

ENERGLIK

**WP4, Taak 1: Proof-of-principle (her-)gebruik
van afgevangen CO₂ als teeltwaardig CO₂**



Disclaimer:

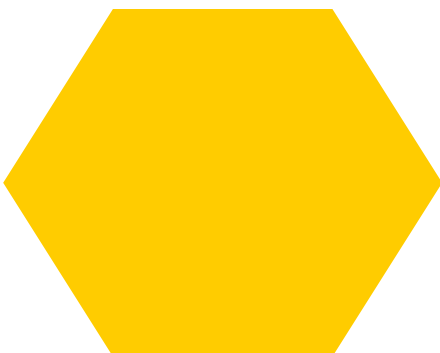
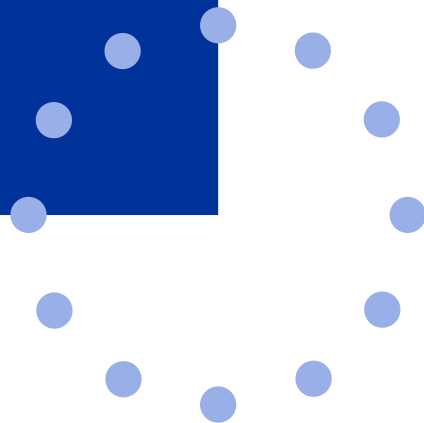
**Hoog
mikken voor
de lage landen!**

grensregio.eu

Inhoud

1. Onderzoek naar groeiomstandigheden van komkommer in klimaatboxen	3
1.1 Proefgegevens.....	4
1.2 Samenvatting/ abstract	4
1.3 Proefopzet.....	4
1.3.1 Proef 1: Bepalen van aan te houden CO ₂ -gehalte in vervolgprouven	6
1.3.2 Proef 2: Vergelijken van verschillende CO ₂ -regimes	6
1.3.3 Proef 3: Vergelijken invloed van CO ₂ -bron op plantengroei	7
1.4 Resultaten en bespreking	7
1.4.1 Proef 1: Bepalen van aan te houden CO ₂ -gehalte in vervolgprouven	7
1.4.2 Proef 2: Vergelijken van verschillende CO ₂ -regimes	9
1.4.3 Proef 3: Vergelijken invloed van CO ₂ -bron op plantengroei.....	10
1.5 Conclusie	12
1.6 Referenties.....	12

1. Onderzoek naar groeiomstandigheden van komkommer in klimaatboxen



1.1 Proefgegevens

Titel proef	Groeiomstandigheden van komkommer in klimaatboxen
Proefperiode	20/06/2024 – 24/10/2024
Contactgegevens	Fjo.deridder@thomasmore.be Jeroen.vanroy@thomasmore.be Mario.frans@thomasmore.be
Project	Dit onderzoek vond plaats binnen het project ENERGLIK. ENERGLIK zet in op koolstofarme en energie efficiënte innovaties voor een klimaatneutralere glastuinbouw.
Steunvermelding	Dit onderzoek wordt enerzijds mogelijk gemaakt met de steun van het Interreg Vlaanderen-Nederland. Anderzijds wordt het project ondersteund vanuit het Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO), Agentschap Landbouw en zeevisserij, de Provincie Antwerpen, Provincie Oost-Vlaanderen, Provincie Limburg, Kas als energiebron, Glastuinbouw Nederland, Ministerie van economische zaken, Ministerie van Landbouw, natuur en voedselkwaliteit.

1.2 Samenvatting/ abstract

Om de kwaliteit van de afgevangen CO₂ uit de installatie te vergelijken met vloeibare CO₂ en rookgassen werden er meerdere proeven in de klimaatboxen op Thomas More. Er werd gekozen voor komkommerplanten (*Cucumis sativus*) cultivar 'Gotja'® van Bayer. In een eerste proef werden verschillende CO₂-niveau's nagegaan. Als beste voor de vervolgprouwen kwam hier 750 ppm naar voor. In de tweede proef werd de moment van CO₂-doseran bepaald. Er werd gewerkt in drie regimes, continu verhoging tot 750 ppm gedurende de dag, verhoging tijdens de dag van 6u lang en verhoging 's morgens en 'avonds. Hoewel CO₂ gedurende de dag de beste resultaten gaf, werd in de derde proef toch geopteerd voor een continu verhoging om zeker nadelige effecten op de plantontwikkeling te kunnen waarnemen. In die derde proef werden twee CO₂-bronnen vergeleken, namelijk vloeibare CO₂ en CO₂ afgevangen met de CO₂-captatieinstallatie in Thomas More. Hieruit blijkt dat het object met de afgevangen CO₂ een mindere plantengroei vertoonde maar dit object kende problemen met de watergift, wat een belangrijke invloed had op de plantgroei. Visueel was er namelijk geen schade zichtbaar aan de planten. Deze proef gaat daarom ook herhaald worden om de bevindingen te bevestigen of te ontkrachten.

