



Gelimiteerd CO₂ en het nieuwe telen Tomaat

Arie de Gelder¹, Mary Warmenhoven¹, Wanne Kromdijk¹, Esther Meinen¹, Feije de Zwart¹, Herbert Stolker²
en Marc Grootcholten³

¹ Wageningen UR Glastuinbouw ² GreenQ Consultancy ³ GreenQ Improvement Centre



Referaat

Verwacht wordt dat de hoeveelheid te doseren CO₂ in de toekomst zal afnemen vanwege afnemende beschikbaarheid uit aardgas en vanwege maatschappelijk belang om de CO₂ emissie te verlagen. Daarom is onderzocht wat de gevolgen zijn van een verlaging van de doseercapaciteit op de ontwikkeling en productie van tomaat. Met een beperkte dosering van CO₂ blijkt de teelt heel goed mogelijk. Een verschil van 50% in dosering (46.2 om 23.2 kg/(m².jaar) resulteerde in een gering verschil in productie van 1 kg/m² (65.7 om 64.7). De besparing in CO₂ komt vooral door minder ventilatie verlies bij geopende luchtramen. De blad opbouw bij beide doseerstrategieën verschilde. De fotosynthese capaciteit verschilde niet voor de twee CO₂ doseerstrategieën. Om CO₂ gebruik te verminderen moet zoveel worden gedoseerd als voor opname door het gewas en een klein ventilatie verlies nodig is.

Een andere uitkomst van dit onderzoek is dat Komeett in uitgroei duur duidelijk anders op temperatuur reageert dan Cappricia. Een lage etmaal temperatuur leidt bij Komeett tot een sterke toename van de uitgroei duur.

Abstract

It is expected that the quantity of CO₂ dosing in the future will decrease because of decreasing availability of natural gas and because of public interest to reduce CO₂ emission. Therefore the effects of a reduction in the dosing on the development and production of tomato was examined. With a reduced dosage of CO₂ it appears that a good production was very well possible. A difference of 50% in dosing (46.2 to 23.2 kg/(m².year) resulted in a small difference in production of 1 kg/m² (65.7 to 64.7). The savings in CO₂ is mainly due to less losses with open windows.

The leaf structure differed in both dosing strategy's. The photosynthetic capacity did not differ for the two CO₂ dosing strategy's. In order to reduce CO₂ use dosing should be as much as needed for absorption by the crop and a small loss due to ventilation.

Another outcome of this research is that Komeett fruitgrowth duration clearly responds differently to temperature compared with Cappricia. A low daily temperature for Komeett leads to a strong increase of the fruitgrowth period.

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Aanleiding	7
	1.1 Arena sessies als startpunt	8
	1.2 Achtergronden voor het onderzoek	10
	1.3 Aanpak en rapportage	10
2	Doelstelling	13
3	Werkwijze	15
	3.1 Kas en de uitrusting daarin	15
	3.1.1 Basis kasuitrusting	15
	3.2 Teelt	16
	3.2.1 Stengeldichtheid en Snoeibeleid	16
	3.2.2 Registratie	17
	3.3 Energie prognose	17
	3.4 CO ₂ dosering en registratie	18
	3.5 Fotosynthese metingen	19
	3.6 Overige	19
	3.6.1 Uitgroeiduur	19
	3.6.2 Gewasgroei en droge stof productie	20
	3.6.3 Huidmondjes en bladstructuur	20
	3.6.4 Houdbaarheid	20
	3.6.5 Temperatuurverdeling	20
	3.6.6 Gewasweging	20
4	Productie en gewasontwikkeling	21
5	Resultaten en Analyse	23
	5.1 Gewasparameters	23
	5.1.1 Plantbelasting	24
	5.2 Bladoppervlak en drogestof metingen	25
	5.3 Klimaat	26
	5.3.1 Temperatuur	26
	5.3.2 Ventilatie	27
	5.3.3 Vochtigheid	28
	5.4 Energie	28
	5.5 CO ₂ niveau en dosering	29
	5.5.3.1 Buiten concentratie CO ₂	32
	5.5.1 Hoeveelheid gedoseerde CO ₂	33
	5.5.2 Meting van de concentratie	35
	5.5.3 Concentratie in relatie tot ventilatie.	35
	5.5.4 Dosering en concentratie in relatie tot straling	35
	5.6 Fotosynthese	35

5.6.1	Fotosynthese afhankelijk van licht en CO ₂	37
5.6.1.1	Beperking door te lage concentratie CO ₂ in het blad.	38
5.6.1.2	Cultivar effect	38
5.6.1.3	Modelbeperkingen	38
5.6.2	Conclusie fotosynthese	39
5.7	Uitgroeiduur	39
5.8	Huidmondjes en bladstructuur	42
5.9	Houdbaarheid	43
5.10	Temperatuurverdeling	44
5.11	Gewasweging	45
5.12	Nutriënten opname	45
6	Conclusies en aanbevelingen	47
7	Literatuur	49
Bijlage I	Teeltstrategie bij Gelimiteerde CO ₂ dosering.	51
Bijlage II	Teeltbeoordeling	55
Bijlage III	Analyse Fotosynthese	63
Bijlage IV	Stralingsverdeling	71
Bijlage V	Gebruik van modellen	73

Samenvatting

Aanleiding en doel

CO₂ is een essentiële grondstof voor groei. De van nature aanwezige CO₂ concentratie in de buitenlucht is de laatste decennia licht gestegen, maar de belangrijkste bron voor CO₂ vormt nog steeds de verbranding van aardgas in WKK en verwarmingsketels op de glastuinbouwbedrijven. Er zijn een aantal ontwikkelingen gaande die de beschikbaarheid van CO₂ uit aardgas belangrijk kunnen gaan reduceren.

Om de effecten van gelimiteerd CO₂ in combinatie met het nieuwe telen te onderzoeken is een integrale aanpak nodig. Deze past binnen het kader van projecten waarin een bewijs van het principe (Proof of Principle) wordt geleverd. Omdat het in dit geval gaat om een duidelijke vergelijking van 2 methodes van CO₂ doseren en de daarbij horende teelt wordt voor dit onderzoek een proef opgezet met twee teeltafdelingen.

De doelstelling is om aan te tonen dat met een 50% reductie van de CO₂ input: van 65 kg/(m².jaar) naar 32.5 kg/(m².jaar) een praktijkconforme productie van tomaat van het grove trosras Komeett kan worden behaald (65 kg/(m².jaar)). Het klimaat wordt daarbij geregeld volgens de inzichten van Het Nieuwe Telen - dus geen standaard minimumbuis, het accepteren van hoge luchtvochtigheid, een kas met een drievoudig scherm en buitenluchtaanzuiging. De warmtevraag gerelateerde input van aardgas zal in een normaal jaar 750 MJ/m² (24 m³/m²) zijn.

Aanpak en waarnemingen

Voor het project wordt gebruik gemaakt van de kasfaciliteiten van GreenQ-Improvement Centre (IC). Het betreft afdelingen die in eerdere jaren zijn gebruikt voor projecten met Het Nieuwe Telen.

Om de CO₂ dosering goed te kunnen sturen en te meten is in beide afdelingen een zogenoemde Mass Flow Controller geïnstalleerd. Deze kunnen zeer nauwkeurig de CO₂ doseren en de gedoseerde hoeveelheid terugmelden aan de Integro.

De standaard gewaswaarnemingen – zoals zetting, oogst, bladlengte en kopdikte zijn gedaan.

Op 8 dagen zijn voor de bepaling van de kenmerken van de fotosynthese met een LICOR 6400 de lichtresponse bij 900 ppm CO₂ in de bladkamer en de CO₂ response bij een lichtintensiteit van 1200 μmol.m⁻².s⁻¹ PAR gemeten.

Bladstructuur is bepaald door tellen van huidmondjes en het maken van coupes en die bekijken onder een microscoop.

