

Komkommer jaarrond in balans met minimaal energieverbruik



ENZA ZADEN



mertens



Inhoud

- Algemene doelstellingen winterteelten
 - Rode draad
- Teelt 2022 – 2023
 - Proefopzet
 - Belangrijkste bevindingen
- Waarom kun je met zo weinig kuubs telen? (Plant Lighting)
- Teelt 2023 – 2024
 - Proefopzet
 - Belangrijkste bevindingen
- Teelt 2024 – 2025
 - Proefopzet en doelstellingen
- Conclusies



Algemene doelstelling winterteelten

- Fossielvrije toekomst in 2040
- Heffing per gebruikte kuub gas
- Energiebesparing per kilogram product noodzakelijk om glastuinbouw rendabel te houden
 - **Minimaliseren van energieverbruik**
 - Efficiënt gebruik van de benodigde energie
 - Duurzame invulling van deze energie
- **Rode draad minimaliseren energieverbruik:**
 - Stap 1: Schermen
 - Stap 2: Schermen + actieve ontvochtiging
 - Stap 3: Schermen + actieve ontvochtiging + optimaliseren van verdamping



Proefopzet winter '22 – '23

| | |
|----------------|---|
| Genetica: | Dee Flexion (Enza Zaden; Hoofdras) 24-HW-318 (Rijk Zwaan) Hi Power (BASF) |
| Dichtheid: | 1,7 planten/m ² |
| Plantdatum: | 16 oktober 2022 (week 42) |
| Strategie: | 12 mol per dag |
| Schermen: | Lichtuitstootschem + Energieschem |
| Ontvochtiging: | Air & Energy systeem |



Doel: Energiebesparing van >50% realiseren ten opzichte van de praktijk

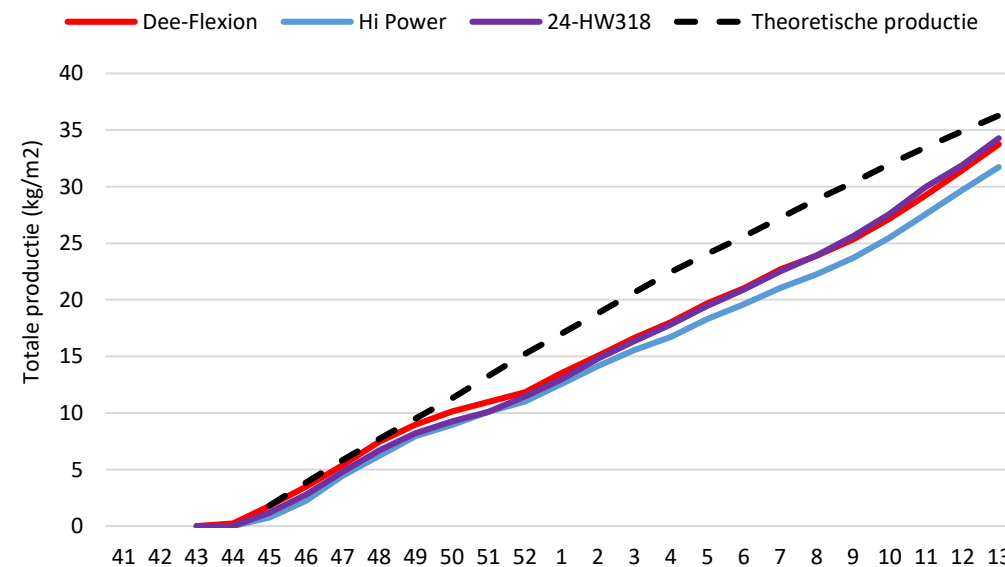
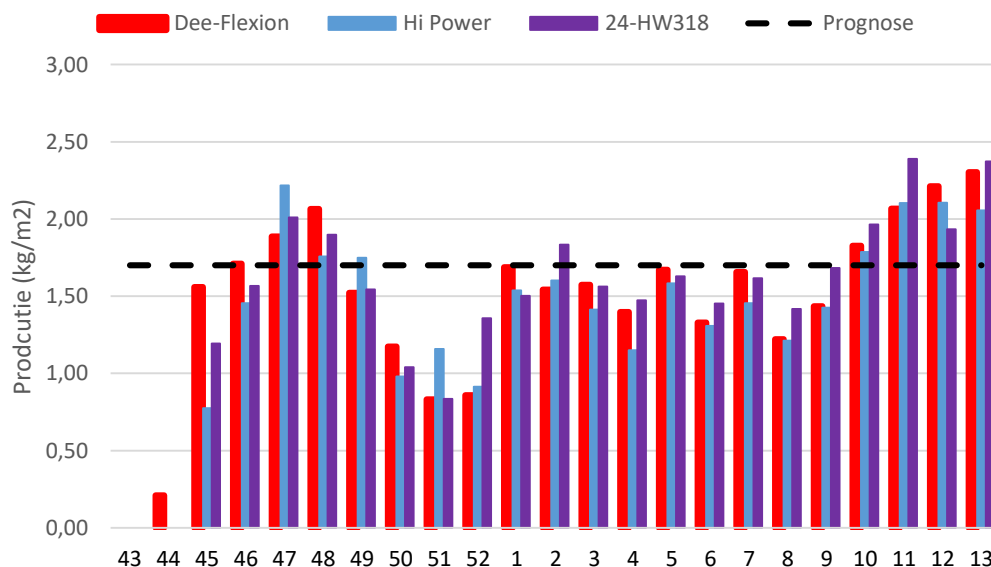
- Electra → 100 kWh (10 m³ aardgasequivalenten)
- Gas → 10 m³

Belangrijkste bevindingen '22 – '23

- Energiedoelstellingen behaald!
- Intensief schermen en actieve ontvochtiging zijn noodzakelijk voor het behalen van deze energiedoelstelling

Maar....