1.3 Proefopzet

Dankzij de afvanginstallatie op Thomas More Kempen kan CO₂ afgevangen worden uit de rookgassen en geconcentreerd opgeslagen worden. Daardoor kan het moment van verwarmen en CO₂ doseren losgekoppeld worden van elkaar. Zo wordt het mogelijk om deze opgeslagen CO₂ in te zetten op de meest geschikte momenten tijdens de dag met hoge lichtintensiteiten waarbij er relatief weinig warmtevrage uit de centrale stookplaats nodig is terwijl er wel een grote vraag naar CO₂ is. De kwaliteit van deze afgevangen CO₂ is nog een onbekende factor. Mogelijks kunnen er nadelige bijproducten zoals bijvoorbeeld Ethyleen, mee op geconcentreerd worden door de installatie met sterke



nadelige gevolgen op de plantfysiologie. Het doel van de proeven uitgevoerd in dit werkpakket is om de invloed van verschillende bronnen van CO₂ (vloeibare, rookgas en afgevangen) op de plant te onderzoeken. In een preliminaire proef werden rookgasgevoelige planten, bloemkolen (*Brassica oleracea* convar *botrytis* var. *botrytis*) ras 'Cleozil' (Syngenta Seeds) en komkommers (*Cucumis sativus*) ras 'Gotja' (Bayer Vegetables), gezaaid in de serre. Vanaf het tweede bladstadium werden de planten uitgeplant in klimaatboxen op Thomas More. Op basis van de verkregen resultaten en teeltpraktijken hiervan werd als indicatorplant gekozen voor komkommer. Daarnaast is dit een representatief gewas voor glastuinbouwbedrijven in België en Nederland waarvoor de installatie initieel bedoeld is. Na bepaling van een indicatorgewas werden volgende proeven uitgevoerd:

Tabel 1: Overzicht van de uitgevoerde proeven, in chronologische volgorde

Proefnummer	Doel van de proef	CO ₂ -bron
Proef 1	Bepalen van optimale CO ₂ concentratie in de groeiboxen voor de toekomstige proeven	Vloeibare CO ₂
Proef 2	Vergelijken van verschillende CO ₂ -regimes	Vloeibare CO ₂
Proef 3	Vergelijken van CO ₂ afgevangen met captatie-installatie en vloeibare CO ₂	Afgevangen CO ₂ en vloeibare CO ₂
Proef 4	Herhaling van proef 3 met toevoeging van rookgas-CO ₂	Afgevangen CO ₂ , vloeibare CO ₂ en rookgas-CO ₂

Alle proeven werden uitgevoerd in de klimaatboxen bij Thomas More. Dit zijn kleine klimaatboxen (b x l x h: 1.2m x 1.5m x 1.2-1.4m) waarin korte proeven van ongeveer 40 dagen uitgevoerd kunnen worden en waarin variabelen zoals temperatuur, RV, CO₂-concentratie, belichting en watergift gecontroleerd worden (zie Figuur 1).



Figuur 1: Foto van de klimaatboxen waarin de proeven uitgevoerd werden



1.3.1 Proef 1: Bepalen van aan te houden CO₂-gehalte in vervolgprouven

DOEL:

Een eerste proef werd opgezet om na te gaan wat de juiste groeiomstandigheden zijn voor het telen van komkommers in de klimaatboxen bij Thomas More. Hierbij werd vooral gefocust op het groeien bij verschillende CO₂-niveau's. In drie klimaatboxen werden overdag verschillende CO₂-niveau's aangehouden.

PROEFOPZET:

Voor deze proef werden 50 komkommerplanten (cv. Gotja, Bayer Vegetables) opgezaaid in potjes gevuld met een potgrondmix. Kieming en opgroei gebeurde onder gecontroleerde omstandigheden in een groeikamer bij 250 µmol/m²s, 21 °C en RV 70%. Na 3 weken werden 45 plantjes aselekt verdeeld over de drie groeiboxen met 15 planten per box. Als controle werd geen CO₂ gedoseerd. Het aangehouden klimaat kan je terugvinden in Tabel 2.

Tabel 2: Klimaatinstellingen gebruikt bij proef 1

	Klimaatbox 1		Klimaatbox 2		Klimaatbox 3	
	Dag	Nacht	Dag	Nacht	Dag	Nacht
Temperatuur - °C	23	18	23	18	23	18
RV - %	70	70	70	70	70	70
CO ₂ - ppm	400	0	750	0	1000	0

Tijdens deze proef werd wekelijks verschillende plantparameters opgemeten. De opgemeten plantparameters worden hieronder opgesomd:

- CO₂-compensatiecurve en Lichtcompensatiecurve
 - Met een LiCor
- Chlorofylfluorescentie
 - Met Handy PEA fluorometer (Hansatech)
- Zetmeelgehalte
 - Volgens protocol van *Ceusters et al. (2008). Annals of Botany 102.*
- Planthoogte
 - Met lintmeter op 1 mm nauwkeurigheid
- Vers- en drooggewicht
 - Enkel bepaald op de laatste staalnamedag. Planten werden bovengronds afgesneden, versneden en gewogen op een weegschaal met 1gram nauwkeurigheid. Daarna werden de planten gedurende 3 dagen gedroogd in een droogoven bij 70. Daarna werden de gedroogde planten terug gewogen.

Deze proef liep gedurende 40 dagen.