Resultaten

In de normale afdeling is totaal 65,7 kg/m² verkoopbaar product geoogst en in de gelimiteerde afdeling 64,7 kg/m². Dit is een klein verschil waarbij de gelimiteerde afdeling duidelijk beter uitkomt dan de verwachting vooraf aan het experiment. De gewasparameters – bladlengte en kopdikte - toonden geen duidelijk verschil tussen de behandelingen.

Uit de destructieve metingen en de bepalingen voor de bladstructuur kwamen wel verschillen naar voren. Deze verschillen wijzen op een aanpassing aan laag CO₂ gericht op meer CO₂ vastlegging.

Het energie gebruik verschilde tussen de afdelingen. Dit had waarschijnlijk te maken met de ligging van de afdelingen ten opzicht van de wind en zon. In hoofdlijn werd de doelstelling van het energie gebruik volgens Het Nieuwe Telen gerealiseerd.

Het CO₂ niveau in de afdelingen verschilde in lichte mate tussen de twee behandelingen. De hoogste dosering realiseerde een hogere CO₂ concentratie, maar zeker op zonnige dagen was het verschil gering.

De totale gedoseerde hoeveelheid CO₂ in de normale afdeling is uitgekomen op 46.2 kg/m² en in de gelimiteerde behandeling op 23.2 kg/m². Om de concentratie in de kas goed te meten is naast de tuinbouw meetboxen gewerkt met een CO₂ analyzer. Dit bleek voor een goede meting noodzakelijk.

Tussen de behandelingen is geen verschil in fotosynthese response curves gemeten. Deze metingen van de fotosynthese stemmen overeen met eerdere onderzoeken.

De interne CO₂ concentratie mag ook lokaal niet onder de 300 ppm zakken.

De genetische eigenschappen en dus plant fysiologische eigenschappen, die de uitgroei duur van Komeett bepalen zijn afwijkend van rassen zoals Cappricia. De vertraging bij het Nieuwe Telen heeft dus niet alleen te maken met de lagere teelttemperatuur, maar is mede veroorzaakt door de cultivar keuze. Een andere temperatuurreactie bij de uitgroei duur betekent bij model berekeningen dat het moment van oogsten anders wordt. Voor de totale productie heeft dit geen gevolgen omdat de fotosynthese niet door de uitgroei duur van vruchten wordt beïnvloed.

Conclusie en aanbevelingen

De productie van tomaat met een beperkte dosering van CO₂ blijkt heel goed mogelijk. Een verschil van 50% in dosering resulteerde in slechts een gering verschil in productie van 1 kg/m². Als mogelijk punten voor verklaring hiervoor zijn te noemen:

- Hogere CO₂ buitenwaarden dan in het verleden, waardoor de ventilatie verliezen van CO₂ geringer zijn.
- Bij de verschillende manieren van CO₂ doseren ontstond bij de gelimiteerd afdeling een gelijkere verdeling van de CO₂ door de ruimte zonder pieken
- Aanpassing van de plant aan de CO₂ concentratie. De aanpassing in aantal huidmondjes wordt mogelijk in gang gezet door de hogere CO₂ concentratie rond de oudere bladeren.

De temperatuur gevoeligheid voor uitgroei van de vruchten van Komeett is sterker dan die van Cappricia.

De dosering van CO₂ moet meer licht afhankelijk worden gedaan.

De apparatuur voor meting van de CO₂ concentratie in de kas moet aan hoge eisen van betrouwbaarheid voldoen.

1 Aanleiding

CO₂ is een essentiële grondstof voor groei. Onderzoeken en ervaringen uit het verleden hebben de resultaten van doseren van CO₂ aangetoond en de toediening van CO₂ heeft een indrukwekkende kwantitatieve groei laten zien. Mede door WKK en OCAP wordt er dan ook volop CO₂ gedoseerd. Aanvankelijk was het streven om bij geopende luchtramen minimaal het niveau van de buitenlucht te handhaven. De ervaring dat een verhoogd CO₂ niveau, meer groei en meer productie geeft en de grote beschikbaarheid van CO₂ hebben er echter toe geleid dat naar veel hogere streefwaarden wordt gedoseerd. De ruime beschikbaarheid uit WKK installaties en levering van zuivere CO₂ via OCAP hebben er toe geleid dat telers de CO₂ dosering maximaliseren zonder goede evaluatie van de meerwaarde van de extra CO₂ dosering.

De van nature aanwezige CO₂ concentratie in de buitenlucht is de laatste decennia licht gestegen, maar de belangrijkste bron voor CO₂ vormt nog steeds de verbranding van aardgas in WKK en verwarmingsketels op de glastuinbouwbedrijven. De CO₂ die vrijkomt bij het verbrandingsproces wordt na reiniging benut in de kas om het fotosynthese proces van de gewassen te stimuleren.

Er zijn een aantal ontwikkelingen gaande die de beschikbaarheid van CO₂ uit aardgas belangrijk kunnen gaan reduceren, te weten:

1. Het Nieuwe Telen, dat resulteert in een lagere energie (warmte) input, zal leiden tot forse energiebesparingen en hieraan gekoppeld lager gasverbruik. Hetzelfde geldt voor andere energiebesparende maatregelen die in de praktijk reeds worden toegepast.
2. Aardwarmte zal in de toekomst steeds meer bij gaan dragen aan de warmte voorziening van de tuinbouw.
3. Een onzekere en neergaande lijn in rendement van de WKK veroorzaakt door lagere energieprijzen en een ongunstiger sparkspread kan resulteren in minder inzet en inzet op onregelmatige tijden van de WKK en leidt zo tot een geringere en ongelijkmatige CO₂ beschikbaarheid.
4. De opkomst van groene stroom opgewekt met behulp van wind- en zonne-energie die op termijn de functie en rendement van de WKK onder druk zal gaan zetten.
5. Nationaal en internationaal is er discussie over de CO₂ footprint. Beperking van de warmtevraag en limitering van de CO₂ dosering dragen bij aan een gunstiger beeld voor de CO₂ footprint.

Deze ontwikkelingen samen zullen trendmatig gaan leiden tot een kleiner volume CO₂ uit aardgas. Momenteel wordt al aangevuld –gecompenseerd- met vloeibare zuivere CO₂, zowel middels decentrale voorraad op bedrijven alsook centrale aanvoer door OCAP.

Bij het nieuwe telen zoals uitgevoerd in de experimenten van 2009 en 2010 is de CO₂ dosering slechts beperkt door twee instellingen: de maximale doseercapaciteit per uur (20 g/(m².uur) =200kg/(ha.uur)) en het gewenste CO₂ niveau in de kas van 1000 ppm. Voor de CO₂ dosering gold geen doelstelling om die omlaag te brengen. In die experimenten is daardoor veel CO₂ gebruikt.

De uitdaging is nu om de sterke toename van de CO₂ dosering terug te dringen zonder gevolgen voor de productie. Daarnaast zullen antwoorden moeten worden gevonden voor de situatie dat CO₂ een schaars en daarmee kostbaar productiemiddel is geworden. Dit betekent dat de efficiëntie van CO₂ verhoogd moet worden: de productie die gerealiseerd kan worden per kilogram gedoseerd CO₂ moet omhoog.

CO₂ heeft effect op de ontwikkeling en groei van de plant en in de klimaatregeling kan weer gereageerd worden op de plantontwikkeling. Daarom moet het effect van CO₂ in een integraal systeem worden vergeleken. Hierbij wordt niet alleen het effect van CO₂ op de plant gevolgd, maar ook de daarvoor gekozen aanpassingen in de klimaatregeling worden vastgelegd en welke gevolgen dat weer heeft voor de energie input en productie. De integrale effecten van CO₂ in een vergelijkende proef kunnen alleen goed worden beschreven als de overige technische omstandigheden tussen afdelingen vergelijkbaar zijn.

