



# CO<sub>2</sub> uit buitenlucht

Peter van Weel en Bram Vanthoor

Rapport GTB-1423

## Referaat

Het verhogen van de CO<sub>2</sub> concentratie in een kas wordt door allerlei oorzaken moeilijker en draagt ook niet bij aan de energie neutrale kas. Omdat de CO<sub>2</sub> concentratie in de buitenlucht boven een waarde van 400 ppm is gekomen loont het wellicht om deze lucht door het gewas heen te blazen. De vraag is dan wel hoe deze lucht zich mengt binnen het bladpakket. Gaat dat vanzelf omdat CO<sub>2</sub> zwaarder is dan lucht of moet er geblazen worden met een ventilator? In dit onderzoek is gemeten hoe de verticale verdeling van CO<sub>2</sub> in een gewas wordt bij verschillende behandelingen zoals wel of niet doseren, ramen open of dicht en met verticale ventilatoren kaslucht door het gewas stuwen. Daarbij bleek dat zonder dosering van CO<sub>2</sub> bij voldoende raamopening er bij freesia en tomaat ook onderin het gewas een concentratie van 350 ppm kon worden gehandhaafd. Omdat dit beneden de buitenwaarde is, zou toevoeren van extra buitenlucht met een ventilator zinvol kunnen zijn. Als er wel gedoseerd werd nam de concentratie in de kas toe wanneer de ramen of een scherm meer gesloten werden. De verticale verschillen in CO<sub>2</sub> concentratie in het gewas waren erg klein, ook wanneer geen verticale ventilator werd gebruikt. Er kan dus geconcludeerd worden dat voor zowel een tomaten gewas als freesia gewas de gewasweerstand voor CO<sub>2</sub> gering was en te verwaarlozen in ten opzichte van de overige weerstanden voor opname van CO<sub>2</sub>. De CO<sub>2</sub> concentraties zijn gemeten op 5-10 cm afstand van het blad. Dat zegt op zich nog niets over de concentratie vlak bij het huidmondje omdat zich daar omheen een laagje stilstaande lucht kan bevinden waarin de CO<sub>2</sub> onvoldoende snel getransporteerd kan worden en dus uitputting op kan treden. Aan deze zogenaamde grenslaagweerstand van de lucht dicht bij het blad wordt aandacht besteedt in een apart rapport van Plant Dynamics met de titel "Effecten van grenslaagweerstand op de fotosynthese bij tomaat en Freesia".

## Abstract

The supply of additional CO<sub>2</sub> in a greenhouse will be restricted in the future. The concentration in outside air has risen above 400 ppm. This may open the possibility to blow this air through the canopy to increase growth. In this project, the vertical CO<sub>2</sub> concentration was measured in a vertical plane within to the canopy under different combinations of window opening, the activation of vertical fans and with or without dosing of additional CO<sub>2</sub>. For a Freesia and a tomato crop the result was that without CO<sub>2</sub> dosing it was possible to maintain a concentration of over 350 ppm in the canopy at 5-10 cm distance from the leaf surface when the ventilation windows were open. Since, this is below outside concentration, additional supply of outside air may be an advantage. When extra CO<sub>2</sub> was supplied, a reduction in window opening and the use of a screen increased the concentration between the canopy. The vertical distribution of CO<sub>2</sub> within the canopy was never a problem. It can be concluded that the crop resistance to take up CO<sub>2</sub> for a tomato and freesia crop is small and with respect to the other CO<sub>2</sub> resistances, the crop resistance can be neglected. A positive effect of the use of vertical fans or the use of high pressure misting in the tomato greenhouse was not found, due to the strategy to keep the ventilation windows wide open. The concentration at 5-10 cm distance from the leaf is not necessarily the same concentration around the stomata because of boundary layer resistance. The effect of the boundary layer resistance on CO<sub>2</sub> uptake is described in the report of Plant Dynamics called "Effecten van grenslaagweerstand op de fotosynthese bij tomaat en Freesia".

## Rapportgegevens

Rapport GTB-1423

Projectnummer: 3742225600

DOI ( doi.library@wur.nl): 10.18174/401914

## Disclaimer

© 2016 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

Wageningen UR Glastuinbouw 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 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

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Aanpak</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>CO<sub>2</sub> metingen Freesia</b>	<b>13</b>
	3.1 Meetapparatuur	13
	3.2 Eerste serie metingen van 20 tot 23 mei 2016	14
	3.2.1 Metingen gehele dag	14
	3.2.2 Metingen overdag: 8.00-18.00 uur	14
	3.2.3 Relatie met metingen van het bedrijf	15
	3.3 Tweede serie metingen van 23 mei tot 1 juni	17
	3.4 Eindconclusie freesia	19
<b>4</b>	<b>Metingen bij tomatenbedrijf</b>	<b>21</b>
	4.1 Resultaten van de metingen	21
	4.1.1 22-29 Juni	21
	4.1.2 18 Juli	26
	4.1.3 4 Juli	28
	4.2 Conclusies en aanbevelingen tomatenteelt	29
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>30</b>



# Samenvatting

Het verhogen van de  $\text{CO}_2$  concentratie in een kas wordt door allerlei oorzaken moeilijker en draagt ook niet bij aan de energie neutrale kas. Omdat de  $\text{CO}_2$  concentratie in de buitenlucht inmiddels boven een waarde van 400 ppm is gekomen loont het wellicht om vooral buitenlucht door het gewas heen te blazen. In dit onderzoek is gemeten hoe de verticale verdeling van  $\text{CO}_2$  in een gewas is wanneer er al dan niet gedoseerd wordt en er eventueel met verticale ventilatoren kaslucht door het gewas wordt gestuwd. De stand van de ramen is daarbij ook gevarieerd. Daarvoor zijn op 4 hoogten in het gewas speciale meetboxen geplaatst die met een nauwkeurigheid van +/- 20 ppm op 5-10cm afstand van het blad de concentratie meten met een hele kleine luchtstroom die geen extra  $\text{CO}_2$  uit de omgeving aantrekt. Daarbij bleek dat zonder dosering van  $\text{CO}_2$  bij voldoende raamopening er ook onderin het gewas Freesia of tomaat een concentratie van 350 ppm kon worden gehandhaafd. Omdat dit beneden de buitenwaarde is, zou toevoeren van extra buitenlucht met een ventilator of door vergroting van de raamopening zinvol kunnen zijn. Als er wel gedoseerd werd nam de concentratie in de kas toe wanneer de ramen of een scherm meer gesloten werden. De verticale verschillen in  $\text{CO}_2$  concentratie in het gewas waren erg klein, ook wanneer geen verticale ventilator werd gebruikt. Dat betekent dat de weerstand tussen het gewas voor verdeling van de  $\text{CO}_2$  zo klein is dat deze geen rol van betekenis speelt tijdens het doseren. Dat betekent overigens niet dat er in de dunne luchtlaag rondom een blad niet een verschil kan zijn in concentratie tussen de omringende lucht en dichtbij het huidmondje. Stilstaande lucht kan er voor zorgen dat er teveel uitputting van  $\text{CO}_2$  optreedt. De concentratie in die laag kon met deze apparatuur niet worden gemeten. Daarom is over dit fenomeen een aparte studie gedaan door Plant Dynamics die door middel van een rekenmodel een voorspelling heeft gedaan over het gedrag van die grenslaag. Dat rapport heeft de naam "Effecten van grenslaagweerstand op de fotosynthese bij tomaat en Freesia". Daaruit bleek dat voor Freesia en tomaat de weerstand in het huidmondje een 8x zo grote rol speelt dan de grenslaagweerstand. Maar het was wel zo dat pas bij een luchtsnelheid van 20 cm/sec dichtbij het blad de gewas fotosynthese optimaal is. Dergelijke luchtsnelheden worden zonder ventilator binnen het gewas alleen gehaald bij geopende ramen en wind. In die zin levert het gebruik van een ventilator dus mogelijk meerwaarde.

Verwacht was dat het gebruik van verneveling in de tomatenteelt een positieve invloed zou hebben op de  $\text{CO}_2$  concentratie in de kas, als gevolg van minder ventilatie verliezen, maar doordat de ramen te ver open waren gezet kon dit effect niet worden waargenomen.

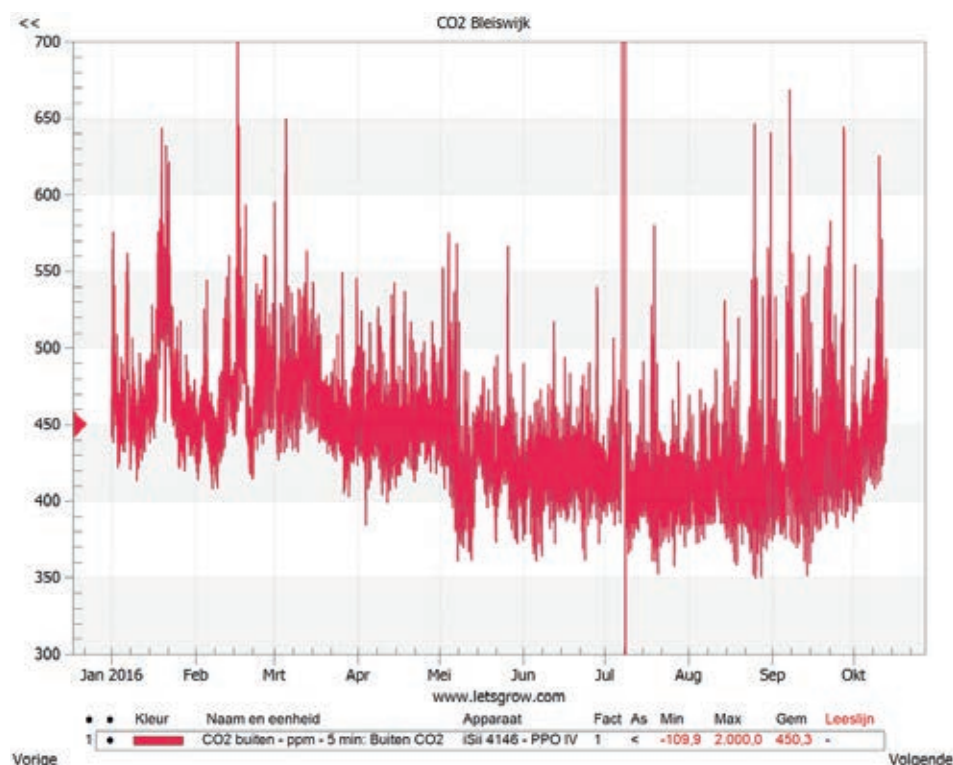




# 1 Probleemstelling

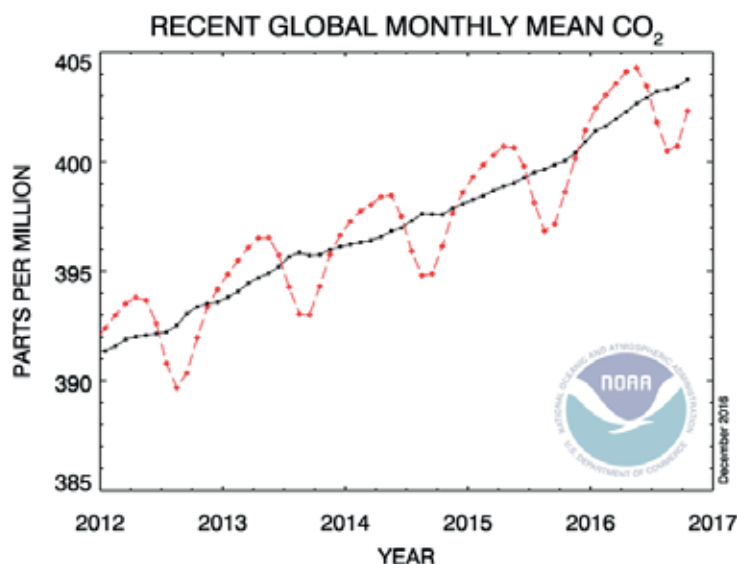
CO<sub>2</sub> is een belangrijke bouwstof voor de groei van de plant. Echter de beschikbaarheid van CO<sub>2</sub> staat onder druk wanneer de WKK en/of ketel minder wordt gebruikt (bijvoorbeeld a.g.v. gebruik warmtepomp en inkoop van stroom) en wanneer aansluiting op OCAP geen optie is. Inkoop van vloeibare CO<sub>2</sub> is dan een mogelijkheid, maar hier zijn vaak hogere kosten aan verbonden.

