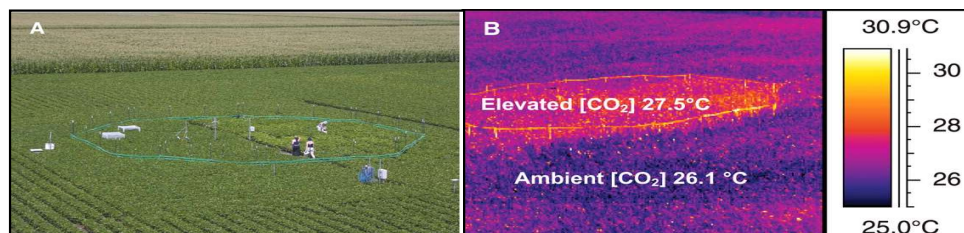


Energiekevent 2024

Workshop 8: Efficiënt CO₂ doseren, hoe doe je dat?



Sander Hogewoning (Plant Lighting)

Jeroen Boonekamp (B-Mex)

Paul de Veld (Delphy)



1

Inhoud

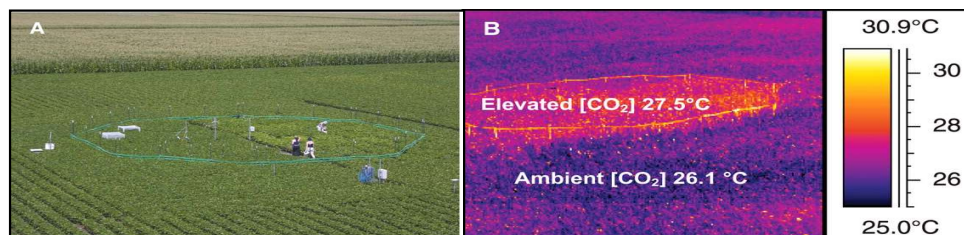
- Sander Hogewoning van Plant Lighting:
 - Het belang van CO₂ voor groei
 - Ventilatievoud, licht en het rendement van CO₂-dosering
 - RTR of RTA?
- Jeroen Boonekamp van B-Mex
 - Optimalisatie-tool voor in de kas
- Paul de Veld van Delphy
 - Ervaringen in chrysantenproef



2

Energiekevent 2024

Workshop 8: Efficiënt CO₂ doseren, hoe doe je dat?



Sander Hogewoning

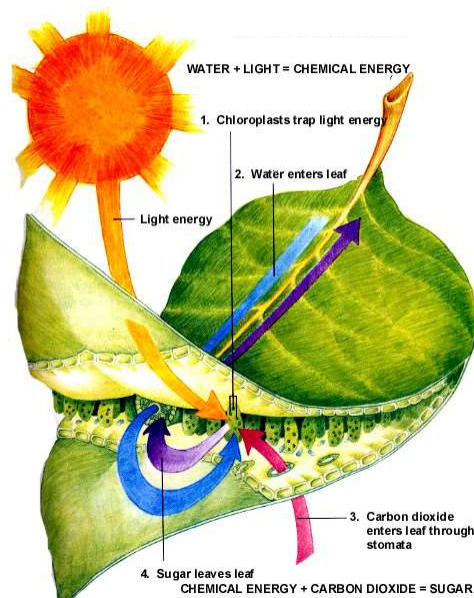
met dank aan: Govert Trouwborst & Laurens van Oostrom

Plant Lighting B.V.



3

Fotosynthese: de basis van gewasgroei!



Primaire bouwstoffen:

- CO₂ & water

Energiebron:

- licht

Fotosynthese:



Regeling snelheid proces:

- temperatuur

Secundaire bouwstoffen:

- nutriënten (omzetting suikers in eiwitten etc.)

Huidmondjes fungeren als poortwachter voor CO₂

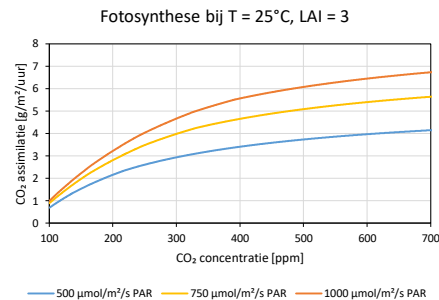


4

Effect CO₂ op de gewasfotosynthese

- Licht (PAR) en CO₂ hebben beiden een groot effect op de gewasfotosynthese.
- Inmiddels 419 ppm CO₂ in de buitenlucht.
- Fotosynthese van meeste gewassen rond 700 tot 900 ppm CO₂-verzadigd.
- Voorbeeld komkommer:
 - 700 ppm geeft 21% hogere fotosynthese ten opzichte van 400 ppm
 - 300 ppm geeft 16% verlies ten opzichte van 400 ppm. Niet doseren kan je veel kosten!

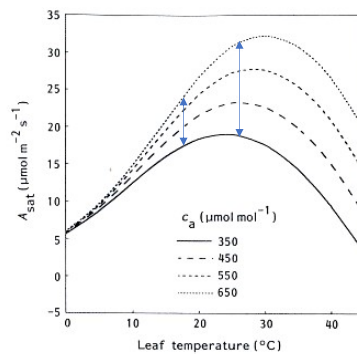
PAR = 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$		
CO ₂ concentratie (ppm)	CO ₂ assimilatie ($\text{g}/\text{m}^2/\text{uur}$)	Verandering t.o.v. 400 ppm (%)
300	4.67	-16.2%
350	5.18	-7.0%
380	5.43	-2.6%
400	5.57	0%
450	5.85	+5.0%
500	6.08	+9.2%
600	6.45	+15.9%
700	6.74	+21.0%



5

CO₂ heeft groter effect bij hogere temperaturen

- Want:
 - CO₂ lost dan slechter op in water, waardoor CO₂-niveau in blad eerder sub-optimaal is
 - Snellere 'lichtreactie' bij hogere temperaturen → CO₂ in blad gaat in hoger tempo op
- Hoe hoger de bladtemperatuur, hoe belangrijker een hoog CO₂-niveau
- Spagaat zomer: zonnig, warm, maar laag CO₂ in de kas...



Fotosynthese bij lichtverzadiging bij verschillende bladtemperaturen en CO₂-concentraties (Long et al., 1996).



6

De CO₂ feitenkennis-quiz...

- Reageert gewasfotosynthese op de kg's CO₂ dosering of de ppm-concentratie in de kas?
 - CO₂ concentratie. Wat het raam uitgaat, daar heeft de plant niets aan.
- Kun je overdag lager gaan in CO₂ dosering als je 's nachts een hoger niveau geeft?
 - Lager CO₂ verlaagt direct de assimilatie. In donker doet CO₂ niets. Dus nee.
- Kun je CO₂ licht-afhankelijk toepassen?
 - CO₂ verhoogt lichtbenutting voor assimilatie bij zowel lage als hoge lichtintensiteiten. Dat CO₂ bij laag licht geen zin zou hebben is kul. Wel is er meer assimilatie bij hoog licht en dus ook meer extra assimilatie door CO₂-dosering.
- Wat kost het aan productie als je twee dagen per week geen CO₂ doseert?
 - Dan heb je 2/7=29% van de tijd een lagere gewasproductiviteit.
- Kun je in de zomer veel lagere waarden CO₂ aanhouden als de luchtramen open staan?
 - Ja dat kan. Maar het kost wel productie.
 - Vraag is hoeveel CO₂ je erin moet stoppen om de concentratie met x ppm te verhogen, wat dat kost, en wat het aan meerproductie oplevert. Daar kan je aan rekenen!