1.1 Arena sessies als startpunt

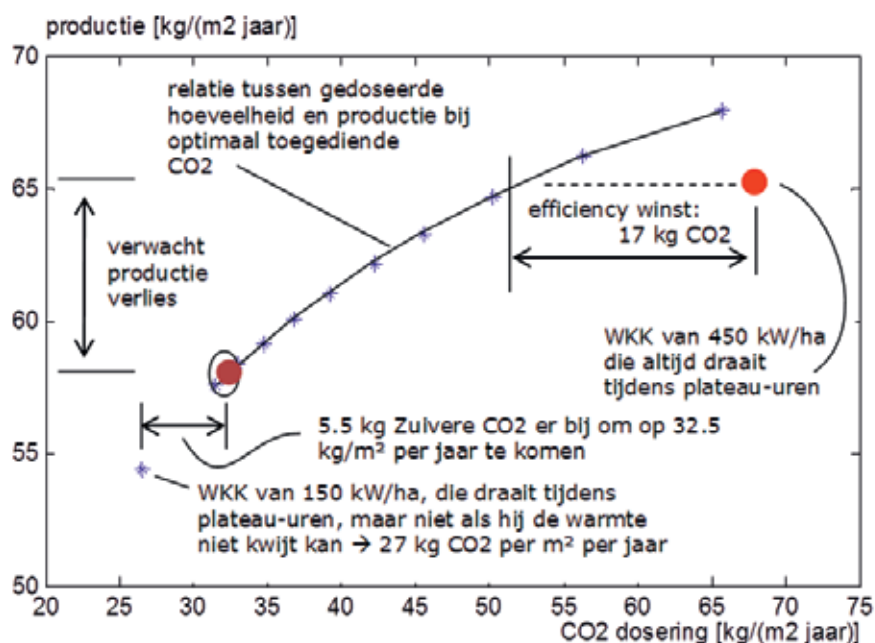
Boven genoemde redenen van vermindering van CO₂ beschikbaarheid en dosering zijn in 2010 besproken in een aantal, vanuit het project Samenwerken aan Vaardigheden georganiseerde, arena sessies over CO₂ en het nieuwe telen. Deze bijeenkomsten vonden in wisselende samenstelling plaats op 8 september, 22 september, 1 oktober en 29 oktober 2010, zowel telers, onderzoekers, toeleveranciers als beleidsmedewerkers van Productschap Tuinbouw en het ministerie van EL&I waren daarbij aanwezig. De analyse, dat de gedoseerde hoeveelheid CO₂ om genoemde redenen omlaag moet, werd onderschreven. Tijdens deze arena sessies zijn een aantal uitgangspunten geformuleerd om een vergelijkend onderzoek te doen. Er zijn twee situaties gedefinieerd.

Standaard situatie

Teelttechniek Het Nieuwe Telen (HNT) in combinatie met een grote WKK van 450 kWe/ha. Hierdoor is tijdens alle lichturen een hoeveelheid CO₂ beschikbaar van 220 kg/(ha.uur). De dosering is begrensd door deze maximale doseercapaciteit en door een maximum gehalte van 1200 ppm in de kaslucht. De CO₂ doseerstrategie wordt niet nader geoptimaliseerd. Alle CO₂ die niet voor dosering nodig is gaat via de schoorsteen naar de buitenlucht en wordt niet gerekend tot gedoseerde CO₂. Het warmte-overschot van de WKK blijft buiten beschouwing. Verwacht wordt dat totaal 67 kg/(m².jaar) aan CO₂ in de kas wordt gedoseerd en dat dit resulteert in een tomaten productie van 65 kg/(m².jaar).

Gelimiteerde CO₂ dosering

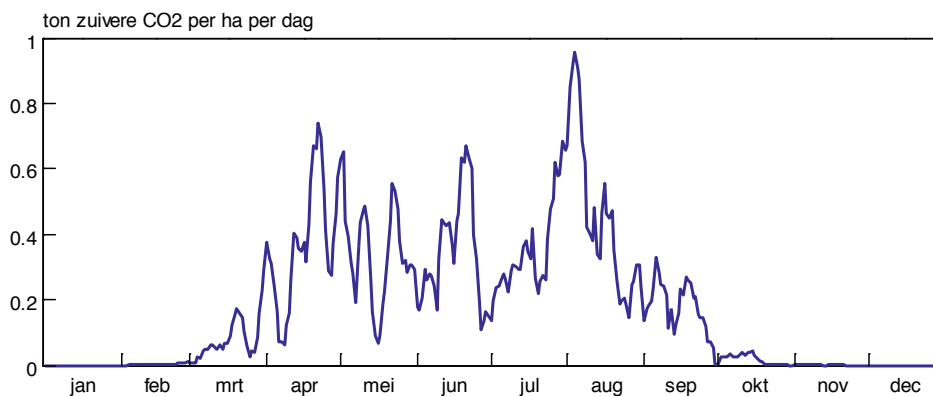
Teelttechniek HNT in combinatie met een kleine WKK van 150 kWe/ha die is afgestemd op een warmtevraag in de teelt in de zomer van 0.2 m³/(m².week) aardgas = 6.2 MJ/(m².week). De overige warmtevraag wordt ingevuld met een ketel. De WKK draait 12 uur per dag, zoveel mogelijk tijdens plateau-uren. Uit de WKK is 75 kg/(ha.uur) aan CO₂ beschikbaar voor dosering met een totaal van maximaal 0.6 kg/(m².week). Deze CO₂ dosering is de basis voorziening die mag worden gebruikt. Ook hier is de maximum CO₂ gehalte in de lucht van 1200 ppm. Alle rookgas CO₂ die niet voor dosering nodig is, dus als de kas boven de 1200 ppm zou komen, gaat via de schoorsteen naar de buitenlucht en wordt niet gerekend tot gedoseerde CO₂. Verwacht wordt dat vanuit de WKK 27 kg CO₂ per m² per jaar wordt gedoseerd. Het streven is om met 50% van de hoeveelheid van de standaard situatie te gaan werken. In de kasafdeling met gelimiteerde CO₂-dosering is de maximaal te doseren hoeveelheid CO₂ dan 32.5 kg. Op jaarbasis kan nog met 5.5 kg zuivere CO₂ worden aangevuld. De additionele doseercapaciteit is 100 kg/(ha.uur).



Figuur 1. Simulatieresultaten van gedoseerde hoeveelheid CO₂ en de daarmee te realiseren productie. Simulaties gedaan met en zonder CO₂ optimalisatie.

Op grond van simulatieresultaten – simulaties gedaan door Feije de Zwart - wordt verwacht dat de standaard situatie 65 kg/m² product weet te realiseren (rode punt in Figuur 1.) en dat de situatie met gelimiteerde CO₂ dosering dan op 58 kg/(m².jaar) uitkomt (bruine punt). De resultaten worden getoond in Figuur 1., die deels gemaakt is met behulp van de CO₂ optimalisatie routine van Swinkels en De Zwart (2002). Behalve het effect van additionele CO₂-dosering laat de figuur ook zien dat een productie van 65 kg per m² per jaar gerealiseerd zou kunnen worden met 52 kg CO₂ per m² per jaar in plaats van met de 67 kg die door de 450 kWe WKK wordt gegeven, als gebruik wordt gemaakt van de optimalisatie routine voor CO₂ dosering. De gemiddelde efficiency van de niet geoptimaliseerde CO₂ dosering uit de WKK is dus beduidend lager dan de efficiency die met goed regelbare zuivere CO₂ kan worden gerealiseerd.

Voor de gelimiteerde dosering is de 5.5 kg kg/(m².jaar) toegediend volgens de optimalisatie routine. Figuur 2. laat zien hoe de 5.5 kg zuivere CO₂ naar verwachting over het jaar verdeeld wordt. De grafiek laat een vrij vlak verloop zien over de periode van april t/m september. Het maximale CO₂ verbruik wordt in augustus verwacht en bedraagt dan bijna 1 ton per ha per dag.