- Productiecijfers blijven achter op prognose
- Veel abortie in week 50 – week 52
- Laag blijvende lichtefficiëntie (17,9 g/mol over de gehele teelt)
- Hoog drogestof gehalte van de vruchten (3,4%)



Belangrijkste bevindingen '22 – '23

- Productie moet omhoog!
- Plan vervolg teelt '23 – '24
 - Assimilatenbalans: boven de 5 mol per dag worden er pas komkommers gemaakt
 - Optimalere energieverdeling: meer elektra voor licht en minder gas voor buiswarmte
- Minder gas voor buiswarmte beschikbaar, dus andere manier voor opwarmen van kas noodzakelijk
- Energiebalans kas: verdamping kost veel energie. Als de verdamping verlaagd kan worden, draagt de lampwarmte bij aan de opwarming van de kas

| | 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 (58%) | 2 (29%) | 12(71%) |
| 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 aardgaseq./week | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Kosten totaal in m³ aardgaseq./kg komkommer | 0.6 | 2.44 | 0.41 |

| Inkomend | Uitgaand conventioneel luchten | | Uitgaand met Air&Energy-systeem | |
|--|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 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: | 0.40m 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 |

Waarom kun je met zo weinig kuubs telen?

Komkommer met minimaal energieverbruik II

13 november 2024

Plant Lighting:
Govert Trouwborst
Martijn Wiekens

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



Botany[®]

**Plant
Lighting**

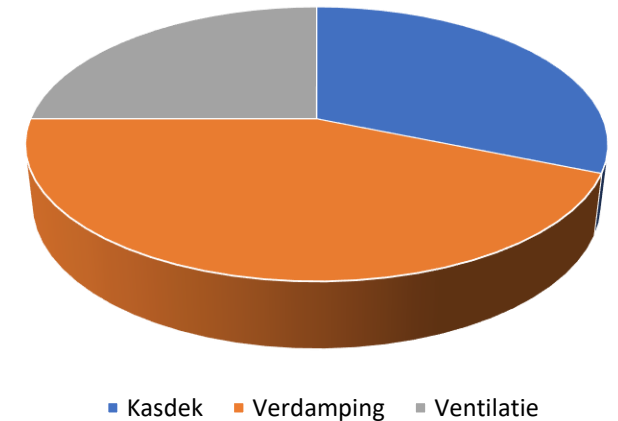
Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen? [1]

- Antwoord ligt in energiebalans kas:
 - Inkomende energie:
 - Zonne-energie
 - Lamp-energie
 - Buiswarmte
 - Uitgaande energie:
 - Warmteverliezen via kasdek
 - Verdamping
 - Ventilatie
 - Afvoeren vocht (verdamping)
 - Uitgewisselde lucht weer op temperatuur brengen
- Hoe kunnen de energieverliezen worden beperkt?