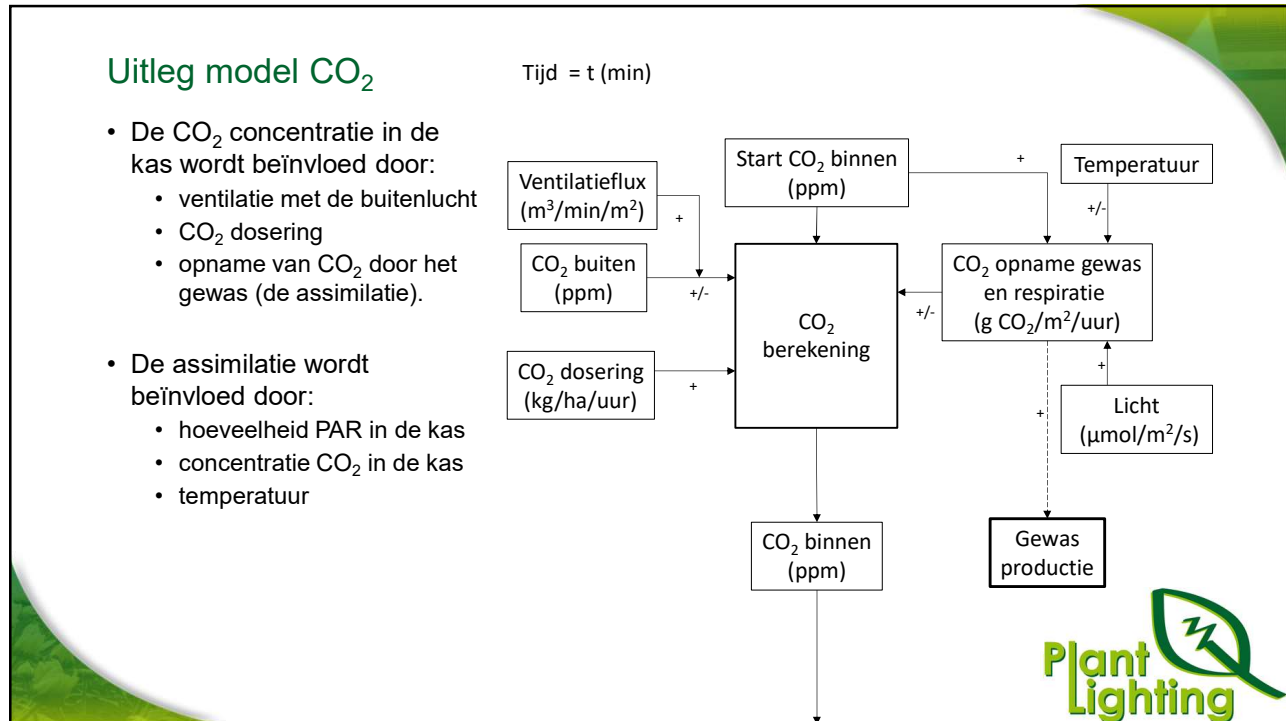
7

Huidige realiteit

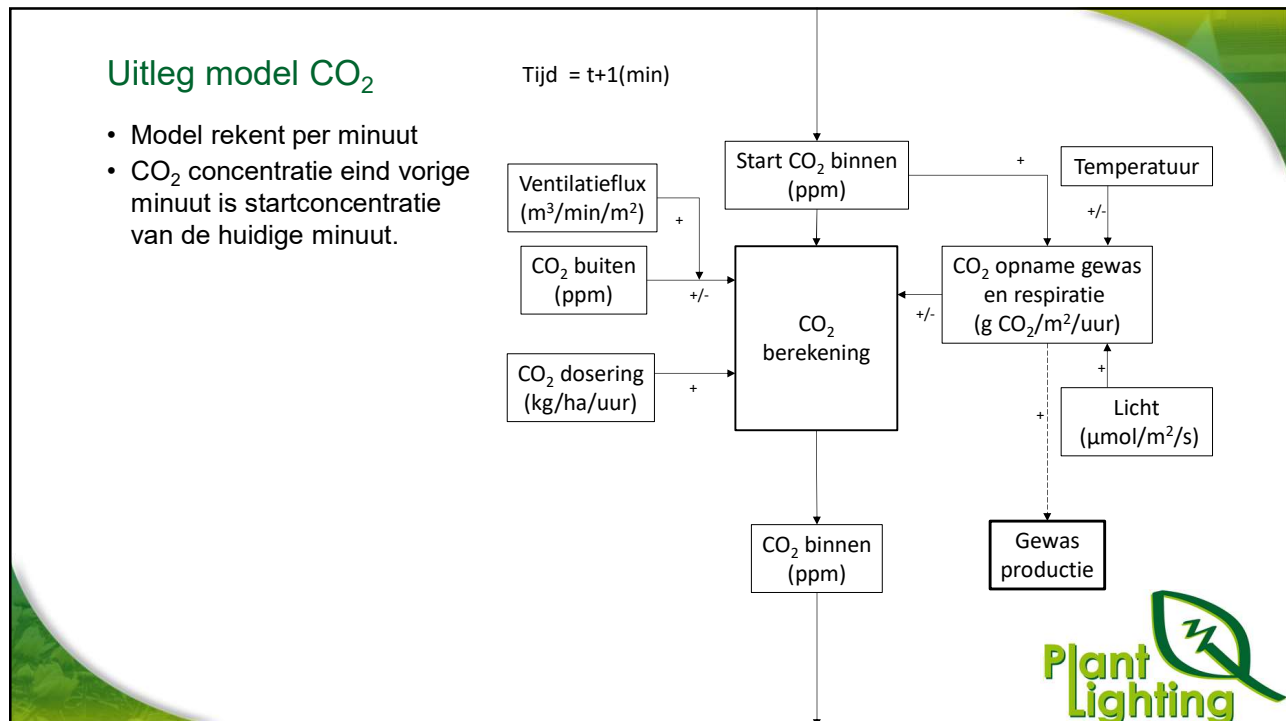
- CO₂ is schaarser en duurder
- Maatschappelijke impact: gas verbranden in zomer voor CO₂ is maatschappelijk 'not done'
- Kosten/Baten-analyse wenselijk:
 1. Hoeveel meerproductie levert x ppm extra CO₂ in de kas op?
 - Dit kunnen we voor verschillende gewassen berekenen met een assimilatiemodel.
 2. Hoeveel kg CO₂ kost het verhogen van de CO₂-concentratie in de kas met x ppm?
 - Hangt af van opname door gewas en ventilatie. Interactie kunnen we modelmatig berekenen.
 3. Wat zijn de kosten van de extra kg's CO₂ en wat levert de meer-productie op?
 - Hieruit is het economische omslagpunt voor CO₂-dosering te berekenen.



