

Belichting, verdamping en energieverbruik

Hoe energie-efficiënt de winter door?

Case study Komkommer

LichtEvent

27 maart 2024

Plant Lighting:

Govert Trouwborst

Alex Boonman

Sander Hogewoning

Botany B.V.

Frank Huijs (projectleider)

Maarten Vliex

Bram Rongen



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
- 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 komkommer winter '22/'23



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Inhoud

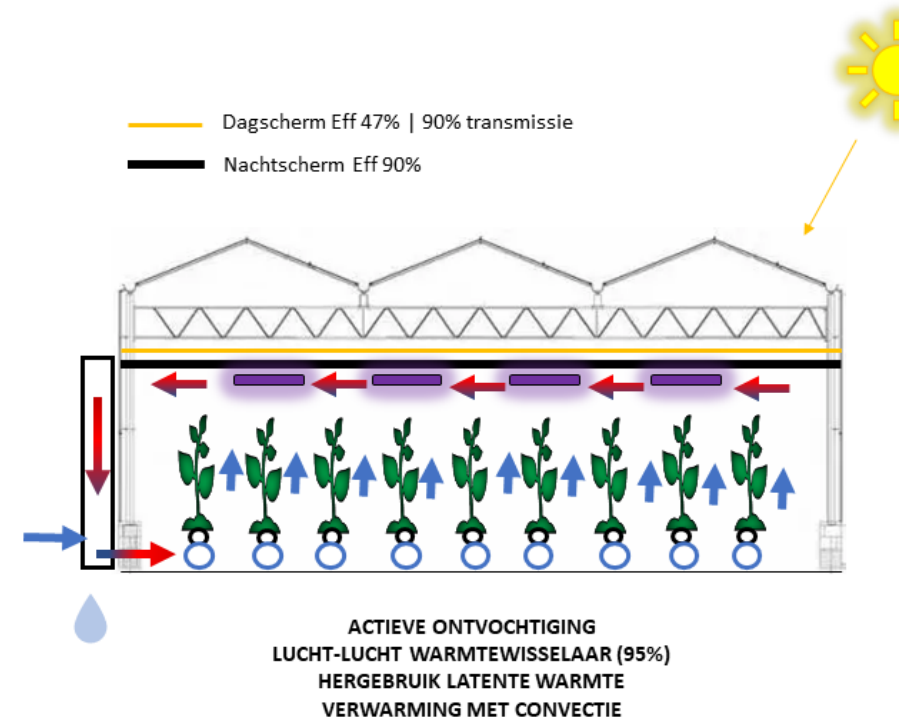
- Doelstelling proeven
- Opbouw
- Koers winter '22/'23
- Resultaten winter '22/'23
 - Energie
 - Productie
 - Energiekosten per kg komkommer
- Wat leert de assimilatenbalans?
 - Basisbehoefte PAR voor vegetatief gewas
- Waarom kun je met zo weinig m³ gas telen?
 - Energiebalans kas
- Koers en eerste resultaten winter '23/'24
- Take home

Doelstelling proeven

- Winter '22/'23: Belichte winterteelt komkommer met minimaal energieverbruik I
 - Eisen:
 - 10m^3 gas/ m^2 (gemiddeld zo'n $0.5\text{m}^3/\text{week}$)
 - $100\text{kWh}/\text{m}^2$ elektra
 - $95\text{kWh}/\text{m}^2$ belichting
 - $5\text{kWh}/\text{m}^2$ ontvochtigingssysteem (air&energy)
- Winter '23/'24: Belichte winterteelt komkommer met minimaal energieverbruik II
 - Eisen:
 - 6m^3 gas/ m^2 (gemiddeld zo'n $0.3\text{m}^3/\text{week}$)
 - $140\text{kWh}/\text{m}^2$ elektra
- 1m^3 gas = 9.8kWh dus $10\text{kWh} \approx 1\text{m}^3$ gasequivalenten
 - Totaal 20m^3 gasequivalenten