In de buitenlucht zit tegenwoordig relatief veel CO<sub>2</sub> zoals waarneembaar in de volgende grafiek:



**Figuur 1** CO<sub>2</sub> concentratie in de buitenlucht in 2016 in Bleiswijk.

Ook wereldwijd is er een toename van de CO<sub>2</sub> concentratie in de buitenlucht, dus deze trend is geen lokaal gegeven dat bijvoorbeeld door WKK installaties van tijdelijke aard is.



**Figuur 2** Gemiddelde waarnemingen van CO<sub>2</sub> concentraties over de hele wereld (zwarte lijn) en maandelijkse fluctuaties daarin (rode lijn). Bron: Ed Dlugokencky and Pieter Tans, NOAA/ESRL ([www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)).

De uitdaging is om deze beschikbare CO<sub>2</sub> (van buiten) optimaal te benutten voor het gewas. Echter de opname van CO<sub>2</sub> door het gewas gaat niet vanzelf, maar gaat via weerstanden (barrières). Die bestaan uit een serie weerstanden, die elk voor zich, maar ook samen bepalend kunnen zijn voor de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die uiteindelijk achter het huidmondje terecht komt. Die weerstanden zijn achtereenvolgens:

1. Weerstand om CO<sub>2</sub> van de bladholte naar bladgroenkorrels te laten stromen.
2. De huidmondjes weerstand. Deze is afhankelijk van de opening van het huidmondje en van de CO<sub>2</sub> concentratie aan weerszijden ervan.
3. De grenslaag weerstand van de lucht rondom het blad. Als deze lucht stil staat moet het transport van CO<sub>2</sub> vanuit verder gelegen luchtlagen plaatsvinden op basis van diffusie en dat proces kan erg traag zijn. Luchtbeweging en een groot verschil in CO<sub>2</sub> concentratie aan beide zijden van de grenslaag kan het transport vergroten.
4. De gewasweerstand. Als het bladpakket erg gesloten is of als er geen luchtbeweging is in de kas kan er onvoldoende CO<sub>2</sub> transport plaatsvinden vanuit de kaslucht.
5. Kasweerstand. Weerstand om CO<sub>2</sub> van buiten de kas, de kas in te krijgen.

Bij elk van deze weerstanden speelt dus luchtbeweging en het verschil in concentratie een grote rol. Gebrek aan luchtbeweging maakt dat de CO<sub>2</sub> alleen door diffusie de huidmondjes kan bereiken, waardoor er een hoge CO<sub>2</sub> concentratie aan de aanbods zijde nodig is om voldoende transport in het blad te krijgen. De cruciale vraag is daarom of er in de weerstandsgebieden voldoende luchtbeweging is om juist met een zo laag mogelijke CO<sub>2</sub> concentratie te kunnen werken. Helaas is daar weinig over bekend. Dat komt onder meer doordat hele lage luchtsnelheden en in dunne lagen (zoals bv de grenslaag rondom een gewas) maar moeilijk meetbaar zijn. Theoretisch is stilstaande lucht een gevolg van een dichte opeenstapeling van blad of het lokaal ontbreken van voldoende energietoevoer om de lucht in beweging te krijgen. Zolang dit een onbekende factor is kunnen er twee dingen worden gedaan om er in ieder geval voor te zorgen dat de gewasweerstand zo klein mogelijk is: luchtbeweging binnen het gewas en een zo klein mogelijk verschil in CO<sub>2</sub> concentratie tussen de kaslucht en binnen het gewas. In hoeverre dat in de praktijk bij Freesia of tomaat ook wordt bereikt, is het onderwerp van deze studie. De resultaten van dit onderzoek zeggen dus nog niets over de grenslaagweerstand of de huidmondjes weerstand. Wel is bekend dat huidmondjesweerstand laag gehouden kan worden door te zorgen voor omstandigheden dat de huidmondjes open blijven (RV niet lager dan 60% laten worden, bijvoorbeeld door te vernevelen).



Normaal wordt er dus CO<sub>2</sub> gedoseerd om ervoor te zorgen dat er zoveel mogelijk CO<sub>2</sub> getransporteerd wordt richting grenslaag. Maar lukt dat ook? Eigenlijk weten we dat niet omdat de meetboxen waarmee gewoonlijk gemeten wordt niet in het bladpakket hangen. En zelfs als ze daar wel hangen veroorzaakt de ventilator van de meetbox een dermate grote luchtstroom binnen het bladpakket dat geen sprake kan zijn van een representatieve meting.

En als er niet meer gedoseerd wordt, maar alleen buitenlucht met 400 ppm CO<sub>2</sub> beschikbaar is, lukt het dan om die concentratie ook binnen het bladpakket te handhaven? Zijn daar dan ventilatoren voor nodig of is het samenspel tussen wind en ramen voldoende om de CO<sub>2</sub> ook binnen het bladpakket te krijgen? En wat is er nodig om voldoende CO<sub>2</sub> van buiten aan te voeren? Uit een indicatieve berekening blijkt dat bij 700W buitenstraling een opname van 5 g/kas m<sup>2</sup>/uur mag worden verwacht. Als er buiten een concentratie is van 400 ppm en rondom het blad van 350 ppm, is een luchtstroom van 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur buitenlucht nodig om dat verbruik aan CO<sub>2</sub> weer aan te vullen. Bij deze hoeveelheid licht is er al gauw meer dan 80 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur luchtuitwisseling nodig om de warmte af te voeren, dus mogelijk is er ruim voldoende luchttoevoer voor de CO<sub>2</sub> vraag. Doelstelling onderzoek Meten hoe de CO<sub>2</sub> verdeling is binnen een tomatengewas op een praktijkbedrijf met een doseersysteem onder het gewas en op een praktijkbedrijf met een freesia gewas zonder doseersysteem. In beide gevallen wordt gemeten in een zone op 5-10 cm afstand van het blad. Daarnaast wordt gemeten hoe die verdeling is als een verticale ventilator wordt gebruikt of de ramen meer of minder geopend zijn.



## 2 Aanpak

Een meting van de CO<sub>2</sub> concentratie op 4 hoogten in het gewas op verschillende afstanden van de uitblaas moet uitwijzen hoe uniform de verdeling is bij een distributiesysteem van CO<sub>2</sub> met slurven onder ieder bed bij tomaat of bij voldoende raamopening bij tomaat en Freesia. Die metingen zijn uitgevoerd op twee praktijkbedrijven. Daarvoor zijn steeds gedurende 4 weken meetboxen geïnstalleerd die waren voorzien van een zeer nauwkeurige sensor met een foutmarge van +/- 20 ppm. Het luchtdebiet in de meetbox was slechts ¼ van een normale meetbox zodat zo veel mogelijk lokaal binnen het gewas kaslucht wordt aangezogen en er minimale lokale verstoring van het microklimaat zal optreden.

Uit deze metingen zijn situaties geanalyseerd met windstil of juist winderig weer bij een buitenstraling van 400-800 W/m<sup>2</sup>, dus bij verschillende raamstanden. Op het Freesiabedrijf werd geen CO<sub>2</sub> gedoseerd, op het tomatenbedrijf wel. Op het tomatenbedrijf was een hogedruk nevel installatie aanwezig en verticale ventilatoren. Beide systemen zijn afwisselend ingezet bij dezelfde buitenomstandigheden.



## 3 CO<sub>2</sub> metingen Freesia

Op dit Freesia bedrijf wordt koel geteeld waardoor de ramen vaak wijd open staan. CO<sub>2</sub> kan daardoor via de ramen worden aangevoerd. Tot nu toe heeft men dan ook geen CO<sub>2</sub> doseersysteem. Op dit bedrijf is gedurende een aantal weken in mei en juni de CO<sub>2</sub> concentratie gemeten.

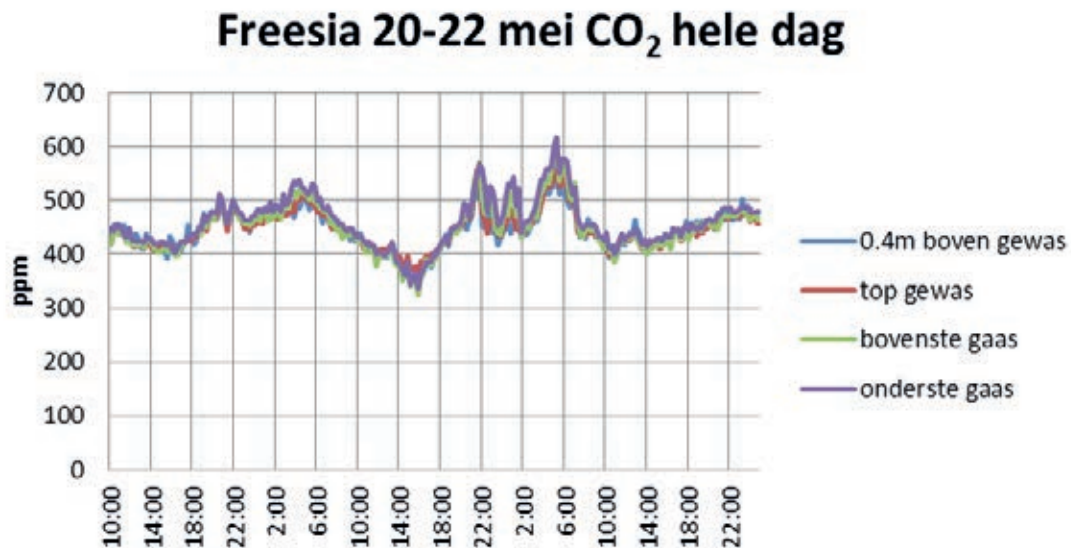
### 3.1 Meetapparatuur



4 meetboxen die aan de onderkant aanzuigen zijn opgehangen op 4 hoogten in het gewas:  
0,4 m boven het gewas, bij de toppen van de planten, boven het bovenste gaas en boven het onderste gaas.