8

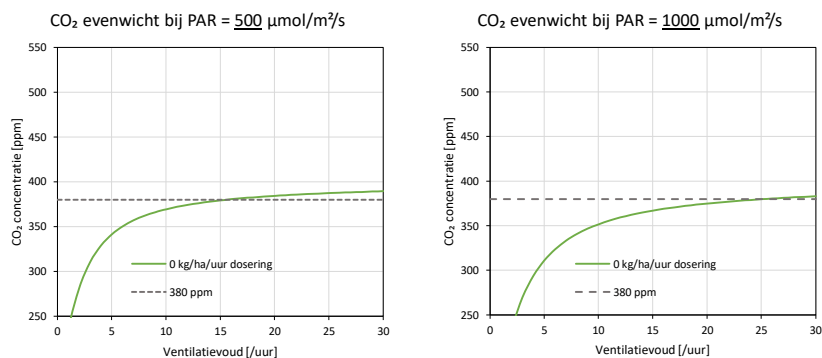


9



10

CO₂ evenwichtswaarden bij een variabele ventilatie – niet doseren

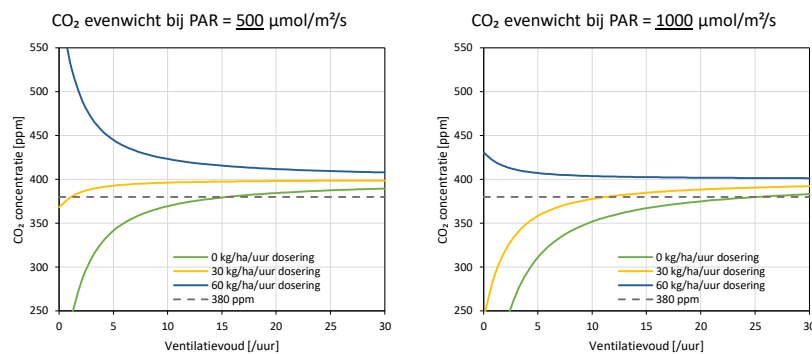


- Ventilatievoud van ~10/uur bij luchtramen helemaal open en 'gemiddeld weer'. 5/uur komt vaker voor.
- Meer CO₂ van buiten naar binnen als de ventilatie toeneemt.
- Meer licht verhoogt de assimilatie: meer ventilatie nodig een zekere CO₂-niveau te behalen.
- 400 ppm wordt niet bereikt door CO₂-opname gewas. Niet doseren kost dus altijd productie.
- Dus met minder genoeg nemen met minder productie zonder CO₂-dosering. Zeg 380 ppm?



11

CO₂ evenwichtswaarden bij een variabele ventilatie – laag doseren



- Dosering van 30kg/ha/ur komt sneller bij streefwaarde van 380 ppm
- Dosering van 60kg/ha/ur altijd voldoende om boven 400 ppm te blijven
 - Want dit is hoger dan het gewas opneemt bij deze intensiteiten PAR



12

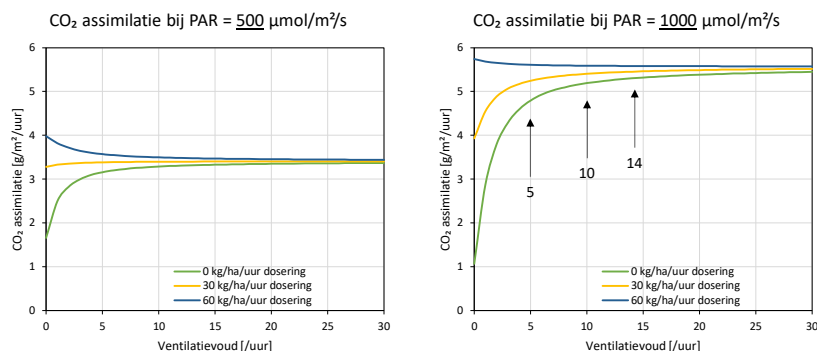
Wat is de relatie CO₂-dosering en gewasfotosynthese?

- Lagere dosering dan de gewasfotosynthese? Dan daalt de CO₂-concentratie in de kas en heb je hoge ventilatie nodig ter compensatie
- Hogere dosering dan de gewasfotosynthese? Dan stijgt de CO₂-concentratie in de kas en verlies je CO₂ bij hoge ventilatie
- Wat doet de fotosynthese (=assimilatie) bij 0, 30 en 60 kg/ha/uur?



13

Gewasfotosynthese bij een variabele ventilatie



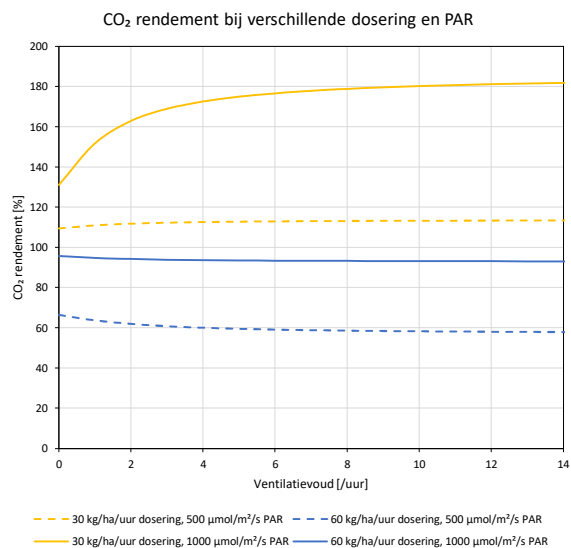
- Voorbeeld assimilatie bij 1000 µmol/m²/s van 0 naar 60 kg/ha/uur dosering:
 - Bij ventilatievoud van 5 /uur (= 30 m³/min/m²): verhoging assimilatie van 17%
 - Bij ventilatievoud van 10 /uur (= 60 m³/min/m²): verhoging assimilatie van 7.8%
 - Bij ventilatievoud van 14 /uur (= 84 m³/min/m²): verhoging assimilatie van 5%
- Dus: bij acceptatie 5% verlies bij geen dosering is ventilatievoud van 14 /uur nodig!



14

Rekenvoorbeeld CO₂ rendement

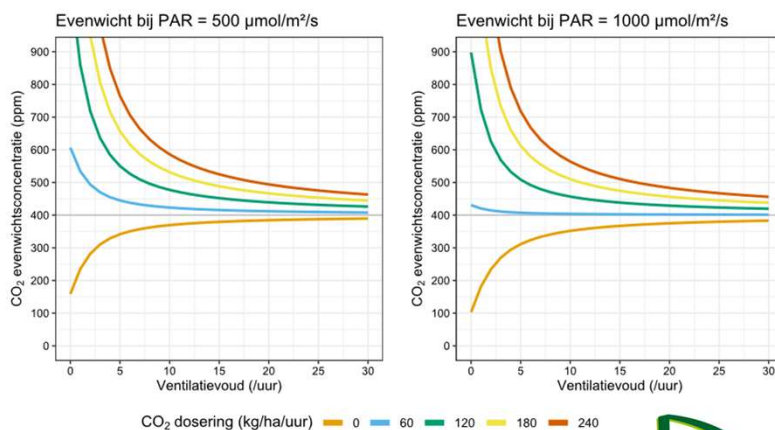
- Rendement = CO₂ opname / CO₂ dosering
- Rendement van ~100%:
 - Dezelfde hoeveelheid dat er wordt gedoseerd wordt ook opgenomen.
 - Ventilatie maakt dan niet meer uit.
- Bij dosering 30 kg/ha/uur: Rendement > 100 %
 - Er wordt CO₂ uit de buitenlucht gehaald.
 - Bij lage ventilatie: Assimilatie wordt dan gelimiteerd door te weinig beschikbare CO₂.
- Bij dosering 60kg/ha/uur: Rendement < 100 %
 - Er gaat gedoseerde CO₂ verloren aan de buitenlucht.
- NB rendement 60% is zeker niet slecht. En 60 kg/ha/uur is ook niet enorm veel.
 - Wat als we meer doseren?



