (oud) 1 - 2022 Hogedraad KK Enza zaden - Bla... 1 - 2022 Hogedraad KK Enza zaden - Bla...
1 - 2022 Hogedraad KK Rijk Zwaan - Blad (jong) 1 - 2022 Hogedraad KK Rijk Zwaan - Blad (oud) Min Max



- Bij een andere klimaatstrategie zal je ook de bemesting in de gaten moeten houden.
- Wat doet de plant bijvoorbeeld met de nitraat die je aanbiedt? En moet hier wellicht anders op gestuurd worden?
- Welke giet EC hanteer je voor de voedingsopname en hoe neemt de plant zijn voeding dan op?
- Blijf dit dus ook goed monitoren en stuur hierop bij.

Leerpunten proef

- Maximale isolatie: schermen / kieren
- Verdamping en air&energie-systeem
- Buisgebruik: sturen van buis en welk soort buis
- Momentum inzet verrood
- Plantgezondheid



Dank voor jullie aandacht

Alleen ben je sneller, samen kom je verder!

Frank Huijs
frank.huijs@botany.nl

Bram Rongen
bram.rongen@botany.nl

Maarten Vliex
maarten.vliex@botany.nl

Komkommer jaarrond in balans met minimaal energieverbruik

Proef winter '22/'23, Botany B.V.

10 mei 2023

Plant Lighting:
Govert Trouwborst
Alex Boonman
Sander Hogewoning



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
- 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



INHOUD

- Maximale isolatie: schermen / kieren
- Verdamping en air&energy-systeem
- Inzet verrood
- Berekening assimilatenbalans proef en simulaties andere licht/temperatuurverhouding
- Take home



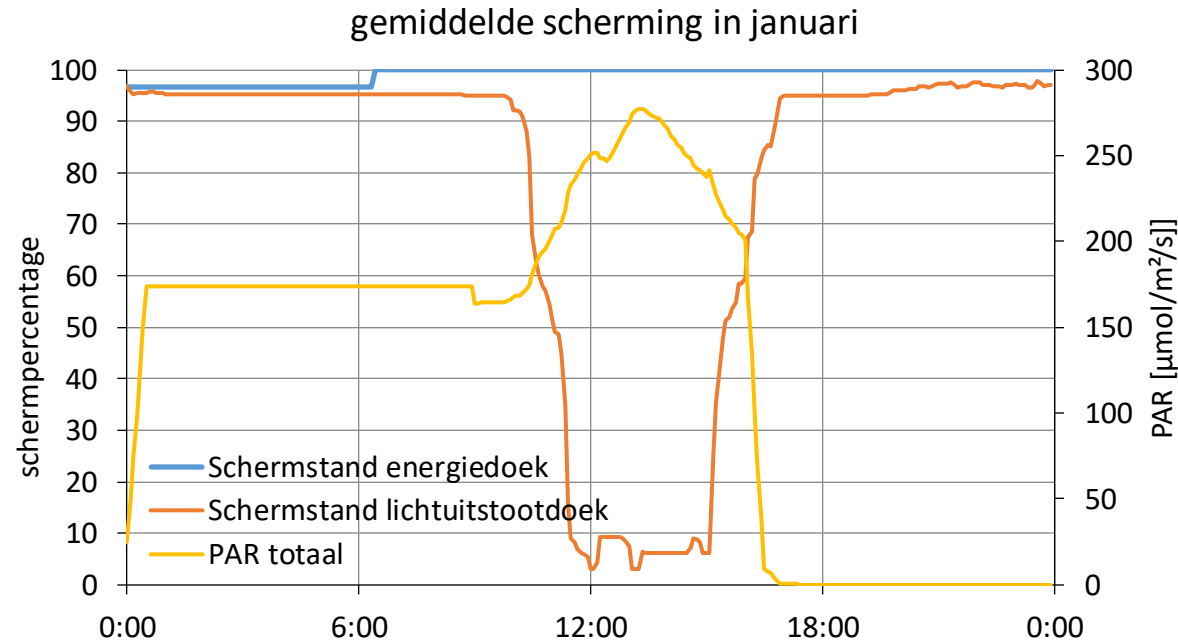
GROOT DEEL VAN ENERGIEBALANS KAS

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 (komen we op terug)
→ Zonder intensief schermen zouden we dus nooit de doelstelling kunnen halen!
- Hoeveel hebben we echt geschermd?

Hoeveel hebben we geschermd?