1.3.2 Proef 2: Vergelijken van verschillende CO₂-regimes

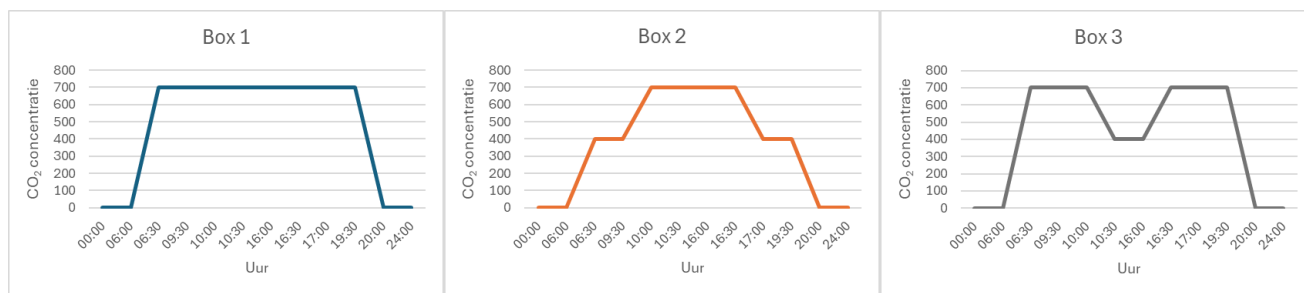
DOEL:

De tweede proef die werd opgezet werd gebruikt om na te gaan wat de invloed was van het doseren van CO₂ op verschillende momenten.

PROEFOPZET:

Planten werden gelijkaardig gezaaid en opgekweekt als in proef 1. Het aangehouden klimaat is hetzelfde als dit in Proef 1 en kan je terugvinden in Tabel 2. Enkel het aangehouden CO₂-gehalte varieerde doorheen de dag. Box 1 was de referentie. Hier werd gestuurd naar een CO₂-concentratie van 700 ppm van 06:30 tot 19:30. In box 2 en 3 werd gestuurd naar hetzelfde gemiddelde CO₂-niveau op dagbasis. In box 2 werd in de ochtend en de avond minder CO₂ gedoseerd, terwijl in box 3 tijdens de middaguren geen CO₂ gedoseerd werd (zie Figuur 2).





Figuur 2: Overzicht van de aangelegde CO₂-concentraties

Tijdens deze proef werden verschillende plantparameters opgemeten. De opgemeten plantparameters worden hieronder opgesomd:

- Lichtcompensatiecurve
- Chlorofylfluorescentie
- Zetmeelgehalte
- Planthoogte
- Vers- en drooggewicht

Bepalingen en analyse van de verschillende plantparameters geschieden zoals beschreven in Proefopzet 1. Deze proef liep gedurende 42 dagen.

1.3.3 Proef 3: Vergelijken invloed van CO₂-bron op plantengroei

DOEL

In de derde proef werden twee verschillende CO₂-bronnen vergeleken met elkaar. Aan de ene kant werd vloeibare CO₂ gebruikt voor de dosering aan de komkommerplanten. In de andere box werd gebruik gemaakt van rookgassen die opgezuiverd werden met de installatie uit werkpakket 3.

PROEFOPZET:

In analogie met proef 1 werd CO₂ gedoseerd doorheen de dag-periode. Er werd gemikt op een CO₂-concentratie van 700 ppm. Ook de gebruikte klimaatparameters zijn dezelfde als in proef 1 en kunnen teruggevonden worden in Tabel 2. In deze proef werd enkel de planthoogte meegenomen in de analyse, net als een visuele inspectie van het gewas op anomalieën. De overige plantparameters werden niet meer opgemeten omdat deze niet meer beschikbaar waren op het moment dat de proef plaatsvond. De proef liep gedurende 21 dagen, doordat de plant bij opplanten al groter was dan in proef 2 en proef 3.

1.4 Resultaten en bespreking

1.4.1 Proef 1: Bepalen van aan te houden CO₂-gehalte in vervolgprouven

Lichtcompensatiecurves en CO₂ compensatiecurves:

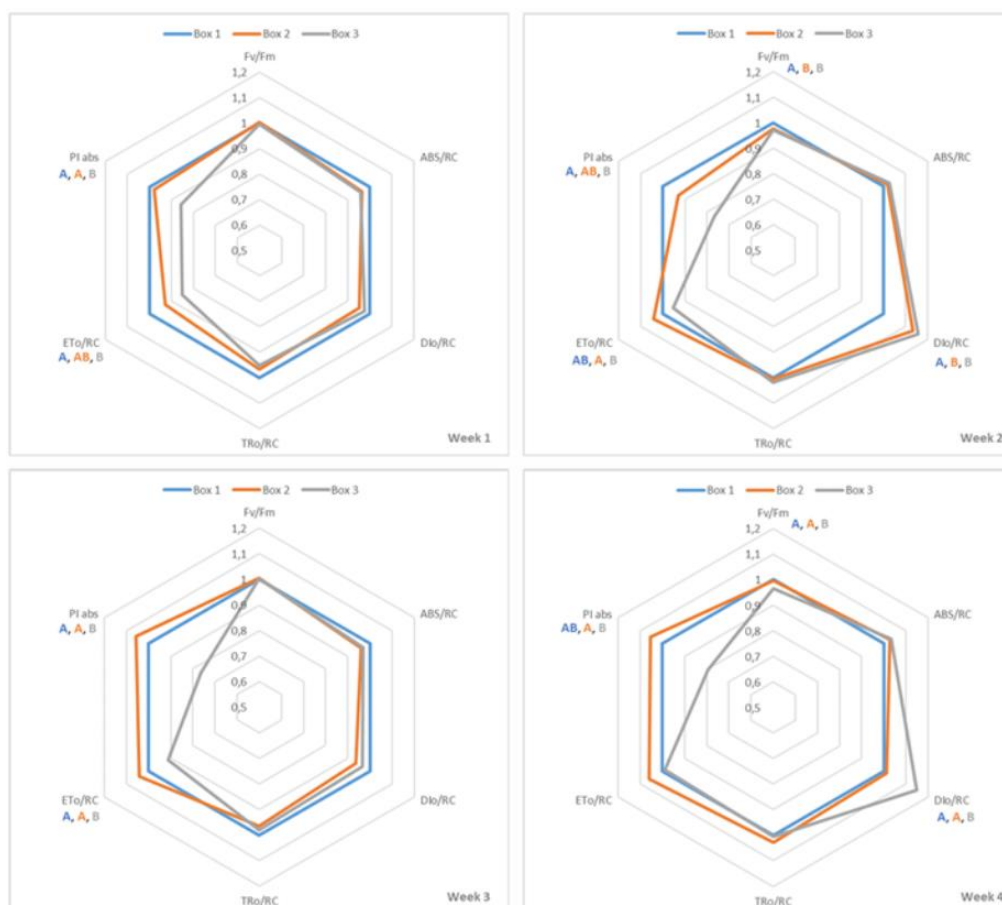
In zowel de CO₂ compensatiecurves als uit de lichtcompensatiecurves was er geen verschil waar te nemen tussen de drie objecten. Door de lange duur van metingen is er echter maar een beperkt aantal herhalingen kunnen uitgevoerd worden waardoor de sterkte van de metingen eerder zwak is.

Chlorofylfluorescentie

Chlorofylfluorescentie geeft een vroege indicatie van abiotische stress aan. Hierbij wordt het functioneren van de fotonabsorptie en bijbehorende electronentransportketenparameters gemeten. Afwijkingen van deze parameters kan geschieden door abiotische stress waarbij optimale fotonabsorptie of electronentransportketen verstoord worden en de energie dan als warmte wordt afgevoerd (Ceusters et al. 2019). De verschillende parameters zijn uitgezet in onderstaande spiderplot (Figuur 3). De waarden van BOX 2 en BOX 3 zijn genormaliseerd t.o.v. die van BOX 1 die gelde als controle.



Daarbij is er vanaf week 2 een significante afwijking in R_o/RC voor BOX 3 (1000 ppm). Deze parameter is een maat voor dissipatie van de fotonenergie onder de vorm van warmte en geeft aan dat de fotosynthesesnelheid vertraagd is. Onder verhoogde CO_2 -concentraties houden bladeren hun huidmondjes meer gesloten door de hoge inwendige CO_2 -concentraties. Door het sluiten van de huidmondjes wordt er minder getranspireerd waardoor de bladtemperatuur gaat oplopen wat op zijn beurt dan weer zorgt voor een slechtere fotosynthesewerkingscapaciteit (Taiz, Moller, Murphy and Zeiger, 2023). Een soortgelijke reactie was ook tijdelijk waar te nemen in BOX 2 (750 ppm) maar dit is waarschijnlijk te wijten aan een te snelle overgang naar een verhoogde CO_2 -concentratie waarbij de plant moest adapteren. Dat het fotosynthese apparaat wel degelijk minder presteerde kunnen we ook afleiden uit de PI_{abs} waarde. Deze geeft de algemene werking van het fotosynthese apparaat aan. Deze was gedurende de hele proef significant lager voor de 1000 ppm.