15

CO₂ evenwichtswaarden bij een variabele ventilatie en meer dosering

- Als ventilatie van 5 naar 10 /uur bij 1000 μmol/m²/s PAR:
 - Bij 240 kg/ha/ur dosering:
 - CO₂ concentratie van 720 naar 560 ppm
 - Bij 120 kg/ha/ur dosering:
 - CO₂ concentratie van 508 naar 457 ppm
- PAR heeft ook effect
 - Meer fotosynthese → meer opname door de plant → lagere CO₂-concentratie



16

Kosten CO₂ en opbrengst komkommer

- Voorbeeld verlies aan productie en lagere kosten van CO₂ inkoop?
 - Situatie met ventilatie van 10 /uur (= 60 m³/uur/m²) en 1000 μmol/ m²/s PAR:
 - Van 240 naar 180 kg/ha/uur dosering (-60 kg): Assimilatie & productie 3.3% lager
- Productie 3 kg/m²/week. 3.3% lager: 2.9 kg/m²/week (-0.1 kg)
 - Opbrengst 75 cent per 1 kg komkommer (28 cent per komkommer)
 - Vermindering opbrengst: $0.1 * 0.75 = -0.075 \text{ €/m}^2/\text{week} = \mathbf{-750 \text{ €/ha/week}}$
- CO₂ 12 uur per dag 60 kg minder per ha uur
 - $60\text{kg} * 12\text{h} * 7\text{d} / 10.000 = 0.5 \text{ kg/m}^2/\text{week}$ besparing
 - $13+3 = 16$ cent voor 1 kg vloeibaar CO₂
 - Vermindering kosten: $0.5\text{kg} * \text{€}0.16 * 10.000 = \mathbf{-806 \text{ €/ha/week}}$ (exclusief plukkosten)
- Vermindering CO₂-kosten is in dit voorbeeld net iets meer dan de opbrengstderving.



17

Welke kant gaat de balans meer/minder CO₂ doseren uit bij....?

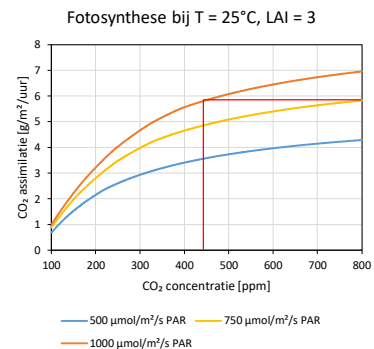
- Lagere ventilatievoud?
 - Meer doseren
- Minder licht?
 - Minder doseren
- Hogere CO₂-prijs?
 - Minder doseren
- Lagere komkommerprijs?
 - Minder doseren



18

RTR, RTA en CO₂

- RTR: Ratio Temperature Radiation
- Uitgangspunt RTR:
 - als er meer licht is mag temperatuur hoger.
 - streven balans vraag (temp) en aanbod (licht) assimileren
- Maar wat als bij meer licht de ramen open gaan, waardoor CO₂ verloren gaat? Geeft meer licht dan meer assimileren?
- Bovendien wordt licht bij hoge intensiteiten minder goed benut.
 - lichtverzadigingscurve: 'wet van de verminderde meeropbrengst'
- Dus: pas op met RTR in periodes met veel licht en veel luchting!
- RTA: Ratio Temperature Assimilation. Houdt wel rekening met CO₂ in de kas en met lichtverzadiging.
 - Proef bij paprika loopt nu (Delphy en Plant lighting)



19

CO₂ Optimaal powered by OCAP



B-Mex
Groeien, ontwikkelen, oogsten



LETSGROW
COM



OCAP[®]
Powered by Linde.



KAS ALS
ENERGIEBRON

20

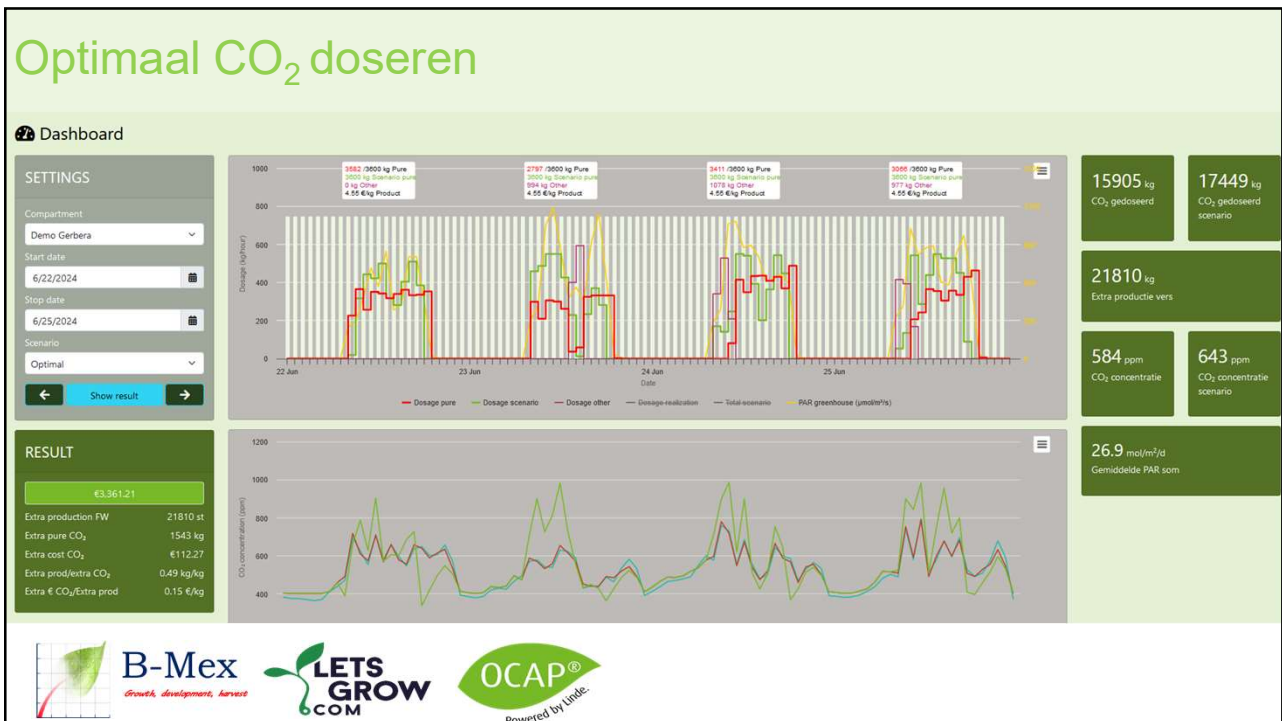


Wat doet CO₂ Optimaal

- Optimaliseert voor 5 dagen terug en 1 dag in de toekomst de zuivere CO₂ dosering
- Bedrijfsspecifiek rekenen
- Kan rekening houden met verschillende doseerstrategieën



21



22

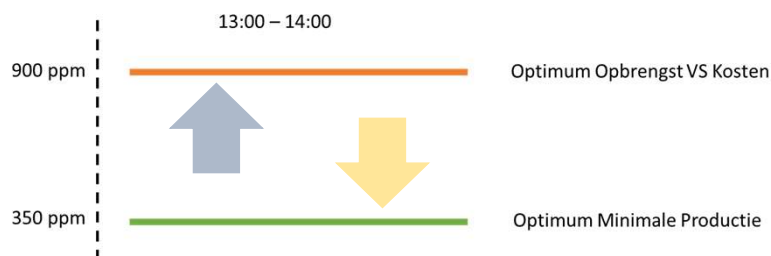
Verschillende Scenario's

Maximaal produceren mits rendabel:

- Focus op maximaliseren productie mits gebruik inputs is efficiënt.

Minimale productie zo efficiënt mogelijk:

- Focus op meest efficiënt gebruik inputs mits productie gehaald wordt.



B-Mex
Growth, development, harvest



23

Waar is optimaal CO₂ doseren van afhankelijk?