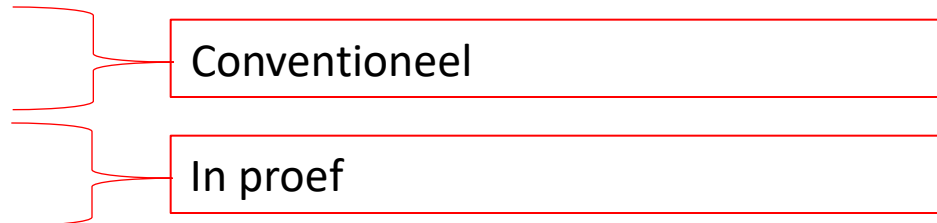
- VEEL! Overall gemiddelde proef:
 - Energiedoek: 86%
 - Lichtuitstootdoek: 67%
- Maandgemiddelde januari:



- Lichtuitstootdoek vaak pas na 10:30 open vanwege voorkomen netto uitstraling...
- Maar als je zoveel schermt? Hoe moet het dan met vochtafvoer en hoeveel energie kost dat?

Hoeveel verdamping is er?

- Oude vuistregel: 3cc/joule watergift voor gesloten gewassen zoals tomaat, komkommer, roos
 - Geldig voor zonlicht en SON-T
 - Omgerekend naar PAR en verdamping: ~140-160 ml/mol PAR (bij 30-20% drain)
- Wat is gebeurd in winterweken van de proef?
 - ~120 ml/mol PAR opname.
- 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
- Uitgaand hebben we conventioneel dus 1.1+0.55≈1.7m³ week
 - Maar conventioneel moet je meer kieren om verdamping af te voeren, dus kasdek gaat meer kosten
- Gelukkig hebben we ook nog inkomende energie via zon, lampen en buizen...
 - Maar wat is de balans?

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

	waarde	eenheid
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

Energiebalans kas conventioneel luchten of Air&energysysteem

- 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.

- Verdamping afluchten: ~0.4 m³ eq./week tekort per week! Conventioneel wordt dit opgelost door bijstoken
- **Bij goede isolatie kasdek kost verdamping het grootste deel aan energie**
- Met Air&energysysteem is geen conventionele ventilatie nodig
 - Opwarmen koude buitenlucht via de latente warmte van de kaslucht, >90% efficiency
 - Bespaart ~0.3 m³ eq./week!
 - Kost: 5kWh hele periode, ~0.25kWh/week, ~0.03 m³ eq./week
- Conclusie: actief ontvochtigingssysteem is nodig voor taakstelling!
 - **Of het financieel uit kan, hangt af van kosten gas en kosten systeem**



Air&energy-systeem



Behoefte aan verrood?

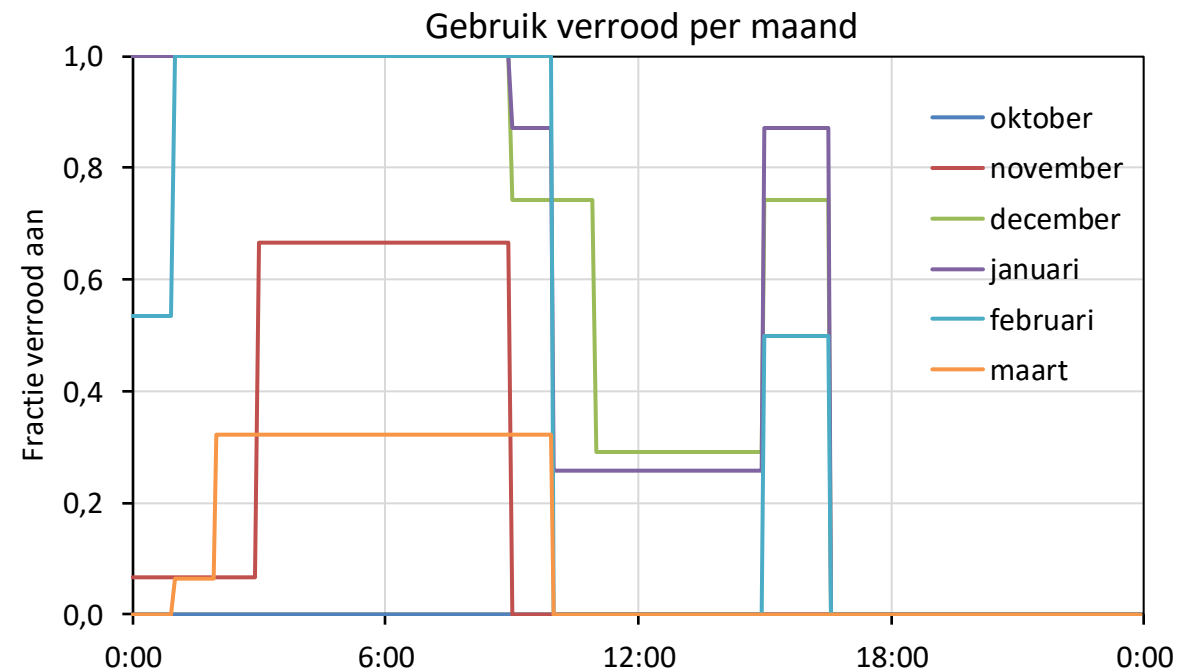
- Voor komkommer is verrood in het spectrum een must!
 - Anders extreme bladkrulling, foto 2008/2009:



