



Komkommer in de Winterlichtkas; zomerteelt 2021

Onbelichte zomerteelt met gelimiteerd CO₂

Monique Bijlaard, Marcel Raaphorst, Anne Elings, Jelle Geurts, Frank Kempkes en Jan Janse

Rapport WPR-1196

Referaat

De winterlichtkas is een kas met een 10% hogere lichtdoorlatendheid, met de focus op de wintermaanden, dan een standaard Venlo kas (Kempkes et al., 2015). Gedurende de jaren 2017-2019 heeft WUR 4 komkommerteelten in de winterlichtkas beproefd, waarbij werd gezocht naar een gewas- en klimaatstrategie waar deze extra hoeveelheid licht ook optimaal omgezet kon worden in assimilaten en daarmee versproductie, (Kempkes et al., 2022). In de zomer van 2021 heeft WUR in het kader van Kas als Energiebron onderzocht of er met een derde van de standaard gedoseerde hoeveelheid CO₂ (in plaats van 30 maximaal 10 kg/m² in 5 maanden), een vergelijkbare productie en kwaliteit behaald kan worden als in de praktijk. De teelt liep van april tot en met de eerste week van september 2021. In die periode zijn met een verbruik van 8,3 kg CO₂ producties van 60 kg/m² tot 67 kg/m² voor de verschillende rassen behaald.

Abstract

The 'Winterlichtkas' was designed for high light transmission in the winter months: 10% more than a conventional Venlo greenhouse (Kempkes et al., 2015). The Winterlichtkas which was built in 2016 at test location IDC-Energy at Wageningen University & Research BU Greenhouse Horticulture in Bleiswijk. During the years 2017-2019, 4 cucumber crop cycles took place in the Winterlichtkas with the aim to find an optimal crop and climate strategy in which this extra amount of light can be converted into assimilates and thus fresh produce (Kempkes et al., 2022). Principles from 'Het Nieuwe Telen' and a low energy input were key. The aim of this study in 2021 was to minimize CO₂ dosing: a maximum 10 kg was allowed instead of the common practice of 30 kg. In the summer trial of 2021, WUR managed to produce 60 kg/m² to 67 kg/m² for the different varieties with reduced CO₂ supply of 8.3 kg CO₂. The cultivation cycle started in April and ended the first week of September. This study was commissioned by Kas as Energiebron.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1196

Projectnummer: 3742307700

DOI: <https://doi.org/10.18174/588733>

Disclaimer

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

glastuinbouw@wur.nl

www.wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 CO ₂ doseerstrategie; doel van de proef	7
2	Materiaal en Methoden	9
	2.1 De winterlichtkas	9
	2.1.1 Experimentele details	9
	2.1.2 Klimaatmanagement	9
	2.2 Waarnemingen en metingen	9
	2.2.1 Instellingen CO ₂ dosering	10
	2.2.2 Fotosynthesemetingen	11
3	Resultaten	13
	3.1 Realisatie CO ₂ strategie	13
	3.2 Evaluatie CO ₂ dosering	14
	3.2.1 Simulatie met variërende CO ₂ -concentratie	16
	3.2.2 Economische afweging van CO ₂ doseren	19
	3.2.3 Wanneer meer en wanneer minder doseren	19
	3.2.4 Discussie	23
	3.3 Fotosynthese en licht	24
	3.3.1 Licht respons curves	24
	3.4 Klimaat	24
	3.4.1 Temperatuur	24
	3.4.2 Luchtvochtigheid	25
	3.4.3 Energiehuishouding	26
	3.5 Gewasgroei	27
	3.5.1 Teeltverloop	27
	3.5.2 Lengtegroei	27
	3.5.3 Bladeren en vrucht potentieel	28
	3.5.4 Uitgroeiduur	28
	3.5.5 Productie	29
	3.5.6 Lichtonderschepping van het gewas	29
4	Conclusie en discussie	31
	Literatuur	33
	Bijlage 1 Schatting van de luchtuitwisseling	35

Samenvatting

In dit verslag wordt het onderzoek naar de zomerteelt van 2021 gerapporteerd. In dit onderzoek was het hoofddoel om te telen met een gereduceerde CO₂ dosering. Bij de overgang naar een fossielvrije teelt, is de beschikbaarheid van CO₂ niet meer vanzelfsprekend, in ieder geval zal een andere CO₂-bron gevonden moeten worden.

Het gestelde doel was om in een zomerteelt van vijf maanden maximaal 10 kg CO₂ per m² te doseren. Dat is ongeveer een derde van wat er in de gangbare praktijk, meestal via wkk, wordt gedoseerd. Dit doel is bereikt; sterker zelfs, in het experiment is slechts 8,3 kg gedoseerd. Opgemerkt moet worden dat de zomer van 2021 een zomer was, waarbij de temperaturen niet extreem zijn geweest waardoor de ventilatiebehoefte lager was dan de laatste jaren gebruikelijk.

Het doel om minimaal CO₂ te doseren is meer dan bereikt, maar daarbij is ingeleverd op de productie. Op basis van berekeningen met data uit fotosynthesemetingen is bepaald, dat voor deze teelt onder deze omstandigheden een 'optimale doseerstrategie' tot zo'n 17% hogere productie zou hebben geleid. Hiervoor zou echter wel drie keer zoveel CO₂ gedoseerd hadden moeten worden.

In het onderzoek is vastgehouden aan een vooraf bepaalde plantdichtheid en snoeistrategie. Deze was mede bepaald op resultaten uit eerdere proeven in de zomer, die veel warmer en lichter waren. Het vasthouden aan deze strategie heeft in deze teelt niet geleid tot een productieverhoging. Waar in de teelt 460 bladeren zijn aangelegd en door de snoeistrategie van 50% vruchtdunning er in potentie 225 vruchten geproduceerd hadden kunnen worden, zijn er 170 vruchten geoogst. Dit alles uitgedrukt in aantallen per m².

Een nevendoel in deze teelt was het terugdringen van het middelen gebruik. Er is gekozen voor drie meeldauw tolerante rassen, zodat we konden streven naar een middelen reductie van 25%. De middelen keuze is gebaseerd op preventie en residu vrije middelen. Dit doel is bereikt, we hebben in de gehele teelt residu vrije middelen gebruikt op drie maal na, waar Abir is ingezet.

1 Inleiding

Bij de ontwikkeling van de Winterlicht kas heeft een maximalisatie van de lichttransmissie vooropgestaan. Door aanpassingen aan de kas is het mogelijk gebleken de transmissie met meer dan 10% te verhogen ten opzichte van een referentiekas zoals die "standaard" in de praktijk veel gebouwd wordt. Hoewel in de ontwerpfase de focus vooral op de wintermaanden lag, bleek de transmissie jaarrond te zijn verbeterd. Meer licht is in principe ook meer productie, maar die meer productie moet ook nog maar eens bereikt worden. Dat is in het algemeen goed tot zeer goed gelukt.

In deze kas ligt de focus op energiezuinig en waar mogelijk fossielvrij telen. Bij fossielvrij telen is de beschikbaarheid van CO₂ niet meer zo vanzelfsprekend. In dat kader is een onbelichte zomerteelt met gereduceerd CO₂ doseren opgezet. De doseerstrategie is gebaseerd op eerder uitgevoerd onderzoek met tomaten door Pieter de Visser (Visser et al., 2022). Eén van de toegepaste strategieën hield in maximaal 10 kg per m² in de gehele teelt en doseersnelheid van maximaal 60 kg ha⁻¹uur⁻¹. In dit experiment is deze beperkte doseerstrategie toegepast. Aansluitend hierbij is een strategie bedacht voor ventileren.

Door het steeds beperkter wordende middelenpakket is er in de teelt gekozen voor meeldauw tolerante rassen waardoor we in konden zetten op een middelen reductie van 20-25% t.o.v. gebruikelijke teelten met gevoelige rassen.

1.1 CO₂ doseerstrategie; doel van de proef

In dit onderzoek hebben we willen aantonen dat in een onbelichte hogedraad teelt in de zomer van komkommer in de winterlichtkas met een significant lagere input van CO₂ dan de praktijk (ongeveer een derde van wat er in praktijk gebruikt wordt), een minstens even hoge productie als de praktijk kan worden behaald.

Technische doelstellingen

- Ontwerpen en valideren van een teeltstrategie met 10 kg CO₂ per ha voor een zomerteelt van een 5 maanden.
- CO₂ ventilatieverlies sterk terugbrengen door (a) bij open ramen (raamstand > 5%) beperkt te doseren (tot 450 ppm en maximaal 60 kg ha⁻¹ uur⁻¹) om het dalen onder de buitenconcentratie te vermijden; (b) de dosering aanpassen aan de berekende opname van het gewas (lichtafhankelijk dosering) en (c) de luchtramen langer gesloten te houden. Hiervoor wordt volgens Het Nieuwe Telen geteeld, en worden de in de Winterlichtkas aanwezige technieken optimaal ingezet, zoals schermen, verneveling en de regain unit. Bij gesloten luchtramen zal met de dosering naar maximaal 700 ppm CO₂ worden gestreefd.
- Door aanpassen van de groeicondities zorgdragen voor een betere CO₂ benutting door het gewas. Maatregelen worden ontleend aan de resultaten van de huidige CO₂ proef bij WUR Glastuinbouw, en bestaan bijvoorbeeld uit telen bij hogere RV, meer luchtcirculatie en locatie specifiek doseren.

Energiedoelstellingen

- Verminderd gebruik van fossiele CO₂, van de nu gebruikelijke 35 naar 12 kg per 6 maanden of 10 kg per 5 maanden, een vermindering tot een derde. Dit door luchtramen vaker en langer gesloten te houden en efficiënter te doseren. Vermindering van CO₂ verliezen was in principe leidend, en niet zozeer de economische afweging of extra CO₂ zal leiden tot een hogere financiële opbrengst.
- Lager gasverbruik voor verwarming. Op basis van ervaringen de afgelopen jaren zou voor de betreffende periode 5 a 6 m³ per m² aan gas nodig te hebben. In de praktijk is dat met ca 11 m³ per m² ongeveer het dubbele. De lagere warmtebehoefte kan tevens gemakkelijker ingevuld worden met warmte die is verzameld door de in de Winterlichtkas aanwezige regain-unit op de ontvochtiging welke vooral bij gesloten ramen / minimale ventilatie minder naverwarming vergt.
- Er hoeft minder gestookt te worden voor CO₂-productie, dus minder vernietiging van warmte. De "vermeden zomerstook" is op voorhand berekend op 9.5 m³ gas per m².
- De komkommerteelt in Nederland vindt plaats op 545 ha en 201 bedrijven¹. Dit project zal het perspectief voor lagere CO₂ dosering voor de komkommerteelt helpen schetsen. Echter door de typische karakteristieken van de Winterlichtkas, met name de hoge lichtdoorlatendheid, is dit perspectief het meest realistisch voor nieuwe kassen.

¹ www.agrimatie.nl

2 Materiaal en Methoden

2.1 De winterlichtkas

Het ontwerp van de winterlichtkas is tot stand gekomen door gebruik van RAYSIM (een ray tracing model) (Swinkels et al. 2001), de uitkomsten hiervan staan beschreven in het rapport 'Verbetering lichtinval winterlicht'. Behaalde teeltresultaten zijn gerapporteerd in het rapport WPR-1113 (Kempkes et al. 2022).

Als doelgewas was komkommer gekozen welke volgens de beginselen van Het Nieuwe Telen werd geteeld. Er hebben meerdere succesvolle teelten in de winterlicht kas gestaan. Voor het in dit rapport beschreven onderzoek is er in de zomer van 2021 een onbelichte teelt beproefd met drie rassen, die alle drie een bepaalde meeldauwtolerantie bezitten.

Om met gelimiteerd CO₂ te kunnen doseren moet er een strategie bepaald worden en dat is gedaan op basis van een eerder uitgevoerde tomaten proef (De Visser et al., 2022). De meest zuinige doseerstrategie van die tomatenproef is hier beproefd en dat houdt het volgende in. Er mag maar een derde van de in de praktijk gebruikelijke hoeveelheid CO₂ gedoseerd worden. Dat is vertaald naar een maximale hoeveelheid te doseren CO₂ van 10 kg/m² voor een teelt van 5 maanden. Voorafgaand aan de teelt is berekend hoeveel de gemiddelde dagelijkse dosering mag zijn. Met die dagelijkse hoeveelheid is een plan gemaakt op welk moment van de dag CO₂ gedoseerd kan worden om verliezen door ventilatie te minimaliseren. Hiertoe worden ook hogere temperaturen toegelaten, en op momenten dat er veel wordt geventileerd wordt er geen of nauwelijks CO₂ gedoseerd. Gedurende de teelt is gelet op de hoeveelheid gedoseerde CO₂ en het resterende 'budget' aan CO₂.

2.1.1 Experimentele details

De proef is uitgevoerd met drie rassen van drie verschillende veredelaars. In de goten 1 tot en met 5 stond het ras Character (RijkZwaan), in de goten 6-9 Hi Light (Nunhems) en in de goten 10-13 Dee Viatee (Enza). De plantdichtheid was voor alle drie de rassen gelijk, namelijk 3,25 stengels per m². Er zijn in de teelt geen extra stengels aangehouden dus deze dichtheid is aangehouden gedurende de gehele teelt. Vooraf is de snoeistrategie bepaald, 50% vruchtdunning, en die is ook de gehele teeltperiode aangehouden. Deze vaste snoei strategie is gekozen op basis van voorgaande teelten en berekeningen van potentiële plantgroei en beoogde productie. Er is bewust niet gekozen voor een "dynamische" snoeistrategie omdat in voorgaande proeven gevraagd is door de BCO om planmatiger te telen.