## 3.2 Eerste serie metingen van 20 tot 23 mei 2016

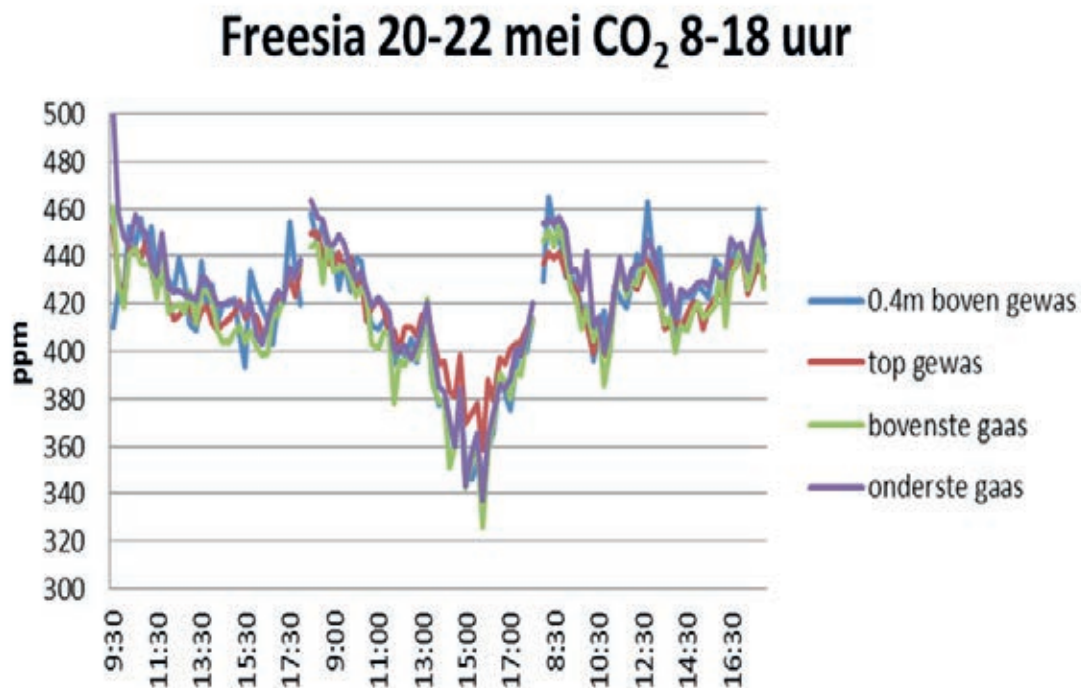
### 3.2.1 Metingen gehele dag



De verschillen zijn klein. Wat opvalt is de sterke daling op 21 mei overdag.

### 3.2.2 Metingen overdag: 8.00-18.00 uur

De nachtdata zijn weggelaten in de volgende grafieken en wat uitvergroet.



Ook overdag zijn de verschillen klein. Globaal lijkt het er op dat er voldoende luchtbeweging is in de kas om de CO<sub>2</sub> goed te verdelen, want er is geen gewasweerstand waarneembaar.

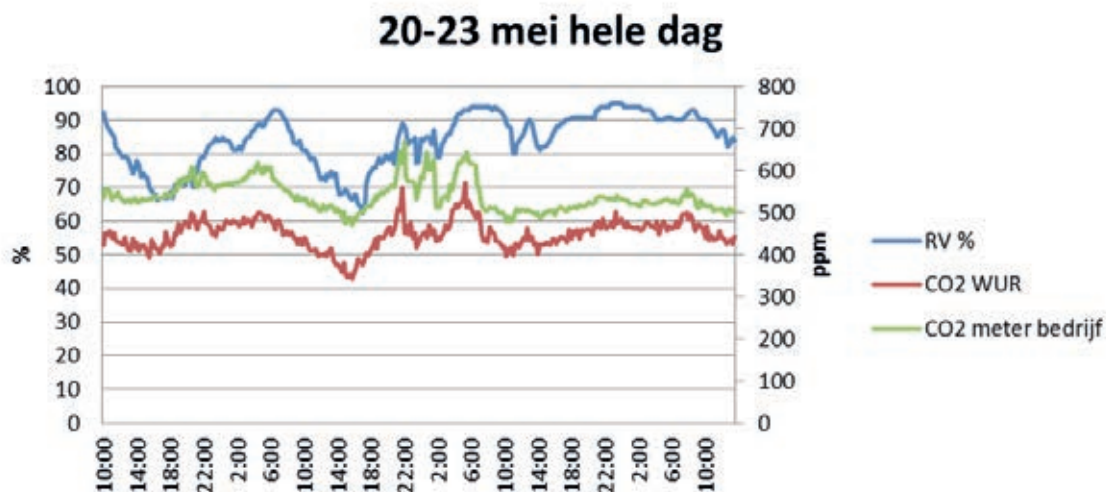


Uitgezet tegen de buitenstraling ontstaat het volgende beeld:



Duidelijk is dat de CO<sub>2</sub> concentratie in de kas omgekeerd evenredig is met de instraling. Dat is een combinatie van een hoger verbruik bij meer licht, maar ook meer ventilatie om de grotere hoeveelheid warmte af te voeren. Toch kon bij gelijke straling de eerste dag een hogere CO<sub>2</sub> concentratie worden gehandhaafd dan op de tweede dag. Buiten was er op de eerste dag 405 ppm en op de tweede dag 325 ppm. In de volgende paragraaf wordt daarvoor een verklaring geleverd.

### 3.2.3 Relatie met metingen van het bedrijf



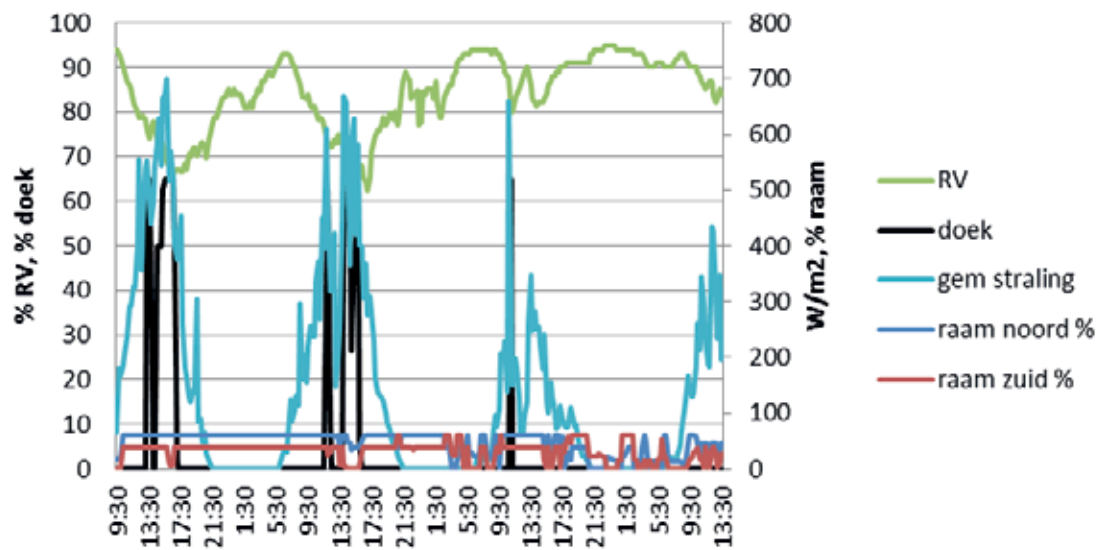
Hierin vallen 2 dingen op:

De CO<sub>2</sub> meting van het bedrijf is continu hoger. Deze sensor hangt 6m van de WUR sensor af, dus eerst sensoren naast elkaar hangen en dan nogmaals vergelijken. Eventueel daarna de meetbox sensor opnieuw ijken.

Er is een duidelijke relatie met de RV in de kas.

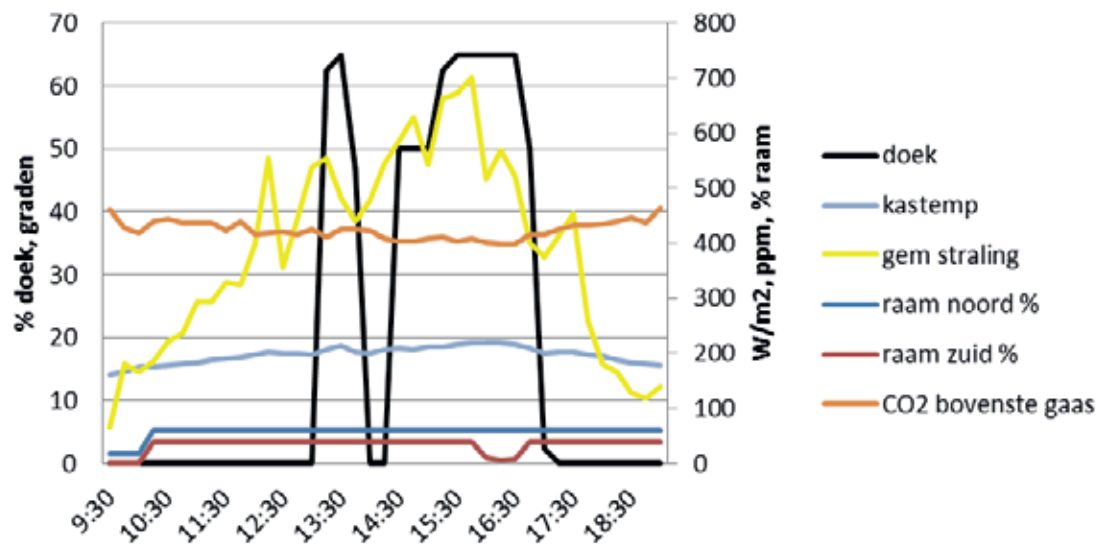
De oorzaak van de CO<sub>2</sub> dip op de tweede dag ligt in het sluiten van zowel het scherm als de ramen zoals te zien is in de volgende grafieken.

## 20-23 mei hele dag

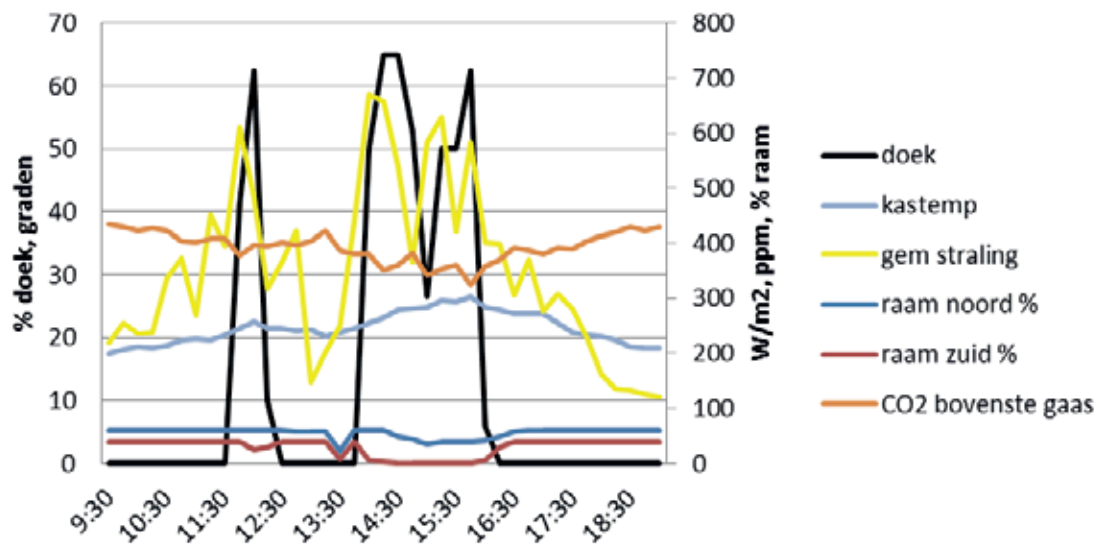


Ingezoomd op die twee dagen:

## 20 mei overdag



## 21 mei overdag



Op 21 mei om 13.30 uur gaan de ramen aan de zuidzijde sluiten en even later sluit het doek. De kasttemperatuur loopt op en de CO<sub>2</sub> daalt. Duidelijk is dat de CO<sub>2</sub> sterk stijgt op het moment dat scherm en ramen weer open gaan.