Behoefte aan verrood?

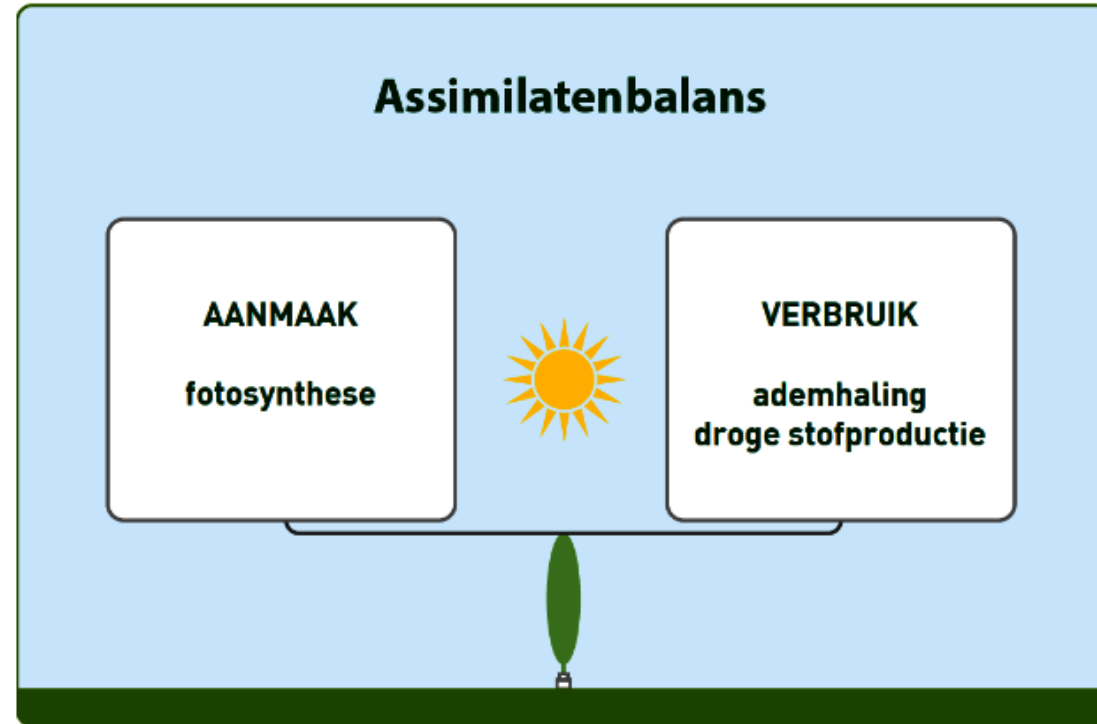
- Er kan wel bespaard worden!
 - Verrood is bespaard op hele dag als lichtsom van buiten hoog genoeg is (oktober)
 - Week 45 verrood aangezet in daglichtloze uren (week 44 verhouding PARsom 50/50)
- Verrood is bespaard tijdens natuurlijke dag via berekening:
 - Verrood mag uit als overdag lichtintensiteit boven de 50W komt.
 - NB in week 4 was verrood overdag al uitgezet, donkere week liet in 2-3 dagen krulling zien!