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

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

energieverdeling kas met twee schermen
in aardgaseq. m³/m²/week



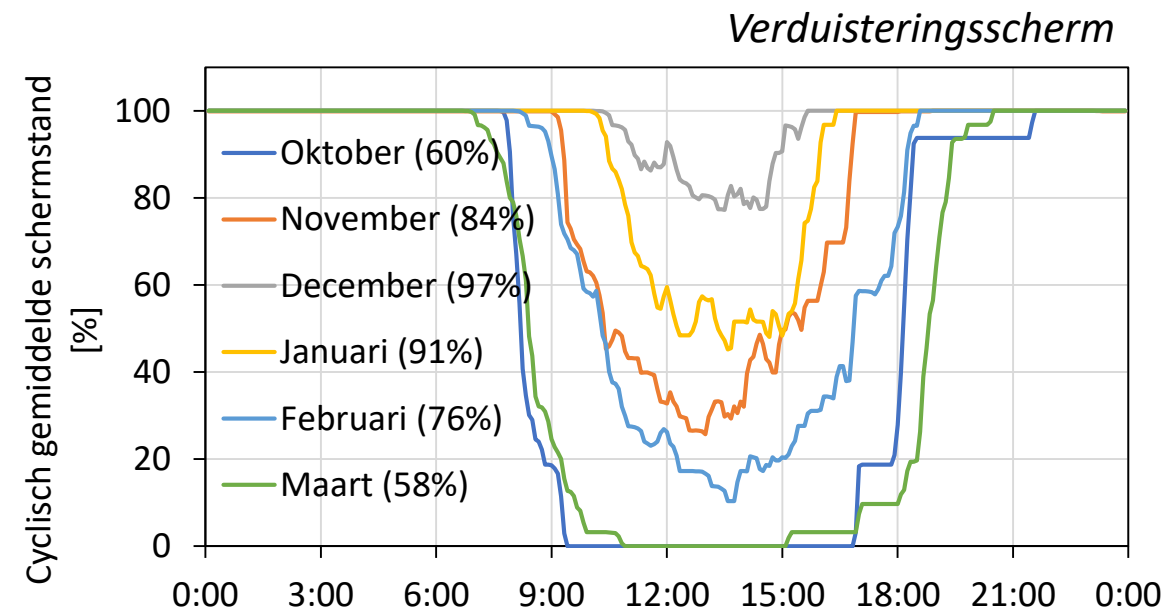
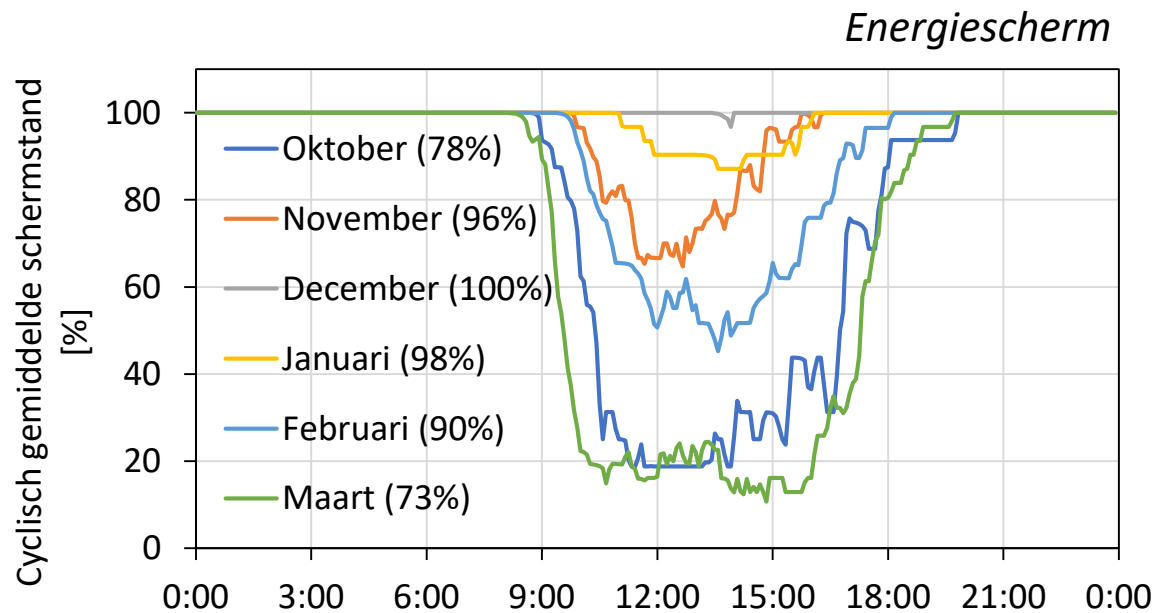
- Bij goede isolatie kasdek kost verdamping (+afluchting) het grootste deel aan energie
 - Grenzen van benodigde verdamping opzoeken is dus interessant!

Isolatie door scherming, hoeveel geschermd?

- VEEL! Overall gemiddelde proeven:

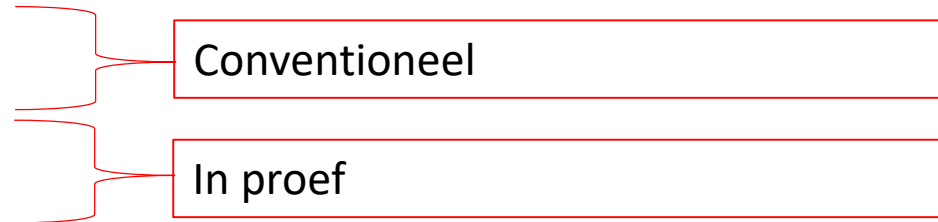
| | '22/'23 | '23/'24 |
|-----------------------|---------|---------|
| Energiedoek | 86% | 90% |
| Verduisteringsschermb | 67% | 79% |

- Hoeveel bespaart dat?
 - Ruwweg van $1.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ naar $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (met dank aan Fjo de Ridder)



Actief ontvochtigen [1]: Hoeveel verdamping was er in '22/'23?

- Oude vuistregel: 3 mL/J watergift voor gesloten gewassen zoals tomaat, komkommer, roos
 - Geldig voor zonlicht en SON-T (200 mL/mol PAR watergift)
 - Omgerekend naar verdamping en PAR: ~140-160 mL/mol PAR (bij 20-30% drain)
- Wat is gebeurd in winterweken van '22/'23?
 - 12 mol PAR/dag en 1.4 L/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 PAR/m², 1440 mL/m² verdamping (aannahme: geen condensatie aan kasdek)
 - Energie verdamping: 1440 x 2450 J/g = 3.5 MJ/d → 0.7 m³/week
 - Afvoeren verdamping via luchtig kost ~2MJ/dag → 0.4 m³/week
 - Totaal: 1.1 m³/week
- Door Air&energy-systeem daalt de 0.4m³/week voor vochtafvoer naar ~0.1 m³/week
 - Een vorm van actieve ontvochtiging dus zeer zinvol voor energiebesparing!