- Licht
- Temperatuur
- Raamstanden
- Windsnelheid buiten
- Prijs eigen CO₂
- Prijs OCAP CO₂
- Prijs Product

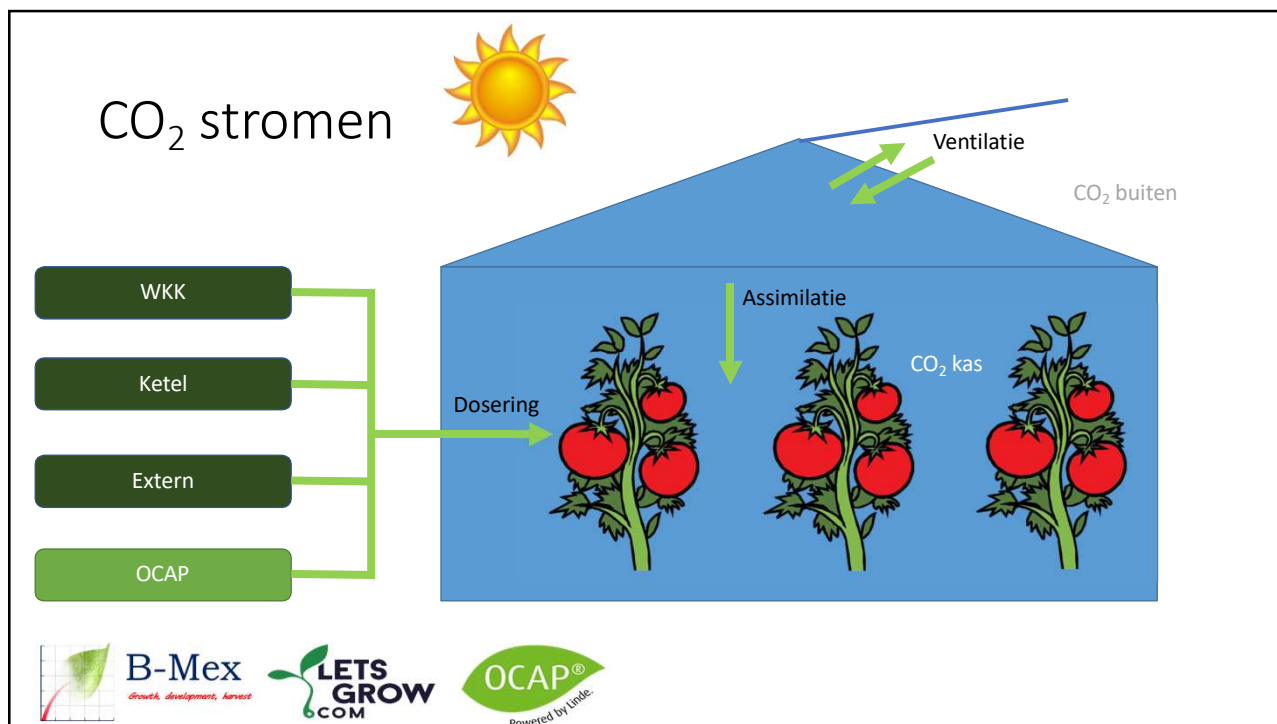
Afweging tussen opbrengst en kosten



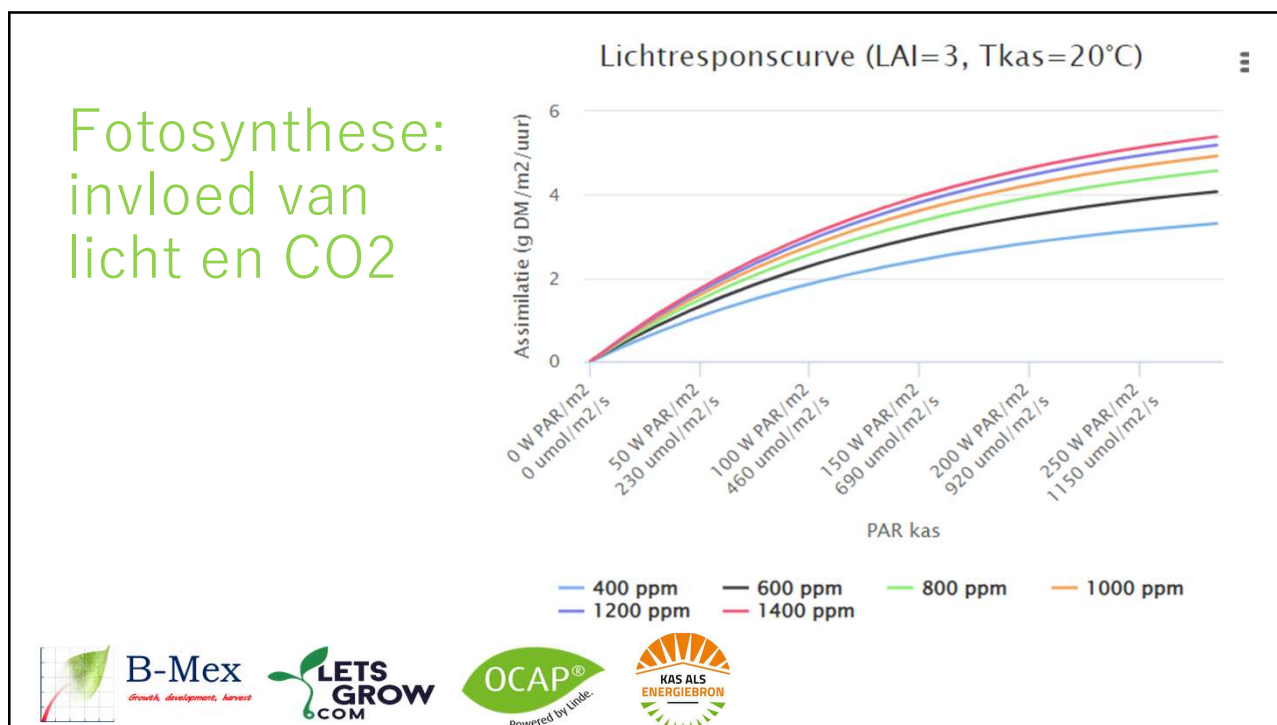
B-Mex
Growth, development, harvest



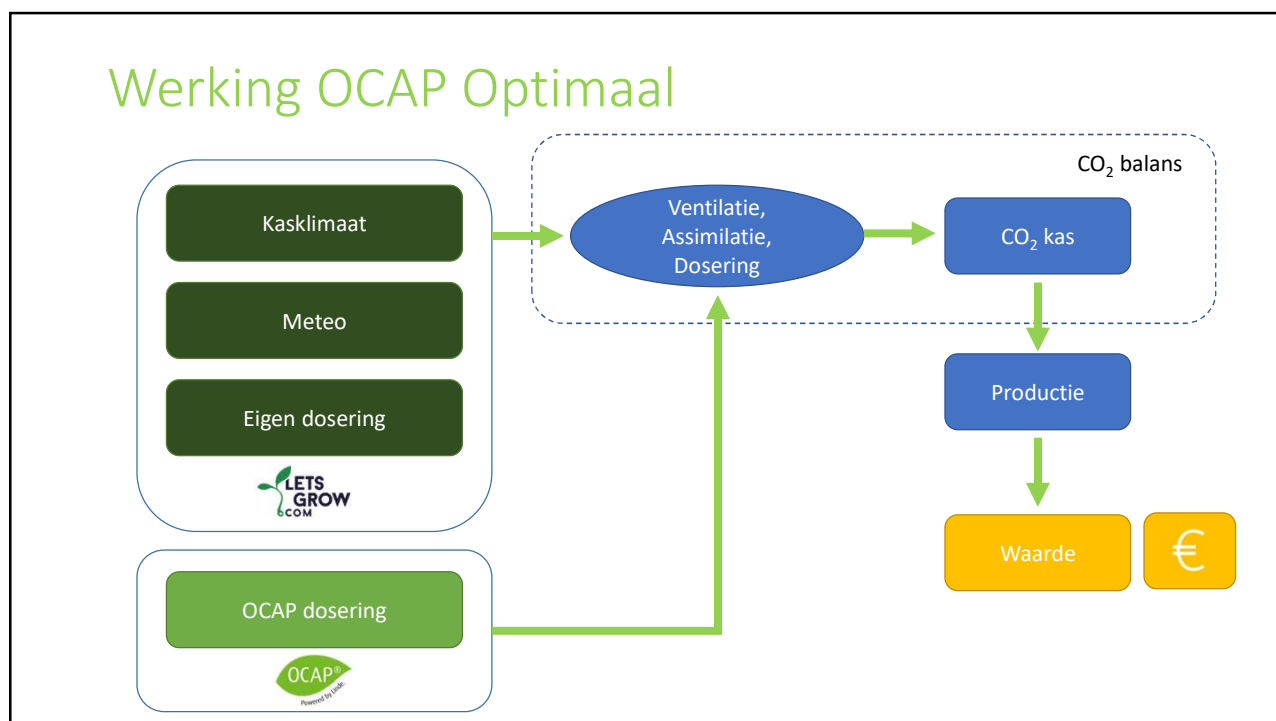
24



25



26



27

Wat is er nodig?

CO₂ Optimaal rekt voor uw bedrijf en uw gewas

- Gegevens bedrijf: specificaties kas en doseerinstallatie
- Gegevens gewas: teelt planning/ verwachte marktontwikkeling
- Klimaatdata
- Doseerdata

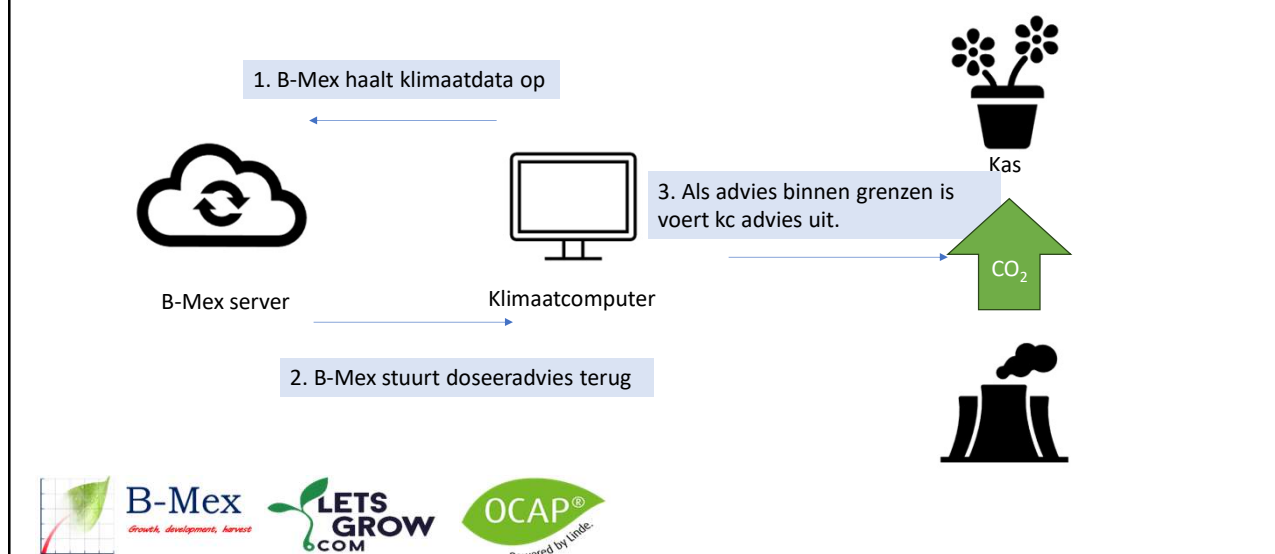


B-Mex
Growth, development, harvest



28

Autonom Doser



29



Onderzoek naar efficiënt CO₂ doseren bij Delphy Improvement Centre

Energiek event 2 juli 2024
Paul de Veld senior adviseur Chrysant



Worldwide Expertise for Food & Flowers

30

Ervaringen efficient CO2 doseren op het Delphy IC

- ✦ Onderzoek De Perfecte Chrysanthe
 - 2 afdelingen van ieder 500 m²
 - Vergelijkingen:
 - * Teelt 31: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op groei bij gelijke klimaatstrategie
 - * Teelt 32: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op groei bij 'CO2 efficiënte' klimaatstrategie



31

Ervaringen efficient CO2 doseren op het Delphy IC

- ✦ Teelt 31: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op groei bij gelijke klimaatstrategie

Vergelijking:

- Standaard = CO2 dosering 60 kg/ha.u bij streef 800 ppm + 200 ppm op licht
- Behandeling = CO2 dosering 35 kg/ha.u + verlaging dosering tussen 20 – 100% raamstand van 35 -> 0 kg/ha.u bij streef 800 ppm + 200 ppm op licht

n.b.: oorspronkelijk plan was 120 kg t.o.v. 70 kg/ha.u



32

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Teelt 31: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op groei bij gelijke klimaatstrategie

- Start teelt: 27 maart 2024 (week 13/3)
- Oogst teelt: 24-28 mei 2024 (week 21/5 – 22/2)

Gerealiseerd klimaat:

	dosering CO2 kg/m ²	CO2 conc. Dag ppm	temp. dag °C	temp. Nacht °C	RV dag %	RV nacht %