2.1.2 Klimaatmanagement

Het klimaatmanagement was gebaseerd op inzichten uit 'Het Nieuwe Telen' met als doel maximaal 10 kg CO₂ per m² in 5 maanden te doseren en daarbij een zo laag mogelijk energiegebruik te realiseren. De klimaatinstellingen werden eventueel aangepast in overeenstemming met advies gebaseerd op de tweewekelijkse bezoeken van de Begeleidings Commissie Onderzoek (BCO). Om de CO₂ verliezen te beperken werd er qua dosering gestuurd op temperatuur en raamstand met een maximale doseersnelheid van 60 kg/ha/uur en het streven om met het CO₂ gehalte niet onder de buitenwaarde te komen.

2.2 Waarnemingen en metingen

De periodieke gewaswaarnemingen zijn in Tabel 1 samengevat. Daarnaast werden klimaat- en weerdata met een interval van 5 minuten geëxporteerd naar een Excel bestand. Ook zijn er fotosynthese- en lichtonderscheppingsmetingen verricht.

Tabel 1

Gewaswaarnemingen.

Waarneming	Dimensie
Lengtegroei	cm/week
Cumulatieve plantlengte	cm
Bladeren	#/week
Cumulatief aantal bladeren	#
Uitgroeiduurtijd (= bloei-oogst)	dagen
Oogst aantal vruchten klasse I	#/m ²
Oogstgewicht	kg/m ²
Gemiddeld vruchtgewicht	g

De productieresultaten zijn vergeleken met berekeningen uit het programma Intkam-Kaspro. Hierin is ook het effect van het zomerklimaat meegenomen door een berekening te maken op basis van het klimaat in de zomer van 2020 (vooraftgaande jaar). Daardoor zijn de resultaten minder afhankelijk van het specifieke zomerklimaat van 2021.

Op 5 en 6 juli 2021 zijn de lichtonderscheppingsmetingen gedaan in de winterlichtkas.

In figuur 1 zijn de meetposities aangegeven met A, M en V. Dit staat voor achter, midden en voor in het pad. Ook bij de PAR line sensoren is gemeten, dit zijn namelijk sensoren die permanent tussen het gewas zijn geïnstalleerd die de lichtonderschepping permanent meten. Per meetpositie is op 4 hoogtes in het gewas gemeten namelijk boven het gewas, en op resp. 245 cm, 130 cm en 17 cm boven het steenwolblok. De gemiddelde afstand van de grond tot de bovenkant van de steenwol blokken is 101 cm.

						Westen								
Goot:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			A			A		A				A		
Zuiden			M				M		M			M		Noorden
			V					V				V		
Pad														
						Oosten								

Figuur 1 Meetposities in de kas.

2.2.1 Instellingen CO₂ dosering

De CO₂-dosering is gebaseerd op de CO₂-concentratie, de hoeveelheid straling, de raamstanden en de windsnelheid.

- De CO₂-dosering is gebaseerd op een streefwaarde van ±640 ppm CO₂.
- Als deze streefwaarde niet wordt gehaald, dan is de doseercapaciteit begrensd op 60 kg/(ha.uur).
- De doseercapaciteit wordt met 60 kg/(ha.uur) verlaagd in het traject van globale straling tussen 200 en 0 W/m². Bij donker weer wordt dus minder gedoseerd.
- De doseercapaciteit wordt met 25 kg/(ha.uur) verlaagd als de windzijdige en luwzijdige luchtramen opgeteld een stand bereiken van 40% tot 80%.
- De doseercapaciteit wordt met 25 kg/(ha.uur) verlaagd in het traject van een windsnelheid tussen 7 en 10 m/s.

Deze doseerstrategie gaat daarmee veel zuiniger om met CO₂ dan doseerstrategieën in de praktijk, waar wel tot 180 kg/(ha.uur) wordt gedoseerd.

2.2.2 Fotosynthesemetingen

Tussen 19 juli en 27 juli zijn fotosynthese metingen gedaan. In elke cultivar is gemeten zowel aan de linkerzijde van de goot als aan de rechterzijde van de goot om schadueffecten weg te nemen, zowel bovenin het gewas als onderin het gewas.

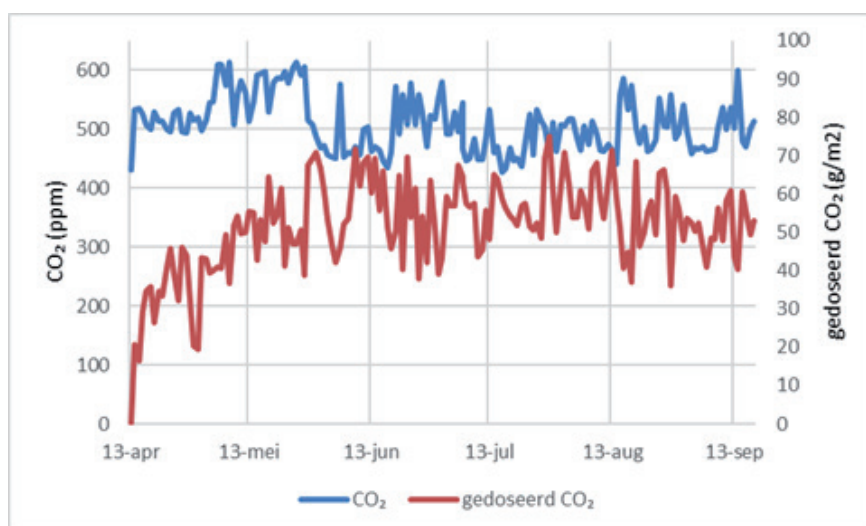
Er zijn 2 curves gemaakt, een CO₂ response curve en licht response curve, beide in 6 herhalingen.

De metingen zijn uitgevoerd met de Licor LI-6800.

3 Resultaten

3.1 Realisatie CO₂ strategie

Totaal is er 8,3 kg/m² CO₂ gedoseerd bij een gemiddeld gerealiseerd CO₂-gehalte overdag van gemiddeld 508 ppm, zie Figuur 2. Figuur 2 geeft de dagdosering weer gedurende de teelt aan de rechteras en aan de linker as is de dagelijkse gerealiseerde hoeveelheid CO₂ in de kas tijdens de lichtperiode.



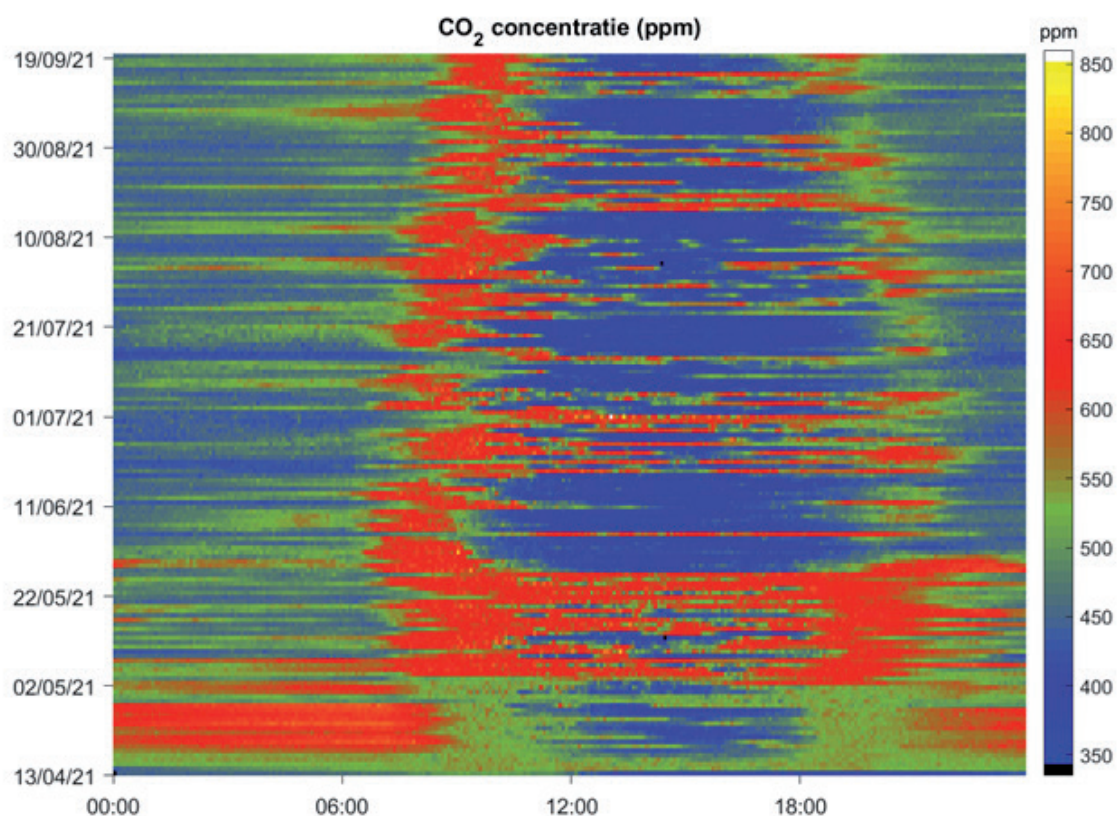
Figuur 2 Totale dagelijkse CO₂-dosering en realisatie overdag gedurende de teelt.

Het voordeel dat we in deze teelt lijken te hebben gehad, is het milde zomerklimaat. Relatief lage temperaturen en weinig instraling zorgen er immers voor dat er minder geventileerd hoefde te worden.

Het verloop over 24 uur van de CO₂ concentratie in de kas is zichtbaar gemaakt in Figuur 3. 13 april 2021 is de eerste dag weergegeven als een gekleurde lijn onderaan in de figuur en de bovenste gekleurde lijn betreft 19 september. Vanaf ongeveer 30 mei is aan de blauwe kleur te zien dat er op de dag tussen 12:00 en 18:00 lagere CO₂ waarden werden gehaald, die rond de buitenconcentratie liggen.

Een opvallend punt in de figuur is dat de CO₂-concentratie 's nachts nauwelijks oploopt, wat aangeeft dat er 's nachts altijd wel wat ventilatie heeft plaatsgevonden. Op sommige dagen daalt de CO₂-concentratie tot onder de buitenwaarde, wat wordt aangegeven met een donkerblauwe kleur. Dit betekent dat de fotosynthese ofwel het verbruik van CO₂ op die momenten hoger is dan de dosering.

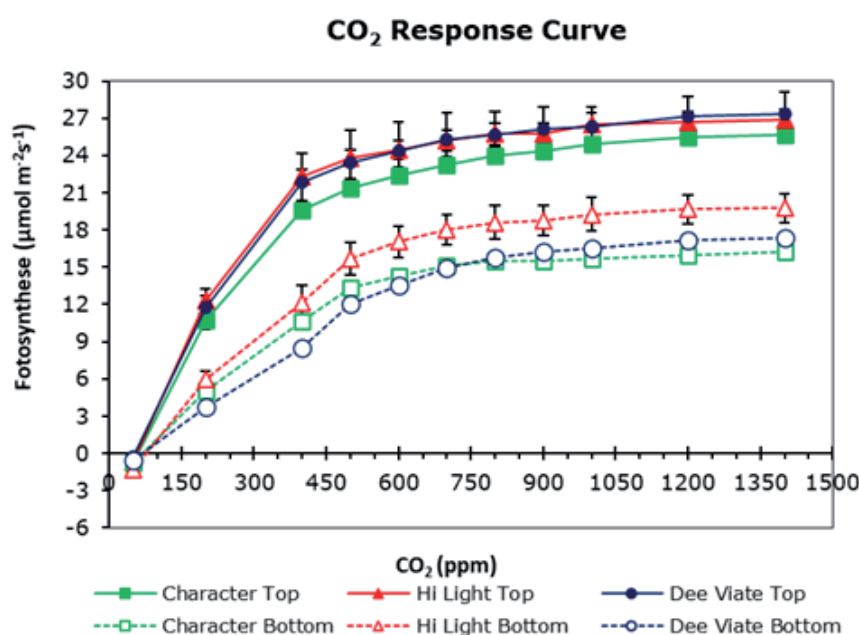
Dagen dat overdag rode blokken worden getoond zijn vak de meer sombere dagen met beperkte ventilatie en door het lage lichtniveau ook beperkte CO₂ opname van het gewas.



Figuur 3 Gemeten CO₂ waarden per 5 minuten in de gehele teeltperiode.

3.2 Evaluatie CO₂ dosering

Er zijn responscurves gemaakt van de fotosynthese metingen. Figuur 4 toont de CO₂ responscurve voor de drie rassen. Ook is bovenin het gewas en onderin het gewas gemeten. Hi Light heeft onderin het gewas de hoogst gemeten respons. Bovenin is de respons voor alle rassen groter dan onderin het gewas, wat ook te verwachten is gezien het verschil in leeftijd van de bladeren boven en onderin.



Figuur 4 CO₂ responscurves voor bovenste en onderste bladeren van Character, Hi Light en Dee Viate.

Om te bepalen hoe effectief de CO₂-doseerstrategie is geweest zijn de fotosynthesemetingen geanalyseerd en vergeleken met het gerealiseerde klimaat. Op basis van de fotosynthesemetingen is een formule opgesteld die de bladfotosynthese berekent met de hoeveelheid PAR en de CO₂-concentratie. Deze formule is afgeleid van de bestaande fotosynthesemodellen [Farquhar en Wong, 1984] en geeft een redelijke fit op de gemeten data voor bladfotosynthese.