Energiebalans kas winterweek '22/'23 met actief ontvochtigen

- Posten in aardgas-equivalenten/week:

| Inkomend | Uitgaand met Air&Energy |
|--|--|
| Zon 2 mol: 0.2m ³ eq. /m ² /week | Kasdek: 0.5 m ³ eq. /m ² /week |
| Lamp 10 mol: 0.6m ³ eq. /m ² /week | Verdamping: 0.70 m ³ eq. /m ² /week |
| Buis: 0.5m ³ eq. /m ² /week* | Air&energy: 0.03+0.04 m ³ eq. /m ² /week |
| Totaal: 1.3m³ eq. /m²/week | Totaal: 1.3m³ eq./m²/week |

- Bij goede isolatie kasdek kost verdamping (+afluchting) het grootste deel aan energie
 - Grenzen van benodigde verdamping opzoeken is dus interessant!
- Energie van zon+lampen (0.8 m³/m²/week) gaat op aan verdamping + ontvochtiging (0.8 m³/m²/week)
 - Kunnen we 'sturen' in evenwicht lichtenergie en verdamping?

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

- Energiebesparing 1.0: kasisolatie door scherming:
 - Energieverlies van ongeschermd rond $1.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ naar zwaar geschermd rond $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$
- Energiebesparing 2.0: Actief ontvochtigen:
 - Verdamping + klassiek ontvochtigen: rond $0.7 + 0.4 = 1.1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$
 - Verdamping + Air & Energy-systeem: rond $0.7 + 0.1 = 0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$
- En hoe gaan we dan naar energiebesparing 3.0?

Besparen 3.0 [1]

- Energiestroom straling en verdamping min of meer in evenwicht in '22/'23
 - Absolute verdamping: 1.4 L/m²/dag
 - Relatieve verdamping: 1.4 L/12 mol PAR → ~120 mL/mol PAR opname (NB nachtverdamping zit hierbij in)
- Maar hoeveel energie bevat een mol LED-licht?
 - Spectrum: R74%-G9%-B8%-Fr9% → 3.3 μmol/J (2022)
 - 1 mol PAR bevat de energie om 124 mL te verdampen: 124 mL/mol PAR
- Conclusie:
 - Bij relatieve verdamping rond de 120 mL/mol dragen de lampen netto niet bij aan kasopwarming
 - Alle lampenergie gaat dan op aan verdamping
 - Dan werkt méér 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')
 - Grens nog onbekend
- 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 efficiënter de lampen, hoe minder energie er over blijft...

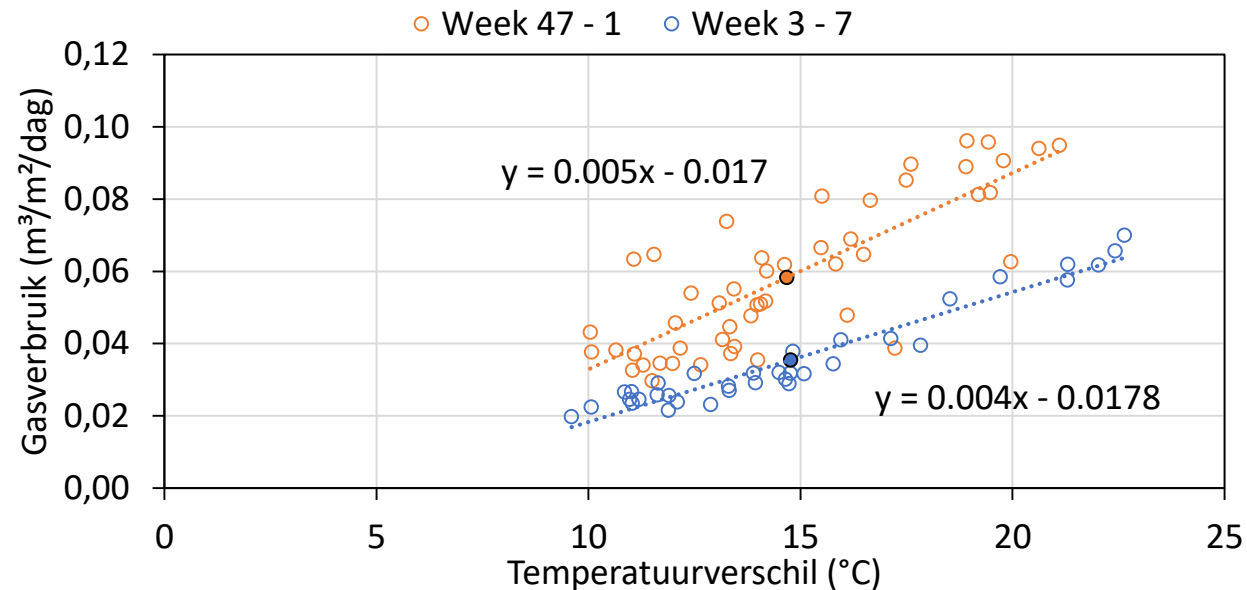
Hoeveel verdamping was er ('23/'24)?