Standaard	3,3	625	24	18,2	73,7	83,3
verlaagd CO2	1,9	595	24	18,3	73,7	82,6

-> Bij verlaagde dosering 1,4 kg/m² minder gedoseerd = 43% minder



33

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Teelt 31: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op groei bij gelijke klimaatstrategie

Teeltresultaten:

		Reactietijd dagen	versgewicht per tak gr/tak v.a. pot	drooggewicht per tak gr/tak v.a. pot	Lichtsom mol/m ²	LBE vers g/mol	LBE droog g/mol	Teelt duur (dagen)
Pina Colada	hoog CO2	54	84,2	9,9	937	5,4	0,63	62
	laag CO2	54	84,1	9,4	952	5,3	0,59	62
Chic	hoog CO2	50	76,7	10,2	882	5,2	0,69	58
	laag CO2	50	75,0	9,3	892	5,0	0,63	58

→ o.b.v. versgewichten hele kleine verschillen

→ o.b.v. drooggewichten verschillen 5% (Pina Colada) – 9% (Chic).



34

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

Teelt 32: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op
groei bij 'CO2 efficiënte' klimaatstrategie

Vergelijking:

- Standaard = CO2 dosering 120 kg/ha.u bij streef 800 ppm +
200 ppm op licht
- Behandeling = CO2 dosering 120 kg/ha.u + verlaging dosering tussen
20 - 100% raamstand van 120 -> 0 kg/ha.u
bij streef 800 ppm + 200 ppm op licht
+ CO2 in de kas houden



35

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

Teelt 32: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op
groei bij 'CO2 efficiënte' klimaatstrategie

+ CO2 in de kas houden:

- = Hogere ventilatietemperatuur dag
-> 20C + 8C op lichtintensiteit i.p.v. 19C + 6C
- = Hogere P banden
-> +2C op zowel luw als wind
- = Meer hoge drukverneveling toepassen
-> onder 72% bij 400W i.p.v. onder de 65% bij 500W



36

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

Teelt 32: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op
groei bij 'CO2 efficiënte' klimaatstrategie

+ CO2 in de kas houden:

= Ter compensatie van een hogere dagtemperatuur, een verlaagde
nachttemperatuur

-> ventilatie- en koeltemperatuur 17C ipv 18C.