Formule 1

$$L = \frac{\varepsilon * PAR + (Am - Rd) - \sqrt{(\varepsilon * PAR + Am - Rd)^2 - 4 * \theta * \varepsilon * PAR * (Am - Rd)}}{2 * \theta} + Rd$$

Formule 2

$$Bladfotosynthese = L * (1 - e^{(-fc*(ppm-vc)})}$$

Om deze formule overeen te laten komen met de fotosynthesemetingen zijn de volgende parameters ingesteld:

- L: bladfotosynthese bij onbeperkt CO₂ (opgenomen CO₂ in µmol/m².s)
- Am (maximale fotosynthese)
- Rd (donkerademhaling)
- ε (initiële lichtbenuttingssnelheid) op 0.08 µmol CO₂/µmol PAR
- θ (parameter die de vorm van de curve beïnvloedt) op 0.7
- PAR (berekende hoeveelheid PAR op basis van globale straling buiten en schermpositie in µmol/m².s)
- ppm (gemeten CO₂-concentratie in de kas in ppm)
- fc (factor concentratie-effect)
- vc (verschuiving van de CO₂-concentratie om de formule aan de metingen aan te passen)
- Bladfotosynthese (opgenomen CO₂ in µmol/m².s)

Om de parameters van bladfotosynthese om te zetten naar gewasfotosynthese (zie Tabel 2) is rekening gehouden met de volgende aannames:

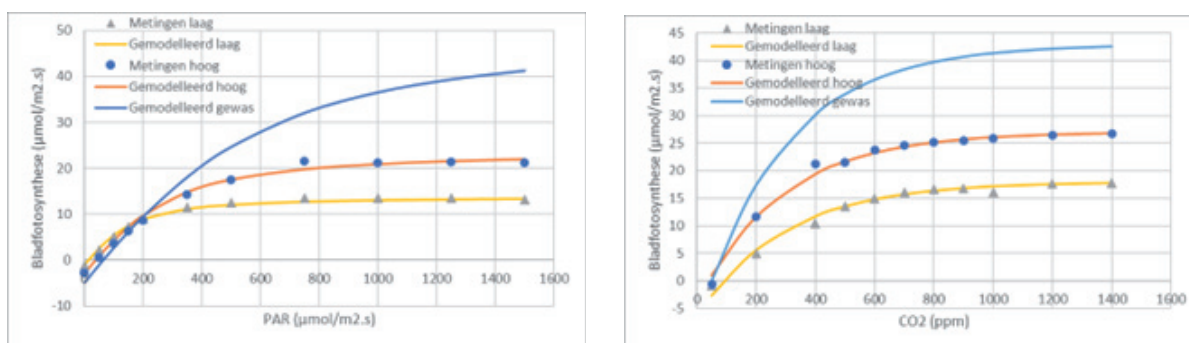
- Bij gewasfotosynthese komt het meeste licht niet loodrecht op het blad, maar vanuit meerdere invalshoeken, waardoor het gemeten licht zich over een groter bladoppervlak verspreidt. De lichtintensiteit per m² blad is daarmee lager dan loodrecht gemeten, waardoor het blad efficiënter met het licht omgaat. De combinatie van de lagere lichtintensiteit per m² blad en een LAI van 2,5 zorgt ervoor dat de maximale gewasfotosynthese hoger is dan de maximale bladfotosynthese. Bijvoorbeeld in gesloten kassen is bij hoge CO₂-concentraties en hoge lichtintensiteiten wel een maximale fotosynthese (Am) van 8 gram CO₂ per m².uur gemeten. Dat komt overeen met 50 µmol CO₂/(m².s), wat bijna 2x zo veel als de gemeten maximale bladfotosynthese. Omdat de CO₂-concentratie in de winterlichtkas zelden optimaal was, gaan we uit van 43 ipv 50 CO₂/(m².s).
- De donkerademhaling (Rd) is recht evenredig met de LAI. Bij een LAI van 2,5 zal de Rd uitkomen op (-2,8-1,1)*1.25= -4,9 µmol CO₂/m².s.
- De initiële lichtbenuttingssnelheid (ε) en de curveparameter (θ) worden voor het gewas gelijk verondersteld als dat van het blad (0,08 respectievelijk 0,7)
- De factor van effect van CO₂-concentratie (fc) wordt verondersteld als zijnde het gemiddelde voor de schattingen voor hoog en laag blad (0,00345).
- De verschuiving van de CO₂-concentratie (vc) is zodanig gesteld dat de gewasfotosynthese bij 50 ppm niet lager wordt dan 0. (50 ppm)

Tabel 2

Parameters gebruikt om de formule te fitten met de meetdata voor hoge bladeren, lage bladeren, en een schatting van de waarde voor een gewas met een LAI van 2,5.

Parameter	Eenheid	Hoge bladeren	Lage bladeren	Gewas (LAI van 2,5)
Am (500 ppm)	$\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$	24	14	43
Am (max ppm)	$\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$	27	18	50
Rd	$\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$	-2.8	-1.1	-4.9
ϵ	$\mu\text{molCO}_2/\mu\text{molPAR}$	0.08	0.08	0.08
θ	-	0.7	0.7	0.7
fc	-	0.0035	0.0034	0.00345
vc	ppm	40	90	50

In Figuur 5 zijn deze formules ingevuld met de parameters van Tabel 2 en vergeleken met de bladfotosynthesemetingen. De metingen zijn uitgevoerd met een variërende CO_2 -concentratie bij 750 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ PAR en bij een variërende PAR-intensiteit bij een CO_2 -concentratie van 500 ppm.

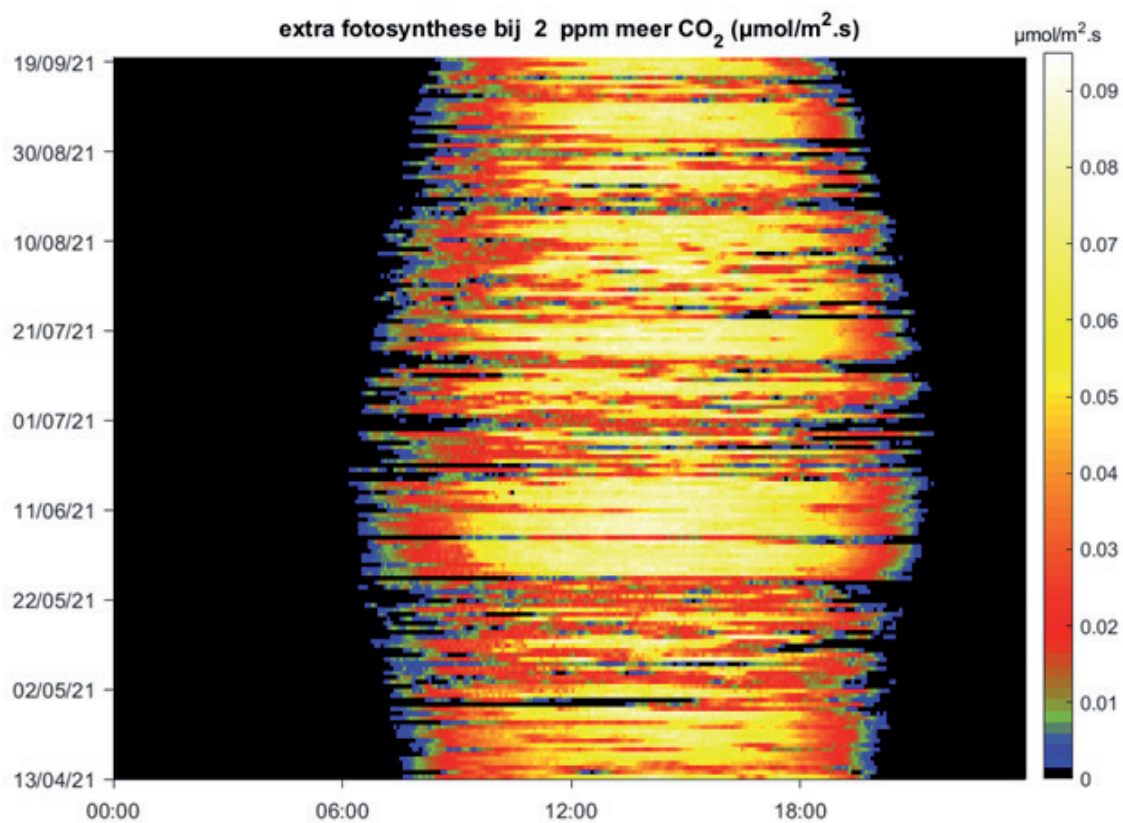


Figuur 5 Metingen van de bladfotosynthese als functie van de PAR bij 500 ppm CO_2 (links) en als functie van de CO_2 concentratie bij 750 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2.\text{s}$ (rechts), vergeleken met de lijn volgens formules 1 en 2 ingevuld met de parameters uit Tabel 2.

3.2.1 Simulatie met variërende CO_2 -concentratie

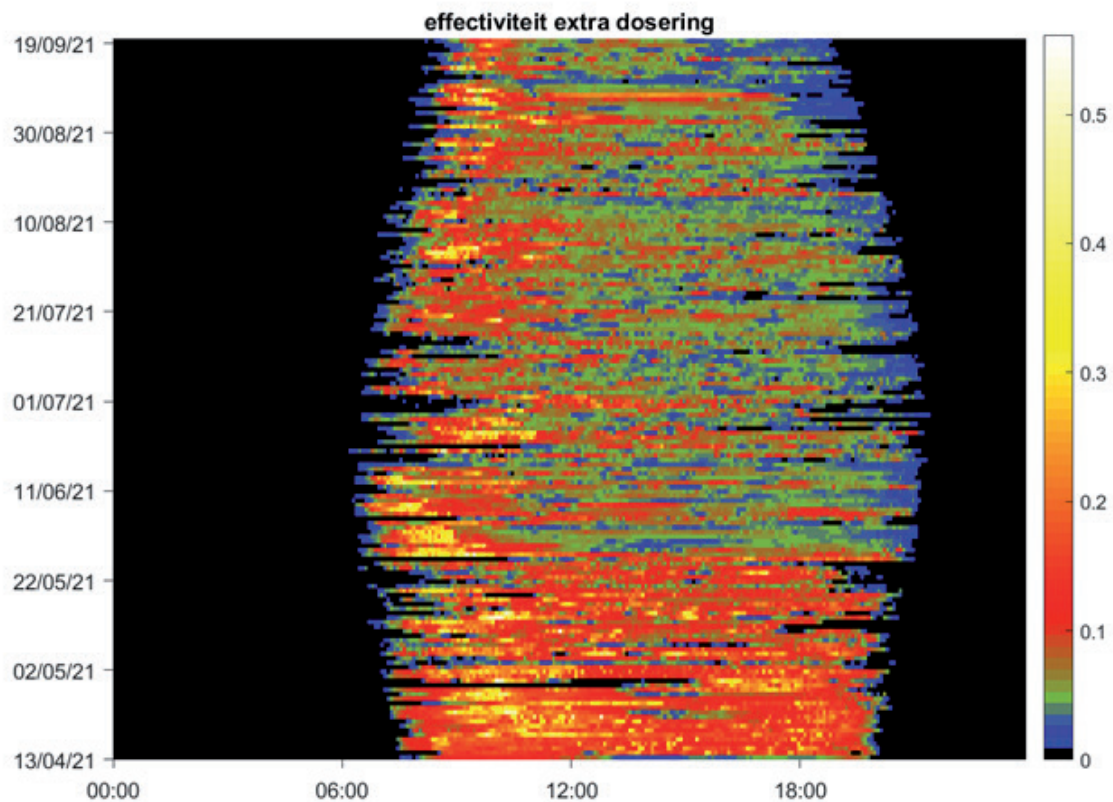
Op basis van de bovengenoemde formules is voor ieder moment van de teelt bepaald hoeveel meer gewasfotosynthese er zou zijn als er 2 ppm meer CO_2 aanwezig zou zijn. Dat is weergegeven in Figuur 6. Vooral op de momenten met veel PAR zou extra CO_2 meer extra fotosynthese hebben gegeven.

Een hoge PAR gaat echter vaak samen met veel warmte-inbreng in de kas, en dus met veel ventilatie. Hierdoor wordt het moeilijk om een hoge CO_2 -concentratie aan te houden. De hoeveelheid ventilatie (luchtuitwisseling) per moment, is geschat op basis van berekeningen zoals uitgelegd in Bijlage 1.



Figuur 6 Vijfminutenschema waarin voor ieder moment in kleur is aangegeven hoeveel extra $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ gewasfotosynthese zou worden gegenereerd bij 2 ppm extra CO_2 .