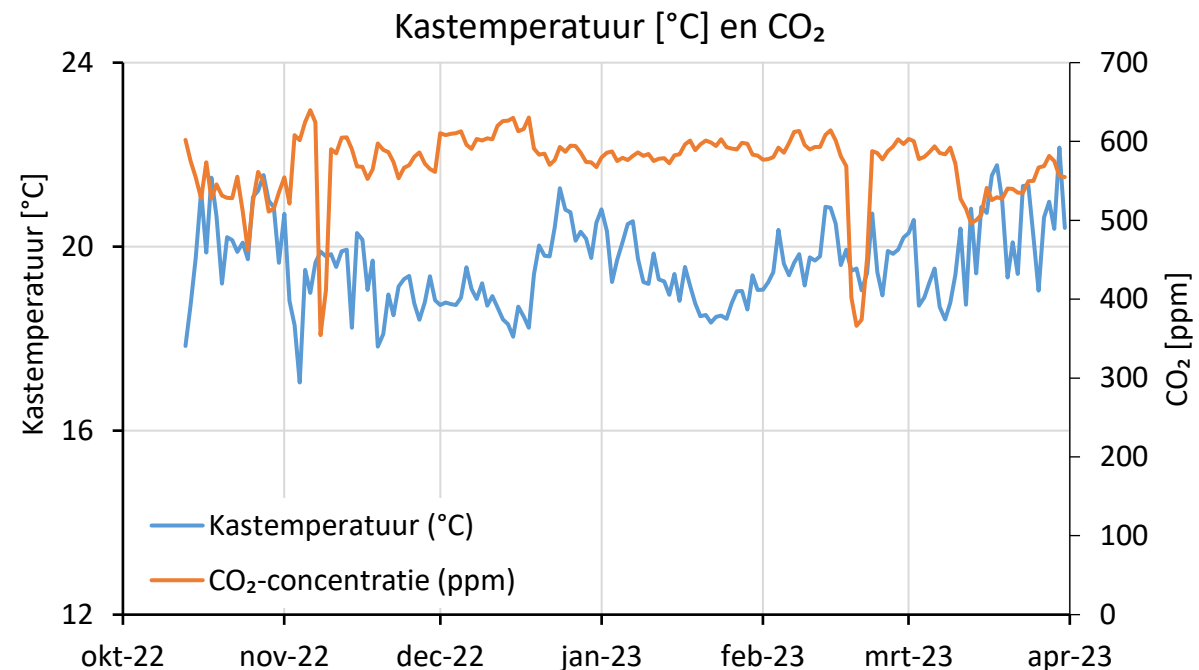
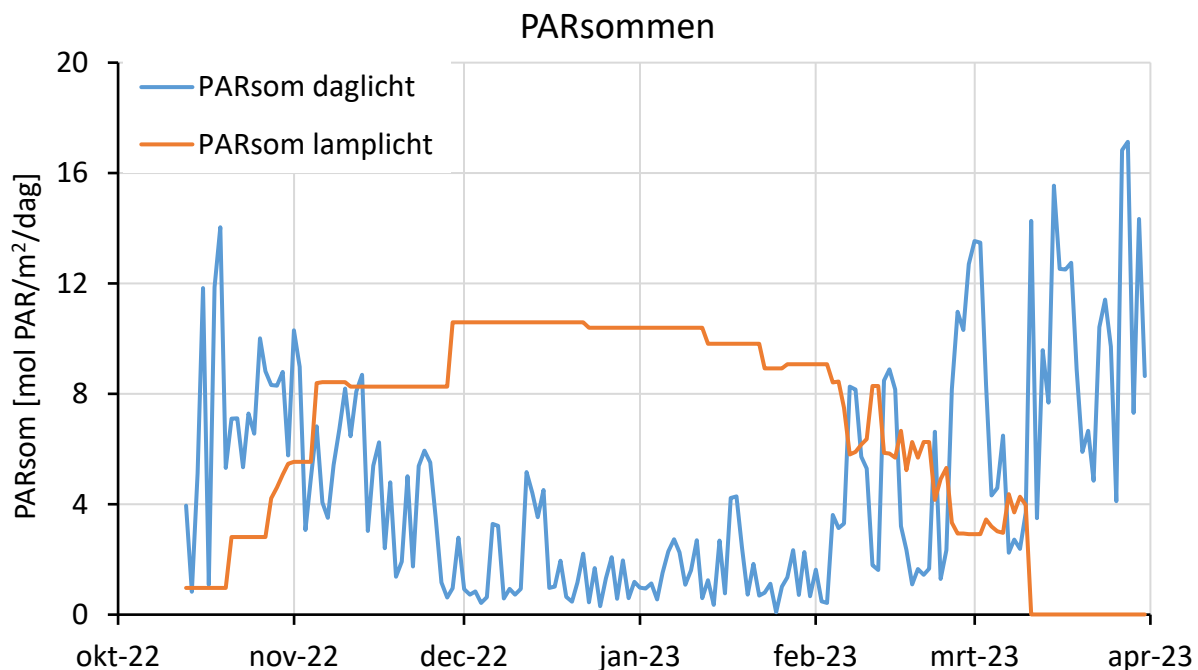
Opbouw van proef winter '22/'23

- 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)
- Hogedraadteelt komkommer met 3 rassen
 - Dee-Flexion (hoofdras)
 - Hi Power
 - 24-HW318
- Plantdichtheid: 1.7 pl/m²
- Belichting:
 - spectrum: R74%-G9%-B8%-Fr9%
- Kop eruit op 7 maart 2023