Figuur 2. Verloop van de hoeveelheid aanvullende CO₂ die per dag gedoseerd mag worden om volgens een optimale toediening 5.5 kg/m².jaar extra te doseren.

Met het programma GreenScheduler schat GreenQ de productie bij een dosering van 220 kg/(ha.uur) op 65.7 kg/(m².jaar) en met 110 kg/(ha.uur) op 61.3 kg/(m².jaar). Een verschil van 4.4 kg/(m².jaar). Hierbij is geen optimalisatie van de CO₂ dosering meegenomen en is geen rekening gehouden met de hoeveelheid te doseren CO₂ alleen de doseercapaciteit is gehalveerd. Een verdere verlaging naar 75 kg/(ha.uur) is niet doorgerekend maar zal een verdere daling van de productie laten zien.

Op basis van deze simulaties zal het dus niet mogelijk zijn om bij grote verschillen in de hoeveelheid te doseren CO₂ een vergelijkbare productie te realiseren. Teeltspecialisten achten het echter wel mogelijk om ten opzichte van dosering van 67 kg/(m².jaar) met de helft van deze hoeveelheid een productie te bereiken die slechts 4 kg/m² ofwel 6% lager is. De inschatting van de specialisten is gebaseerd op jarenlange ervaring. Voor alle productie verwachtingen geldt dat de verschillen worden verwacht op basis van de CO₂ concentratie in de kas.

1.2 Achtergronden voor het onderzoek

Vanaf de jaren 80 van de vorige eeuw is uitgebreid onderzoek gedaan naar CO₂ effecten en optimale dosering van CO₂. Dit is onder andere samengevat in de brochure: **CO₂ in de Glastuinbouw** (Esmeijer, 1999).

De ontwikkelingen zijn doorgegaan en in de regeltechniek zijn nieuwe algoritmes ontwikkeld om de sturing van het kasklimaat optimaal te laten verlopen en de CO₂ dosering daarop af te stemmen. De kassen zijn dichter en hoger geworden. Vanuit het verklarende en fundamentele onderzoek zijn veel nieuwe inzichten gekomen die mogelijkheden bieden om de toepassing van CO₂ verder te optimaliseren.

De volgende publicaties beschrijven hiervan hoofdlijnen van resultaten.

Dieleman, J.A. en H.F. de Zwart, (2004).

Optimaal besturen van temperatuur en CO₂ op basis van fotosynthese en energie

Wageningen : Plant Research International, (Nota / Plant Research International 323) (PT 11291)

Dieleman, A., J. Zwinkels, A. de Gelder, I. Kuiper, F. de Zwart, C. van Dijk en T. Dueck, (2007).

CO₂ bij paprika: meerwaarde en beperkingen. Nota 494, Wageningen UR Glastuinbouw, 74 pp.

Snel, J.F.H en J.A. Dieleman, (2009).

Naar een verbetering van de CO₂ efficiëntie van glastuinbouwgewassen

Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, (Nota / Wageningen UR Glastuinbouw 646) (PT 12037)

Swinkels, G.L.A.M. en H.F. de Zwart, (2002).

Optimaal gebruik van CO₂ in de glasgroenteteelt, Wageningen, (IMAG Nota:P 2002-68) (PT 10930)

Zwart, H.F. de, (2004).

Praktijkmetingen aan optimalisatie van zuivere CO₂-doseringen Agrotechnology & Food Sciences Group, (Rapport 311) (PT 11460)

De hoofdlijn van deze rapporten is dat doseren van CO₂ tot een concentratie van 1000 ppm de productie zal doen toenemen, maar dat de stijging bij hogere concentraties geringer zal zijn. Door optimalisatie in de regeling is een productiestijging te realiseren. Als daarbij rekening wordt gehouden met de verwachte productopbrengst is een afweging tussen kosten en baten te maken.

Voor het verder verhogen van de productie zijn kansen bij:

- Optimale opname door de plant (luchtbeweging door het gewas, huidmondjes gedrag en grenslaag weerstand en mesofylweerstand)
- Optimale verwerking in de plant (fotosynthese processen, respiratie en distributie van assimilaten)
- De optimalisatie van de doseerstrategie, rekening houdend met de actuele lichtintensiteit, de actuele efficiëntie van de fotosynthese en het actuele ventilatieverlies.

1.3 Aanpak en rapportage

Om de effecten van gelimiteerd CO₂ in combinatie met het nieuwe telen te onderzoeken is een integrale aanpak nodig. Deze past binnen het kader van projecten waarin een bewijs van het principe (Proof of Principle) wordt geleverd. Omdat het in dit geval gaat om een duidelijke vergelijking van 2 methodes van CO₂ doseren en de daarbij horende teelt wordt voor dit onderzoek een proef opgezet met twee teeltafdelingen. In beide afdelingen worden de teeltbehandelingen zo uitgevoerd en het klimaat zodanig gestuurd dat dit naar het oordeel van de teeltspecialisten en telers optimaal is voor het gewas zoals dat in die kas aanwezig is. De aanpassingen in klimaatregeling en gewashandelingen zijn maatwerk per afdeling.

Door in de kassen een groot aantal waarnemingen te doen – zie hiervoor het hoofdstuk Werkwijze - kan worden geanalyseerd waarom in beide behandelingen de resultaten zijn behaald zoals ze uit dit onderzoek naar voren komen. Deze analyse is anders dan in een factorieel onderzoek waarbij een directe relatie tussen een factor en een resultaat wordt getoetst. Aan de hand van een hypothese over de logische samenhang tussen een factor en te meten grootte wordt dan getoetst of de hypothese juist is. Deze aanpak is niet geschikt voor dit project. In de analyse in dit rapport wordt getracht om de verschillen in groei en productie te verklaren op basis van een brede integrale kennis van gewasgroei en de processen daarin en dat te onderbouwen met gegevens uit de waarnemingen. Een deel van de resultaten zal passen bij bestaande logische verklaringen. Waar dit niet het geval is kunnen nieuwe hypothesen worden geformuleerd.

Dit rapport beschrijft achtereenvolgens de doelstellingen van het onderzoek, de opzet van de kasproef en de waarnemingen daarin, de behaalde productie en een beschrijving van de resultaten en analyse daarvan om een verklaring te geven voor de behaalde productie.

2 Doelstelling

De doelstelling is om te onderzoeken of met een 50% reductie van de CO₂ input: van 65 kg/(m².jaar) naar 32.5 kg/(m².jaar) een praktijkconforme productie van tomaat van het grove trosras Komeett kan worden behaald (65 kg/(m².jaar)). Het klimaat wordt daarbij geregeld volgens de inzichten van Het Nieuwe Telen - dus geen standaard minimumbuis, het accepteren van hoge luchtvochtigheid, een kas met een drievoudig scherm en buitenluchtaanzuiging. De warmtevraag gerelateerde input van aardgas zal in een normaal jaar 750 MJ/m² (24 m³/m²) zijn.

De technische doelstellingen die daarbij horen zijn:

- Monitoring van processen in de plant die door een andere CO₂ doseerstrategie kunnen worden beïnvloed.
- Analyse van deze gegevens om de effecten voor groei en ontwikkeling te beoordelen.
- Vertaling van deze gegevens via rekenregels naar een doseerstrategie in afhankelijkheid van licht en temperatuur om gewasfotosynthese te maximaliseren

Op basis resultaten van de onderzoeken naar HNT in 2009 en 2010 is de doelstelling

- Kennis ontwikkeling om de vruchttuitgroei bij HNT in de eerste fase van de teelt niet te laten vertragen.