Conclusie:

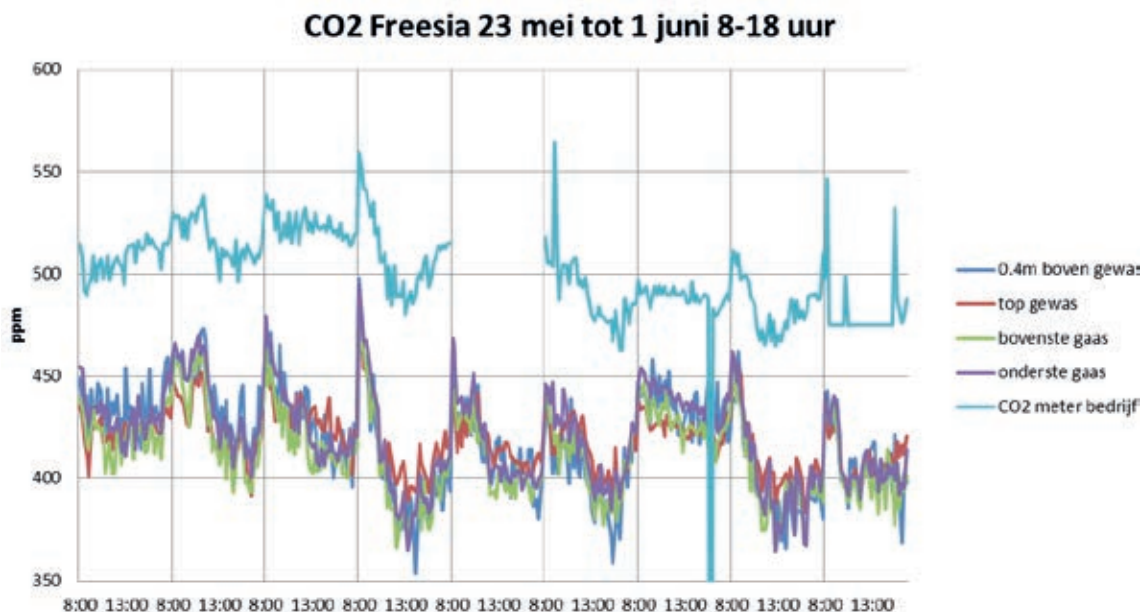
De verschillen in CO<sub>2</sub> concentratie op verschillende hoogten in het gewas zijn klein.

Op 21 mei zakt de CO<sub>2</sub> concentratie verder weg dan op de andere dagen, ook in het gewas. Dat komt door een kleinere raamopening. Bij opening van de ramen nam de CO<sub>2</sub> concentratie gelijk weer toe (net zo snel boven als in het gewas). Buitenlucht aanvoer met verticale ventilatoren hadden waarschijnlijk hetzelfde effect gehad: de concentratie kunnen verhogen en de kasttemperatuur verlagen.

### 3.3 Tweede serie metingen van 23 mei tot 1 juni

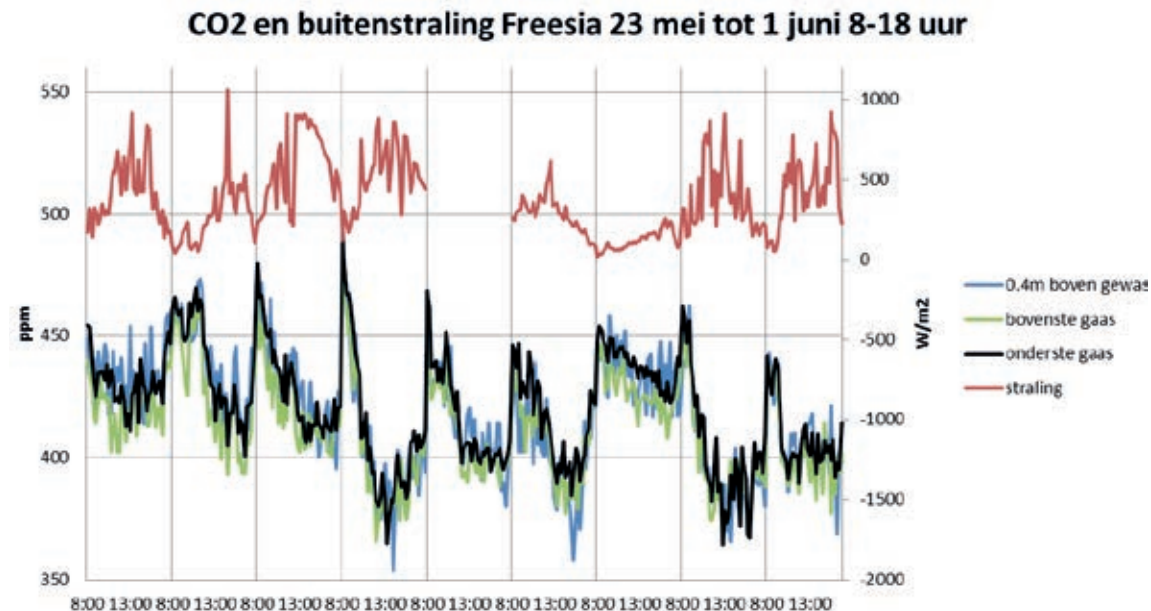
De sensoren zijn nu naast de CO<sub>2</sub> meting van het bedrijf geplaatst, weer op 4 hoogten.

De verschillen tussen de metingen boven en tussen het gewas waren ook nu weer klein:

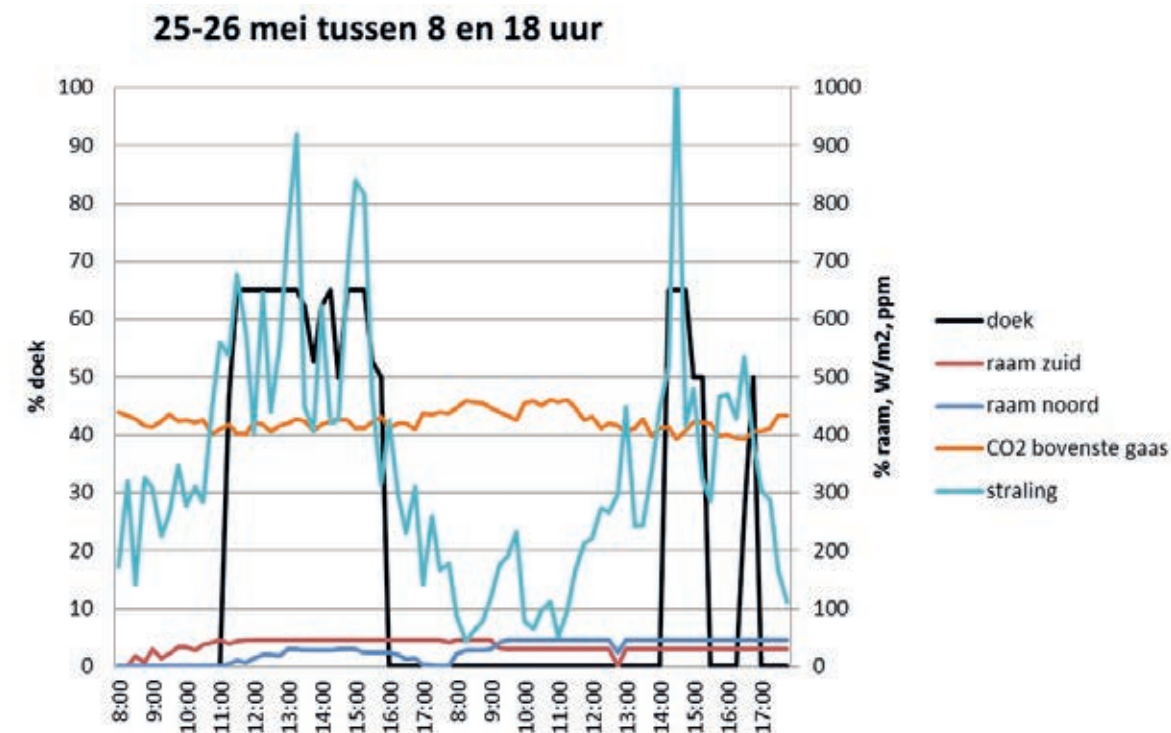


De CO<sub>2</sub> meting van het bedrijf wijkt af. Omdat de sensoren van de WUR recent geijkt zijn is besloten om de sensor in de meetbox van het bedrijf opnieuw te ijken en te kalibreren. Daaruit bleek inderdaad een afwijking van 50 ppm.

Nog iets inzoomend op de verschillen tussen de meting vlak boven het gewas en op de lagen eronder zien we ook nu overdag maar kleine verschillen:



Op dagen met veel instraling daalt de CO<sub>2</sub> concentratie meer dan op dagen met weinig instraling. Globaal scheelt dat 50 ppm. Een ventilator die lucht vanuit het raam het gewas in stuwt had de concentratie in het gewas kunnen verhogen. De verticale verschillen in CO<sub>2</sub> concentratie zijn heel klein. Dat betekent dat de gewasweerstand erg gering is.



Dat komt mede omdat de ramen overdag nagenoeg nooit gesloten zijn geweest. Ook als het doek voor 65% gesloten wordt dalen de CO<sub>2</sub> waarden niet zichtbaar.

De geringe verticale verschillen in concentratie waren aanleiding om te stoppen met de metingen. Nadere analyse van het gebruik van een verticaal blazende ventilator lijkt op dit bedrijf weinig zinvol.

### 3.4 Eindconclusie freesia

In deze teelt zijn de verticale verschillen in CO<sub>2</sub> concentratie gering. Voor een open gewas als freesia is de gewasweerstand dus gering. Verticaal mengen van de kaslucht met een ventilator zou voor de CO<sub>2</sub> verdeling dus weinig toevoegen. Wel daalt bij toenemende instraling de CO<sub>2</sub> concentratie in de kas tot lage waarden van 340, omdat er geen CO<sub>2</sub> wordt gedoseerd. Extra toevoer van buitenlucht met een ventilator kan dit waarschijnlijk voorkomen.





## 4 Metingen bij tomatenbedrijf

Dit tomatenbedrijf is voorzien van een energiescherm en een lichtafschermingsdoek. Voor de ontvochtiging wordt gebruik gemaakt van een Ventilationjet systeem. Elke 225 m<sup>2</sup> is er een ventilator geïnstalleerd die een traploos instelbare hoeveelheid lucht tot 16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur kan circuleren. Dit komt neer op ongeveer 3 maal per uur de kasinhoud mengen. Er is verneveling aanwezig waarmee het mogelijk is een strategie te volgen om bij veel instraling de RV te verhogen en de ramen wat te knijpen. Door dit te doen wordt de energie-inhoud van een m<sup>3</sup> kaslucht verhoogd zonder de temperatuur op te laten lopen. Om de overtollige warmte uit de kas af te voeren hoeven er minder m<sup>3</sup> lucht afgevoerd te worden via de ramen. Dat betekent dat er ook minder CO<sub>2</sub> naar buiten verdwijnt wanneer er in de kas CO<sub>2</sub> gedoseerd wordt. Omgekeerd is het wel zo dat er tijdens het vernevelen minder CO<sub>2</sub> van buiten wordt aangevoerd zodat in de kas de concentratie onder de buitenwaarde kan zakken wanneer er niet gedoseerd wordt. In dat geval zou er overigens voor gekozen kunnen worden om toch meer te luchten in combinatie met het verhogen van de RV. In dat geval zal de kastemperatuur verder dalen, maar moet daarvoor wel meer water worden verneveld.