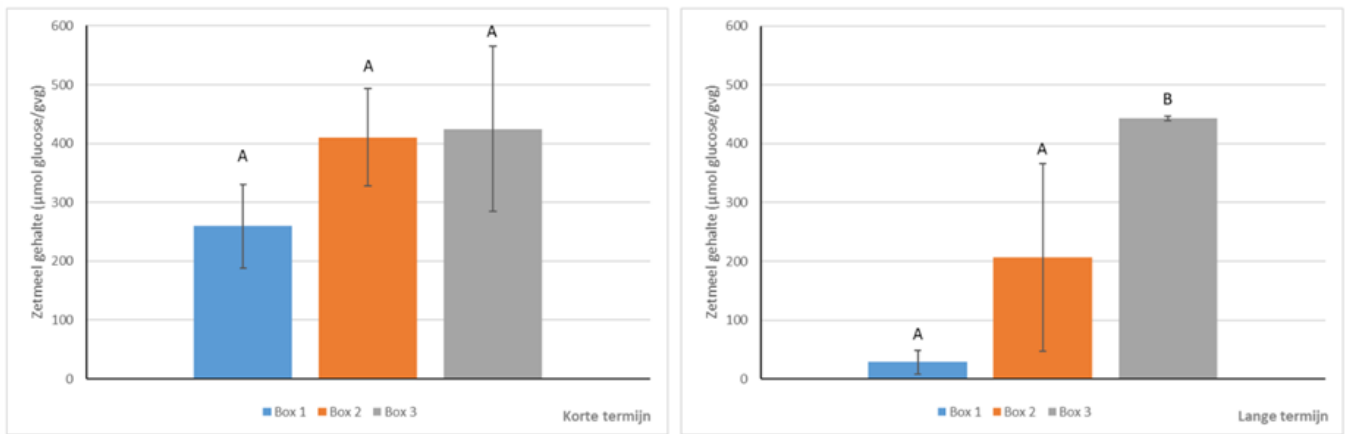


Figuur 3: Vergelijking van fluorescentieparameters van de drie behandelingen per week in een spiderplot. De parameters zijn genormaliseerd naar box 1. De CO_2 concentraties in Box 1 ($n=15$), Box 2 ($n = 15$) en Box 3 ($n = 15$) waren respectievelijk 400, 750 en 1000 ppm. Behandelingen met eenzelfde letter vertonen geen statistisch verschil ($p > 0.05$) t.o.v. elkaar. Afwezigheid van letters duiden op geen verschillen tussen de objecten.

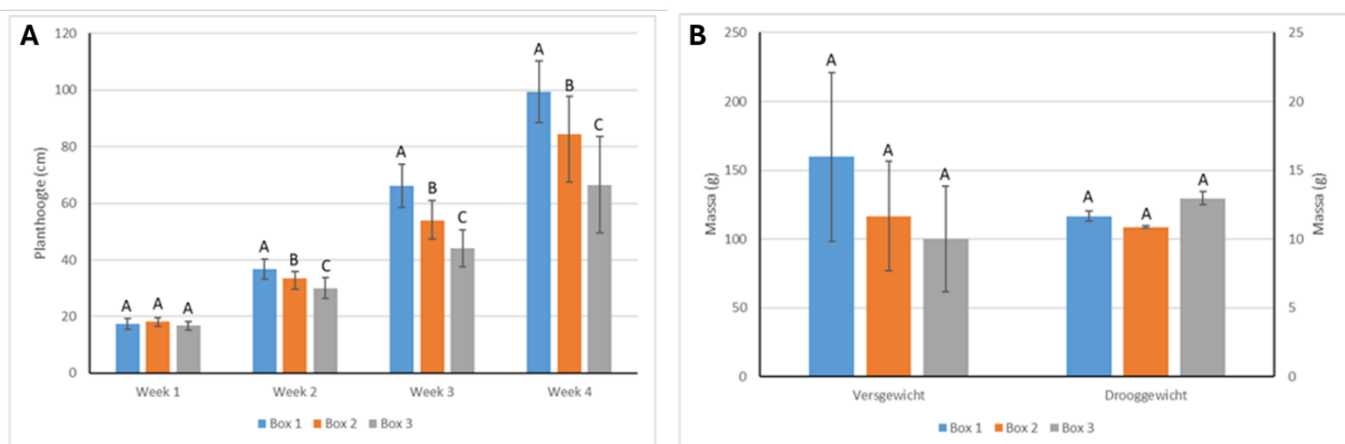
Zetmeelanalyse, planthoogte en biomassa:

Uit de zetmeelanalyses zien we in de eerste week van de proef geen verschillen in zetmeelconcentraties. Op lange termijn zien we wel significante verschillen. Tussen de controle en 750 ppm is er geen significant verschil maar bij het 1000 ppm object zien we dat een aanzienlijk aandeel van de aangemaakte biomassa wordt gestockeerd in zetmeel in plaats van lengtegroei (Figuur 4). Mogelijks bouwt de plant een voedselreserve op wanneer de huidige, niet-ideale omstandigheden verdwijnen. Dit is dan ook duidelijke waar te nemen in de planthoogtes waarbij 1000 ppm de minste planthoogte had (Figuur 5). De totaal aangemaakte biomassa is echter gelijk in voor de drie objecten (Figuur 5).





Figuur 4: Zetmeelanalyse op korte en lange termijn voor de drie behandelingen. De CO₂ concentraties in Box 1 (n=15), Box 2 (n = 15) en Box 3 (n = 15) waren respectievelijk 400, 750 en 1000 ppm. Behandelingen met eenzelfde letter vertonen geen statistisch verschil ($p > 0.05$) t.o.v. elkaar. Afwezigheid van letters duiden op geen verschillen tussen de objecten.



Figuur 5: Planthoogte doorheen de gehele duur van de proef uitgedrukt in cm (A) en vers- + drooggewicht van de planten op het einde van de proef (B). De CO₂ concentraties in Box 1 (n=15), Box 2 (n = 15) en Box 3 (n = 15) waren respectievelijk 400, 750 en 1000 ppm. Behandelingen met eenzelfde letter vertonen geen statistisch verschil ($p > 0.05$) t.o.v. elkaar.