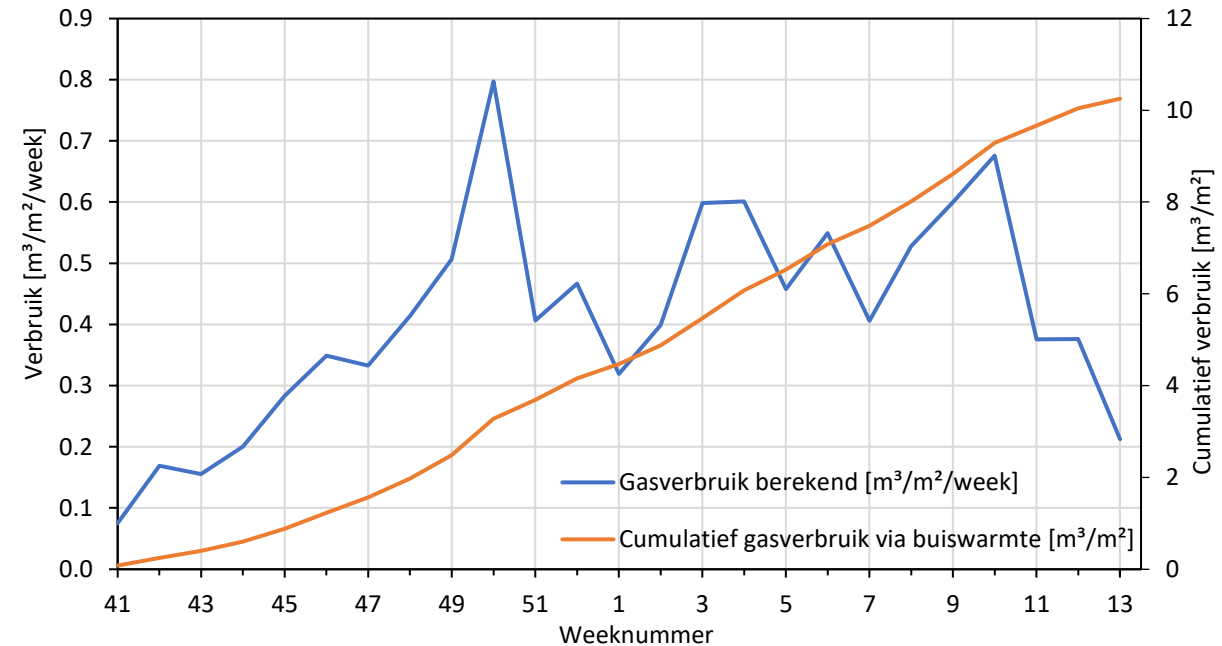
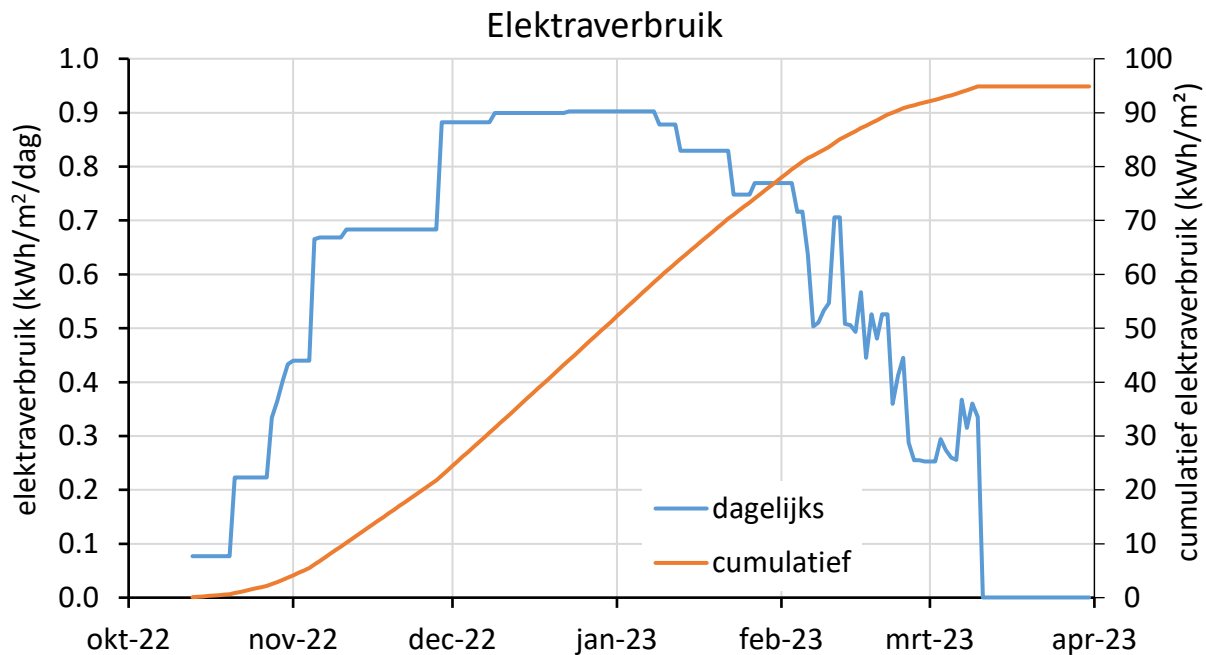
Koers proef winter '22/'23