Op dit bedrijf zijn op 4 hoogten CO<sub>2</sub> sensoren opgehangen. Onder de teeltgoot waar de CO<sub>2</sub> met een slurf wordt gedoseerd, op troshoogte, op halve hoogte van het bladpakket en bij de kop van de plant.

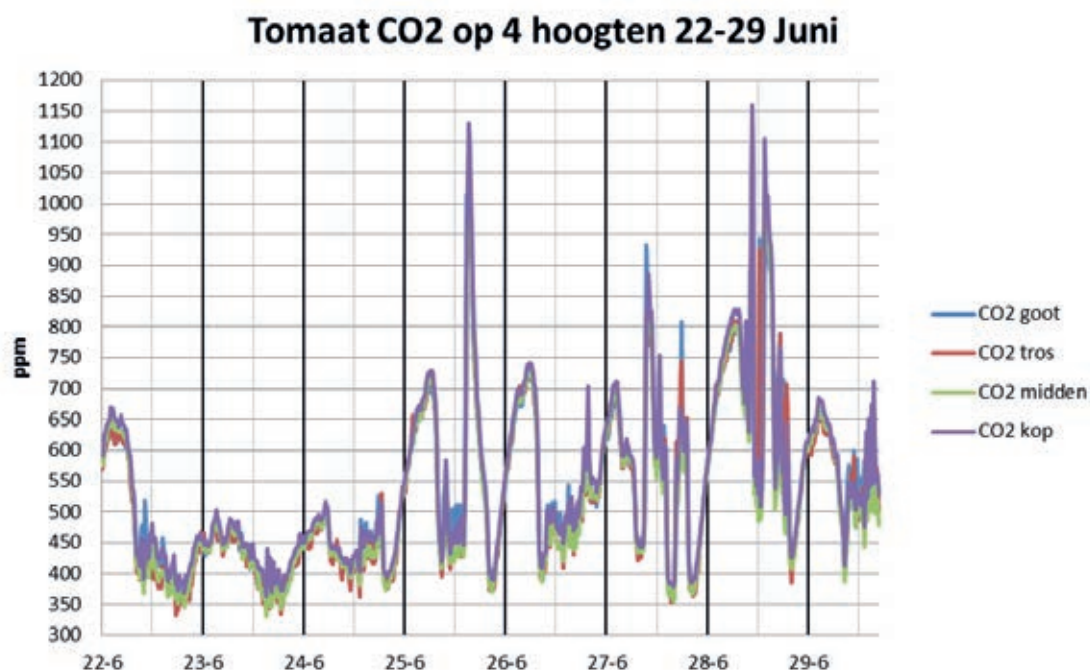
Voor dit tomatenbedrijf zijn een aantal situaties weergegeven waarin de uitersten aanwezig waren op het gebied van wel of niet doseren, verticale ventilatoren aan of uit, raamstanden, stand van het lichtafschermingsdoek en verneveling. Er werd niet belicht. Als er CO<sub>2</sub> werd gedoseerd was dit 110 kg/ha/uur. Verneveling aan is 250 gr/m<sup>2</sup>/uur.

### 4.1 Resultaten van de metingen

#### 4.1.1 22-29 Juni

In deze periode is er meestal verneveld en is er soms CO<sub>2</sub> gedoseerd.

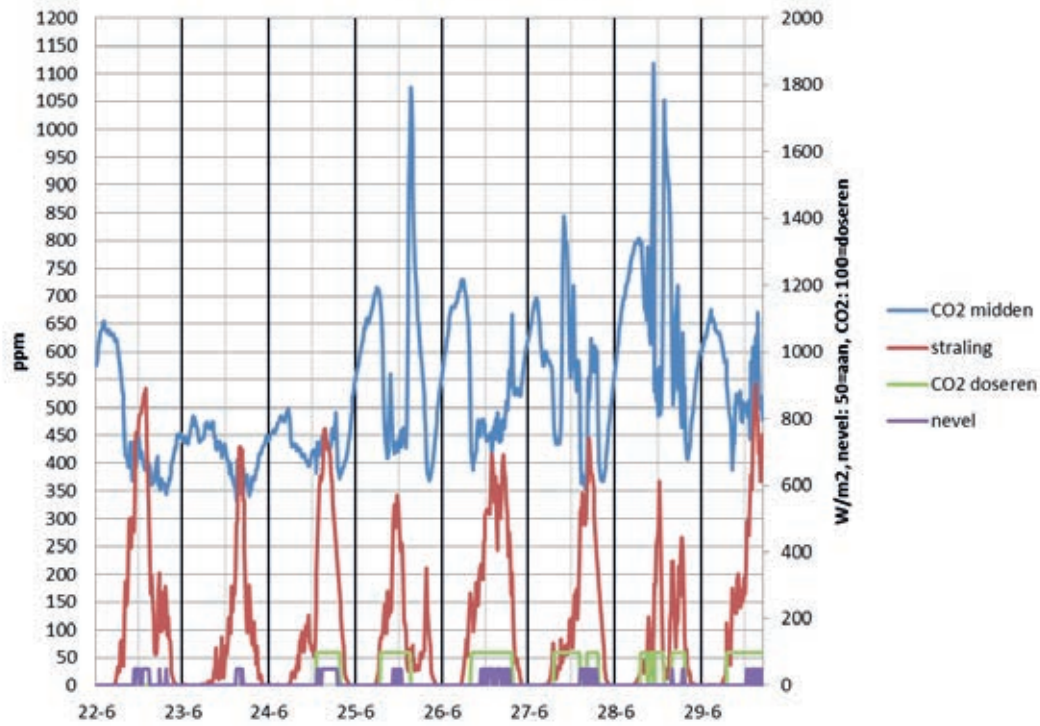
De verticale CO<sub>2</sub> concentraties zagen er in die periode als volgt uit:



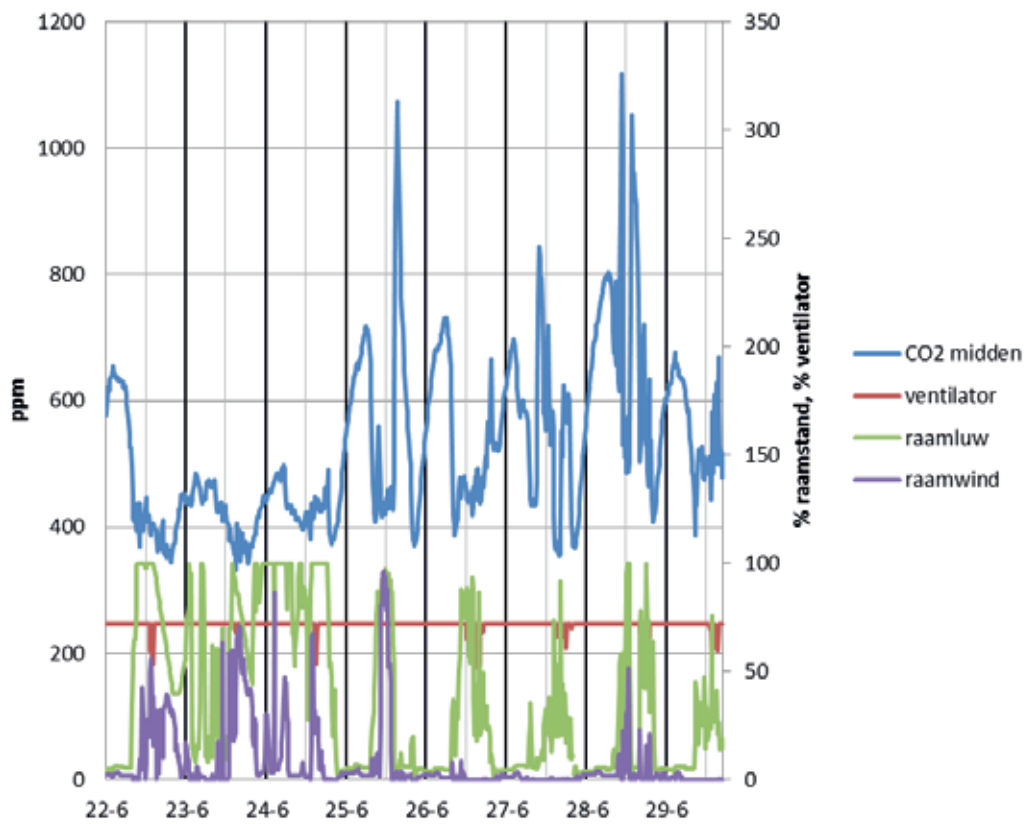
Over de hele periode waren de verticale verschillen verwaarloosbaar klein.

De volgende grafieken geven de CO<sub>2</sub> concentratie tussen het bladpakket weer in relatie tot straling, stand van de circulatieventilator, raamstanden, verneveling en wel of niet CO<sub>2</sub> doseren.

tomaat 22-29 juni

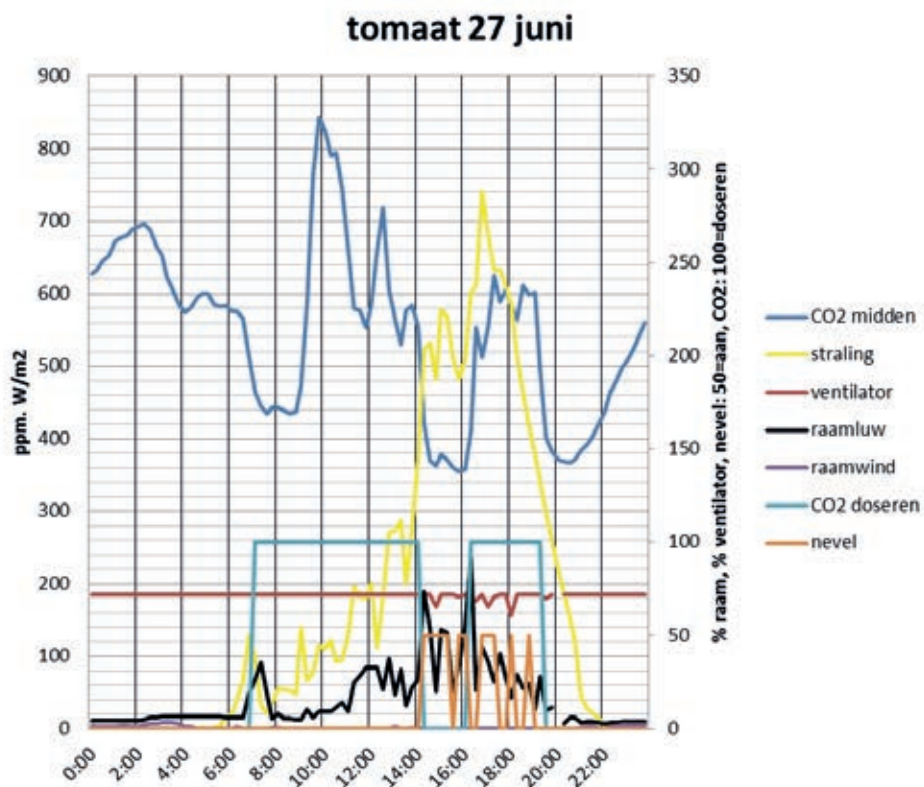


tomaat 22-29 juni



Wat opvalt is dat zoals verwacht de raamstand en het doseren een dominante invloed hebben op de CO<sub>2</sub> concentratie. Wanneer er geen CO<sub>2</sub> werd gedoseerd daalde de concentratie in de kas naar ongeveer 350 ppm, ondanks dat de ramen aan de luwe zijde voor 50% open stonden. Dat is lager dan de heersende buitenconcentratie van ongeveer 400 ppm. Omdat op die momenten de verticale concentratie verschillen klein zijn is de oorzaak vooral te weinig aanvoer van buiten. Een ventilator die lucht van buiten aanvoert zou dit kunnen verbeteren.