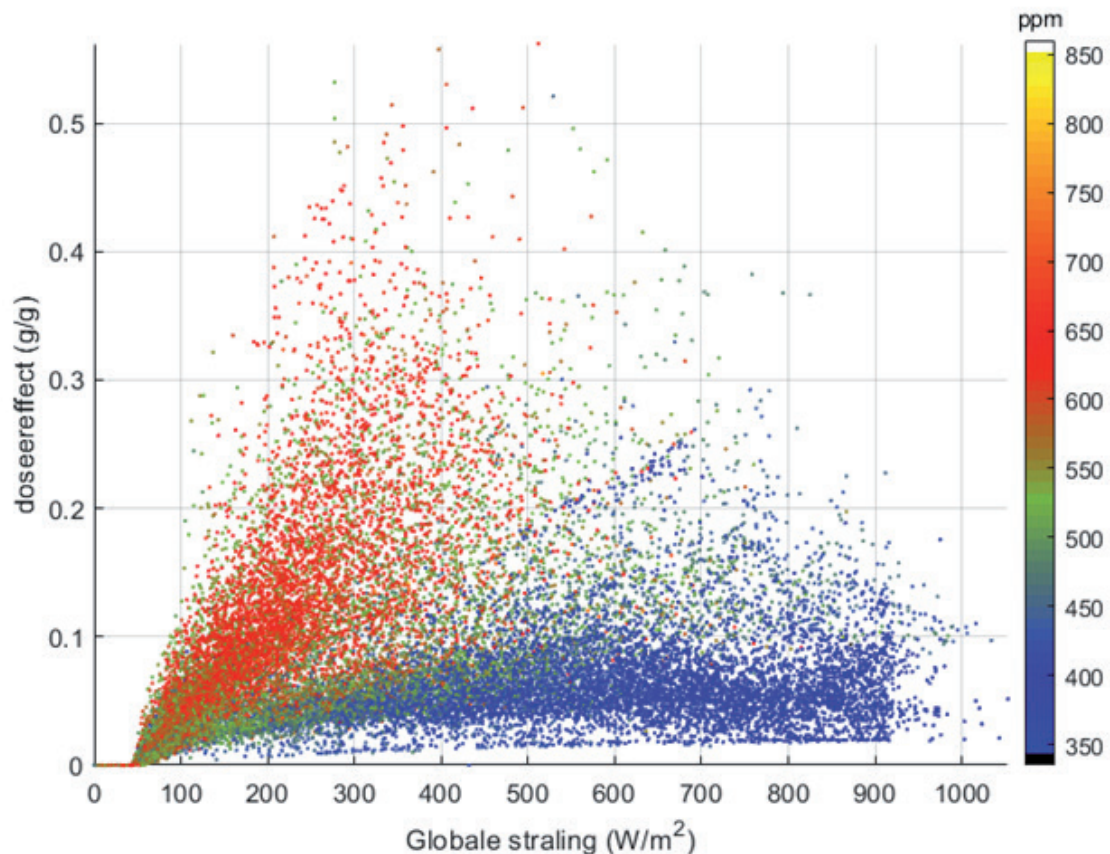
Door de extra fotosynthese per 2 ppm extra CO_2 uit Figuur 6 te combineren met de berekende luchtuitwisseling te combineren, kan worden berekend hoeveel extra CO_2 moet worden gedoseerd om tot 2 ppm extra CO_2 te komen. Hiermee kan weer voor ieder moment worden berekend hoeveel van de extra gedoseerde CO_2 ook wordt opgenomen door het gewas. Dat is weergegeven in Figuur 7. Een gele kleur geeft aan dat 40% tot 70% van de extra gedoseerde hoeveelheid CO_2 effectief door het gewas wordt opgenomen en dat 30% tot 60% via de luchtramen verdwijnt. Grofweg komt het erop neer dat de effectiviteit van het doseren het hoogst als er licht is en de luchtramen (vrijwel) gesloten zijn.



Figuur 7 Vijfminutenschema waarin voor ieder moment van de dag in kleur is aangegeven hoeveel van de extra gedoseerde CO₂ door het gewas wordt opgenomen.

In Figuur 8 is het deel van de extra gedoseerde CO₂ dat door het gewas is opgenomen, uitgezet tegen de hoeveelheid globale straling.

Hieruit blijkt dat bij hoge instraling en een CO₂-concentratie van minder dan 500 ppm het effect van extra CO₂ minder groot is dan bij 100-400 W/m² en een CO₂-concentratie van meer dan 500 ppm. Dit pleit ervoor om bij het doseren van CO₂ meer waarde te hechten aan de raamstand en de windsnelheid, dan aan de CO₂-concentratie.



Figuur 8 De benutting van extra CO₂-dosering (g vastgelegd / g gedoseerd), uitgezet tegen de hoeveelheid globale straling. De kleur van de punten geeft de CO₂-dosering aan in kg/ha.uur.

3.2.2 Economische afweging van CO₂ doseren

In Figuur 8 hebben we gezien dat bij extra CO₂ doseren vaak minder dan 10% van de gedoseerde CO₂ door het gewas wordt opgenomen. Om te bepalen bij welk doseereffect doseren economisch rendabel is, moeten we aannames doen:

- Een komkommer van 400 gram met 3% drogestof bevat 12 gram drogestof, wat neerkomt op ongeveer 18 gram opgenomen CO₂ (CO₂ is 44/28 keer zo zwaar als CH₂O).
- Van de assimilaten gaat 70% naar de vruchten.
- Een extra komkommer levert in de zomerperiode € 0,22 op, waarvan € 0,08 nodig is voor de extra arbeid, verpakking en afzet.
- Dit betekent dat iedere gram extra opgenomen CO₂ $((0.22-0.08)/18 \cdot 0.7) = € 0,0054$ oplevert. Dat is € 5,4 per kg opgenomen CO₂.
- Als het doseren van een kg CO₂ 8 cent kost, dan is extra doseren economisch rendabel als het doseereffect groter is dan $8/540 = 0.015$ g/g.

Dit is het geval geweest gedurende verreweg het grootste gedeelte van de tijd, wat aangeeft dat meer doseren het economisch rendement meestal zou verhogen.

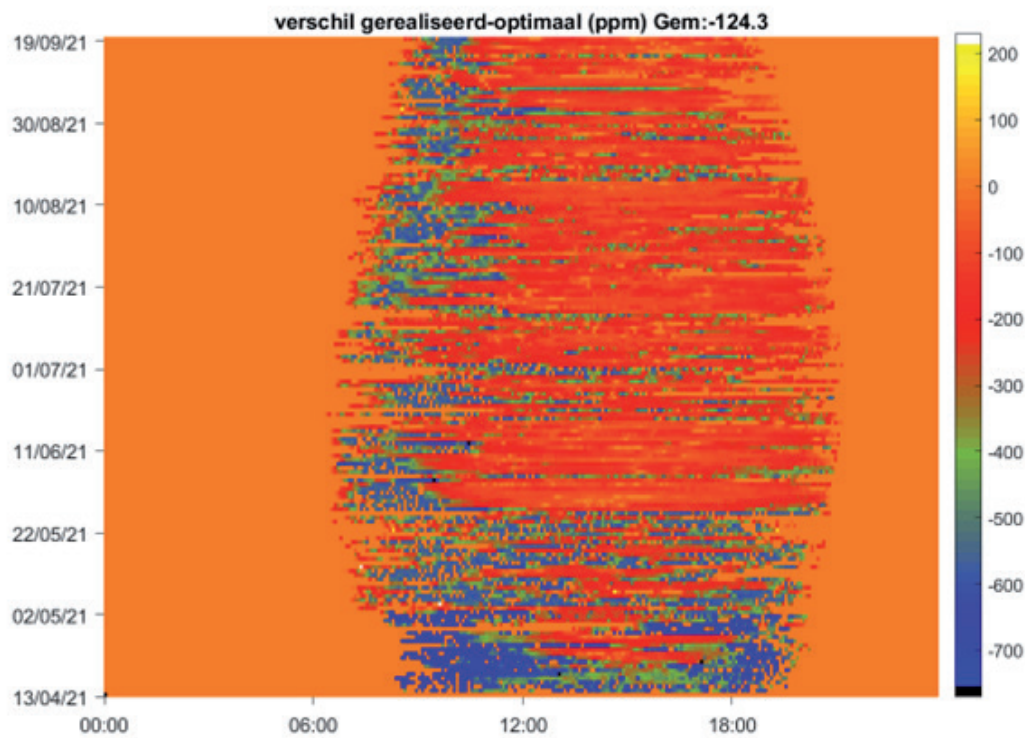
3.2.3 Wanneer meer en wanneer minder doseren

Met behulp van bovenstaande formules kan voor ieder moment op basis van de hoeveelheid straling en luchtuitwisseling worden bepaald wat economisch de optimale dosering is. Hiervoor zijn simulaties gemaakt met de volgende uitgangspunten:

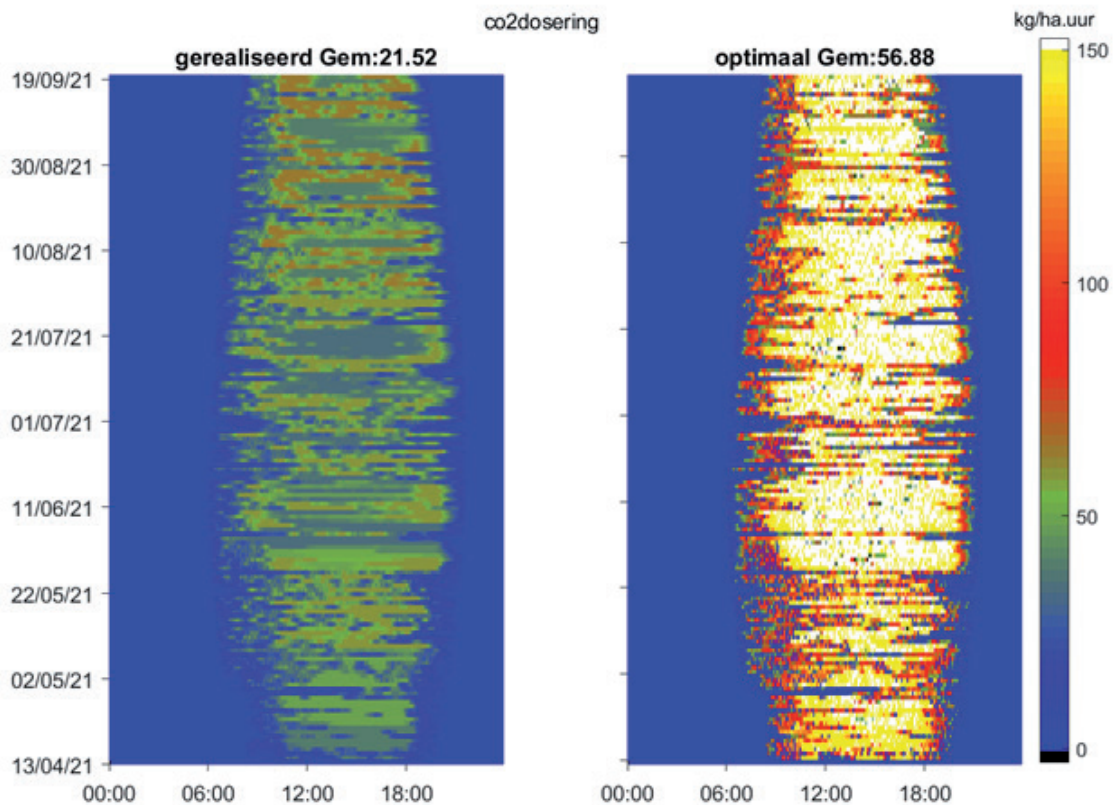
- De maximale dosering is 150 kg/ha.uur.
- De maximale CO₂-concentratie is 1200 ppm (volgens Figuur 4 blijft de fotosynthese daarboven nog steeds oplopen, maar dat wordt niet als realistisch gezien).
- Het doseereffect moet groter zijn dan 0,02 g/g (dit is hoger dan de 0,015 hierboven berekend).

De resultaten laten zien dat de gehanteerde strategie niet leidt tot het hoogste netto bedrijfsresultaat. Om tot een berekend optimum te komen, zal volgens Figuur 10 Vergelijking van de gerealiseerde CO₂-doseersnelheid (links) en de gesimuleerde CO₂-doseersnelheid (rechts) (kg/ha.uur) om tot een economisch optimum te komen. Figuur 10 bijna drie ($56,88/21,52=2,64$) keer zoveel CO₂ moeten worden gedoseerd (zie Figuur 10). Een gemiddelde dosering van 21,5 kg/ha.uur over $160 \cdot 24 = 3840$ uur is 8,3 kg/m², en 56,9 kg/ha.uur over 3840 uur is 21.8 kg/m².

Als wordt gekeken naar de CO₂-concentratie zou voor een optimale dosering vooral in de ochtenduren, wanneer de luchtuitwisseling nog beperkt is ten opzichte van de hoeveelheid instraling, een hogere CO₂-concentratie moeten worden nagestreefd.