1.4.2 Proef 2: Vergelijken van verschillende CO₂-regimes

Lichtcompensatiecurves en CO₂ compensatiecurves:

Ook in de tweede proef waren er geen eenduidige significante verschillen waar te nemen voor de compensatiecurves.

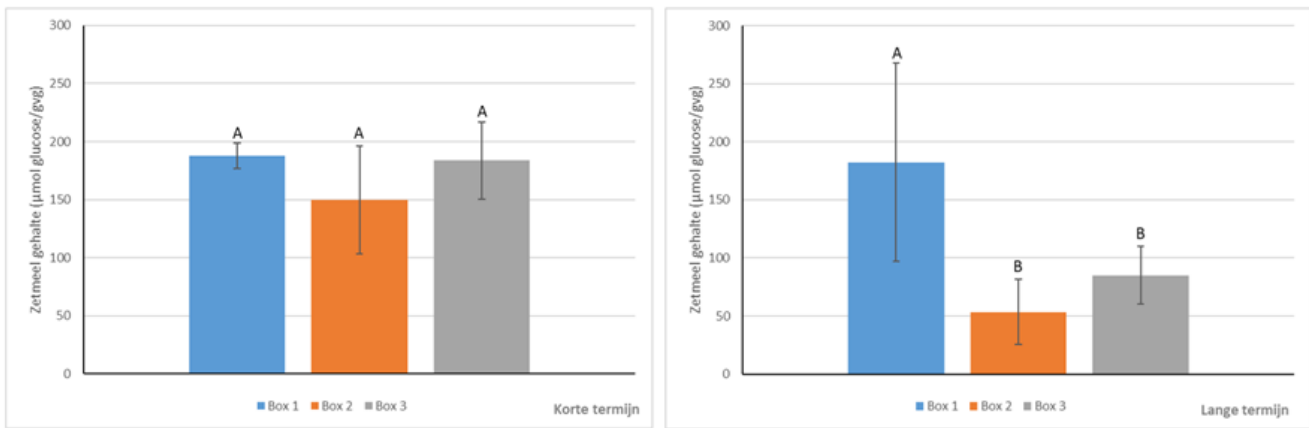
Chlorofylfluorescentie

De moment van CO₂ heeft weinig invloed op de werking van het fotosyntheseapparaat. In alle condities vertoonden de planten geen stressverschijnselen.

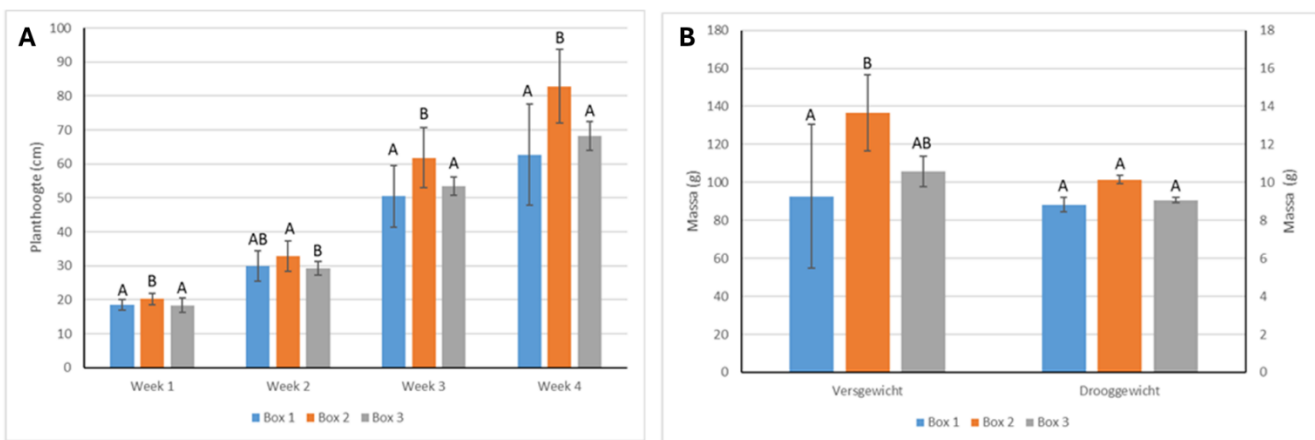
Zetmeelanalyse, planthoogte en biomassa:

Gelijkaardig als aan proef 1 was er op korte termijn geen verschil in zetmeelconcentraties waar te nemen. Op langere termijn vertoonden zetmeelconcentraties hogere waarden in box 1 waar er continu werd gedoseerd. Tussen box 2 en box 3 waren er geen significante verschillen (Figuur 6). De planten onder het 'middag' regime waren significant langer (± 82 cm) dan de planten in Box 1 (continu en ± 62 cm) en Box 3 (ochtend -avond, ± 68 cm). Dit resulteerde ook in een hoger versgewicht t.o.v. box 1 (continu) (Figuur 7). Echter was het drooggewicht voor alle objecten dan weer gelijk (Figuur 7).





Figuur 6: Zetmeelgehalte op korte en lange termijn voor de drie objecten. De CO₂ dosering bedroeg 750 ppm met 3 verschillende behandelingsregimes: Box 1 (n=5) kreeg een continue dosering, Box 2 (n=5) een dosering op de middaguren en Box 3 (n=5) een dosering in de ochtend en avond. Behandelingen met eenzelfde letter vertonen geen statistisch verschil ($p > 0.05$) t.o.v. elkaar.