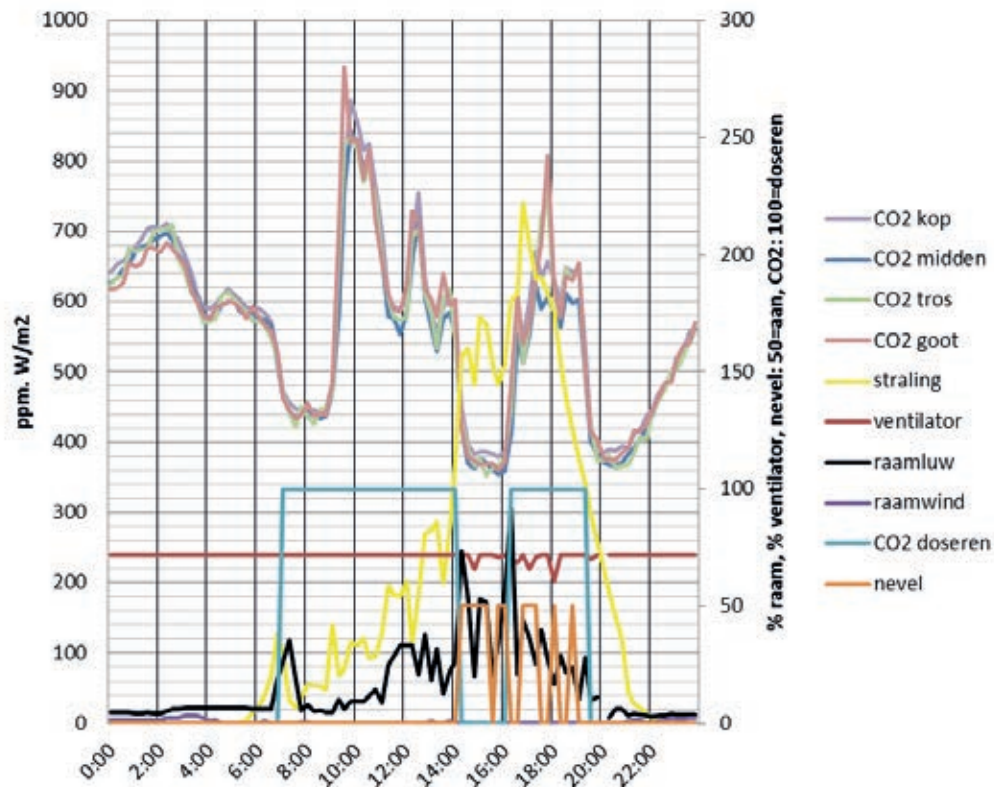
Op 27 juni is goed de invloed te zien van het samenspel van allerlei factoren:



De CO<sub>2</sub> concentraties in het gewas zijn het hoogst zolang er gedoseerd wordt. Ondanks de verneveling daalt de CO<sub>2</sub> concentratie tussen 14.00 en 16.00 uur snel zodra er niet meer gedoseerd wordt. Dat komt omdat de ramen (te) ver open blijven. Na 16.00 uur sluiten de ramen geleidelijk iets meer en loopt de CO<sub>2</sub> concentratie ondanks toenemende instraling op.

Kijken we naar de verticale CO<sub>2</sub> verdeling op die dag dan ziet het beeld er als volgt uit:

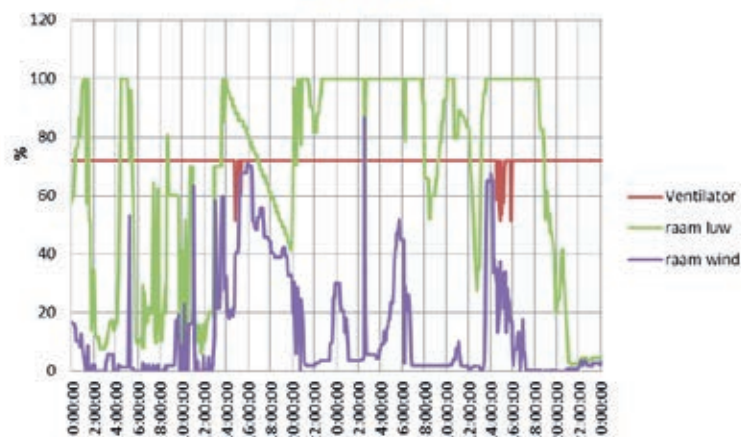
## tomaat 27 juni



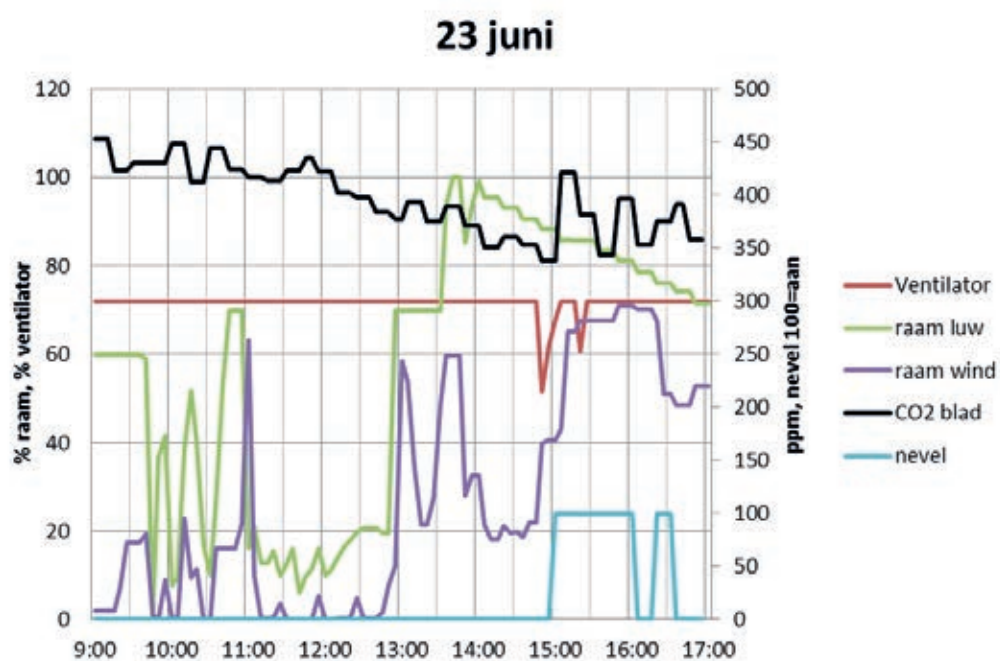
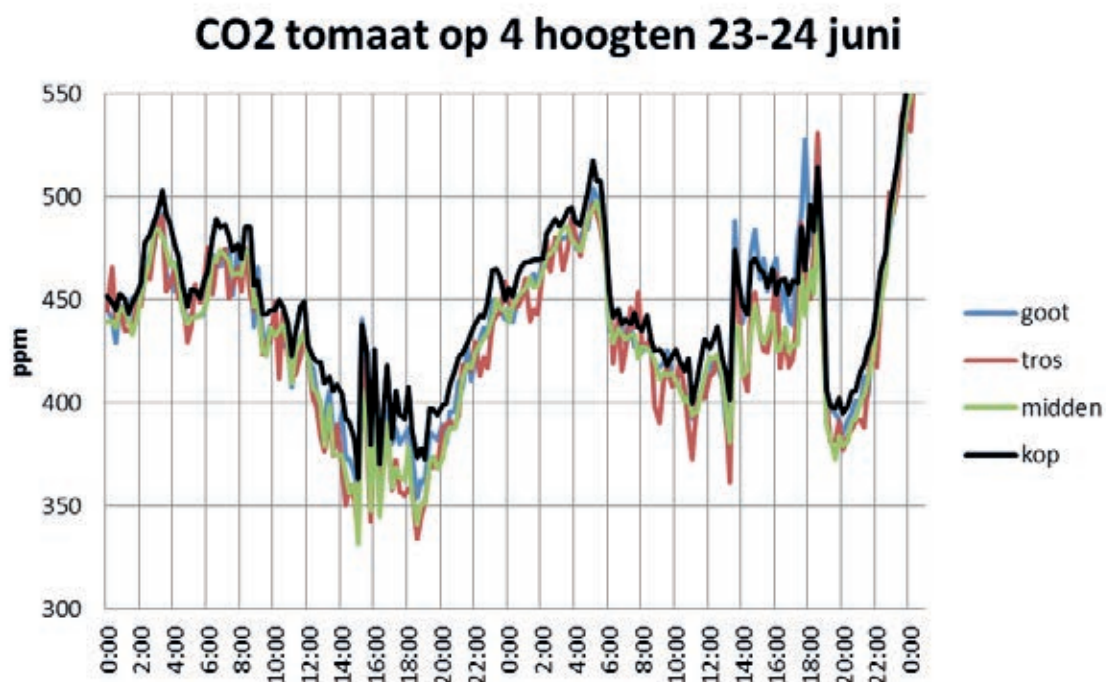
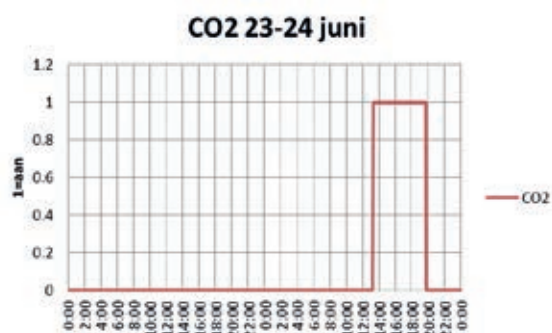
Gedurende de hele dag zijn de verticale verschillen in concentratie erg klein, ook op de momenten dat er gedoseerd wordt. De gewasweerstand is dus verwaarloosbaar.

Op 23 en 24 juni stond de ventilator op 75%, hetgeen overeenkomt met  $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ , soms lager in toeren gezet (50%), wat overeenkomt met  $8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ . Tussen 13.30-19.00 uur is er verneveld. De eerste dag werd geen  $\text{CO}_2$  gegeven.