37

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

Teelt 32: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op
groei bij 'CO2 efficiënte' klimaatstrategie

- Start teelt: 5 juni 2024 (week 23/3)

= Huidige teelt



38

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

Teelt 32: invloed minder CO2 doseren o.b.v. raamstand op
groei bij 'CO2 efficiënte' klimaatstrategie

Ervaringen tot nu toe:

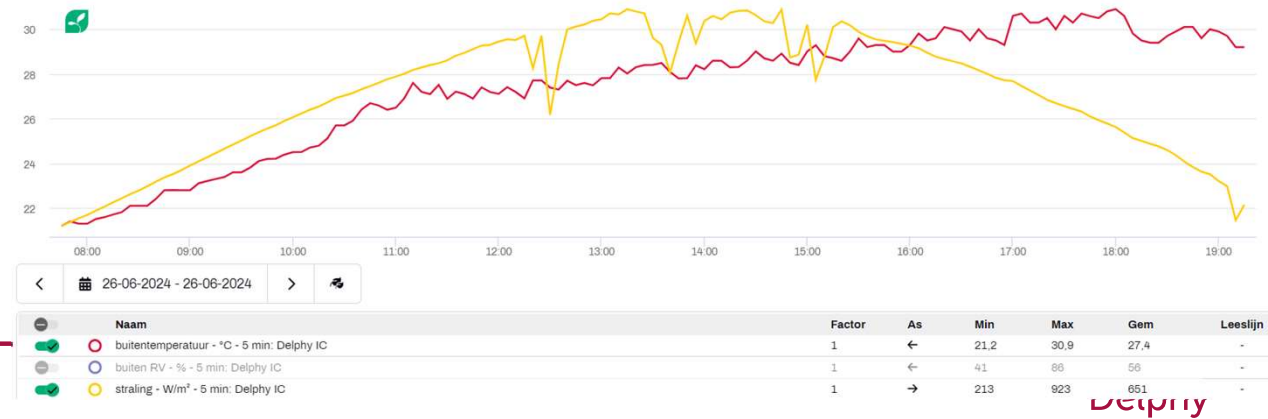
- Tot 75 kg/ha.u dosering gelijke of hogere CO2 concentratie bij
behandeling verlaagde dosering
= raamstand luw 50%
= bij lagere dosering naar 100 ppm onder de standaard dosering
- Bij zomers weer (30C onbewolkt) lagere kasttemperatuur bij lagere
dosering met meer verneveling + lagere raamstand



39

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

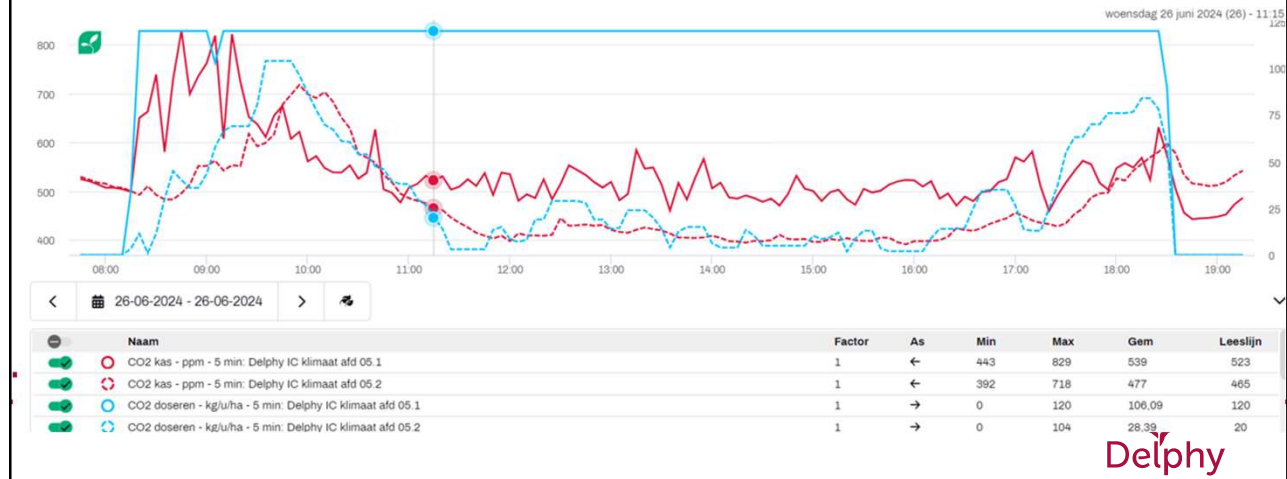
✦ Klimaat op 26-6-2024: Meteo buitentemperatuur en instraling



40

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 26-6-2024: CO2 dosering en concentratie