- Inzet verrood per maand:
 - In 36% uren FR uit
 - Besparing: 3kWh
- Vermoedelijk kan hetzelfde met groen/blauw gedaan worden



Berekening assimilatenbalans proef

- In kaart brengen van de assimilatenbalans
 - Source (gewasfotosynthese op 5 minutenbasis klimaat)
 - Sinks
 - Vrucht
 - Blad
 - Stengel
 - Wortel

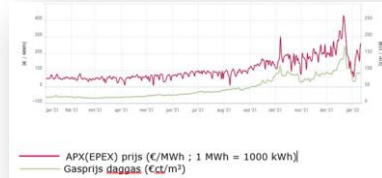


→Meerekenen geeft op weekbasis inzicht in overschot of tekort aan assimilaten

→Bij kloppende balans kun je andere situaties simuleren...

Uitdagingen voor de glastuinbouw

- Energie



- Plantgezondheid



- Arbeid

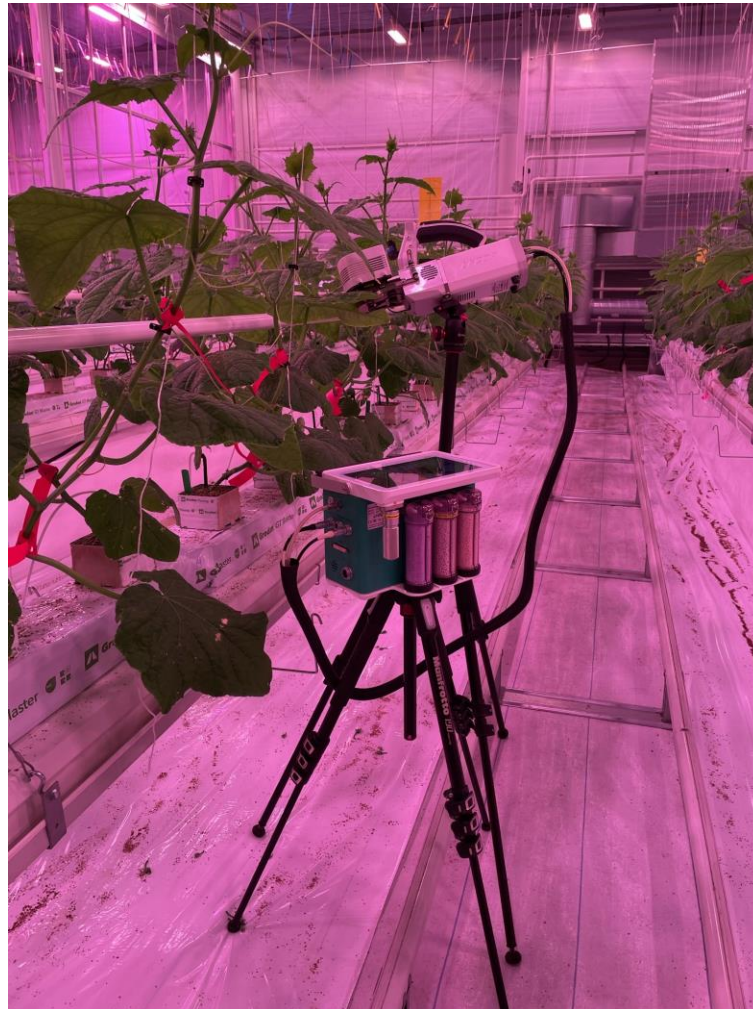


- Goede prijs

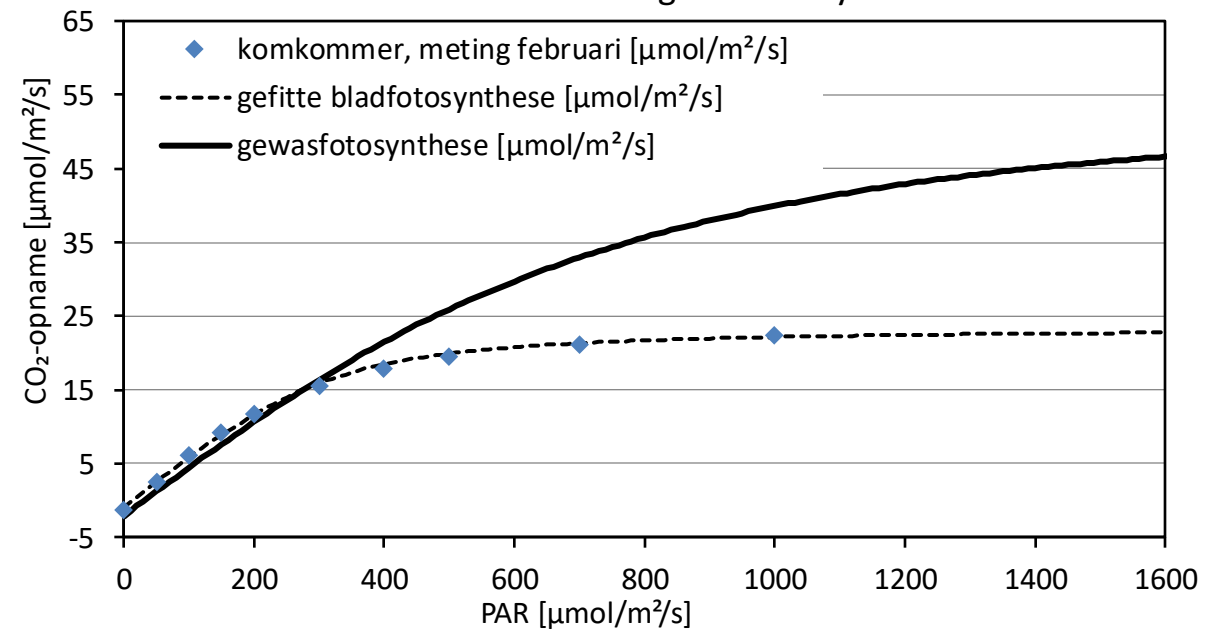


Source: Gewasfotosynthese

- Meting op bladniveau
- Berekening naar gewasniveau via 5-minutenwaarden PAR, CO₂ en Temperatuur

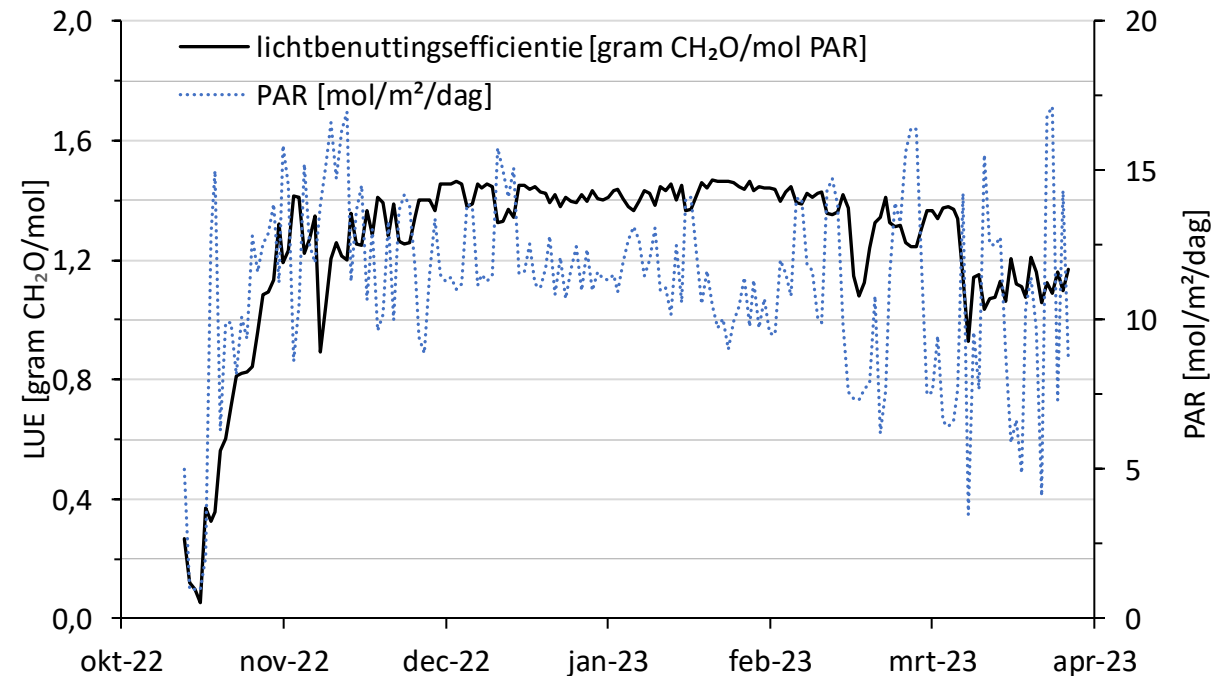
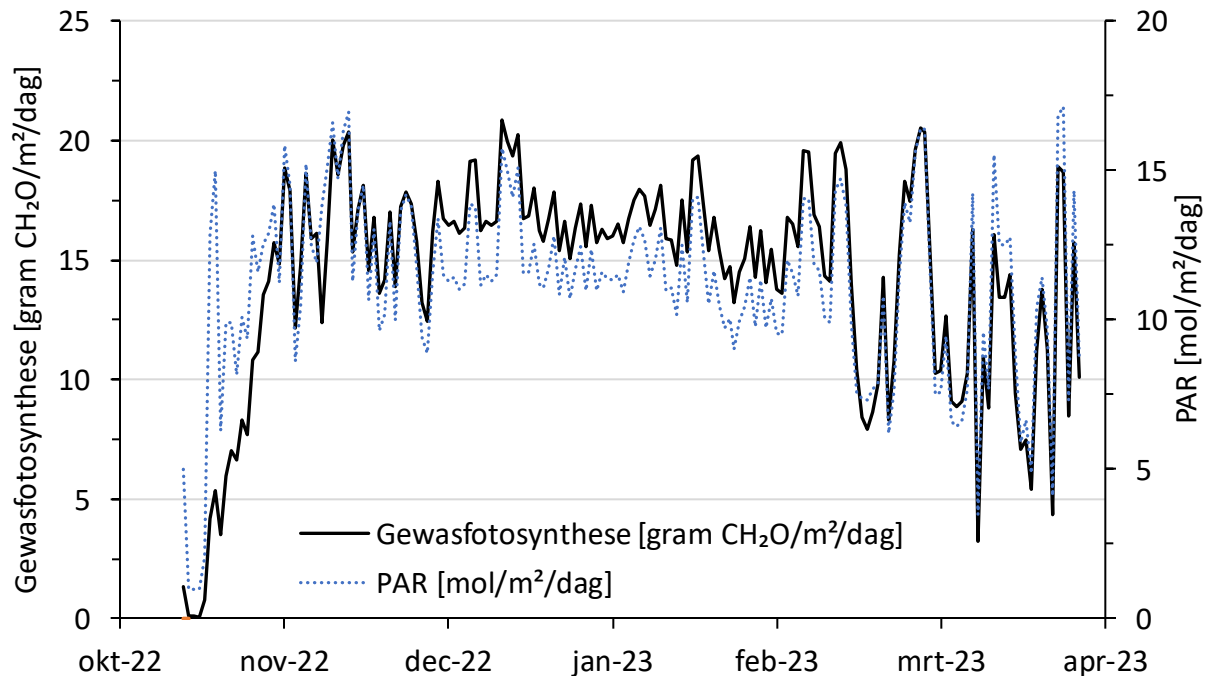