- Verdamping = wateropname minus oogst
 - Meetmethodes:
 - Gift minus drain = opname (NB verdamping = opname minus oogst; ~300g/dag)
 - Weeggoot mat = opname
 - Air&Energy = ontvochtiging (zonder condensatie aan kasdek gelijk aan verdamping)
- 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?

| Opname en verdamping | week 47-1 | week 3-7 |
|--|-----------|----------|
| Gift minus drain [L/m ² /dag] | 1.56 | 1.61 |
| Weeggoot [L/m ² /dag] | 1.78 | 1.84 |
| Air & Energy [L/m ² /dag] | 1.57 | 1.44 |
| PAR [mol/m ² /dag] | 15.2 | 17.7 |
| Weeggoot/PAR [ml/mol PAR] | 118 | 105 |
| Verdamping/PAR [ml/mol PAR] | 98 | 86 |

Verlaging gasverbruik door verdamping&lampwarmte

- In week 2 de 'sleutel' gevonden tot verdere besparing gas
 - Verlaging debiet air&energysysteem van 30 naar 12 m³/uur (capaciteit)
 - Relatief lagere verdamping (13 mL/mol PAR minder, ~0.1 m³ aardgaseq/m²/week)
 - Minder koude lucht van buiten (~0.01 m³ aardgaseq/m²/week)



| | Gas [m ³ /m ² /week] | Tkas-Tbuiten [°C] | PAR |
|-----------|--|-------------------|------|
| Week 47-1 | 0.41 | 14.7 | 15.2 |
| Week 3-7 | 0.25 | 14.8 | 17.7 |

Take home: Waarom kun je met zo weinig kuubs gas telen?

- Besparen 1.0: Isoleren door scherming
 - Besparen 2.0: Actief ontvochtigen met vorm van warmteterugwinning
 - Besparen 3.0: Verminderen relatieve verdamping waardoor meer lampwarmte over blijft voor kasverwarming
-
- Het 'spel' van besparen op verdamping en energie wordt makkelijker bij intensiever belichten
 - Stijging absolute verdamping en daling relatieve verdamping



Proefopzet '23 – '24

Genetica: Dee Flexion (Enza Zaden; Hoofdras)
34-HW-322 (Rijk Zwaan)
Up Trace (BASF)

Dichtheid: 2,1 planten/m²

Plantdatum: 10 oktober 2023 (week 42)

Strategie: 16 mol per dag

Schermen: Lichtuitstootscherm + Energiescherm

Ontvochtiging: Air & Energy systeem

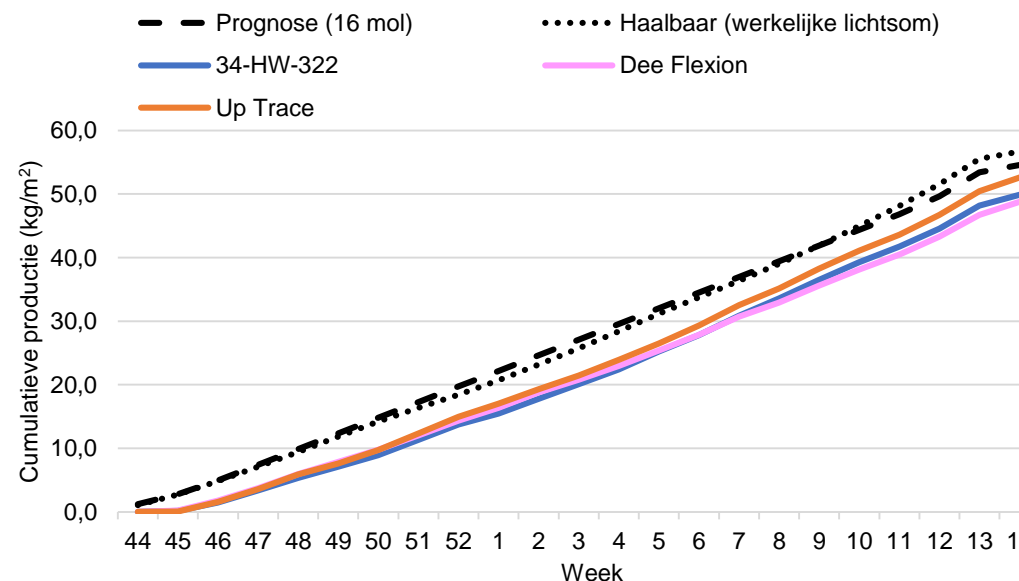
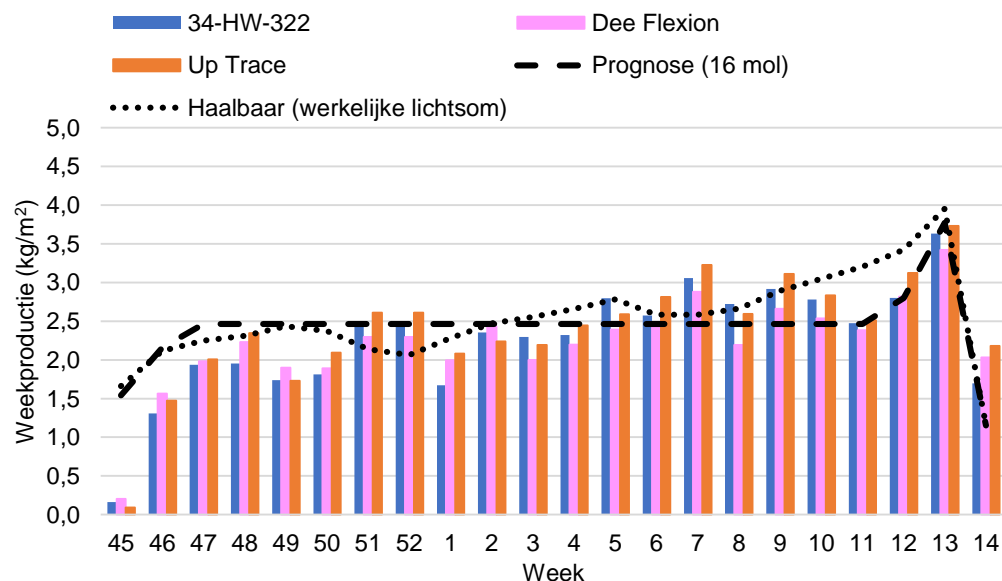
Doel: minimaal energieverbruik optimaliseren + optimaliseren van de verdamping