- Op grond van de doelstelling is een belichtingskoers uitgezet
 - Uitgangspunten:
 - Maximale intensiteit: $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 10% verrood (PFD= $198 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
 - Maximaal 16 uur vol belichten (10.4 mol PAR uit lamplicht)
 - Sturen op PARsom rond 12 mol PAR/dag
- Relatief koel geteeld voor komkommer: 19.6°C in plaats van $\sim 21^\circ\text{C}$
 - Gewas had hele teelt een (te) 'sterke kop' (oordeel BCO)



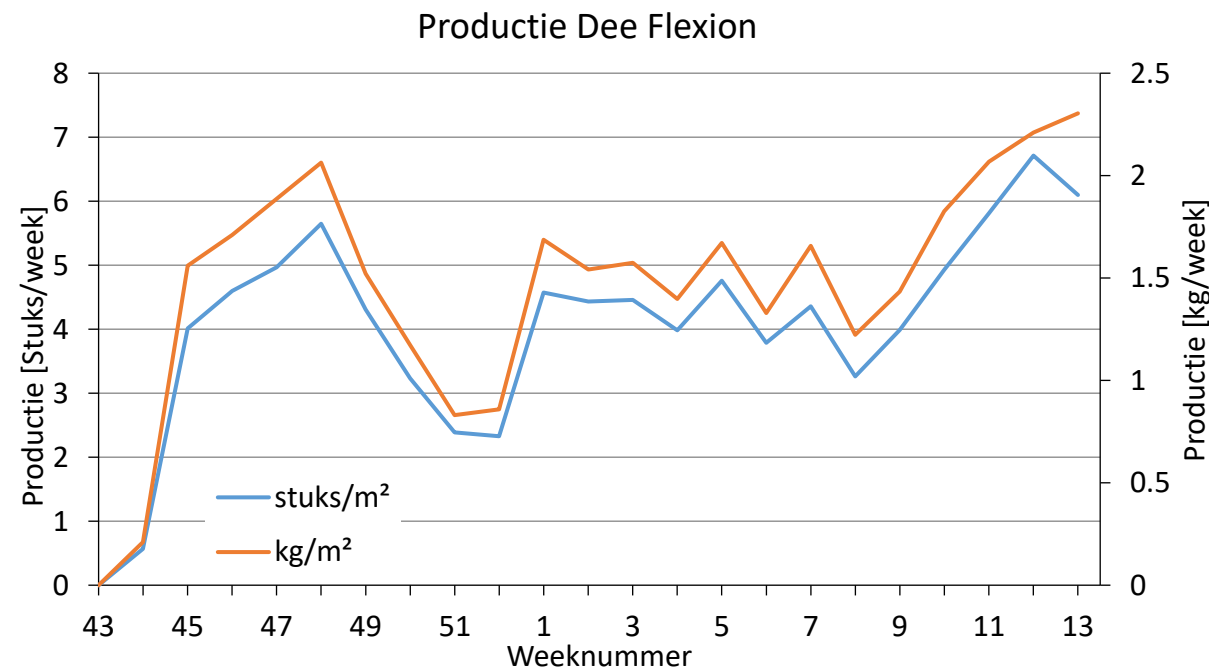
Resultaat proef winter '22/'23: energie

- Aan de eisen voldaan!
 - $10\text{m}^3\text{ gas/m}^2$
 - $100\text{kWh/m}^2\text{ elektra}$
 - $95\text{kWh/m}^2\text{ belichting}$
 - $5\text{kWh/m}^2\text{ ontvochtigingssysteem (air\&energy)}$



Resultaat proef winter '22/'23: productie

- Productie Dee Flexion:
 - Stuks/m²: 93
 - Kg/m²: 34
 - Gram vers / mol PAR: 18
- Lichtconversie niet hoog voor winter! 22 gram/mol zou zeker haalbaar moeten zijn, waarom?
 - Fors dal in productie rond de weken 50-52 door abortie
 - Misgelopen productie: 0.5-1.5kg
 - Te lage vruchttemperatuur?
 - Generatiever telen door hogere temperatuur?
 - Te hoog drogestofgehalte?
 - Proefkoers?
 - Te lage lichtsom
 - Eerste molen PAR zijn voor basisbehoefte gewas daarom te weinig licht over voor de vruchten?