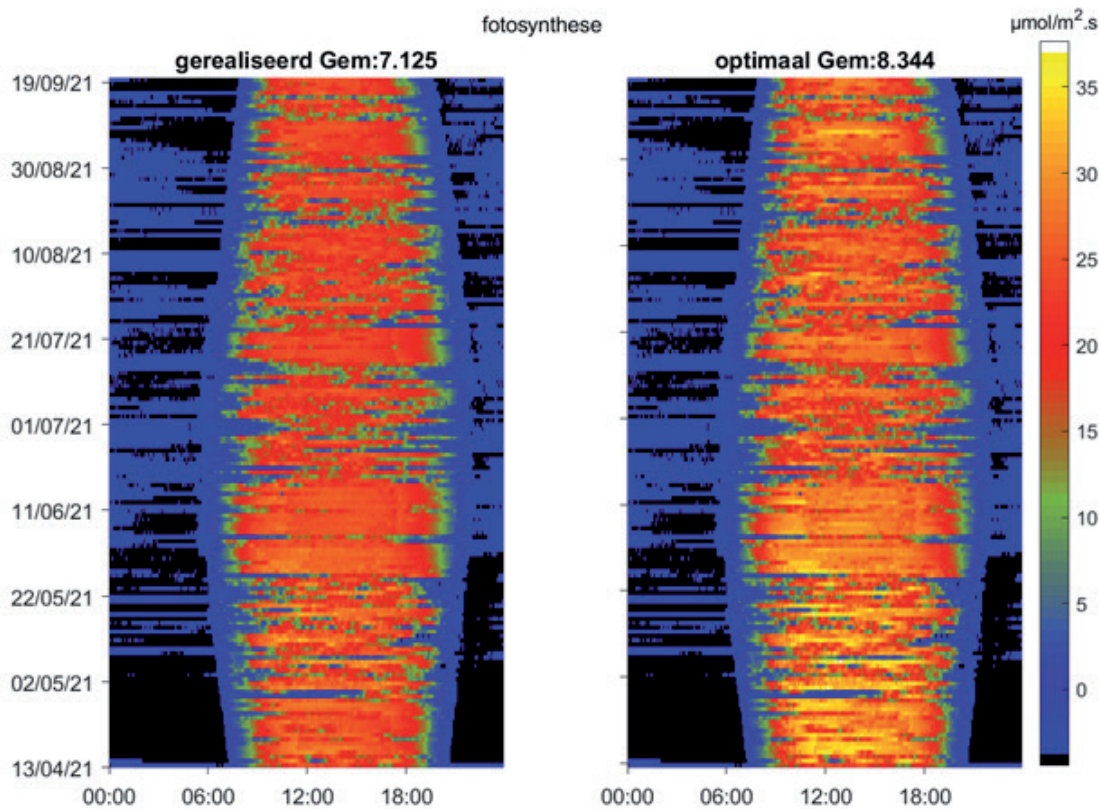


Figuur 9 Verschil tussen de gerealiseerde CO₂-concentratie en de gesimuleerde CO₂-concentratie (ppm) om tot een economisch optimum te komen.



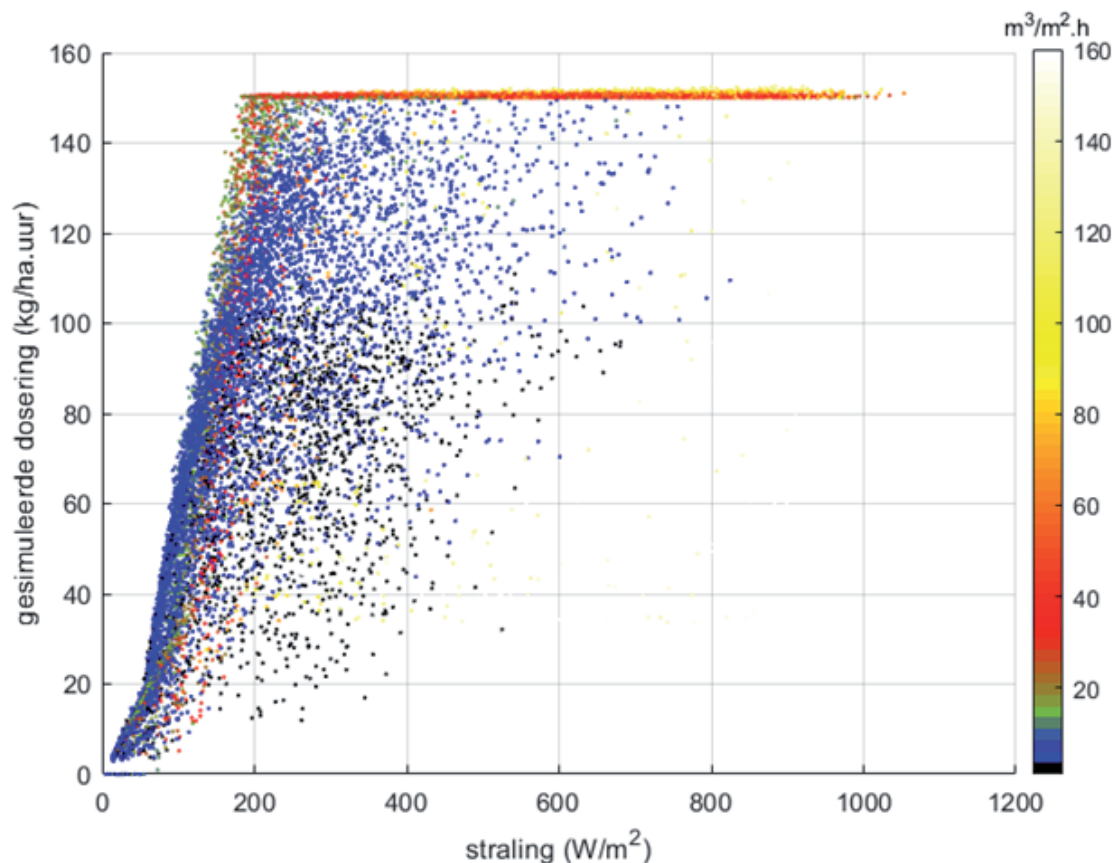
Figuur 10 Vergelijking van de gerealiseerde CO₂-doseersnelheid (links) en de gesimuleerde CO₂-doseersnelheid (rechts) (kg/ha.uur) om tot een economisch optimum te komen.

De berekende bruto fotosynthese (Figuur 11) komt voor de gerealiseerde CO₂-concentratie uit op 7,13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. Gerekend over $160 \cdot 24 = 3840$ uur komt dat bij een CH₂O gewicht van 28 g/mol neer op $3840 \cdot 3600 \cdot 7,13 \cdot 28 / 10^6 = 2731$ g/m² aan drooggewicht. Als 70% daarvan naar de vruchten gaat met een drogestofpercentage van 3% zou dat neerkomen op 63,7 kg/m² aan komkommers. Dat komt aardig overeen met de 59-67 kg die daadwerkelijk is gerealiseerd (zie Figuur 21). Bij een optimaal berekende dosering zou de fotosynthese zijn uitgekomen op $8344 / 7125 \cdot 63,7 = 74,6$ kg/m². Dat is 17% meer productie.



Figuur 11 Vergelijking van de gerealiseerde bruto fotosynthese en de gesimuleerde bruto fotosynthese ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$).

De volgens de simulaties optimale dosering is in Figuur 12 uitgezet tegen de hoeveelheid straling. De kleur van de punten staat voor de hoeveelheid luchtuitwisseling in $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$. Uit de figuur blijkt dat de optimale dosering oploopt met de hoeveelheid straling. Het effect van de luchtuitwisseling is echter tweezijdig: bij lage luchtuitwisseling wordt de optimale CO_2 -dosering eerder bereikt en is dus minder CO_2 -dosering nodig. Bij een hoge luchtuitwisseling die samengaat met veel straling zal extra CO_2 langer zinvol zijn dan als deze samengaat met weinig instraling.



Figuur 12 Gesimuleerde dosering (kg/ha.uur), uitgezet tegen de hoeveelheid straling (W/m^2). De kleur geeft de geschatte luchtuitwisseling weer in $m^3/m^2.h$.

3.2.4 Discussie

Voor het verhogen van het economisch rendement van de komkommerteelt in de zomer, zou veel meer CO_2 moeten worden gedoseerd dan wat in deze proef is gedaan. Dat is berekend op basis van de relatie tussen CO_2 -concentratie en instraling enerzijds, en bladfotosynthese anderzijds. De bladfotosynthese is vertaald naar gewasfotosynthese waarbij is aangenomen dat de LAI continu 2,5 is geweest. De dosering is optimaal gesteld als minstens 2% van iedere extra gedoseerde kg CO_2 wordt opgenomen door het gewas.

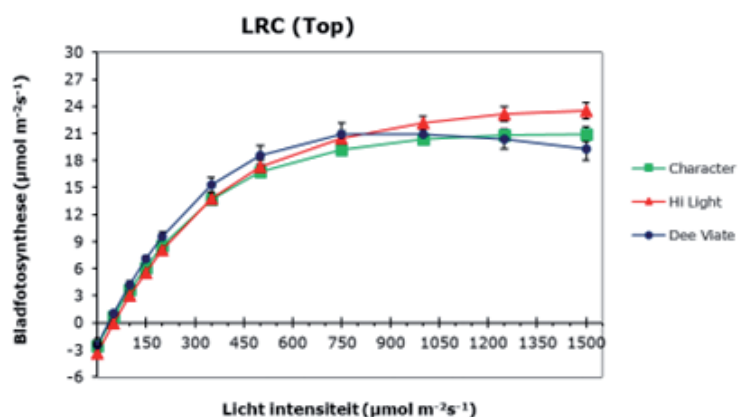
Bovenstaande simulaties kennen een aantal kanttekeningen:

- Het omzetten van bladfotosynthese naar gewasfotosynthese is gebaseerd op aannames, en zou voor de volledigheid moeten worden gereviewd.
- Bij een hogere fotosynthese hoort ook een hogere kastemperatuur om alle assimilaten te verwerken. Dat zal invloed hebben op de luchtuitwisseling.
- De luchtuitwisseling waarmee is gerekend, is gebaseerd op het gemiddelde van een niet wetenschappelijk gefundeerde formule op basis van de raamstanden en de windsnelheid, en berekeningen met CO_2 als tracer-gas. Aangezien tijdens dit project de CO_2 -concentratie in en buiten de kas vaak slechts weinig verschilden, is de berekening van de luchtuitwisseling gevoelig voor meetfouten. Voor een betere schatting van de luchtuitwisseling zou tijdens de proef meer CO_2 moeten worden gedoseerd, zodat het concentratieverschil tussen kaslucht en buitenlucht groter wordt.
- De werkelijke drogestof gehalten en het percentage drogestof dat naar de vruchten gaat is niet gemeten. Ook is geen rekening gehouden met het aandeel aan nutriënten dat in de drogestof zit.

3.3 Fotosynthese en licht

3.3.1 Licht respons curves

In de licht respons curves (LRC) (Figuur 13) is te zien hoe de fotosynthese bij de drie rassen met oplopende licht intensiteiten oploopt tot een plafond en bij het ras Dee Viatee zelfs tot een afname. In deze grafiek is te zien dat de bladfotosynthese sterk toeneemt in alle drie de rassen tot ongeveer $750 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ licht. Gemiddeld in de zomerteelt hebben we $542 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in de kas gehad.

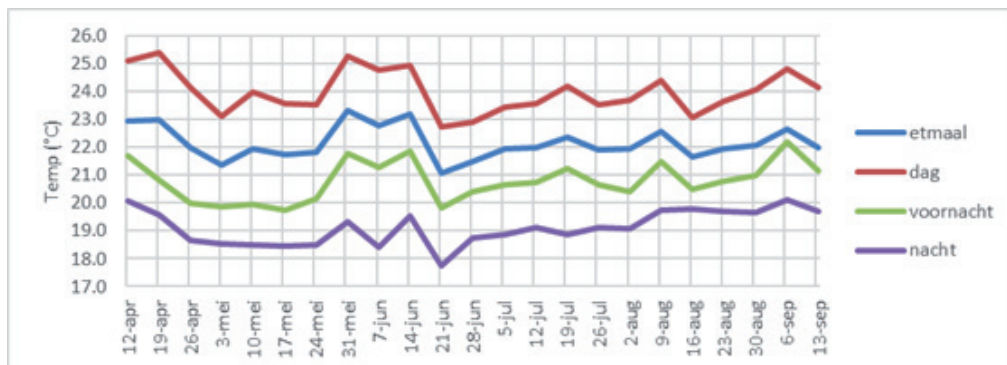


Figuur 13 Bladfotosynthese metingen in licht respons curve in de kop van het gewas van de drie geteelde rassen.

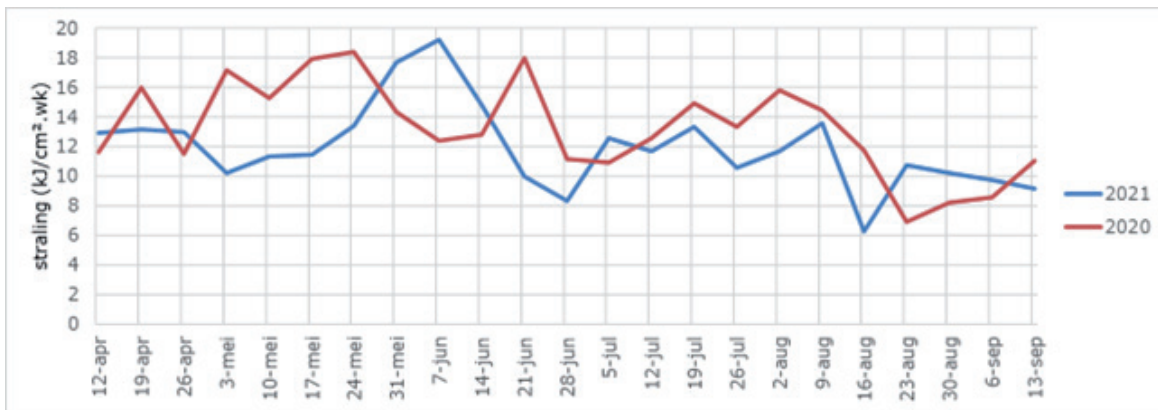
3.4 Klimaat

3.4.1 Temperatuur

Gemiddeld is de etmaal temperatuur gedurende de teelt 22 graden geweest (Figuur 14). Met een maximum weekgemiddelde temperatuur van 23,3 graden in de week van 31 mei (week 21) is het geen hete zomer geweest. Ter vergelijking: in dezelfde teeltperiode was de gemiddelde etmaaltemperatuur in 2020 22,9 graden. Dat is ook terug te zien bij een vergelijking van instraling tussen 2020 en 2021 in Figuur 15.