- Elektra → 140 kWh (14 m³ aardgasequivalenten)
- Gas → 6 m³



Belangrijkste bevindingen '23 – '24

- 43% meer productie t.o.v. '22 – '23
- Blijven nog altijd achter op de prognose
 - Laag blijvende bladafplitsing aan begin van de teelt door lage etmalen
 - Te voorzichtig geweest met vruchtdunning → Aanmaak van assimilaten gedurende de gehele teelt hoger dan het verbruik
 - Lichte efficiëntie ook dit jaar laag: 18 g/mol over de gehele teelt met hoog drogestof percentage van de vruchten (3,4%)



Belangrijkste bevindingen

- Energiedoelstellingen nagenoeg gerealiseerd
 - Totale energie-input iets hoger dan '22 – '23 maar energiebesparing t.o.v. praktijk > 50%
- Efficiëntieslag gemaakt ten opzichte van de teelt van '22 – '23
 - 43% meer productie
 - 19% minder energiekosten in m³ gas eq/kg komkommer

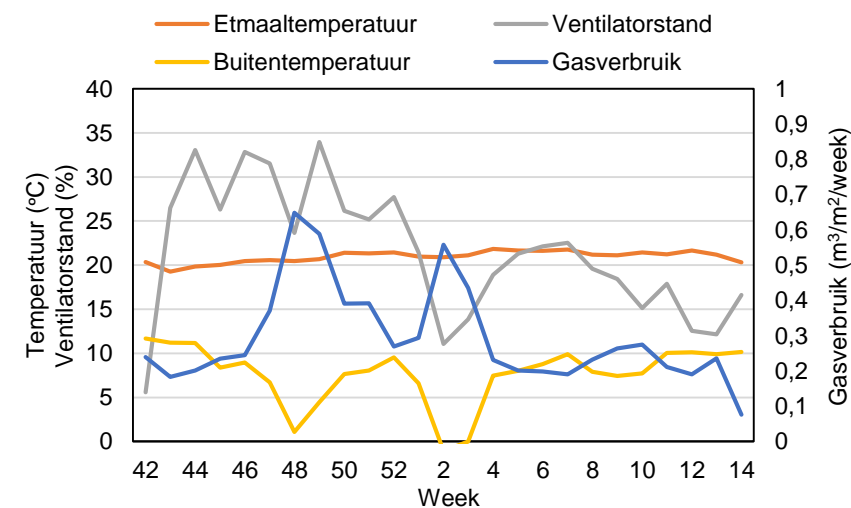
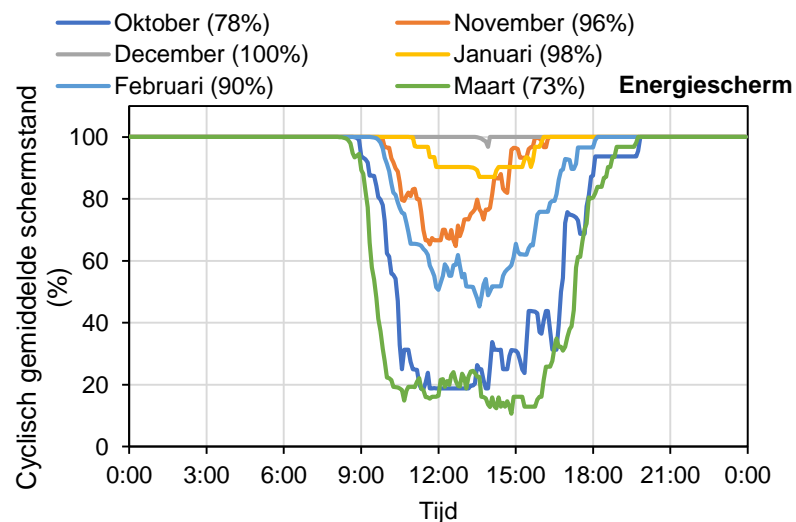
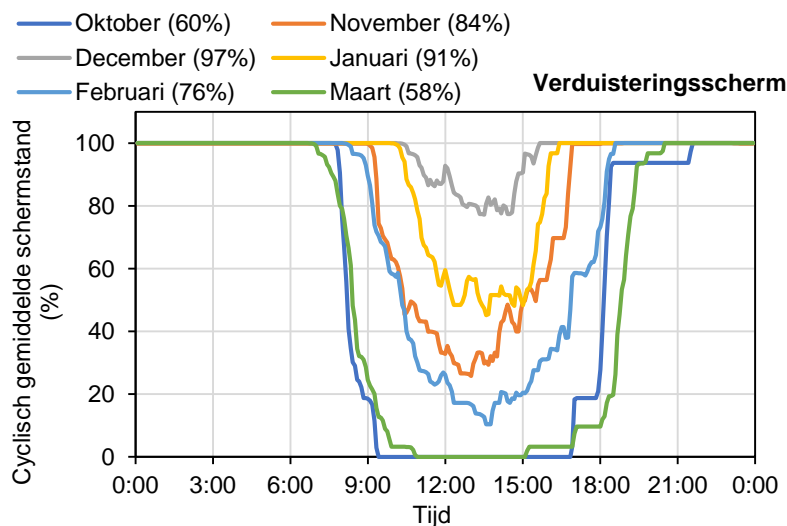
| Parameter | Proef '22-'23 | Proef '23-'24 | Praktijk |
|--|---------------|---------------|-------------|
| Stuks (aantal/m ²) | 93 | 132,5 | - |
| Gewicht (kg/m ²) | 34 | 48,8 | 60 |
| Lichtbenuttingsefficiëntie (g/mol PAR) | 17,9 | 18,0 | - |
| Elektraverbruik (kWh/m ²) | 95 | 151 | - |
| Elektra in aardgasequivalenten (m ³ /m ²) | 9,7 | 15,4 | - |
| Gasverbruik (m ³ /m ²) | 10 | 7,2 | - |
| Totale energie input (m ³ /m ²) | 19,7 | 22,6 | 53 |
| Kosten elektra (kWh/kg) | 2,8 | 3,1 | - |
| Kosten gas (m ³ /kg) | 0,3 | 0,1 | - |
| Energiekosten in m³ gaseq./kg komkommer | 0,6 | 0,47 | 0,88 |