41

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

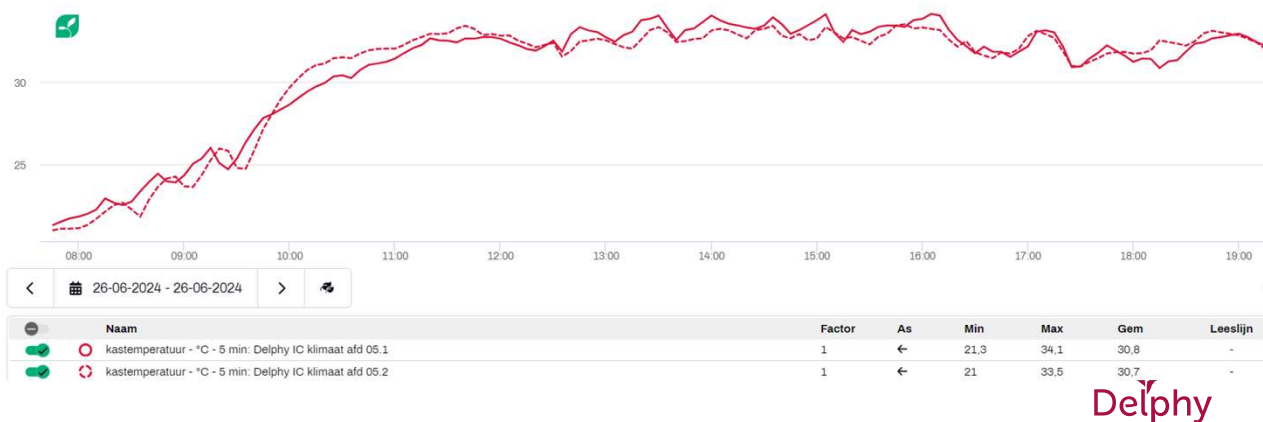
✦ Klimaat op 26-6-2024: Raamstanden



42

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 26-6-2024: Kasttemperatuur



43

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

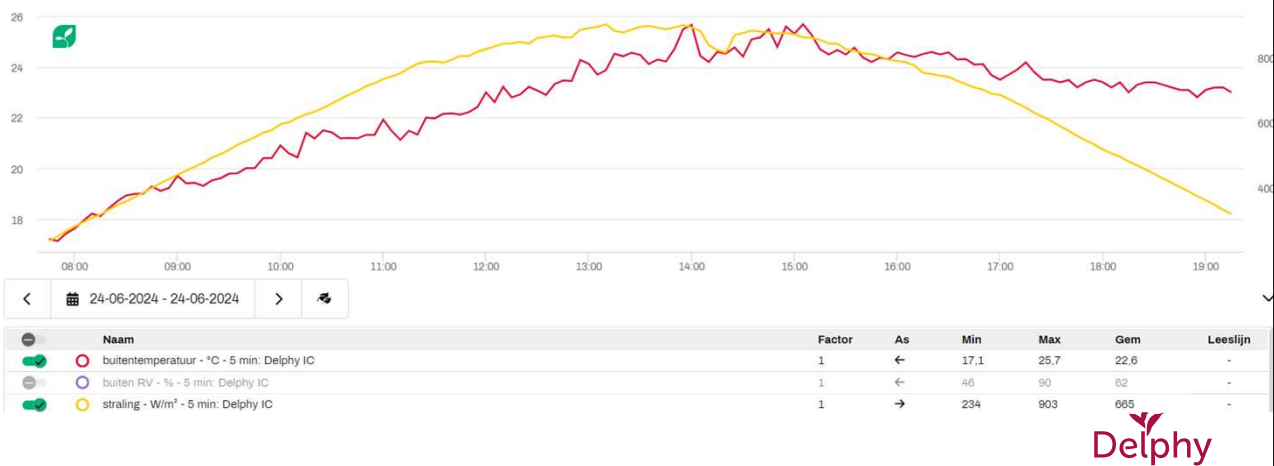
✦ Klimaat op 26-6-2024: RV



44

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 24-6-2024: Meteo buitentemperatuur en instraling

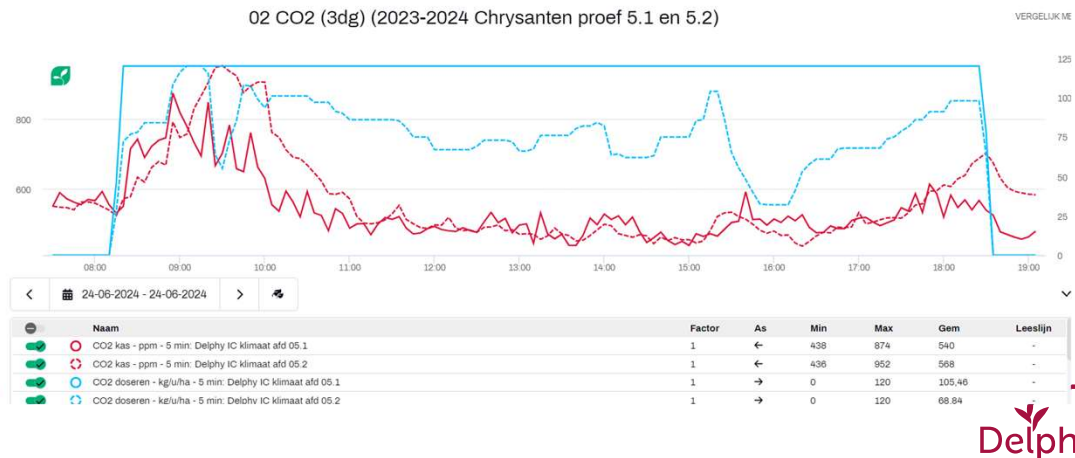


45

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 24-6-2024: CO2 dosering en concentratie

02 CO2 (3dg) (2023-2024 Chrysanten proef 5.1 en 5.2)



46

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 24-6-2024: Raamstanden



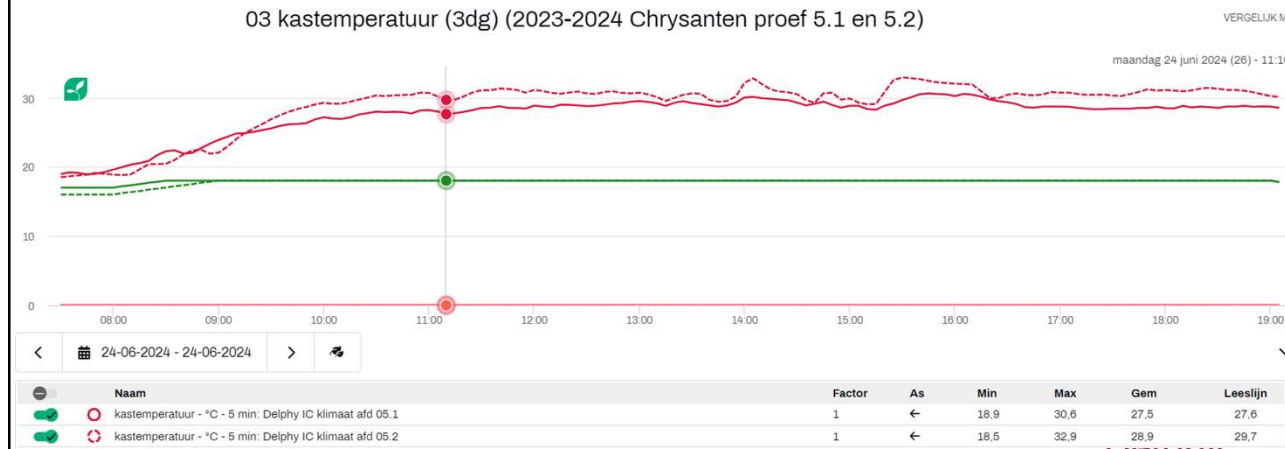
Delphy

47

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 24-6-2024: Kastemperatuur

03 kasttemperatuur (3dg) (2023-2024 Chrysanten proef 5.1 en 5.2)



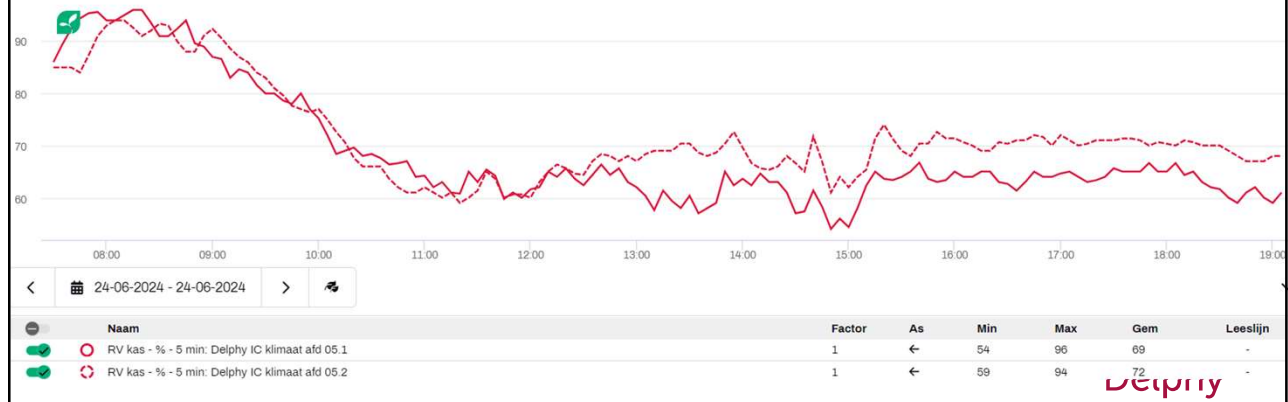
Delphy

48

Ervaringen efficiënt CO2 doseren op het Delphy IC

✦ Klimaat op 24-6-2024: RV kas

06 RV (3dg) (2023-2024 Chrysanten proef 5.1 en 5.2)



49

Contact



Sander Hogewoning	Jeroen Boonekamp & Jan van den Enden	Paul de Veld
+31 6 142 71 525	+31 6 137 44 390	+31 6 513 50 359
info@plantlighting.nl	jeroen.boonekamp@b-mex.nl info@endenadvies.nl	p.develd@delphy.nl
www.plantlighting.nl	www.b-mex.nl	www.delphy.nl

50