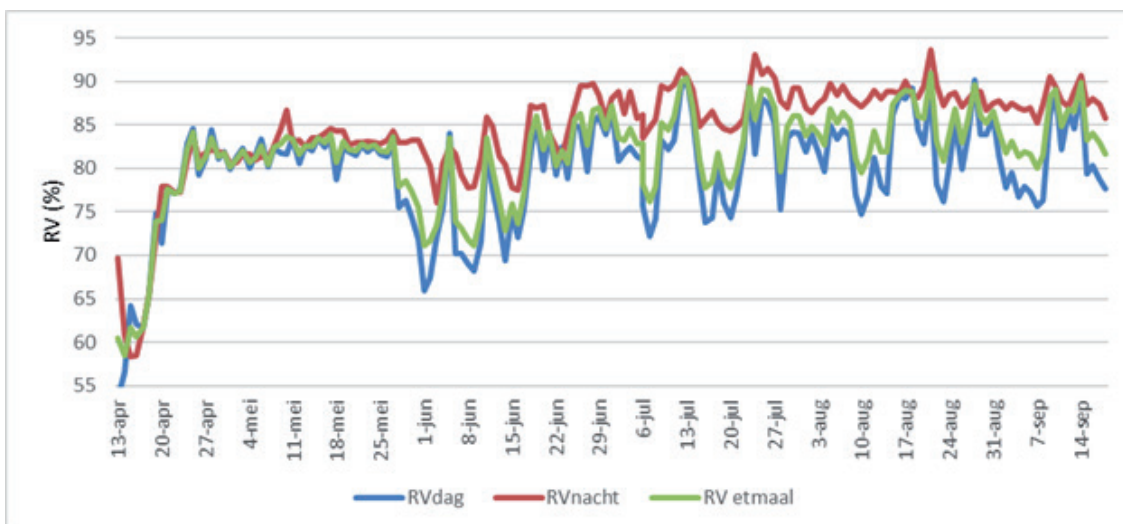
Figuur 14 Gemiddelde temperatuur van etmaal, dag, voornacht en nacht per week gedurende de zomerteelt van 2021.



Figuur 15 Gemiddelde globale straling per week gedurende de zomer van 2020 en 2021.

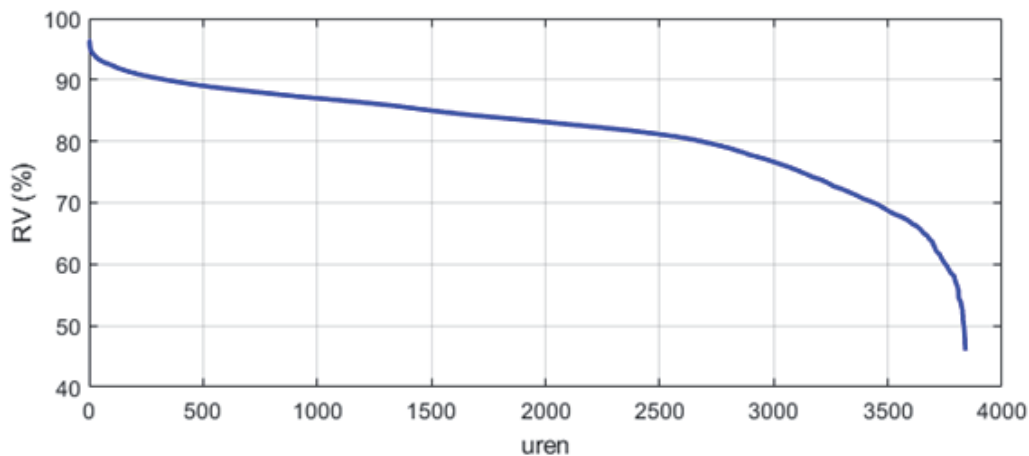
3.4.2 Luchtvochtigheid

Door de mogelijkheid deze kas mechanisch te ontvochtigen met een lucht-lucht warmtewisselaar, is de RV in de kas goed beheersbaar geweest. Figuur 16 geeft de gerealiseerde gemiddelde RV per dag weer. Ook bij een strategie van weinig/minder ventileren om zo de CO₂ concentratie op peil te houden en niet teveel te hoeven doseren, heeft dit niet geleid tot een te hoge RV.



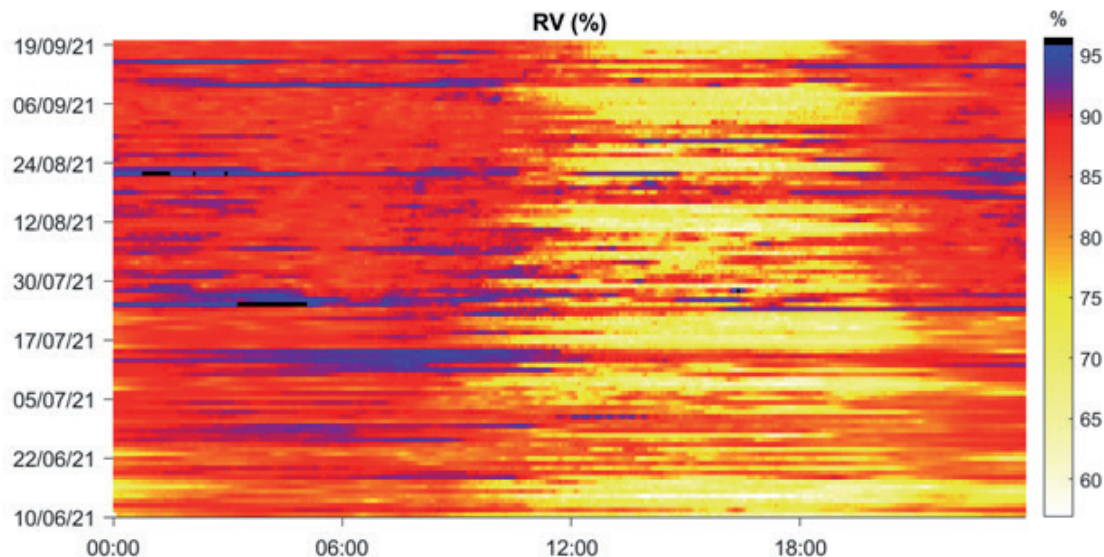
Figuur 16 Gemiddelde RV per dag gedurende de zomerteelt van 2021.

In Figuur 17 wordt de durkromme van de RV weergegeven. Hieruit blijkt dat de RV slechts 335 uren boven de 90% is geweest en minder dan 15 uur boven 95%.



Figuur 17 Duurkromme van de RV tijdens de zomerteelt van 2021

In Figuur 18 is de RV vanaf 10 juni in kleur weergegeven. De donkerblauwe en zwarte vlekken geven de risicomomenten voor schimmelziekten aan. Dat blijkt vooral het geval te zijn in de nachten rond 14 juli, 25 juli, 23 augustus en 10 september.



Figuur 18 RV tijdens iedere 5 minuten van de zomerteelt van 2021 vanaf 10 juni 2021

3.4.3 Energiehuishouding

De doelstelling was om in de zomerteelt in de winterlichtkas 5 á 6 m³ per m² gas te gebruiken. In Tabel 3 zijn de energiegebruiken van de WLK in zomerteelt van 2021 weergegeven. Het verschil CO₂ inkoop versus CO₂ gedoseerd is berekend alsof alle warmte met behulp van een ketel geproduceerd zou zijn. Met 5,8 m³/m² hebben we voldaan aan de doelstelling qua gasverbruik, daarbij moeten we nog wel de kWh/m² optellen voor de lbk voor het totale plaatje van energieverbruik. Hiervoor was geen doelstelling gezet voor deze proef. Met 8,3 kg/m² CO₂ zijn we ook binnen de gestelde hoeveelheid gebleven van 10 kg/m² CO₂.

Tabel 3

Belangrijkste energiestromen winterlichtkas tijdens de zomerteelt 2021.

Bron		2021
Elektriciteitsgebruik lbk	kWh/m ²	7.0
Warmte buisrail	m ³ /m ²	5.76
Warmte naverwarming lbk	m ³ /m ²	0.04
CO ₂ gedoseerd	kg/m ²	8.3
CO ₂ inkoop	kg/m ²	2.5

3.5 Gewasgroei

3.5.1 Teeltverloop

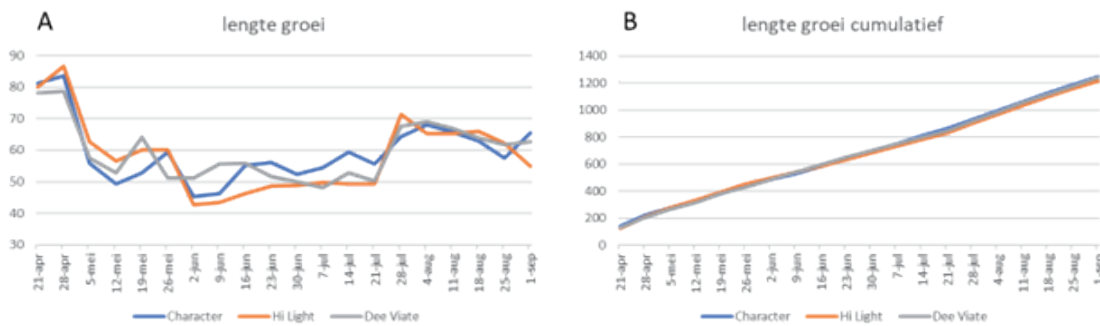
Een week na het planten zagen de planten er sterk uit en hadden ze groot blad. Dit resulteerde al snel in een relatief hoge LAI en lichtonderschepping, waarop te traag is gereageerd met (klein) blad verwijderen. Hierdoor kwam de plant niet in de juiste balans en produceerde niet optimaal. Om een meer open gewas te creëren, is er daarom vooral halverwege de plant, veel blad verwijderd. Aan de start van de teelt is de EC in de mat door een verkeerde instelling in de gift laag geweest, gemiddeld 2,2 mS/cm. Daarna is de gift EC verhoogd naar gemiddeld 3.0. Deze lage mat EC aan de start van de teelt heeft eraan bijgedragen dat de planten te vegetatief zijn geworden met groot blad. Door een onbalans in de plant, is de productie niet optimaal geweest. hebben we mogelijk productie verloren door onbalans in de plant.

De eerste vruchten werden op 28 april geoogst. Gedurende de gehele teelt werden de partieel meeldauwresistente rassen elke 10-14 dagen preventief met Serenade/ Sonata of een ander residuvrij gewasbeschermingsmiddel gespoten en kon de meeldauw, ook mede door het gebruik van silicium in de voedingsoplossing, goed onder de duim gehouden worden. Gedurende de gehele teelt hoefde slechts 3 maal ingegrepen worden met het chemische gewasbeschermingsmiddel Abir. Schadelijke insecten vormden geen probleem en konden vrijwel steeds goed biologisch worden bestreden. Er moest tijdens de teelt éénmaal chemisch ingegrepen worden tegen luis en éénmaal tegen rups. De gehele zomer is het evenwicht tussen vegetatief en generatief een grote uitdaging is geweest. De uitgroeiduur van de vruchten heeft tot over de helft van de teelt geschommeld rond de 15 dagen waarna die naar het einde van de teelt is opgelopen naar 18 dagen gemiddeld. Een uitgroeiduur van 18 dagen is aan de lange kant voor een zomerteelt. Op 8 september zijn de koppen eruit gehaald. Op dat moment hingen er nog ongeveer 10 vruchten aan de plant. Leerpunten uit deze zomerteelt:

- Het bladsnoeien moet veel strakker in de gaten gehouden worden, LAI-data (Figuur 23) en gewasbeeld kunnen vertekenen. Strategie bepalen en dagelijkse monitoring moeten ervoor zorgen dat de verhouding blad / vrucht dicht bij de doelstelling blijft. In de grafiek van de wekelijkse LAI is te zien dat de LAI schommelt tussen 1,7 en 3,5.
- Vruchtdunning niet aanpassen vraagt plant management op andere aspecten. Door een relatief koude en donkere zomer kwam de gekozen strategie niet geheel tot zijn recht. Omdat het buitenklimaat niet te voorspellen is, is in de zomer een snoeistrategie vooraf vastzetten niet verstandig. Beter is om in te spelen op het weer gekregen en voorspeld op korte termijn. In dit geval hadden we meer vruchten moeten snoeien voor een betere plantbalans en productie.

3.5.2 Lengtegroei

De planten zijn tussentijds niet gekopt, de gemiddelde lengtegroei was tussen de 58 en 60 cm per week. De uiteindelijke plantlengte was 12,7 m voor Character, 12,3 m voor Hi Light en 12,6 m voor Dee Viate. Hi Light bleef het kortst, maar het verschil was niet groot. Zie Figuur 19.



Figuur 19 A. Wekelijkse lengtegroei in cm gedurende zomerteelt 2021. B. Cumulatieve lengtegroei in cm gedurende zomerteelt 2021.