momentane blad- en gewasfotosynthese



Source: Gewasfotosynthese

- Gewasfotosynthese volgt PAR redelijk goed
 - Drie redenen lagere lichtbenutting:
 - Te lage LAI tijdens gewasopbouw
 - Twee keer dal in lichtbenutting door laag CO₂
 - Eind maart alleen natuurlijk licht tijdens een 'korte' dag: minder efficiënte verdeling PAR over de dag



Sinks

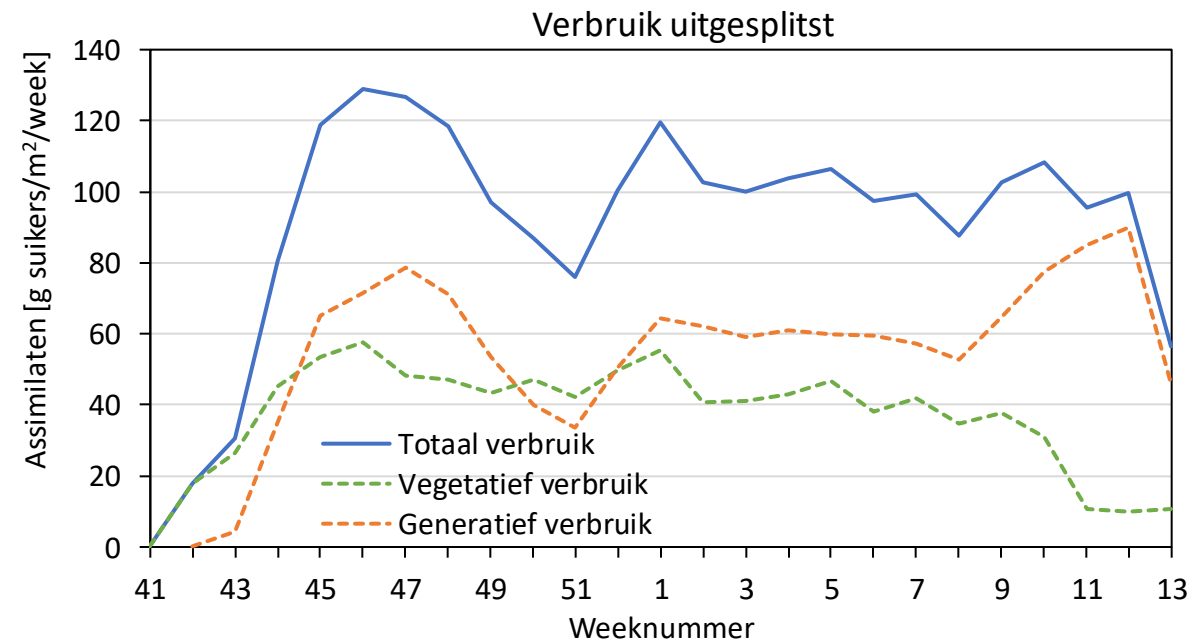
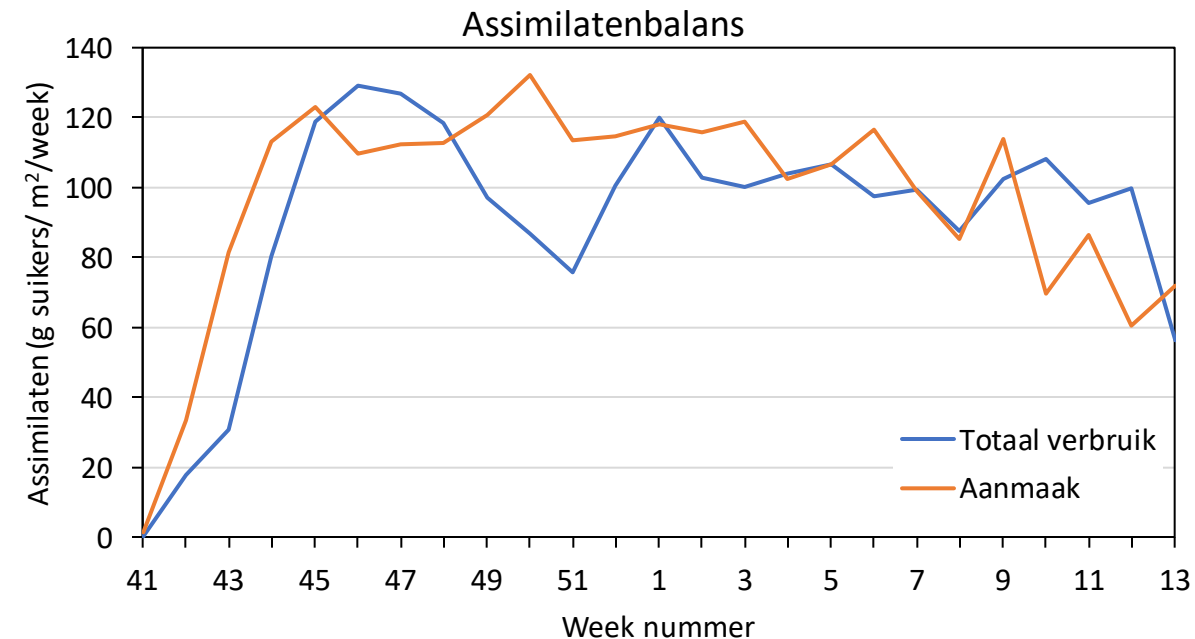
- Vrucht: via oogst en monsters %DS
- Blad: via bladafsplitsings-snelheid en monsters grammen DS/m²
- Stengel: vast aandeel van het bladgewicht
- Wortel: 15% van het blad+stengelgewicht

- Per week is van de vruchtoogst en bijgroei blad/stengel/wortel de assimilatenbehoefte berekend
 - Groei-ademhaling
 - Onderhoudsademhaling

- Achteraf is de berekening gecontroleerd via meting van:
 - Drogestof van de wekelijks geplukte oude bladeren
 - Drogestof van de stengel en bladeren bij eind oogst

Assimilatenbalans in grammen suikers per week

- Gemeten + berekend verbruik komt prima overeen met berekende aanmaak
 - Cumulatief 7% hogere berekende gewasfotosynthese
 - Tekort aan assimilaten in week 46-48 vervolgens overschot door de abortie
- Vegetatieve gewasbehoefte ongeveer 46 gram/week. In winter ~4.7 mol PAR/dag
 - Dit is nodig om een gezonde plant te kweken/houden
- Conclusie: bij een teelt van 12 mol/dag PAR is er ~7 mol over voor vruchten



Wat als...?