## 23-24 juni







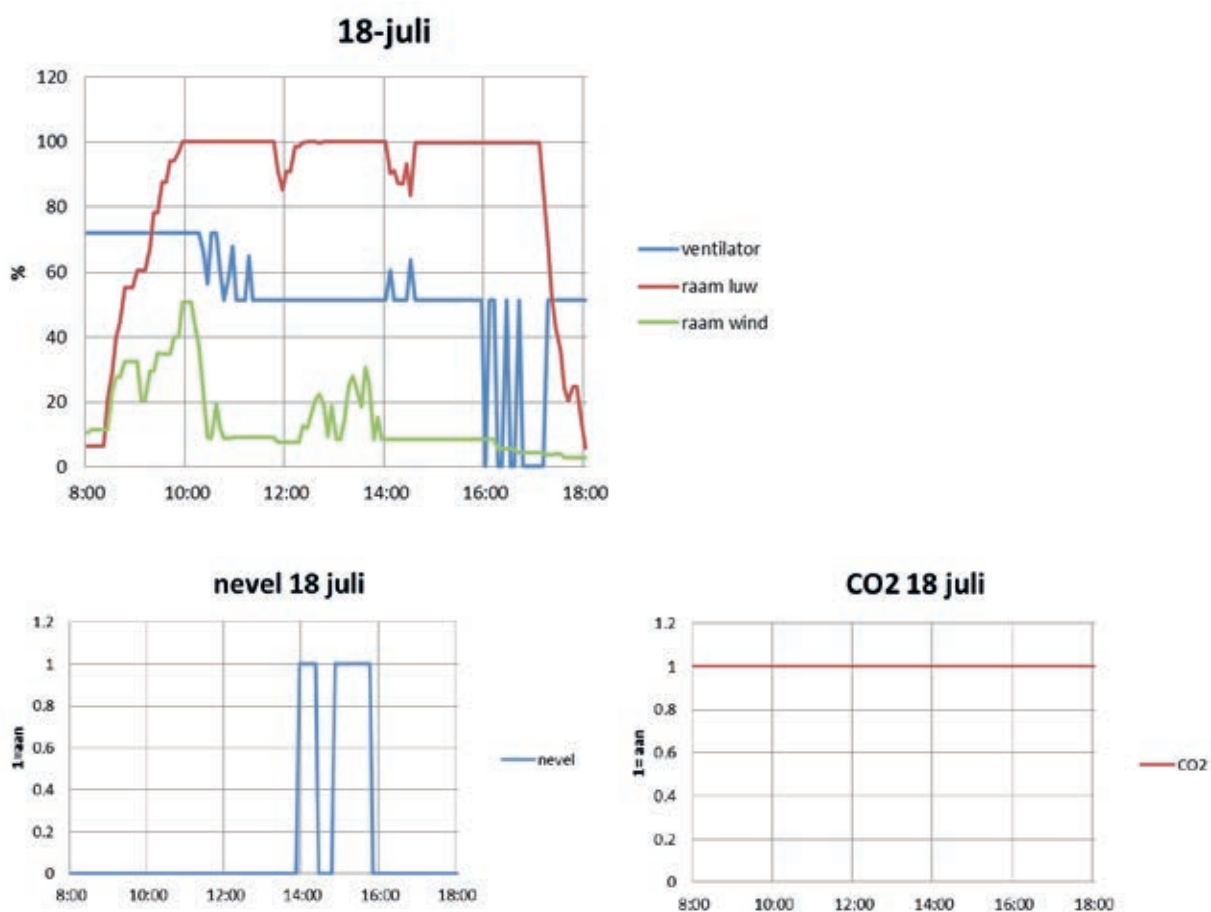
23 juni: Als op de eerste dag om 14.30 uur de circulatie ventilator gedurende een half uur langzamer gaat draaien, is daarvan geen effect te zien. Zodra om 15.00 uur de verneveling aan gaat stijgt de CO<sub>2</sub> waarde bij het blad. Maar als even daarna de ramen aan de windzijde verder open gaan daalt de CO<sub>2</sub> weer. De CO<sub>2</sub> waarden gaan dus omhoog, ondanks dat er niet gedoseerd wordt. Waarom op dit moment verneveling wel de CO<sub>2</sub> laat stijgen en op 27 juni niet wordt niet duidelijk omdat op beide dagen de ramen even ver open staan. Opvallend is dat het verschil in concentratie tussen kop en tros niet echt verandert naarmate de ramen meer sluiten. Dit betekent dus dat CO<sub>2</sub> goed mengt tussen de lagen en dat de weerstanden binnen het gewas verwaarloosbaar zijn.

24 juni: Als om 13.00 uur gestart wordt met CO<sub>2</sub> doseren stijgt de concentratie in de kas snel. Ook gaat op dat moment de verneveling aan. Wat wel jammer is, is dat de ramen aan de luwe zijde volledig open zijn gebleven, daardoor is er toch onnodig veel CO<sub>2</sub> uit de ramen verdwenen. Dat is goed te zien als om 18.00 uur de ramen sluiten, waarna de CO<sub>2</sub> concentratie in de kas tijdelijk oploopt.

Algemeen: Op 23 juni vond er geen CO<sub>2</sub> dosering plaats en zijn er toch relatief hoge CO<sub>2</sub> concentraties gemeten in de kas (350-400 ppm). Dat duidt op instroom van buiten. Het verschil tussen hoogste en laagste concentratie binnen het gewas is steeds erg klein. Dat duidt op een goede verticale menging, ook als de ventilatoren langzamer draaien; de weerstanden van CO<sub>2</sub> binnen het gewas zijn dus minimaal.

#### 4.1.2 18 Juli

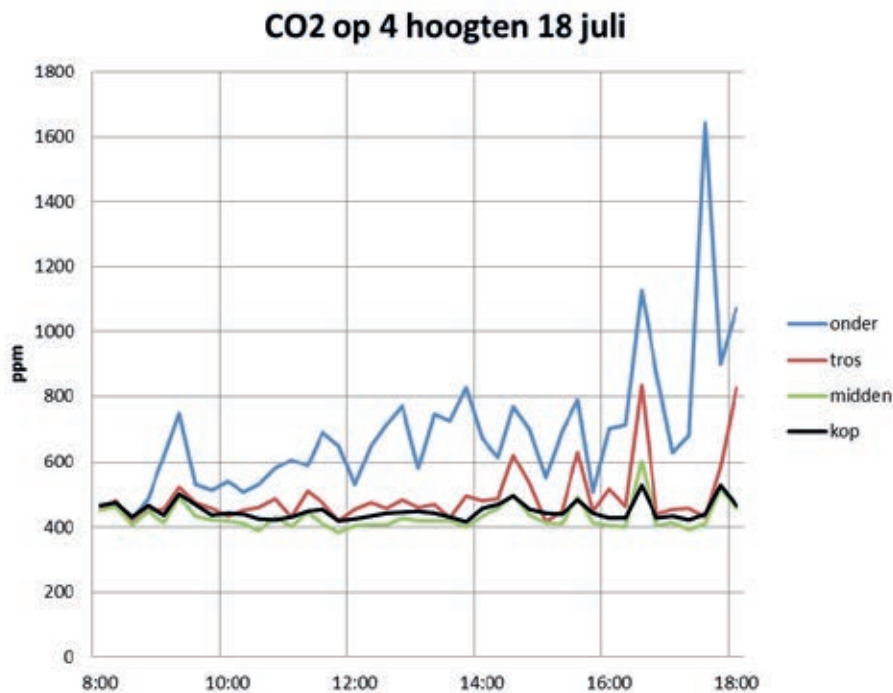
Op deze dag met veel instraling is de verticale ventilator soms uitgezet tussen 16.00-17.20 uur. Er is continu CO<sub>2</sub> gedoseerd en in de middag verneveld.



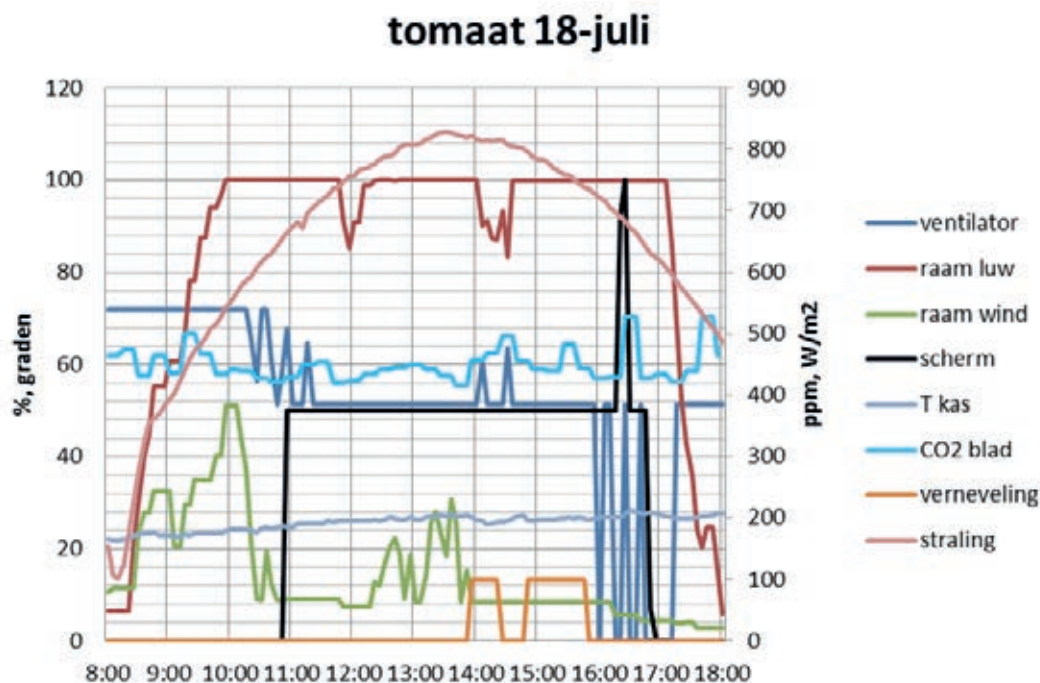
Het lichtafschermingsdoek is tussen 11.00 en 17.00 uur voor 50% gesloten. Om 16.30 uur zelfs even voor 100%.



Deze manier van klimaatregelen leverde de volgende verticale CO<sub>2</sub> verdeling op:



Omdat de CO<sub>2</sub> concentratie op bladniveau belangrijk is voor de fotosynthese is in de volgende twee grafieken deze waarde uitgezet naast de belangrijkste invloed factoren.



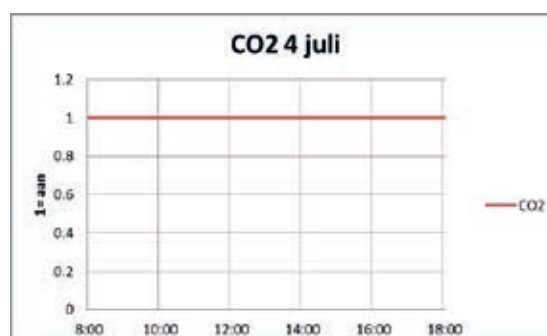
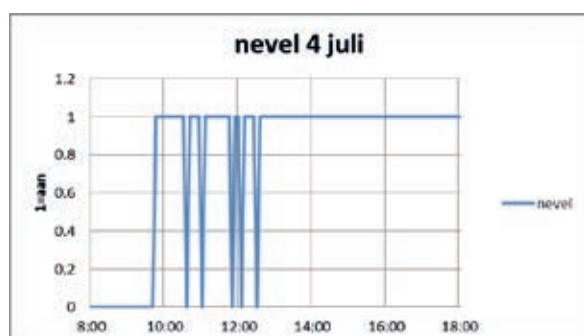
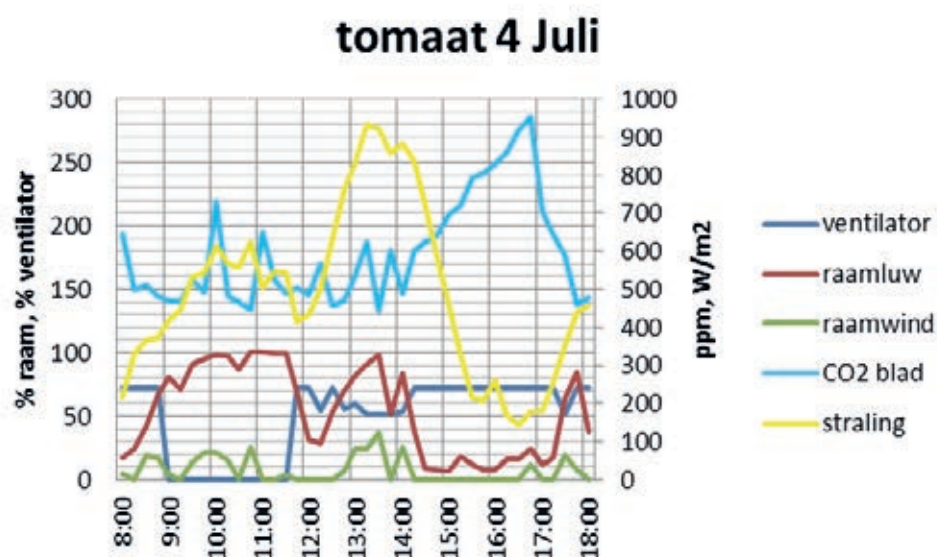
Effect schermen en ramen: Na het 50% sluiten van het scherm om 11.00 uur stijgt de concentratie onder de goot, maar niet hogerop in het gewas. Een teken dat er minder verticale luchtbeweging is. (de lucht vliegt dus minder snel de kas uit, m.a.w. het half gesloten scherm is een positieve weerstand om de CO<sub>2</sub> binnen te houden). Het kortstondig volledig sluiten van het scherm om 16.20 uur en het vanaf 17.10 uur geleidelijk sluiten van de ramen had een sterk verhogend effect op de CO<sub>2</sub> concentratie, ook tussen het gewas.