* Praktijkcijfers zijn gebaseerd op een hybride teelt van 2022

Belangrijkste bevindingen

- Hoe hebben we de energiedoelstellingen zo dicht benaderd?
 - Intensief schermen
 - Actief sturen op verdamping door aanpassingen debiet Air&Energy systeem → vanaf week 2 ventilatorstand verlaagd
 - Door verlagen debiet wordt minder koude buitenlucht de kas ingeblazen
 - En wordt de verdamping gereduceerd waardoor lampwarmte kan bijdragen aan het opwarmen van de kas

| | Week 47 - 1 | Week 3 - 7 |
|--|-------------|------------|
| PAR (mol/m ² /dag) | 15,2 | 17,7 |
| Opname Weeggoet/PAR (mL/mol PAR) | 118 | 105 |
| Verdamping/mol PAR (door vruchten ~20 mL/mol PAR opslag) | 98 | 86 |





Belangrijkste bevindingen

Maar, ondanks hogere productie en forse energiebesparing:

- Lichtefficiëntie nog altijd laag door hoog drogestof percentage van de vruchten (3,4%)
- **Dus er valt zeker nog winst te behalen!**
- Huidige teelt 2024 – 2025 Verdere optimalisatie elektra/gas
 - Focus op verhogen lichtefficiëntie door verlagen drogestof gehalte vruchten
 - Te weinig vruchten aangelegd in vorige teelt (11% te weinig om de beoogde lichtbenuttingefficiëntie van 22 g/mol te kunnen realiseren)
 - Voeding → variëren in EC
 - Verticale temperatuurverdeling

Huidige teelt '24 – '25

| | |
|-------------|--|
| Genetica: | Dee Flexion |
| Dichtheid: | 2,3 planten/m ² |
| Plantdatum: | 17 oktober 2024 (week 42) |
| Schermen: | Nieuw energiescherm + dubbel scherm op één dradenbed |
| Strategie: | 20 mol per dag, etmaal temperatuur van 23 °C |
| Variabelen: | 2 voedingssystemen 3 groeibuizen, verticaal verdeeld over het gewas |



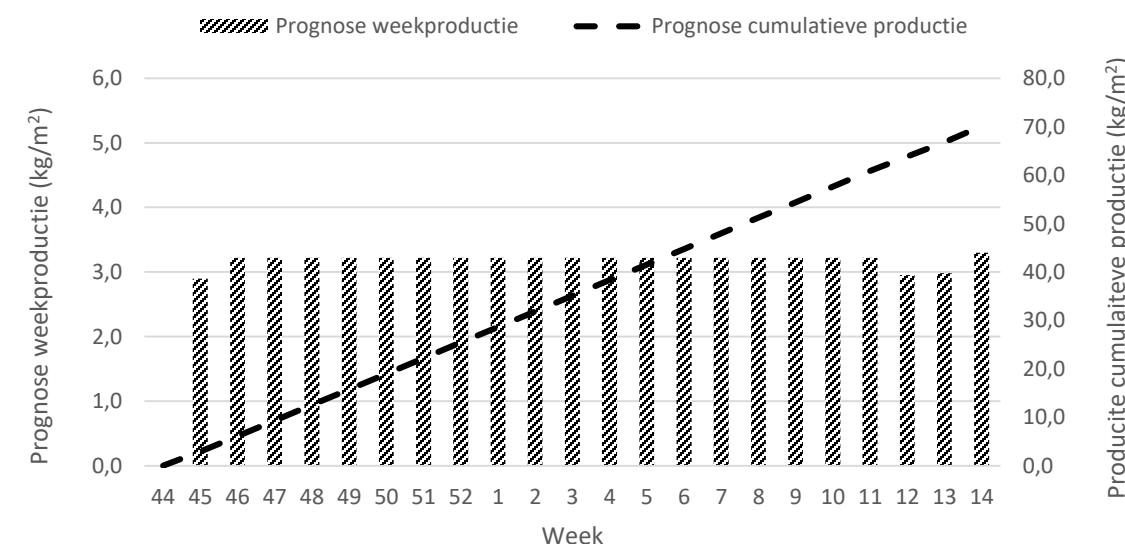
Doel: minimaal energieverbruik optimaliseren en verhogen van de lichtefficiëntie door verlaging drogestofgehalte van de vruchten