Figuur 7: Planthoogte doorheen de gehele duur van de proef uitgedrukt in cm (A) en vers- + drooggewicht van de planten op het einde van de proef (B). De CO₂ dosering bedroeg 750 ppm met 3 verschillende behandelingsregimes: Box 1 (n=5) kreeg een continue dosering, Box 2 (n=5) een dosering op de middaguren en Box 3 (n=5) een dosering in de ochtend en avond. Behandelingen met eenzelfde letter vertonen geen statistisch verschil ($p > 0.05$) t.o.v. elkaar.

Op basis van de bekomen resultaten werd er voor de vervolgprouven toch geopteerd om voor een continue dosering te kiezen. De planten vertoonden een constante groei en strekten niet te hard. Om voldoende effect van de verschillende CO₂ bronnen, zou de proef toch een minimale periode moeten doorlopen waardoor een iets tragere groei geprefereerd is wegens de beperkte hoogtecapaciteit in de boxen.

1.4.3 Proef 3: Vergelijken invloed van CO₂-bron op plantengroei

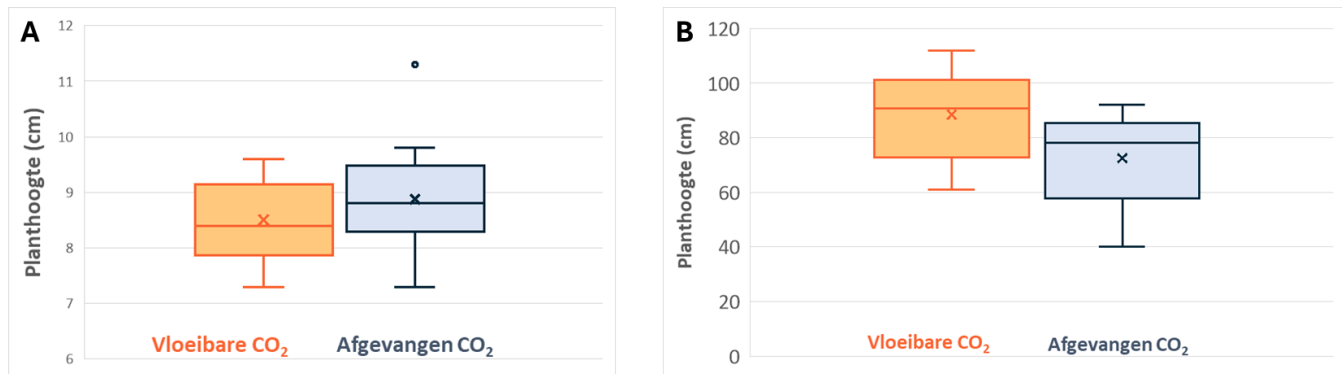
In de derde proef werd de invloed van afgevangen CO₂ op het gewas onderzocht. Zaai en opweek van de planten is zoals hierboven beschreven. Voor deze proef zijn 35 planten (Gotja, Bayer Vegetables) opgezaaid en willekeurig verdeeld over twee boxen met een totaal van 12 planten per box. In beide objecten werd overdag 700 ppm CO₂ voorzien. De eerste 5 dagen van het experiment werd in beide vloeibare, zuivere CO₂ voorzien waarna box 3 afgevangen CO₂ gedoseerd werd. In box 3 (afgevangen CO₂) is de watrigift een aantal keer defect geweest wat een aanzienlijke invloed heeft gehad op de planten.

Plantanalyse werden ditmaal enkel uitgevoerd op basis van planthoogtemetingen.

In Figuur 8 en Tabel 3 worden de opgemeten planthoogtes vergeleken. Bij het opplanten en na dag 12 zijn de gemiddeldes niet significant verschillend. Op dag 20 zien we wel een significant verschil in planthoogte. Of de oorzaak hiervan de gedoseerde CO₂ is kunnen we echter niet met zekerheid zeggen aangezien de watrigift in box 3 (bij de afgevangen CO₂) gedurende de proef enkele keren defect geweest is, wat een duidelijke invloed heeft gehad op de plant. Als we naar de