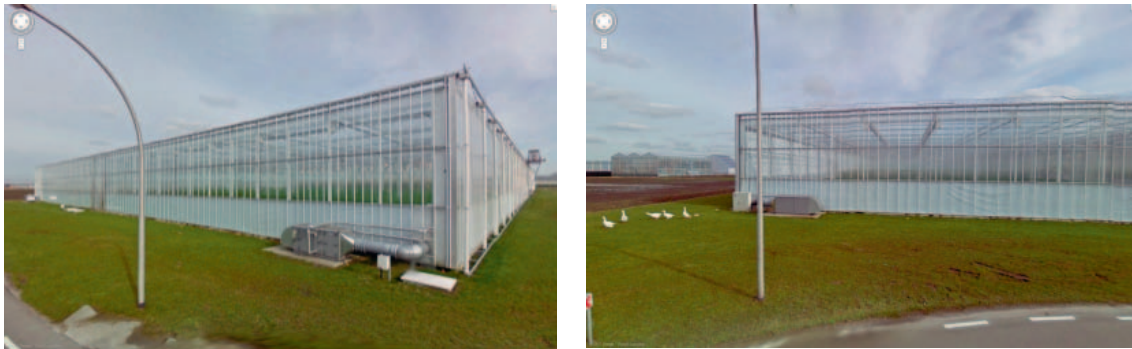
De kennisoverdracht naar de praktijk wordt gemaximaliseerd middels een begeleidende leergroep en intensieve informatieoverdracht via Energiek2020.nu.

Om de kennisoverdracht component van het project te ondersteunen worden naast de klimaat- en energiemonitoring ook aspecten rond de CO₂ dosering en opname in beeld gebracht.

3 Werkwijze

3.1 Kas en de uitrusting daarin

Voor het project wordt gebruik gemaakt van de kasfaciliteiten van GreenQ-Improvement Centre (IC). Het betreft de afdelingen 6 en 7 die in eerdere jaren zijn gebruikt voor de projecten Het Nieuwe Telen Tomaat en Het Nieuwe Telen Paprika. Hierdoor is de basis uitrusting aanwezig om Het Nieuwe Telen te kunnen toepassen.



Figuur 3. De buitenkant van beide afdelingen waarin het experiment is uitgevoerd.

De afdelingen 6 en 7 liggen aan de westkant van het complex van het IC. Afdeling 6 aan de zuid-west zijde en afdeling 7 aan de noord-west zijde. Hierdoor zijn de afdelingen in ligging ten opzichte van een laagstaande zon in de winter en de herfst en voor invloed van de windrichting niet gelijk. Afdeling 7 heeft bijvoorbeeld een koude noordgevel en afdeling 6 een zuidgevel die gemakkelijk door de zon wordt opgewarmd. Bij laag staande zon kan afdeling 6 door de zuidgevel extra licht ontvangen, terwijl afdeling 7 minder licht ontvangt omdat bij de gevel het licht door dek en tussen gevels wordt verminderd. Dit verschil kwam bij de start van het experiment duidelijk naar voren. In de bespreking van resultaten zal op het effect worden terug gekomen.

Er is voor gekozen om de behandeling met gelimiteerde dosering van CO₂ uit te voeren in afdeling 6 en die met een normale CO₂ dosering in afdeling 7. In dit verslag worden de behandeling aangeduid met gelimiteerd CO₂ en normaal CO₂.

3.1.1 Basis kasuitrusting

De basis kasuitrusting is

Kasdek type	: Venlo dek - Tralie ligger met 2 kappen per tralie.
Glastype en dakhelling	: 91% lichtdoorlaat en 22% helling.
Traliebreedte	: 9.60 meter.
Poothoogte	: 6.68 meter.
Luchting	: 2 Halve ramen per 5 meter aan weerszijden.
Verwarming	: Buisrail - per tralie 6 * 2 buizen 51 mm ø naast elkaar. : Groeibuis - per tralie 6 * 2 buizen 35 mm ø boven elkaar : Afstand groeibuizen tot de substraatmat 30 en 70 cm. : Gevelverwarming bestaat uit twee delen die gekoppeld zijn aan buisrail en groeibuis.
Klimaatcomputer	: Priva Integro.

Ten opzichte van eerdere jaren is de positie van de groeibuizen gewijzigd. De beide buizen zijn lager tussen het gewas gehangen zodat ze meer bij de rijpende vruchten gebruikt kunnen worden. Hierdoor kunnen de groeibuizen eerder en langer als primair verwarmingsnet dienen.

Om maximale isolatie te bereiken is de scherminstallatie uitgerust met twee schermen, die een tegengestelde looprichting hebben. Als kieren in het scherm worden getrokken zitten deze ten opzichte van elkaar versprongen.

Bovenste scherm : XLS 18 Firebreak.

Onderste scherm : XLS 10 Ultra Revolux.

Vanaf moment van planten tot 24 februari is gebruik gemaakt van een vast AC-folie.

In de gevel zitten standaard rolschermen die afzonderlijk stuurbaar zijn.

Teeltsysteem : V-systeem, hangende goot, 50 cm vanaf de grond.

Gootafstand : 1.60 meter

Gewasdraad : 4.5 meter boven de grond in afdeling 6
5 meter boven de grond in afdeling 7.

Matttype : Cultilene

Watergift : 1 Druppelaar per plant, afgifte capaciteit 2 liter/uur.

Voor de beheersing van luchtvochtigheid is een systeem voor gecontroleerde ventilatie aanwezig. Dit systeem bestaat uit een luchtbehandelingkast (LBK) die buiten de kas is geplaatst. In deze LBK bevinden zich de ventilator, om lucht aan te zuigen en de kas in te blazen, en een warmtewisselaar om de lucht op te warmen tot gewenste kasluchttemperatuur. De lucht gaat via een hoofdverdeeliding de kas in en wordt middels slurven onder elke goot in de kas verdeeld. De slangen zijn 30 m lang en bevatten 8 gaatjes/m ter grootte van 0,78 cm²/gat. Bij een uitblaassnelheid van 4.0 m/s wordt per uur per m² kas 4.8 m³ lucht toegevoerd.

Er is voor gekozen om in deze teelt geen gebruik te maken van luchtbevochtiging. Dit was in de arena sessies wel als optie genoemd. De praktijk is dat luchtbevochtiging in de tomatenteelt door slechts een beperkt aantal telers wordt toegepast en dan vooral in het oosten van het land. Verschil in toepassing van luchtbevochtiging tussen de beide behandelingen zou een extra complicerende factor zijn bij de analyse van de resultaten.

Nivolatoren zijn eveneens niet toegepast, omdat dit geen praktijk is. Daarbij zou de extra luchtbeweging eveneens een complicerende factor zijn bij de analyse van de resultaten.

3.2 Teelt

Voorafgaand aan het experiment is een teeltstrategie voor de behandeling met gelimiteerd CO₂ geschreven (Bijlage I). Door vooraf een teeltstrategie te beschrijven worden begeleiders, proefuitvoerders en onderzoekers gedwongen om over de verschillende mogelijke keuzes, die zich tijdens de teelt kunnen voordoen na te denken. Dit betekent echter niet dat deze teeltstrategie zonder aanpassingen gevolgd moet worden.

Er is gekozen voor het ras Komeett, één op één geënt op de onderstam Maxifort. De plantdatum is 17 december 2010. De plantdichtheid is 1,9 planten per m². Op elke plant is in week 6- 10 februari- een extra stengel aangehouden zodat de stengeldichtheid op 3.8 stengels per m² kwam.

3.2.1 Stengeldichtheid en Snoeibeleid

Een belangrijke keuze bij de start van het experiment is dat voor beide afdelingen van dezelfde plantdichtheid en stengeldichtheid wordt uitgegaan. Overwogen is om gelet op de mogelijke verschillen in groei de plantdichtheid te laten verschillen, maar het mogelijke voordeel hiervan is te klein, terwijl het nadeel is dat mogelijke verschillen in resultaat dan beïnvloed zijn door de plantdichtheid.

De keuze voor een hoge stengel dichtheid- 3.8 stengels per m^2 - betekent dat gekozen wordt voor een snoeibeleid waarbij de trossen op 4 vruchten worden gesnoeid. Voordeel van 4 vruchten per tros zou moeten zijn dat dan minder groene punten aan de trossen ontstaan. Door verschil in moment van zetting binnen een tros en door verschillen in afrijping tussen vruchten is Komeett gevoelig voor dit verschijnsel, waardoor meer afval geknipt wordt.