- Electra → 180 kWh (18 m³)
- Gas → 4 m³

Huidige teelt '24 – '25

- Nog verdere reductie in m³ gas eq/kg komkommer mogelijk door verdere optimalisatie energieverdeling
- Focus op voldoende sinks voor verlagen drogestofgehalte vruchten en verhogen lichtbenuttingsefficiëntie
 - Prognose opgesteld op basis van:
 - Lichtbenuttingsefficiëntie van 22 gram/mol over de gehele teelt
 - Lichtsom van 20 mol/m²/dag
 - Vruchtgewicht van 370 gram
- M.b.v. aangepaste EC sturen op lager drogestofgehalte van de vruchten

| Parameter | Proef '22-'23 | Proef '23-'24 | Hypothese bij optimalisatie energieverdeling | Hypothese bij optimalisatie energieverdeling + hogere LBE |
|--|---------------|---------------|--|---|
| Stuks (aantal/m ²) | 93 | 132,5 | 153,8 | 189,0 |
| Gewicht (kg/m ²) | 34 | 48,8 | 53,9 | 70,0 |
| Lichtbenuttingsefficiëntie (g/mol PAR) | 17,9 | 18,0 | 18,0 | 22 |
| Elektraverbruik (kWh/m ²) | 95 | 151 | 180 | 180 |
| Elektra in aardgasequivalenten (m ³ /m ²) | 9,7 | 15,4 | 18,4 | 18,4 |
| Gasverbruik (m ³ /m ²) | 10 | 7,2 | 4 | 4 |
| Totale energie input (m ³ /m ²) | 19,7 | 22,6 | 22,4 | 22,4 |
| Kosten elektra (kWh/kg) | 2,8 | 3,1 | 3,3 | 3,3 |
| Kosten gas (m ³ /kg) | 0,3 | 0,1 | 0,07 | 0,07 |
| Energiekosten in m³ gaseq./kg komkommer | 0,6 | 0,47 | 0,42 | 0,32 |



Huidige teelt '24 – '25

- Verticale temperatuurverdeling door gebruik meerdere groeibuizen
 - Strategie 1: Wk 42 - 02: Enkele buis strategie: alleen ter hoogte van uitgroeïende vrucht
 - Strategie 2: Wk 03 - 08: Dubbele buis strategie: buis in de kop + buis bij uitgroeïende vrucht
 - Strategie 3: Wk 09 - 14: Driedubbele buis strategie: alle 3 de groeibuizen aan

Mocht tijdens strategie 1 blijken dat het drogestofpercentage al is teruggebracht, worden de overige buisstrategieën niet toegepast met het oog op het realiseren van de energiedoelstellingen

Conclusies

- Energiereductie van meer dan 50% ten opzichte van de praktijk is mogelijk op voorwaarde dat:
 - Intensief geschermd wordt met dubbel scherm
 - Actieve ontvochtiging wordt toegepast
- Aanpassen verhouding elektra / gas
 - Minder gas beschikbaar voor buiswarmte
 - Optimaliseren van verdamping
 - Lampwarmte als inzet voor opwarming van kas
- Laatste puntjes op de i door:
 - Verhogen van de lichtbenuttingsefficiëntie door verlaging van het drogestof gehalte van de vruchten



Take home

- Maximaal energie besparen in de winterdoor is alleen mogelijk door:
 - Maximaal schermen
 - Actieve ontvochtiging
 - Optimaliseren van de verdamping



Energlik '24 – '25

Genetica: 2 rassen Dee Flexion en Up Trace

Dichtheid: 2,3 planten/m²

Plantdatum: 24 oktober (week 43)

Strategie: 20 mol per dag

2 belichtingsstrategieën (standaard en energiezuinig belichten)

Nieuwe schermen (23 ZB Nachtscherm + 24 AB Dagscherm

Warmtepomp i.c.m. actieve ontvochtiging → volledig gasloos



Doel: Aantonen dat het mogelijk is om een klimaat neutrale, gasloze glastuinbouw rendabel te maken met de focus op techniek

Fossielvrije toekomst

- Teelten in afdeling 71 (KaE): dicht bij de praktijk, op korte termijn implementeerbaar
 - Antwoorden op plantfysiologische vraagstukken (teelt)
 - Met deze methode is het niet mogelijk om volledig gasloos te telen
- Teelt in afdeling 76 (Energlik): vooruitblik naar de toekomst
 - Mogelijke technische oplossing voor een volledig gasloze teelt
 - Staat momenteel nog veraf van de praktijk
 - Eerste inzichten worden verkregen in de teelt van 2024 - 2025



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



keep knowledge growing

Dank voor jullie aandacht, vragen?