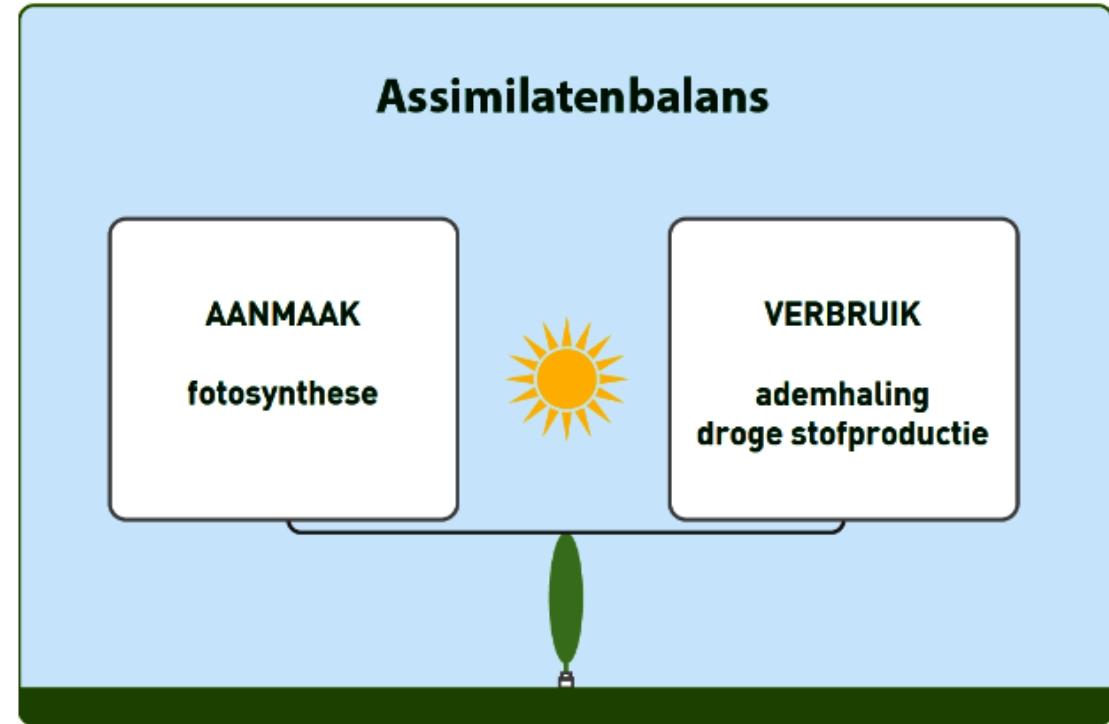
Kosten per kg komkommer

- Waar is de ecologische footprint lager?
 - In de proef ruim 30% minder energie per kg komkommer ten opzichte van eerder teeltjaar
 - Maar niet beter dan belichte winterteelt Noord-west Europa zelfde seizoen:
 - Want bij meer licht, hogere productie
 - Iets meer gas per kg
 - Iets minder kWh per kg
 - Waarom?
 - Heeft te maken assimilatenbalans en basisbehoefte PAR voor vegetatief gewas

	Proef (LED), Okt-mrt '22/'23	Praktijk '20/'21 (hybride), okt-april	Praktijk (LED) Okt-april '22/'23
Stuks [Aantal/m ²]	93	156	171
Gewicht [Kg/m ²]	34	60	68
Elektraverbruik [kWh/m ²]	95	268	175
Elektra in aardgaseq. [m ³ /m ²]	9.7	27	17.9
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