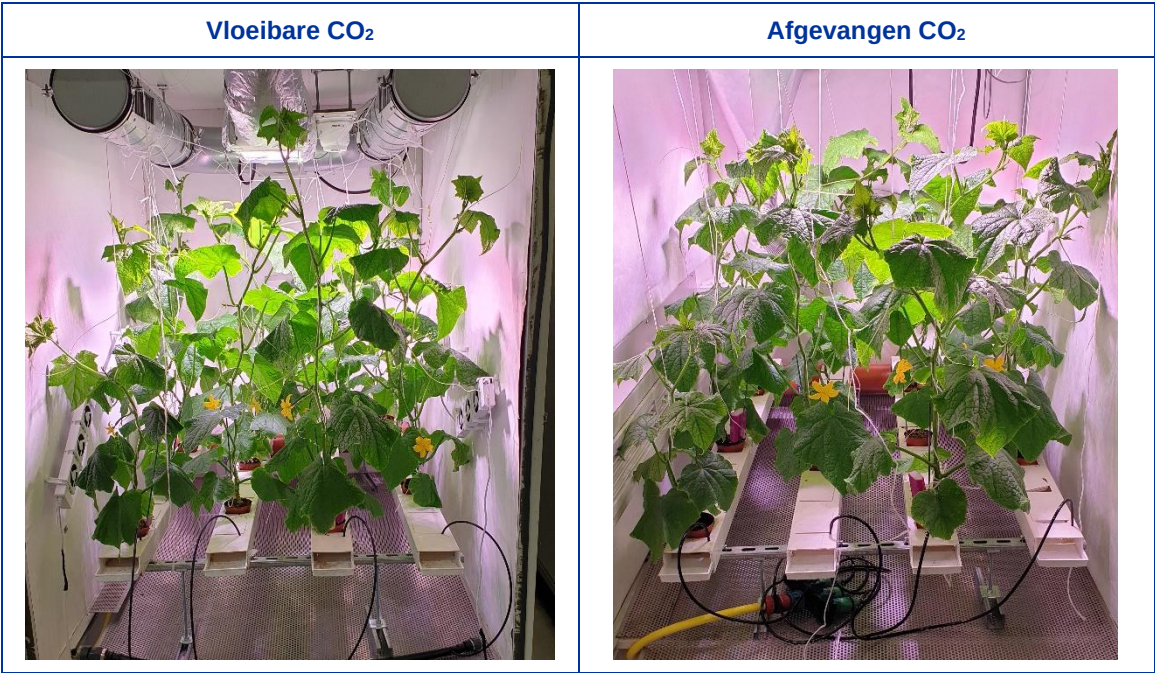
planten zelf kijken kunnen we enkel concluderen dat de planten in beide boxen er goed bijstonden. Het was een gezond gewas zonder tekenen van schade door ongewenste componenten in de afgevangen CO₂. Foto's van het gewas tijdens de proef en op het einde van de proef kan je zien in Figuur 9. Op dag 20 werd de proef afgebroken doordat de komkommers in box 2 de maximale hoogte bereikt hadden (ze kwamen tot tegen de belichting en de HVAC-installatie).



Figuur 8: Planthoogte bij de start van de proef (A) en op het einde na 20 dagen (B). De CO₂ dosering bedroeg 700 ppm uit twee verschillende bronnen. Box 1 (n=12) kreeg uit vloeibare, zuivere CO₂ en box 2 (n=12) uit de afgevangen CO₂ bron.

Tabel 3: Gemiddelde planthoogte op verschillende momenten tijdens de teelt

	Vloeibare CO ₂	Afgevangen CO ₂	Verschil?
Gemiddelde planthoogte op dag 0 (cm)	8.5	8.9	Niet significant
Gemiddelde planthoogte op dag 12 (cm)	44.6	40.5	Niet significant
Gemiddelde planthoogte op dag 20 (cm)	88.5	72.5	Significant



Figuur 9: Vergelijking van de plantengroei bij einde proef (dag 20)



1.5 Conclusie

Op basis van de reeds uitgevoerde proeven zien we de beste groei en ontwikkeling van komkommers bij 750 ppm. De moment van dosering heeft veel minder effect dan aangenomen al is dit enkel te concluderen voor de eerste fase van de teelt ($\pm$ 4 weken). Slechts enkele vruchten waren tot ontwikkeling gekomen maar waren nog niet oogstrijp bij het einde van de proef. Bij lange termijn proeven verwachten we wel verschillen te zien in de moment van CO₂ toediening.

Op basis van de laatste proef lijkt er voorlopig geen verschil te zijn in de groei en ontwikkeling van de planten na toediening van de CO₂ uit verschillende bronnen. Hoewel er een verschil is in planthoogte, is dit eerder te wijten aan een verstoorde watergift dan aan mogelijke schadelijke gassen uit de installatie. Ook waren er geen visuele afwijkingen waar te nemen in de box met de afgevangen CO₂. Om hier uitsluitel over te krijgen, wordt er nog een vierde proef opgezet.

1.6 Referenties

Ceusters, J., Borland, A. M., Londers, E., Verdoodt, V., Godts, C., & De Proft, M. P. (2008). Diel Shifts in Carboxylation Pathway and Metabolite Dynamics in the CAM Bromeliad *Aechmea* "Maya" in Response to Elevated CO₂. *Annals of Botany*, 102(3), 389–397. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn105>

Ceusters, N., Valcke, R., Frans, M., Claes, J. E., Van den Ende, W., & Ceusters, J. (2019). Performance Index and PSII Connectivity Under Drought and Contrasting Light Regimes in the CAM Orchid *Phalaenopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1012-. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01012>

Taiz, L. Moller, I.M., Murphy, A. and Zeiger, E. (2023) *Plant Physiology and Development*. Seventh Edition, Sinauer Associates, 752.pp 339



Met de steun van:



Interreg
Vlaanderen-Nederland



Gefinancierd door
de Europese Unie

Energlik



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Ministerie van Economische Zaken



**Provincie
Antwerpen**



provincie limburg



provincie
Oost-Vlaanderen

Partners:



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Maastricht University