- Wat als we meer/minder licht tot onze beschikking hadden?
 - Vegetatieve gewasbehoefte blijft ~5 mol/PAR
 - Meer/minder licht: naar een hogere/lager plantbelasting per m²!
- Eisen proef:
 - 10m³ gas = 350MJ ≈ 100kWh elektra
 - 100kWh elektra = 360MJ ≈ 10 m³ gas
 - Totaal 710MJ

→ om een kas op temperatuur te brengen maakt het theoretisch niet uit of dit via buiswarmte, de zon, of via lampen gaat

 - NB specifiek warmte bij de vrucht brengen was belangrijk (groeibuis vs buisrail)
- Wat als je deze energie anders zou verdelen?

	Gas [m ³]	Elektra [kWh]
Proef	10	100
Minder licht	15	50
Meer licht	5	150

- Kan de ecologische footprint van komkommer verder omlaag?



Wat als je de energie anders zou verdelen?

- Wat levert dat op voor de winterweken?

	PROEF '22/'23 (100 kWh en 10m ³)	SIMULATIE minder licht (50kWh en 15m ³)	SIMULATIE meer licht (150kWh en 5m ³)
PAR [mol/m ² /dag]	10+2=12	5+2=7	15+2=17
Drempelwaarde vegetatief [mol/m ² /dag]	5	5	5
Over voor komkommers [mol/m ² /dag]	7	2	12
Theoretische productie [kg vers/week]	1.7 (werkelijk 1.5kg)	0.5	2.9
Elektra [kWh/week]	6	3	8.9
Verwarming [m ³ /week]	0.6	0.9	0.3
Energie in m ³ aardgas eq/week	1.2	1.2	1.2
kosten totaal in m ³ gas eq./kg komkommer	0.70	2.44	0.41

- Minder belichten verhoogt de energiebehoefte per komkommer!
 - Liever 1 kas leeg dan 2 kassen op halve kracht belichten!
- De ecologische footprint gaat omlaag bij intensiever belichten!
 - Intensiever belichten brengt ook “all electric” dichterbij

Take home

- Kunnen we zuinig komkommer produceren in de winter?
 - Ja!
- Hoe?
 - Zwaar isoleren door veel schermuren
 - Minimaal ventileren
 - Kan alleen maar met vochtbeheersing via slim systeem
 - Verdamping vormt nog verreweg grootste energiepost op de energiebalans van de kas
- Kan het zuiniger?
 - Waarschijnlijk wel!
- Hoe?
 - Zwaar isoleren door veel schermuren blijft de basis
 - Minimaal ventileren via actief ontvochtigingssysteem met terugwinning warmte
 - Verminderen verdamping, wat is het minimum?
 - Intensiever belichten en daardoor minder gas en meer elektra te gebruiken

Energiekosten per komkommer

	KAE winter 2022-2023 LED	Praktijk '2021 Led/SONT	Praktijk 2022-2023 LED (NL, FR,)
Stuks [Aantal/m ²]	93	156	171
Gewicht [Kg/m ²]	34	60	68
Elektraverbruik [kWh/m ²]	95	268	175
Elektra in aardgas eq. [m ³ /m ²]	9.7	27	17,8
Gasverbruik [m ³ /m ²]	10	26	23
Kosten Elektra [kWh/kg]	2.8	4.5	2,6
Kosten gas [m ³ /kg]	0.3	0.43	0,34
Energiekosten in m ³ gas eq./kg komkommer	0.6	0.9	0,6

Energiekosten per komkommer

- Deze basisbehoefte van 5 mol voor het kweken van een gezonde plant is de verklaring dat energie-efficiency per kg product snel daalt als er minder wordt belicht. Immers bij 17 mol PAR/dag is er relatief meer mol beschikbaar voor de vruchten dan bij 12 mol PAR/dag. De hoogste efficiency wordt dus behaald bij meer belichten en actieve ontvochtiging met warmteterugwinning.
- Met technische aanpassingen kan de praktijk nog lager uitkomen (actief ontvochtigen met warmte terugwinning).
- Productiepotentiaal: op gas veel kunnen besparen en op het gebied van elektra laten liggen.

Dank voor uw aandacht!



Govert Trouwborst

06 10 99 00 94

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