Vanuit de begeleidende telers groep is er sterk op aan gedrongen om zo lang mogelijk de trossen toch op 5 vruchten te snoeien, omdat een tros met 5 vruchten beter zou passen bij de markt. Snoeien op 5 vruchten is gedaan tot begin mei 2011. Toen is op basis van de gewas en trosontwikkeling besloten op 4 vruchten per tros te gaan snoeien.

3.2.2 Registratie

De normale gewasregistraties worden uitgevoerd door het IC. De productie van de tomaten in kg is geregistreerd per pad. Voor de vergelijking tussen de afdelingen worden de 6 middelste paden in de afdelingen gebruikt. In twee meetvelden per afdeling die links en rechts van een pad liggen werden stengeldikte van de kop, plantlengte, bladlengte, zetting en nummer van de bloeiende tros gemeten.

De gewasbescherming is vastgelegd in een logboek. Het gerealiseerde klimaat is geregistreerd via de Integro. Gegevens zijn opgeslagen per 5 minuten.

Het gerealiseerde klimaat en de productie zijn vastgelegd in wekrapporten, die aan de begeleidingscommissie per mail werden toegezonden.

3.3 Energie prognose

De energie input is voor beide afdelingen $24 m^3/m^2$.jaar op basis van warmtevraag (Figuur 4).

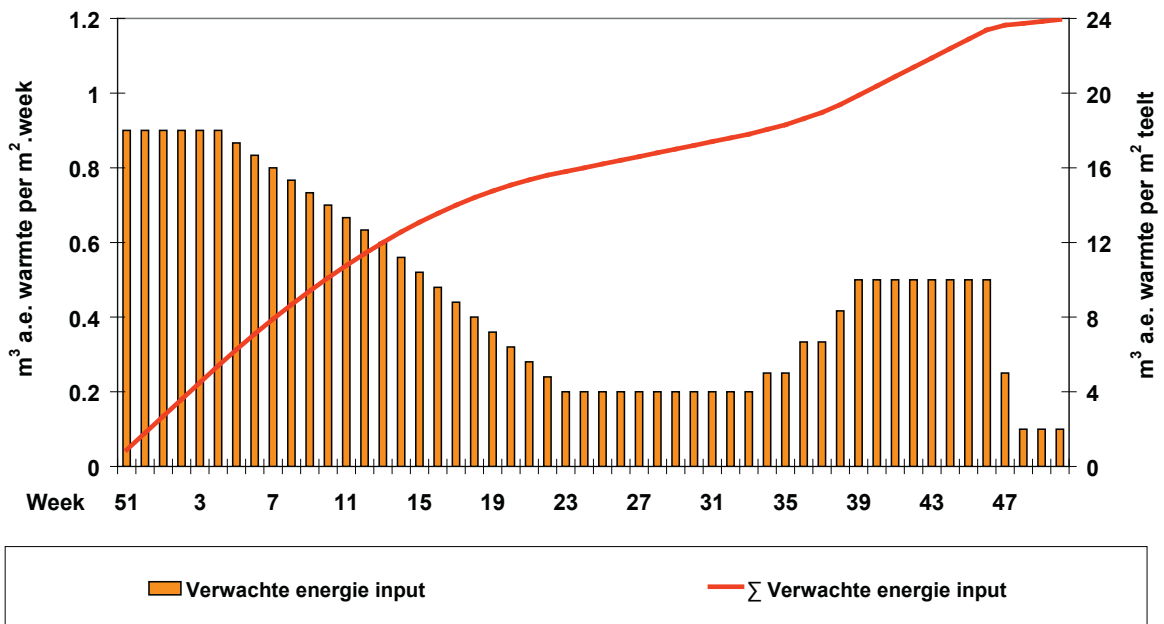
Het energiegebruik voor de warmtevraag van de afdeling is gemeten met behulp van een energiemeter op de aanvoer en retour van de verwarmingsleiding naar de afdeling. Alle verwarmingsnetten – buisrail, groeibuis, gevelverwarming en de warmte wisselaar in de luchtbehandelingkast - werden hiermee van warmte voorzien.

De warmte opgenomen door de luchtbehandelingkast werd in de INTEGRO berekend op basis van aanvoer en retourtemperatuur van deze unit. Het elektriciteitsgebruik van de ventilator is berekend aan de hand van het aantal draaiuren en de stand van de ventilatorcapaciteit.

De afdelingen van het Improvement Centre hebben, in vergelijking tot een normaal productiebedrijf, relatief veel buitengevel in verhouding tot het kasoppervlak. Daardoor is de warmtevraag per m^2 kas in de winter groter dan een normaal bedrijf. Het geregistreerde energiegebruik is daarom omgerekend naar een warmtevraag van een normaal bedrijf met een factor die per maand is berekend. Daarbij is rekening gehouden met het gegeven dat een deel van het energiegebruik niet direct met warmtevraag heeft te maken, maar met de ontvochtiging. In de situaties dat het energiegebruik niet direct met warmtevraag te maken heeft, is het energiegebruik per m^2 niet afhankelijk van de verhouding geveloppervlak ten opzichte van kasoppervlak. Deze gekozen correctie is een algemene benadering. Die in eerdere projecten voor het nieuwe telen in deze afdelingen met model berekeningen is geverifieerd. De modelberekeningen zijn gedaan zowel door Wageningen UR als door Plant Dynamics/EcoCurves en bevestigen dat de gekozen correctie mag worden toegepast.



Gelimiteerde CO₂ bij Het Nieuwe Telen Tomaat 2011: Energie gebruik



Figuur 4. De prognose voor het energiegebruik zoals vooraf gemaakt, gebaseerd op de ervaring van de twee voorgaande jaren van Het Nieuwe Telen tomaat.

3.4 CO₂ dosering en registratie



Figuur 5. Een meetkoffer met daarin de LICOR 840-A en de laptop voor dataregistratie.

Bij het IC is voor de CO₂ dosering zuivere CO₂ afkomstig van OCAP beschikbaar. Deze wordt via een centrale leiding naar alle afdelingen gevoerd en per afdeling is een regelgroep die een klep opent en ervoor zorgt dat de CO₂ via slangen in de kas wordt verdeeld. De beperking van deze installatie is dat de CO₂ dosering per afdeling afhankelijk is van de druk op de leiding en deze is afhankelijk van het aantal afdelingen waarvoor de CO₂ dosering openstaat. Verder heeft dit systeem geen goede registratie van de hoeveelheid gedoseerde CO₂.

Om de CO₂ dosering goed te kunnen sturen en te meten is in beide afdelingen een zogenoemde Mass Flow Controller (MFC F-203AI - Bronkhorst) geïnstalleerd. Deze kunnen zeer nauwkeurig de CO₂ doseren en de gedoseerde hoeveelheid terugmelden aan de Integro. Er is voor gewaakt dat de druk op de leiding voldoende was om deze instrumenten optimaal te laten functioneren. Het bleek daarbij nodig om de CO₂ dosering in andere afdelingen te verminderen.

Om de CO₂ verdeling in de gelimiteerde afdeling daarbij zo optimaal mogelijk te maken is een extra ventilator geïnstalleerd om lucht via de normale CO₂ darmen in de kas te kunnen verdelen. Uit de CO₂ darmen komt lucht verrijkt met CO₂. Daarbij zitten de gaatjes om de 35 cm. Hierdoor komen geen plaatstelijke hoge CO₂ concentraties voor. In de normale afdeling is de CO₂ gedoseerd via het normale systeem voor zuivere CO₂ zoals aanwezig bij het IC. Hierbij komt de zuivere CO₂ via gaatjes om de 2 meter in de kas en kan lokaal een hoge CO₂ concentratie ontstaan. In de praktijk komt het meeste het systeem van luchtondersteunende CO₂ dosering voor, zeker bij dosering van rookgas CO₂. In de praktijk komen daarbij wel tijdelijk hoge concentraties voor omdat de rookgassen veel CO₂ bevatten.