Assimilatenbalans proef

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

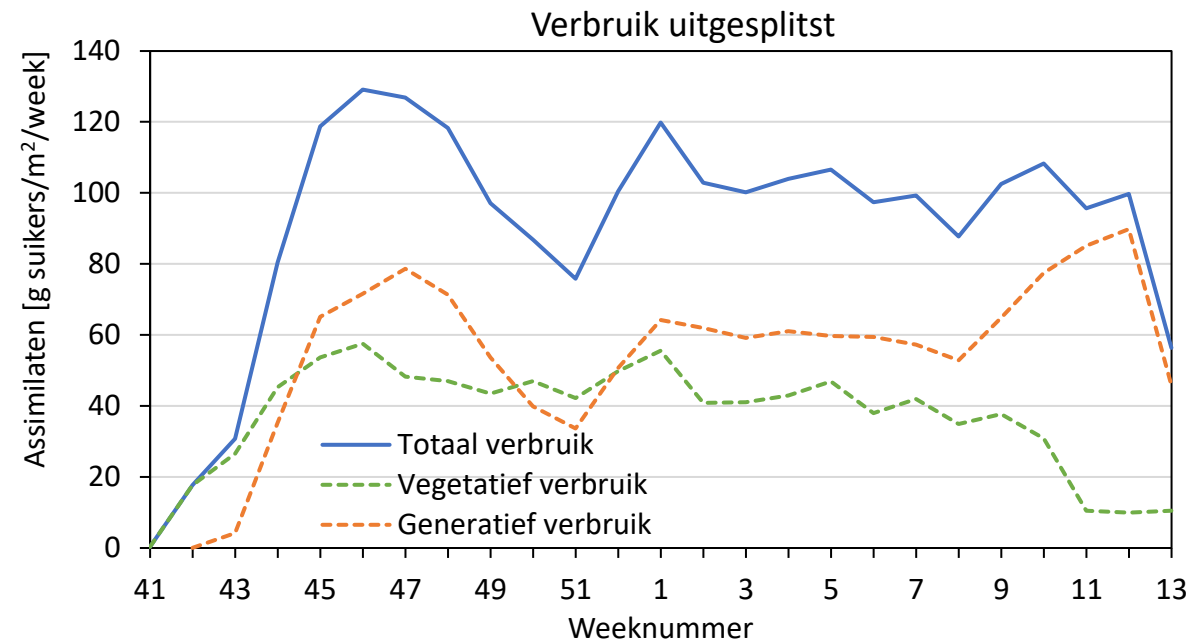
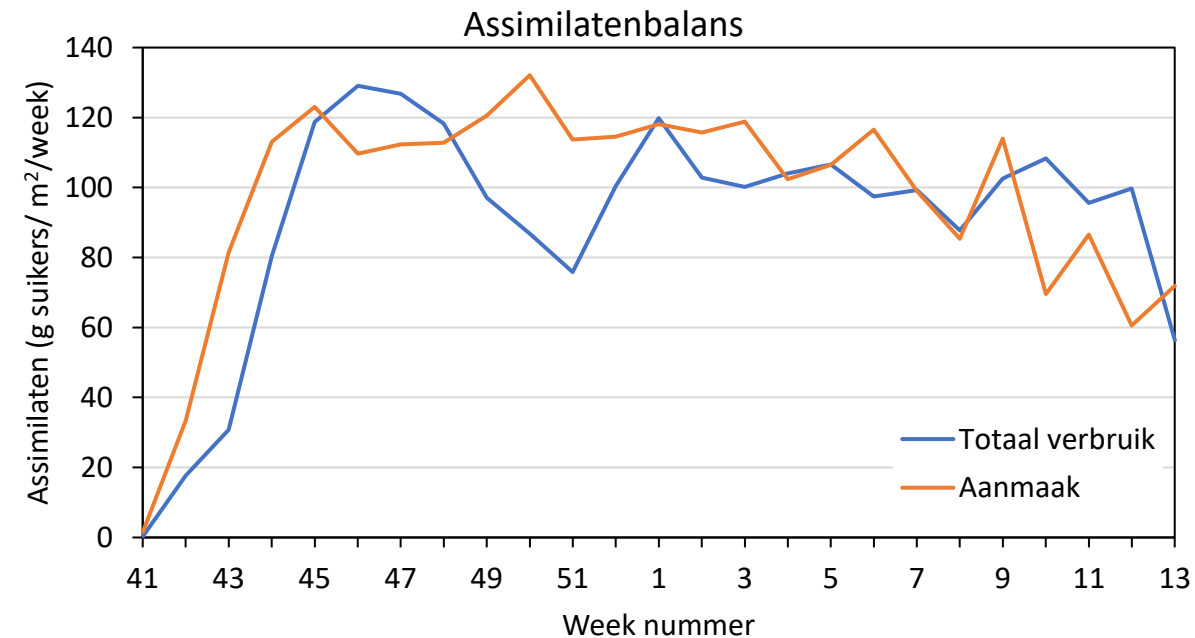


Bron: De basisprincipes van het nieuwe telen

- Meerekenen geeft op weekbasis inzicht in overschot of tekort aan assimilaten
- Bij kloppende balans kun je andere situaties simuleren...

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 = **basisbehoefte voor vegetatieve groei**
- Conclusie: bij een teelt van 12 mol/dag PAR is er ~7 mol over voor vruchten!
 - Bij een teelt van 18 mol/dag (*1.5!) is er ~13 mol (*1.9!) 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 gasequivalenten

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

 - Tenzij de verdamping extra wordt aangejaagd door meer licht
 - NB specifiek warmte bij de vrucht brengen leek ook 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
Basisbehoefte vegetatief gewas [mol/m ² /dag]	5	5	5
Over voor komkommerproductie [mol/m ² /dag]	7	2	12
Theoretische productie [kg vers/week]	1.7 (in proef 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 (in proef 0.8)	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

Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen?