3.5.3 Bladeren en vrucht potentieel

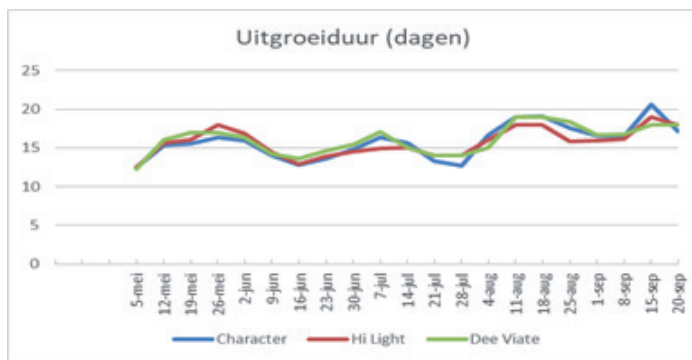
Het aantal bladeren dat in een week wordt aangemaakt, staat gelijk aan het aantal potentiële vruchten welke gevormd kunnen worden. De vrucht-dunning-strategie bepaalt verder de uiteindelijke plantbelasting. In Figuur 20 is de wekelijkse bladaanmaak van de zomerteelt 2021 getoond. Tussen de rassen zit nagenoeg geen verschil in de bladaanmaak Dee Viate komt iets lager uit aan het einde van de teelt, ca. 450 bladeren tegen 470 voor de andere twee rassen. Over de periode zien we wel verschillen per week. De bladafsplitsing lag in het begin en aan het einde van de teelt gemiddeld boven de 7,5 en daartussen rond de 6,3 bladeren per week. Met de snoeistrategie van 50% over de hele teelt geeft dat een vrucht potentie van 225 en 235 vruchten per m² in 450 en 470 bladeren per m² in de gehele teelt.



Figuur 20 Wekelijkse bladaanmaak gedurende de zomerteelt 2021. En cumulatief aantal bladeren per m² in de gehele teelt.

3.5.4 Uitgroeiduur

De uitgroeiduur was gemiddeld 15 dagen voor alle drie de rassen, maar nam toe vanaf de tweede week van augustus. De langere uitgroeiduur is het gevolg geweest van korter blijvende vruchten en een te hoge plantbelasting, omdat geprobeerd werd toch een bepaald minimum vruchtgewicht te halen. Daarnaast was er relatief weinig licht en was de temperatuur aan de lage kant. Zo is er in de zomer van 2021 10% minder licht geweest ten opzichte van 2020 en werden er daardoor ook lagere temperaturen gerealiseerd dan in dezelfde periode van 2020 (Figuur 21). Lichtere vruchten oogsten en daarmee de planten ontlasten hielp om de uitgroeiduur weer te verkorten. In de laatste week voordat de koppen uit de planten zijn gehaald, zijn alle vruchten aangehouden. Dit verklaart de laatste piek in uitgroeiduur in de grafiek.

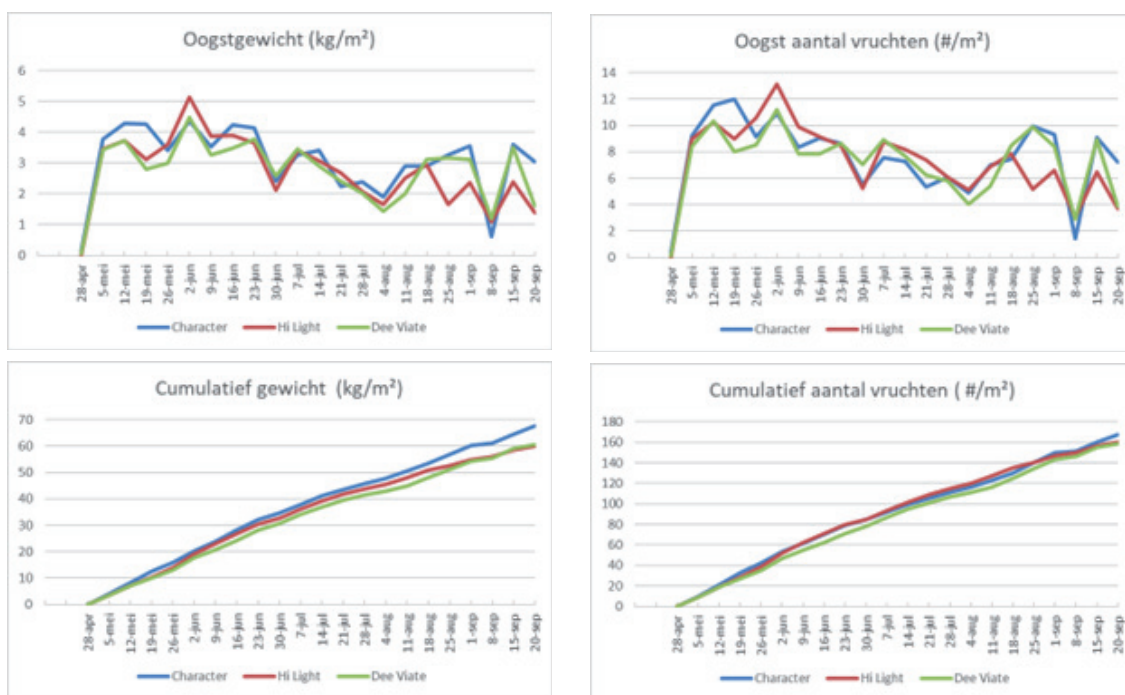


Figuur 21 Uitgroeiduur vruchten gedurende de zomerteelt in 2021.

3.5.5 Productie

Gemiddeld over de gehele periode was het gemiddeld vruchtgewicht 404 gram per stuk voor Character, 374 gram voor Hi Light en 382 gram voor Dee Viate. Met 167,4 stuks (67,6 kg) per m² heeft Character de hoogste productie gegeven en zijn Hi Light en Dee Viate qua productie vergelijkbaar met 159,9 en 158,6 stuks (59,8 en 60,6 kg) per m².

Figuur 22 laat zien dat de productie een vrij stabiel verloop heeft gehad en vrijwel gelijk is voor de 3 rassen. Alleen in de week voor 8 september was er een dip in de productie door een hoog aantal geaborteerde vruchten op dat moment.



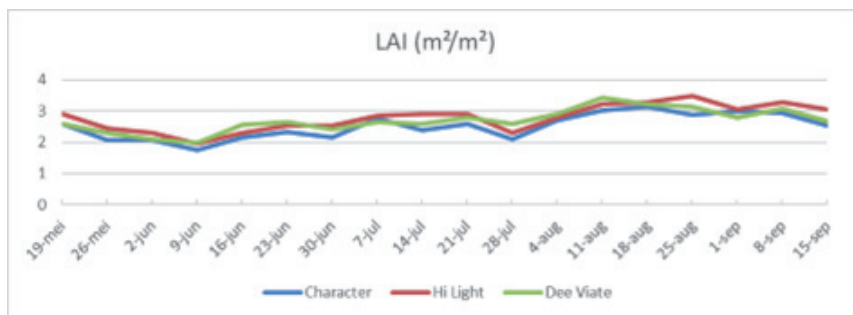
Figuur 22 Productie in kg/m² (links) en aantal vruchten per m² (rechts; per week (boven) en cumulatief (onder)).

3.5.6 Lichtonderschepping van het gewas

Voor een optimale gewasgroei is het belangrijk om het beschikbare licht zo veel mogelijk te benutten. Lichtonderschepping is daarbij een belangrijke parameter.

Van 19 mei tot 15 september is de LAI wekelijks gemeten voor de drie rassen (Figuur 23). In het begin van de teelt was de LAI met een waarde rond 2 aan de lage kant. Later in de teelt kwam de LAI een stuk hoger uit

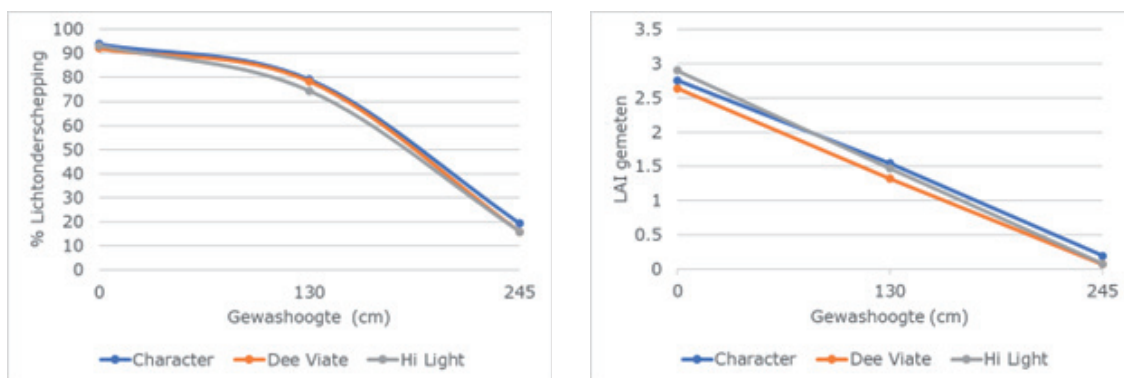
(meer dan 3). De gemiddelde LAI over de hele teelt was voor Character, Hi Light en Dee Viate respectievelijk 2,5, 2,8 en 2,7 m²/m².



Figuur 23 Wekelijkse metingen van de LAI voor de drie rassen.

Figuur 24 toont de lichtonderschepping van de 3 rassen en de LAI op 6 juli 2021. De onderschepping is gemeten op verschillende meetposities in de kas (zie Figuur 1). De rassen verschillen niet van elkaar, wat ook wel verwacht werd, omdat we in de teelt de bladplukstrategie hebben gestuurd op de gemeten LAI. Figuur 14 toont de gemeten LAI op de 3 hoogtes in het gewas. De figuur met het percentage lichtonderschepping geeft drie kromme lijnen aan, terwijl de LAI-lijnen recht zijn. De kromme lijn komt doordat voor de onderste bladeren (van 0 tot 130 cm) minder licht resteert om te onderscheppen dan van de bovenste bladeren (van 130 tot 245 cm hoogte).

De totale lichtonderschepping was 92 tot 94% bij een LAI van 2,6 tot 2,9. Dit zijn normale waarden bij een komkommernegewas in de zomer. Een hogere LAI zal leiden tot een iets hogere lichtonderschepping, maar het is de vraag of enkele procenten meer lichtonderschepping opwegen tegen de energie die het de plant kost om meer bladeren te onderhouden.



Figuur 24 Lichtonderschepping in procenten (links), en LAI gemeten tot 3 hoogtes in het gewas. LAI op 0cm betekend LAI van alle bladeren aan de plant. LAI op 130 cm is de LAI van alle bladeren vanaf 1.30 tot de kop van het gewas en 245 cm is de kop van het gewas.

4 Conclusie en discussie

Een productie van ongeveer 160 stuks en 63 kg per m² is een redelijke productie voor een zomerteelt van 5 maanden, maar had hoger kunnen liggen als de plant beter in balans was gehouden gedurende de hele teelt. In het begin van de teelt was het gewas te vegetatief vanwege een te lage EC. Vervolgens werd met het wegnemen van blad, relatief weinig zonlicht en CO₂, en een onaangepaste vruchtdunningsstrategie, de balans maar moeilijk hervonden. Vooraf aan de proef is op basis van eerdere proeven een plantdichtheid en snoeistrategie bepaald. Deze zijn niet gewijzigd tijdens de teelt. De vraag die in eerdere teelten veel gesteld is, was om een vaste strategie te kiezen. Deze lijkt niet optimaal te werken als deze vast staat voor de plantdichtheid en snoeistrategie. Volgens de simulaties had er een theoretische productie van 63 kg behaald kunnen worden met de gerealiseerde CO₂ concentraties. Dat komt overeen met de werkelijke productie. Dat betekent dat de vruchtkwaliteit (iets minder stek / constanter gemiddeld vruchtgewicht) beter had gekund, maar de uiteindelijke productie is goed. Een hogere CO₂ dosering had kunnen bijdragen aan een hoger vruchtgewicht en mogelijk goede uitgroei van de vruchten die nu als stek zijn geoogst.

Voor wat betreft de dosering van CO₂, is in deze teelt een goed resultaat behaald. Het doel was 10 kg CO₂ per m² voor een zomerteelt van 5 maanden. In werkelijkheid is er in de teelt die 5 maanden heeft geduurd, 8,3 kg CO₂ gebruikt.

8.3 kg CO₂ komt overeen met 4.6 m³ gas. Er is in de teelt 5.9 m³ gebruikt, waarvan 1.2 in de eerste 2 weken waar dosering minder belangrijk is geweest. Oftewel ook in deze periode is fossiele CO₂ productie gedoseerd, maar omdat er niet met minimumbuizen e.d. gewerkt werd, maar alleen stook op warmtevraag, was het warmtegebruik ook ca. 5.9 m³ in deze 5 maanden. Anders geredeneerd, alle verbruik hoger dan dit zou als CO₂ stook benoemd kunnen worden t.o.v. de 5.9 dus 3.6 m³/m².

Volgens simulaties zou met een bijna drie keer zo hoge CO₂-dosering, 17% meer productie zijn gerealiseerd. Er verdwijnt dan echter veel CO₂ via de luchtramen naar buiten. Het hangt vooral af van de prijs van komkommers en de prijs van CO₂, of meer of minder doseren economisch rendabel is. Maar dat was niet het oogpunt van deze studie. Doel was om aan te tonen dat je met 3 keer minder CO₂ en een navenant lagere 'zomerstook' een goede productie kunt behalen. Voor het tegengaan van de klimaatverandering, zal de uitstoot van CO₂ verder beperkt moeten worden. Dat betekent niet dat je domweg minder moet gaan doseren. Sterker nog: als je ondanks alle energie en arbeid die je in je teelt steekt, een lage productie bereikt, is het de vraag of je duurzaam bezig bent.