Effect ventilator: Het af en toe uit gaan van de ventilator tussen 16.00-17.20 uur heeft geen zichtbare effecten op de CO<sub>2</sub> concentratie tussen het gewas, dus de ventilator had tot dan geen toegevoegde waarde. Of anders gezegd, de weerstand tussen het gewas was overdag verwaarloosbaar laag.

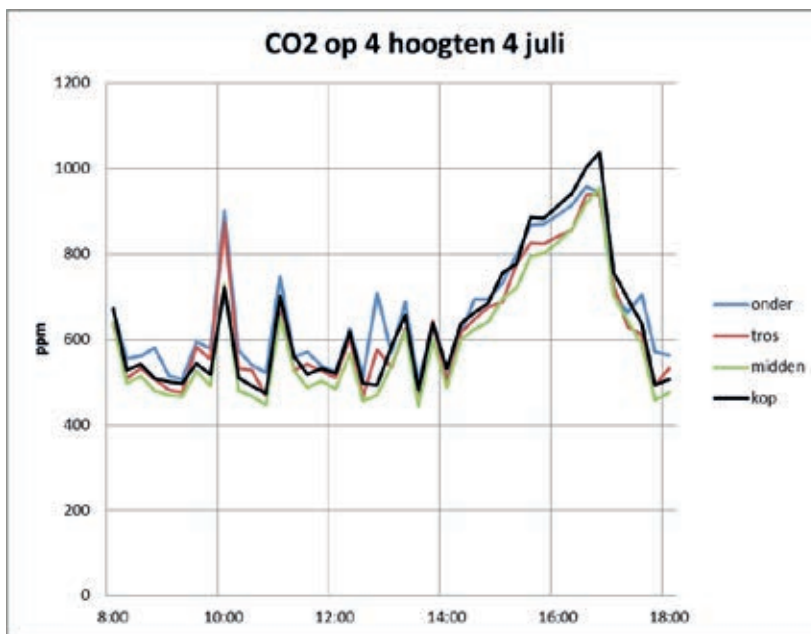
Effect vernevelen: Bij de kop en in het gewas is er tussen 14.00-16.00 slechts een kleine verhoging van de CO<sub>2</sub> concentratie te zien. Dat komt waarschijnlijk omdat er 100% gelucht wordt aan de luwe zijde. Dat is jammer, want hier had de CO<sub>2</sub> bovenin de plant zeker hoger kunnen zijn. Wel is opvallend dat de CO<sub>2</sub> concentratie op troshoogte extra steeg tijdens het vernevelen. De oorzaak daarvan is onduidelijk. Ook daalt de kastemperatuur.

#### 4.1.3 4 Juli

Op deze dag werd tussen 9.00-11.30 uur de ventilator uit gezet. Na 10.00 uur wordt er verneveld. Er is geen scherm dicht en er wordt continu CO<sub>2</sub> gedoseerd.



De verticale verdeling ziet er als volgt uit:



Opvallend is het vrij constante verloop tot 14.00 uur. Het aanzetten van de ventilator om 11.45 uur is niet zichtbaar in de hoogte van de  $\text{CO}_2$ . Het uit staan van de ventilator tussen 9.00-11.45 uur lijkt ook geen invloed te hebben op de verticale verschillen, maar dat wordt wellicht versluierd doordat in die periode ook de ramen volledig open staan en deze mogelijk ook voor verticale menging zorgen. De verschillen tussen de concentraties op verschillende hoogten zijn opvallend klein voor deze dag, ook tussen 12.30-14.30 uur wanneer de buitenstraling toch boven de  $600 \text{ W/m}^2$  ligt. De weerstanden in het gewas voor  $\text{CO}_2$  transport zijn dus minimaal. De oplopende concentratie na 14.30 uur heeft een relatie met de sterk afnemende straling. Maar ondanks het feit dat er nog steeds gedoseerd wordt wijken de concentraties onder de goot en bij de tros maar weinig af. Omdat de ramen in die periode maar weinig geopend zijn zorgt mogelijk de ventilator voor een goede menging. Het is wel de vraag of de dosering na 14.30 uur niet verminderd had kunnen worden. Hoewel de verneveling veel uren heeft gedraaid is het moeilijk om aan te geven welk effect dit had op de  $\text{CO}_2$  concentratie in het gewas. Tot 14.00 uur stonden de ramen ver open en daarna juist erg dicht. De  $\text{CO}_2$  loopt na 14.00 uur wel sterk op, maar dat lijkt het effect van sluitende ramen in combinatie met een sterk afgenomen instraling.

## 4.2 Conclusies en aanbevelingen tomatenteelt

Op het tomatenbedrijf was de verticale verdeling van de  $\text{CO}_2$  tussen het gewas geen probleem. De gewasweerstand voor  $\text{CO}_2$  transport is dus laag. Door de ramen en eventueel een schermdoek meer te sluiten kon de concentratie van de  $\text{CO}_2$  binnen het gewas worden verhoogd. Het aanzetten van de verneveling had soms een verhogend effect op de concentratie in de kas, maar meestal niet. Dat wordt mogelijk verklaard doordat de ramen bij verneveling nauwelijks extra dicht werden gehouden. Het is daarom nog te vroeg om uit te sluiten dat dit wel een verhoging van de  $\text{CO}_2$  concentratie zou kunnen veroorzaken. Het is niet aangetoond dat de verticale uniformiteit verbeterde of de  $\text{CO}_2$  concentratie tussen het gewas stijgt door het laten draaien van een ventilator met een verticaal stromingspatroon. Waarschijnlijk overstemt de verticale luchtbeweging veroorzaakt door raamopeningen dat. Ook hiervoor geldt dat een verkleining van de raamopening bij vernevelen deze conclusie kan beïnvloeden. Als er geen  $\text{CO}_2$  werd gedoseerd daalde de concentratie tussen het gewas naar 350 ppm, ook bij 50% geopende ramen. Omdat dit beneden de buitenconcentratie is kan het wellicht helpen om met een ventilator extra buitenlucht tussen het gewas te blazen of de ramen verder open te zetten.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

De verticale CO<sub>2</sub> verschillen in het gewas zijn voor Freesia en tomaat minimaal. In nagenoeg alle gevallen is de verdeling van CO<sub>2</sub> door het gewas volledig en is er nauwelijks sprake van gewasweerstand. In de verdere analyse van de CO<sub>2</sub> opname voor de gewassen tomaat en fnesia mag de gewasweerstand voor CO<sub>2</sub> opname verwaarloosbaar klein worden geacht ten op zichte van de overige 4 weerstanden voor CO<sub>2</sub> opname. Het toepassen van ventilatoren heeft dan ook geen toegevoegde waarde voor een betere verdeling van CO<sub>2</sub> in het verticale vlak.

De stand van de ramen en een schermdoek hebben een grote invloed op de gerealiseerde CO<sub>2</sub> concentraties binnen het gewas.

Als er geen CO<sub>2</sub> gedoseerd wordt, leidt het sluiten van ramen of een scherm tot dalende CO<sub>2</sub> concentraties, zelfs tot ver onder de buitenconcentratie. In deze proef daalde bij beperkt geopende ramen de concentratie tussen het gewas onder een niveau van 350 ppm. In die toestand lijkt het zinvol om ervoor te zorgen dat er meer buitenlucht naar binnen wordt getransporteerd. Moet het scherm gesloten blijven, dan ligt het voor de hand om daarvoor een verticale ventilator in te zetten of om op zijn minst zowel aan de luwe zijde als de windzijde te luchten. Is de buitenlucht daarvoor te koud, dan kan een ontvochtigingssysteem zoals een Ventilationjet, Airmix of Luchtbehandelingskast met slurf worden ingezet om meer buitenlucht in de kas aan te voeren. Om bij de hoogste stralingsniveaus voldoende CO<sub>2</sub> aan te voeren (om de CO<sub>2</sub> concentratie op 350 ppm te houden) is dan maximaal een debiet van 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur buitenlucht nodig.

Als er wel CO<sub>2</sub> gedoseerd wordt, verdwijnt er bij hoge stralingsniveaus teveel CO<sub>2</sub> uit de ramen wanneer er op traditionele wijze gelucht wordt. Verneveling in combinatie met het knijpen van de ramen kan het verlies naar buiten dan beperken. In deze proef had verneveling op het tomatenbedrijf meestal geen verhogend effect op de CO<sub>2</sub> concentratie. De oorzaak ligt in het te ver open zetten van de ramen. Dat levert een situatie op waarbij de kastemperatuur extra daalt, maar de ventilatieverliezen van CO<sub>2</sub> erg hoog blijven door de grote mate van luchtuitwisseling. Door het bevochtigen van de kaslucht neemt de enthalpie ervan zoveel toe dat de drijvende kracht toeneemt om lucht en daarmee CO<sub>2</sub> door de ramen naar buiten af te voeren. Uit eerdere teeltproeven met tomaat is bekend dat het laten oplopen van de kastemperatuur in combinatie met een hogere RV meer fotosynthese oplevert. Dat komt omdat bij een RV lager 60% de huidmondjes meer gaan sluiten en de opname van CO<sub>2</sub> dan moeilijker gaat. Dankzij het meer sluiten van de ramen steeg in deze proeven ook de CO<sub>2</sub> concentratie met 100-150 ppm bij gelijke doseersnelheid. Het sluiten van een schermdoek verkleint de verliezen naar buiten wanneer er CO<sub>2</sub> gedoseerd wordt.

Voor een optimale regeling van de ramen en de schermdoeken maakt het dus veel uit of er wel of niet CO<sub>2</sub> wordt gedoseerd. Zonder doseren moeten de ramen wijd open, met doseren juist dicht. Het is goed mogelijk om beide scenario's binnen één bedrijf volgtijdelijk toe te passen, maar het gelijktijdig toepassen van beide zal nooit optimaal zijn. De belangrijkste vraag zal dan zijn wat het goede moment zal zijn om te stoppen met doseren en de ramen verder open te zetten of omgekeerd. Een nadere studie is nodig om te bepalen op basis van welke criteria en metingen die omschakeling zou moeten plaatsvinden. Meting van de CO<sub>2</sub> concentratie in de buitenlucht en vergelijking met de concentratie binnen het gewas ligt voor de hand.

Meer informatie over de rol van luchtbeweging langs het blad op de opname van CO<sub>2</sub> via de huidmondjes wordt nader uiteengezet in het onderzoek "Effecten van grenslaagweerstand op de fotosynthese bij tomaat en Freesia" door Schapendonk et al. (zie hst. of deel II van dit rapport).



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



Wageningen University & Research 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](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1423

Wageningen University & Research 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 UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University 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 Wageningen UR 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.