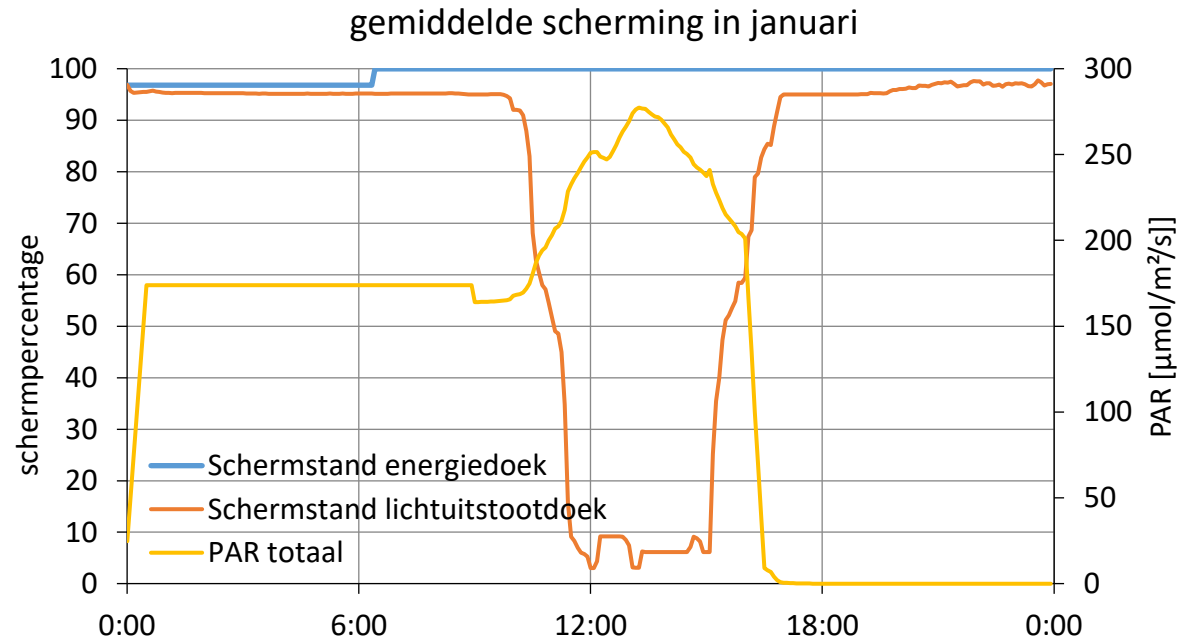
- Antwoord ligt in energiebalans kas:
 - Inkomende energie:
 - Zon: 2 mol/dag
 - Lampen: 10 mol/dag
 - Buiswarmte: (?)
 - Uitgaande energie:
 - warmteverliezen via kasdek (?)
 - Ventilatieverliezen (?)
 - Afvoeren vocht (verdamping)
 - Uitgewisselde lucht weer op temperatuur brengen
- Hoe besparen op uitgaande energie?
 - Kasisolatie door scherming
 - Efficiënt omgaan met benodigde ventilatie → 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
→ Zonder intensief schermen zouden we dus nooit de doelstelling kunnen halen!
- Hoeveel hebben we echt geschermd?

Hoeveel hebben we geschermd?

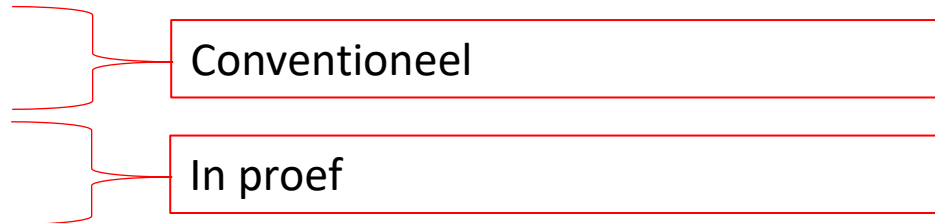
- VEEL! Overall gemiddelde 25 weken proef:
 - Energiedoek: 86%
 - Lichtuitstootdoek: 67%
- Maandgemiddelde januari:



- 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 (200ml/mol PAR watergift)
 - Omgerekend naar verdamping en PAR: ~140-160 ml/mol PAR (bij 30-20% drain)
- Wat is gebeurd in winterweken van de proef?
 - 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

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.

- Energie van zon+lampen (0.8m³) gaat min of meer op aan de verdamping zelf (0.7m³)
- Verdamping afluchten: ~0.4 m³ eq./week tekort per week! Conventioneel wordt dit opgelost door bijstoken
- Met Air&energysysteem is geen conventionele ventilatie nodig:
 - Opwarmen koude buitenlucht via de latente warmte van de kaslucht, >90% efficiency (opgave fabrikant)
 - Bespaart ~0.3 m³ eq./week → ~6 m³ voor winterseizoen
 - Kost: 5kWh hele periode, ~0.25kWh/week, ~0.03 m³ eq./week
- **Bij goede isolatie kasdek kost verdamping (+afluchting) het grootste deel aan energie**
 - Grenzen van benodigde verdamping opzoeken is dus interessant!

Samenvatting: Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen?