Omdat CO₂ in dit onderzoek een cruciale factor is zijn de normale meetboxen voor CO₂ dosering vooraf geijkt.

Er is een extra meetinstallatie met 2 CO₂ analysers (LICOR 840 A) met acht aanzuigpunten per afdeling geïnstalleerd om de verdeling van de CO₂ in de afdelingen te volgen (Figuur 5). Hierbij is gebruik gemaakt van een multiplexer-techniek om met één goede sensor de CO₂ concentratie op meerdere plaatsen te kunnen meten, zowel onderin het gewas als midden in het gewas en bij de kop van het gewas. De gegevens van deze sensoren werden geregistreerd op 2 aparte laptops. De gegevens werden per 2 uur via internet doorgezonden aan een centrale opslag zodat ze op afstand waren te bekijken en te verwerken.

De gehanteerde doseerstrategie per behandeling wordt beschreven bij de resultaten. Het basisuitgangspunt is geweest een dosering van maximaal 75 kg/(ha.uur) met mogelijke aanvulling met 100 kg/(ha.uur) in lichtrijke perioden in de gelimiteerde afdeling en 200 kg/(ha.uur) in de normale afdeling. De uiteindelijke toepassing is tijdens de teelt bepaald. De totale hoeveelheid mocht niet meer zijn dan 32.5 kg/(m².jaar) respectievelijk 65 kg/(m².jaar).

3.5 Fotosynthese metingen

Op 8 dagen – 10 februari, 16 maart, 14 april, 12 mei, 14 juni, 21 juli, 1 september en 29 september -, zijn voor de bepaling van de kenmerken van de fotosynthese met een LICOR 6400 de lichtresponse bij 900 ppm CO₂ in de bladkamer en de CO₂ response bij een lichtintensiteit van 1200 μmol.m⁻².s⁻¹ PAR gemeten. Per meetdag en per behandeling zijn aan 3 net volgroeide bladeren (5^e blad onder de kop) en aan 3 oudere bladeren (5^e blad boven de onderste tros) deze metingen gedaan. Deze metingen geven informatie over de kenmerken van de bladfotosynthese. Bij de metingen, die verdeeld over de dag worden uitgevoerd, is ervoor gezorgd dat deze zo zijn uitgevoerd dat er geen effect van het moment op de dag dat de metingen zijn gedaan in de resultaten doorwerkt.

3.6 Overige

3.6.1 Uitgroeiduur

In het Nieuwe Telen is de periode tussen zetting en oogst in de eerste twee teelten een punt van zorg geweest. Er was sprake van een ongewenste traagheid. Om beter de ontwikkeling van de vruchten te volgen is wekelijks op maandag per afdeling van een aantal planten de bloeiende tros gelabeld met datum en trosnummer en nummer bloeiende bloem. Dit is gedaan voor zowel trossen aan de hoofdstengel als trossen aan de extra stengel. Bij de oogst van deze trossen is het label apart gehouden zodat zowel datum van labelen, trosnummer aan de stengel, als datum van oogst bekend zijn. Hiermee is informatie verzameld over de uitgroeiduur van de trossen.

3.6.2 Gewasgroei en droge stof productie

Om de totale productie van droge stof te volgen zijn per afdeling op 24 februari, 24 mei, 2 september en 3 november 6 planten uit het gewas gehaald en is het vers- en drooggewicht van blad, steel en vruchten gemeten. Om de totale biomassa te kunnen berekenen is van één pad alle afgesneden blad gewogen. Omdat uit de destructieve waarnemingen het drogestof gehalte van vruchten en blad bekend is kan uit de gemeten hoeveelheid blad en vruchten per m² de hoeveelheid geproduceerde drogestof worden berekend. De informatie over drogestof productie kan gebruikt worden om de uitkomsten van modelberekeningen te calibreren.

3.6.3 Huidmondjes en bladstructuur

Op 4 dagen – 2 maart, 17 juni, 11 augustus en 3 oktober, zijn van bladeren uit beide behandelingen de dichtheid van het aantal huidmondjes gemeten volgens de procedure die beschreven is door Van Telgen *et al.* (2009).

Hierbij wordt van 5 bladeren per behandeling en van 10 samples per blad het aantal huidmondjes geteld. Op 26 augustus zijn in beide behandelingen van bladeren boven bij de kop en onderin bij de vruchten monsters genomen om daarvan onder een microscoop de structuur te bekijken en de dikte van palissade en sponsparenchym te bepalen.

3.6.4 Houdbaarheid

Op 7 dagen – 7 april, 9 mei, 23 juni, 20 juli, 10 augustus, 20 september en 18 oktober - zijn trossen weggezet in een klimaatcel bij 20 °C en 80% relatieve luchtvochtigheid bij Wageningen UR om de houdbaarheid te meten. Deze metingen, waarbij dagelijks de stevigheid en visuele kwaliteit wordt beoordeeld, werden bij Wageningen UR gelijktijdig gedaan voor vruchten uit het project met diffuusglas en het project Venlow-Energy.

3.6.5 Temperatuurverdeling

Voor de klimaat registratie wordt de temperatuur geregistreerd op de centrale meetbox. Om een beeld te krijgen van de temperatuur verdeling in de kas zijn met Wysensis sensoren die vlak boven de teeltmatten hingen op 9 plaatsen per afdeling de temperatuur en luchtvochtigheid geregistreerd. De sensoren hingen in de 2^e rij vanaf de gevel en in de middenrij en voor, midden en achter in de afdeling.

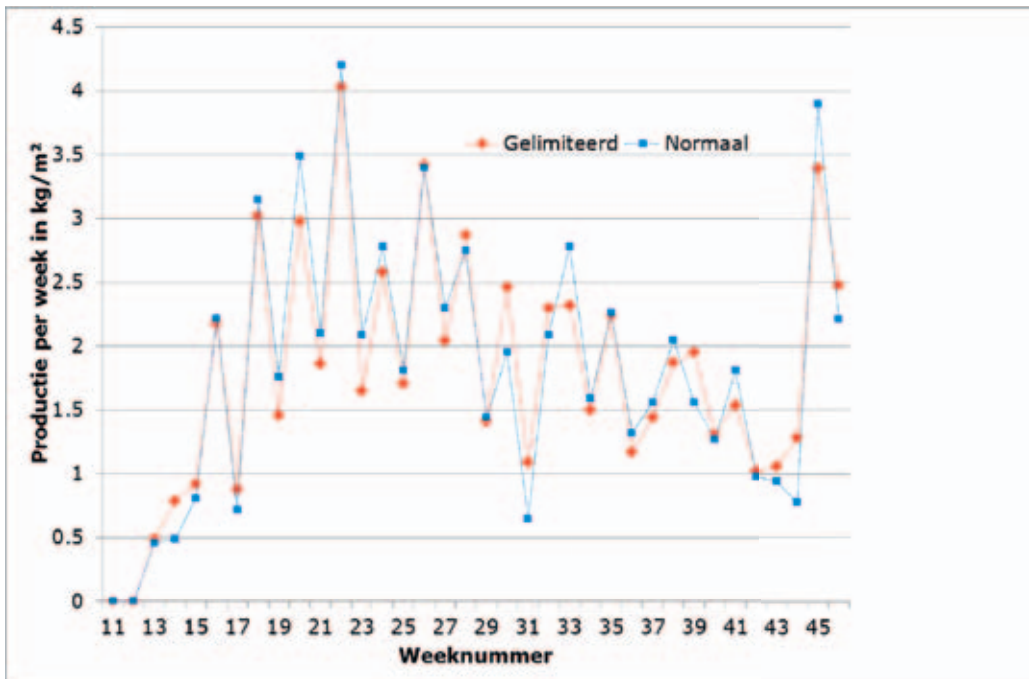
3.6.6 Gewasweging

In beide behandelingen is het onderdeel gewasweging van de Prodrain van Hortimax geïnstalleerd. Hiermee is de de gewichtontwikkeling van het gewas gevolgd.