Daarbij moet ook rekening gehouden worden met de teeltstrategie die is aangehouden. Vooraf is bepaald wat de plantdichtheid is en wat daarbij de vruchtdunningsstrategie zou moeten zijn. Dit is gedaan om meer planmatiger te telen. Conclusie is dat het vastleggen van deze strategieën op basis van vaste aantallen niet altijd de juiste manier is, omdat bijv. de stralingssom sterk kan variëren. Beter kan er gekeken worden naar de verwachte instraling en temperatuur van een groot aantal jaren en aan de hand daarvan bepalen hoeveel vruchten de planten aankunnen. De werkelijke instraling zal echter altijd afwijken van de verwachte instraling.

Tussen de meeldauwtolerante rassen is geen verschil gevonden in productie en ook niet in meeldauw-aantasting. Met behulp van toediening van silicium in de voeding en regelmatig preventief spuiten met residuvrije fungiciden, hoefde tijdens de teelt slechts weinig chemisch te worden ingegrepen. Dit is erg belangrijk, omdat er steeds meer chemische middelen verdwijnen.

Tegen luis en rups is slechts eenmaal chemisch ingegrepen.

Literatuur

Farquhar, G.D. and S.C. Wong. 1984.

An empirical model of stomatal conductance. Aust. J. Plant Physiol. 11:191–210

Kempkes F., Janse J., Vilfan N., Raaphorst M., Brunsting M., 2022.

Komkommer in de Winterlichtkas; Teeltresultaten 2017-2019. Rapport WPR-1113.

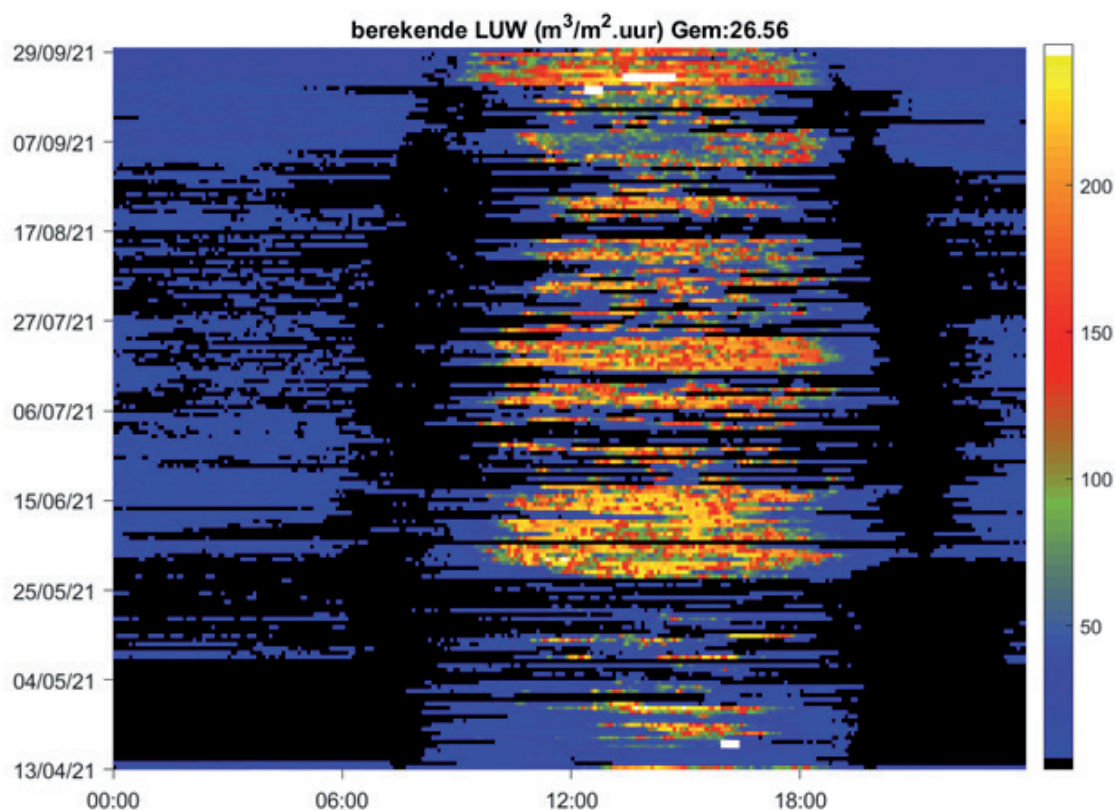
Visser P. De, Gelder A. De, Kalkman H., Warmenhoven M., Zwart F. De, 2022.

Invloed CO₂-dosering op groei bij tomaat. Rapport WPR-1106 2022.

www.agrimatie.nl

Bijlage 1 Schatting van de luchtuitwisseling

De hoeveelheid ventilatie is moeilijk meetbaar, maar kan worden geschat op basis van de hoeveelheid CO₂-dosering minus de verwachte hoeveelheid opgenomen CO₂ door het gewas, en dat verschil te delen door het verschil in CO₂-concentratie van de kaslucht en de buitenlucht. Het resultaat is weergegeven in Figuur 24. De maximale luchtuitwisseling ligt volgens die berekening op 250 m³/m².uur, hetgeen waarschijnlijk een overschatting is van de werkelijkheid. Dat zou voor deze kas een ventilatievoud van ca. 35 betekenen, een niveau welke als (te) hoog wordt ingeschat.

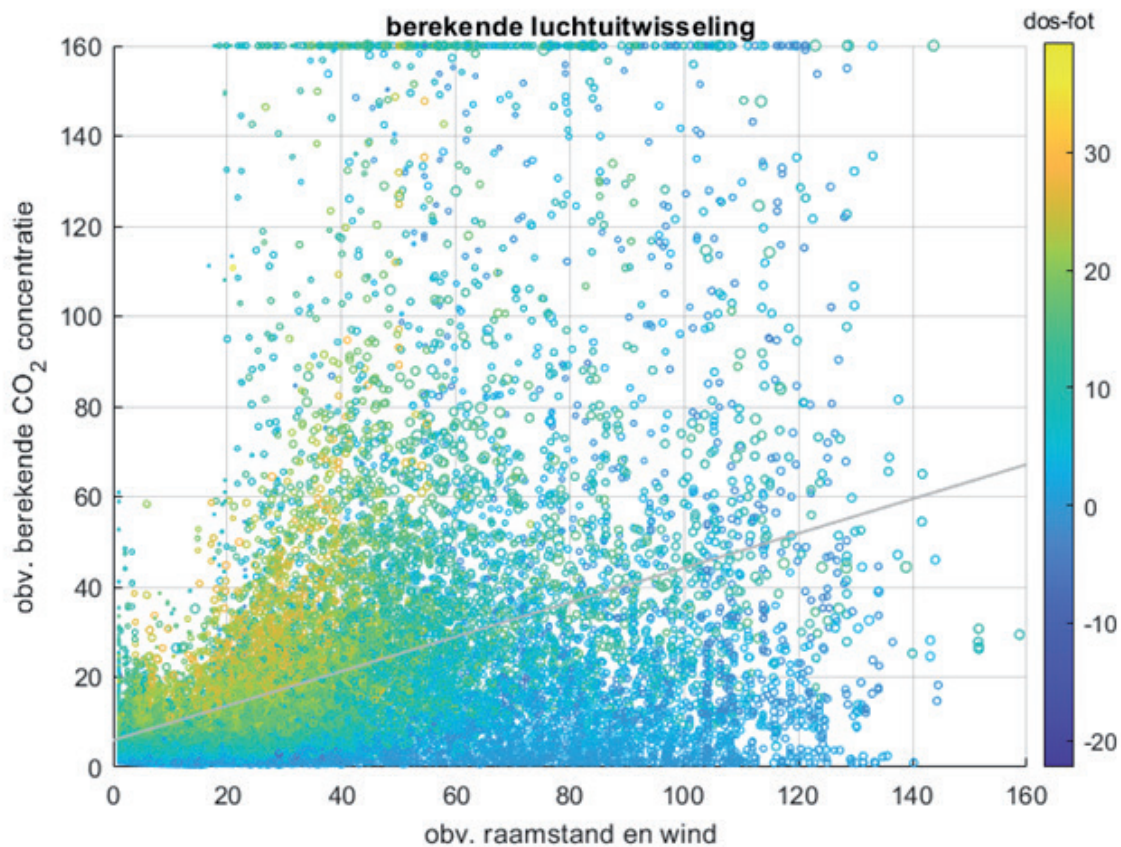


Figuur 24 Vijfminutenschema waarin voor ieder moment in kleur is aangegeven hoeveel lucht via de ramen wordt uitgewisseld (LUW in m³/m².uur).

De luchtuitwisseling kan ook worden geschat met een berekening op basis van de raamstand en de windsnelheid. Dat is in dit geval gedaan met onderstaande formule, die ervan uitgaat dat de luchtuitwisseling lineair is met de windsnelheid en degressief oploopt met de raamstand. De raamstand aan de windzijde zou twee keer zoveel effect hebben op de luchtuitwisseling dan de raamstand aan de luwe zijde.

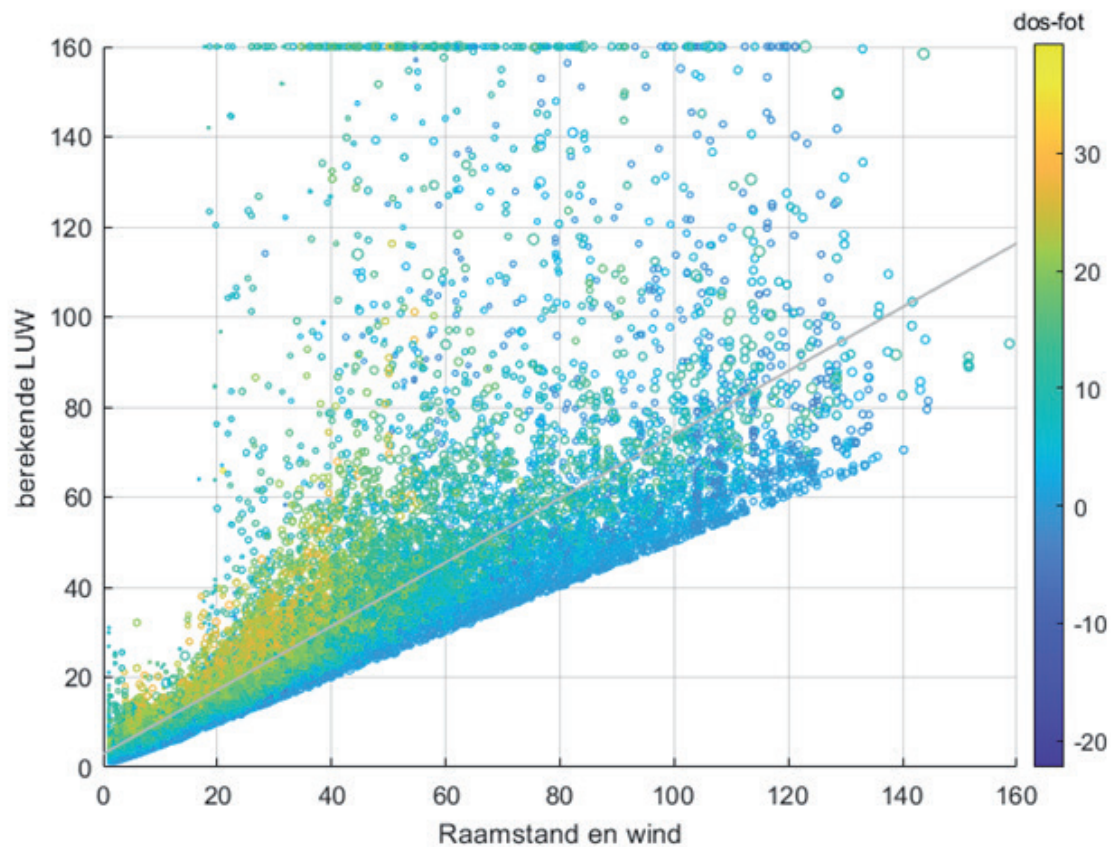
$$\text{Luchtuitwisseling} = \text{windsnelheid} * (1 + \sqrt{\text{luwe zijde}} + 2 * \sqrt{\text{windzijde}})$$

Beide berekende luchtuitwisselingen hebben een lage onderlinge correlatie, waarmee wordt bevestigd dat het bepalen van de luchtuitwisseling niet eenvoudig is. Dit komt enerzijds door de vaak kleine verschillen in CO₂-concentratie tussen binnen en buiten en anderzijds door de beperkte nauwkeurigheid van CO₂ sensoren meer in het algemeen, welke volgens de meeste specificaties +/- 30 á 40 ppm zijn.



Figuur 25 De berekende luchtuitwisseling ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{uur}$) op basis van van twee berekeningsmethoden, tegen elkaar uitgezet. De kleur geeft het verschil aan tussen de gedoseerde en de opgenomen hoeveelheid CO₂ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$).

Door het gemiddelde te nemen van beide berekeningen (zie Figuur 26), wordt gepoogd om al te grote uitbijters te voorkomen.



Figuur 26 De berekende luchtuitwisseling ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{uur}$) op basis van het gemiddelde van twee berekeningsmethoden, uitgezet tegen de berekening op basis van de raamstanden en de windsnelheid. De kleur geeft het verschil aan tussen de gedoseerde en de opgenomen hoeveelheid CO_2 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$).

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1196

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort WUR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.