- Basis: kasisolatie door scherming:
 - Geschermd in '22/'23:
 - Energiedoek: 86% dicht
 - Lichtuitstootdoek: 67%
 - Energieverlies van ongeschermd rond $1.3\text{m}^3/\text{week}$ naar zwaar geschermd rond $0.5\text{m}^3/\text{week}$
- Door isolatie wordt verdamping en benodigde luchting voor vochtafvoer de grootste energiepost
 - Verdamping + klassiek ontvochtigen: rond $0.7+0.4=1.1\text{m}^3/\text{week}$
 - Verdamping + air&energysysteem (>90% efficiënt in warmteterugwinning): rond $0.7 + 0.1=0.8\text{m}^3/\text{week}$
 - Rond 6m^3 bespaard in de proef

Air&energy-systeem



Koers proef winter '23/'24

- 23/'24: Belichte winterteelt komkommerteelt met minimaal energieverbruik II
 - Eisen (zelfde hoeveelheid energie, maar anders verdeeld):
 - $6\text{m}^3 \text{ gas/m}^2$ (gemiddeld zo'n $0.3\text{m}^3/\text{week}$)
 - 140kWh/m^2 elektra → 16 mol/dag in plaats van 12 mol/dag
- Hypothese 1: door meer belichting een...
 - hogere gram/mol (van 18 naar 22?)
 - verlaging in $\text{m}^3 \text{ gas eq./kg}$ komkommer
- Hypothese 2: door verdamping te beperken gaan lampen bijdragen aan kasopwarming:
 - 1 mol PAR LED bevat energie voor $\sim 125\text{ml}$ verdamping ($3.3\mu\text{mol/J}$ & 2450J/g)
 - Als het lukt om naar de 100ml/mol te gaan dan gaan lampen significant bijdragen aan kasopwarming
 - Hoeveel?

Hoe kan lampwarmte bijdragen aan kasopwarming?

- Situatie '22/'23 versus '23/'24 voor winterweek:
 - Hogere absolute verdamping per m², lagere relatieve verdamping per mol PAR

	Winter '22/'23	Winter '23/'24
PAR [mol/dag]	12	16
Theoretisch mogelijk vanuit lampenergie [3.3μmol/J]	125	125
Verdamping per mol PAR [ml/mol]	120	100 (gewenst)
Verdamping per dag [l/m ²]	1.4	1.6 (gewenst)
Besparing door lampwarmte/week [m ³ gaseq]	0.04	0.2
Benodigde warmte-input [m ³ gaseq]	0.5	0.5
Warmte via buis	0.5-0.04=0.5	0.5-0.2=0.3

- Spannende vraag: lukt telen bij 100ml/mol PAR zonder problemen?
 - Hoe lager de lichtsom, hoe moeilijker!
 - Als het niet lukt, dan zou proef meer m³ gaan kosten dan gepland

Voorlopige resultaten '23/'24

	Proef '22/'23 Okt-mrt	Proef '23/'24 Okt-mrt
Stuks [Aantal/m ²]	93	130?
Gewicht [Kg/m ²]	34	47?
Elektraverbruik [kWh/m ²]	95	
Elektra in aardgaseq. [m ³ /m ²]	9.7	
Gasverbruik [m ³ /m ²]	10	
Kosten Elektra [kWh/kg]	2.8	
Kosten gas [m ³ /kg]	0.3	
Energiekosten in m ³ gas eq./kg komkommer	0.6	0.5?

- Proef loopt nog enkele dagen en we stevenen af op ruim 13kg meerproductie
 - Nog steeds fors minder dan de prognose → 'zoektocht' juiste temperatuur en verdamping
 - Een tijd lang 'te koud' geteeld → te lage bladafplitsing → te weinig vruchten → verlaging gram/mol
 - Na de jaarwisseling gelukt om verdamping goed te beperken: Warmer met minder energie-input
 - Verhoging gram/mol

Take home: Belichting, verdamping en energieverbruik

- Kunnen we zuinig komkommer produceren in de winter?
 - Ja, zuinig per m², maar niet persé zuiniger per kg product (seizoen '22/'23)!
 - Beide zijn nodig om high-tech oplossingen terug te verdienen!
- Hoe zuinig zijn?
 - Zwaar isoleren door veel schermuren
 - Minimaal ventileren
 - Kan alleen maar met vochtbeheersing via slim systeem, liefst met vorm van warmteterugwinning
 - Verdamping vormt nog verreweg grootste energiepost op de energiebalans van de kas
- Hoe kan het energie-efficiënter?
 - Productie per m² omhoog door intensiever belichten: verhoogde gram/mol en lagere m³/kg product
 - Verminderen (relatieve) verdamping, wat is het minimum?
 - Meer elektra en daardoor minder gas gebruiken!
- Het 'spel' van besparen op verdamping en energie wordt makkelijker bij intensiever belichten

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