4 Productie en gewasontwikkeling

Centraal in dit project staat de productie in beide afdelingen. In de normale afdeling is totaal 65,7 kg/m² verkoopbaar product geoogst en in de gelimiteerde afdeling 64,7 kg/m². Dit is een klein verschil waarbij de gelimiteerde afdeling duidelijk beter uitkomt dan de verwachting waarvan in de arenasessie werd gesproken en ook beter dan de uitkomst verwacht door de teeltspecialisten.

De productie loopt in beide afdelingen redelijk gelijk (Figuur 7.) en ook in de week producties is geen groot verschil te zien (Figuur 6.). Duidelijk is dat de ene week één keer is geoogst en de andere week twee keer.



Figuur 6. Productie verloop per week.

Bij de productie totalen horen wel enkele kanttekeningen, want in de afdeling met normale CO₂ dosering is aan het eind van de teelt duidelijk meer uitval door Botrytis op de stengels waargenomen. Dit heeft de productie aan het eind van de teelt lager doen uitkomen dan bij een gezond gewas mogelijk zou zijn geweest.

Tijdens de bezoeken van de begeleidende telers is geconstateerd dat in de normale afdeling eind juli in de kas teveel Macrolophus aanwezig was. Als teveel Macrolophus aanwezig is gaan deze insecten de bloemsteeltjes aanpakken. Gevolg is dat de bloem aborteert en de zetting onregelmatig is. De reden voor de hoeveelheid Macrolophus is niet bekend.

Ondanks deze kanttekeningen is de constatering dat het verschil in gemeten productie tussen de beide afdelingen zeer gering is. De vraag is dan natuurlijk wel of dit uit de overige waarnemingen van kasklimaat en plantmetingen is te verklaren.

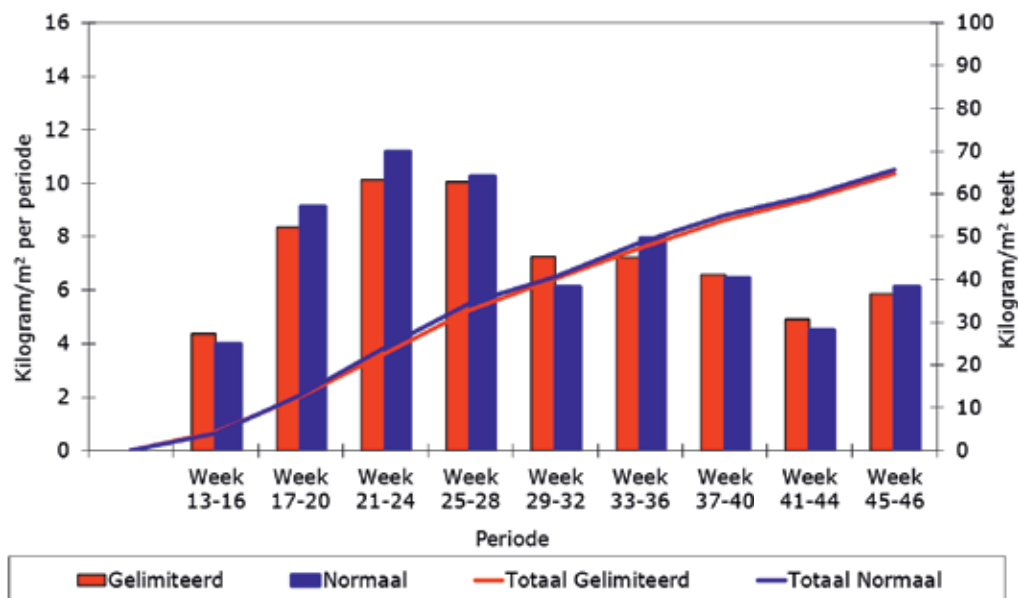
In de verdere resultaten en analyse gaat het daarom om de vergelijkbaarheid van de kassen, de plantfysiologische verklaringen en heroverweging van de uitgangspunten die gehanteerd zijn voor de informatie die gebruikt is bij de arena sessies. De volgende paragrafen zijn tegen de achtergrond van deze vraag en met het oog op de beantwoording van de doelstellingen van het project geschreven.

Tijdens de wekelijkse bezoeken is steeds een beoordeling gegeven van de stand van het gewas en de sterkte van de kop. Kort samengevat is de stand van het gewas als volgt te beschrijven.

De normale afdeling: Door het jaar heen stond hier meestal een iets zwaarder belaste plant, met daardoor vaker een bladrandje, en gemiddeld een wat schrale gewasopbouw in de kop.

De gelimiteerde afdeling; Hier stond bijna het hele jaar een plant die in balans stond. De verhouding vrucht en plant was hier meer in evenwicht.

Daarnaast zijn de te nemen teeltmaatregelen en klimaat aanpassingen besproken of is gediscussieerd over de tussentijdse resultaten. Een selectie van alle besproken zaken is chronologisch opgenomen in Bijlage II.



Figuur 7. Productie per periode en totaal voor gelimiteerd CO₂ en normaal CO₂ doseren.

In de gelimiteerd afdeling stond bijna het hele jaar een plant die in balans stond. De verhouding vrucht en plant was hier meer in evenwicht. In de gelimiteerde afdeling gaf het gewas regelmatig een wat minder sterke indruk, maar werd in de weken daarna dan weer als positief ontwikkeld beoordeeld. De verwachting was steeds dat het gewas minder goed zou gaan presteren, maar in de werkelijkheid viel dit iedere keer weer mee.

Bij de normale CO₂ dosering werd in april al botrytis gesignaleerd op de draaiplanten achterin de kas. Botrytis is in die behandeling steeds een aandachtspunt gebleven. Aan het eind van de teelt werd geconstateerd dat op stengels die in de gewasbeugel lagen makkelijk botrytis ontstond. Dit zijn plekken waar veel stengels dicht opéén liggen, zodat er weinig luchtbeweging rond de stengel is. Als daarbij nog condensatie optreedt op de koele metalen beugel is de kans op aantasting door botrytis heel hoog. Begin mei werden in de normale behandeling bladrandjes geconstateerd. Deze afdeling was toen zwaar belast en in de periode daaraan voorafgaand rond 23 april ook droger geweest dan de gelimiteerde afdeling. Een te hoge plantbelasting kan via een tekort aan assimilaten de weerstand van de plant tegen botrytis verlagen en daardoor leiden tot schade later in de teelt.

Hoewel gestreefd is naar onafhankelijk van elkaar sturen van beide behandelingen blijkt dat als in de ene behandeling een instelling goed uitwerkt dit in de andere behandeling toch snel wordt overgenomen. De verschillen in klimaat instellingen waren daardoor minimaal. In het begin zijn opmerkingen gemaakt over het achterblijven van de normale afdeling in ontwikkeling, omdat deze afdeling in de noordwest hoek van het IC ligt en de gelimiteerde afdeling in de zuidwest hoek. Later zijn daar geen opmerkingen meer overgemaakt.

De gewas verzorging bij het IC werd algemeen goed genoemd, al waren er vaak wel kleine details waar extra aandacht voor werd gevraagd, zoals het goed verdelen van de koppen, het zorgen voor gladde snijvlakken van blad en tros, het op juiste hoogte laten zakken. Dit laatste was vooral een aandachtspunt bij de normale CO₂ dosering omdat daar de gewasdraad iets hoger hing. Discussiepunten in de wekelijkse begeleidings groep waren verder het snoeibeleid, clippen van de stengel – niet gedaan- en het beëindigen van de teelt met of zonder ethrel – gekozen is voor de standaard werkwijze met ethrel in beide afdelingen.

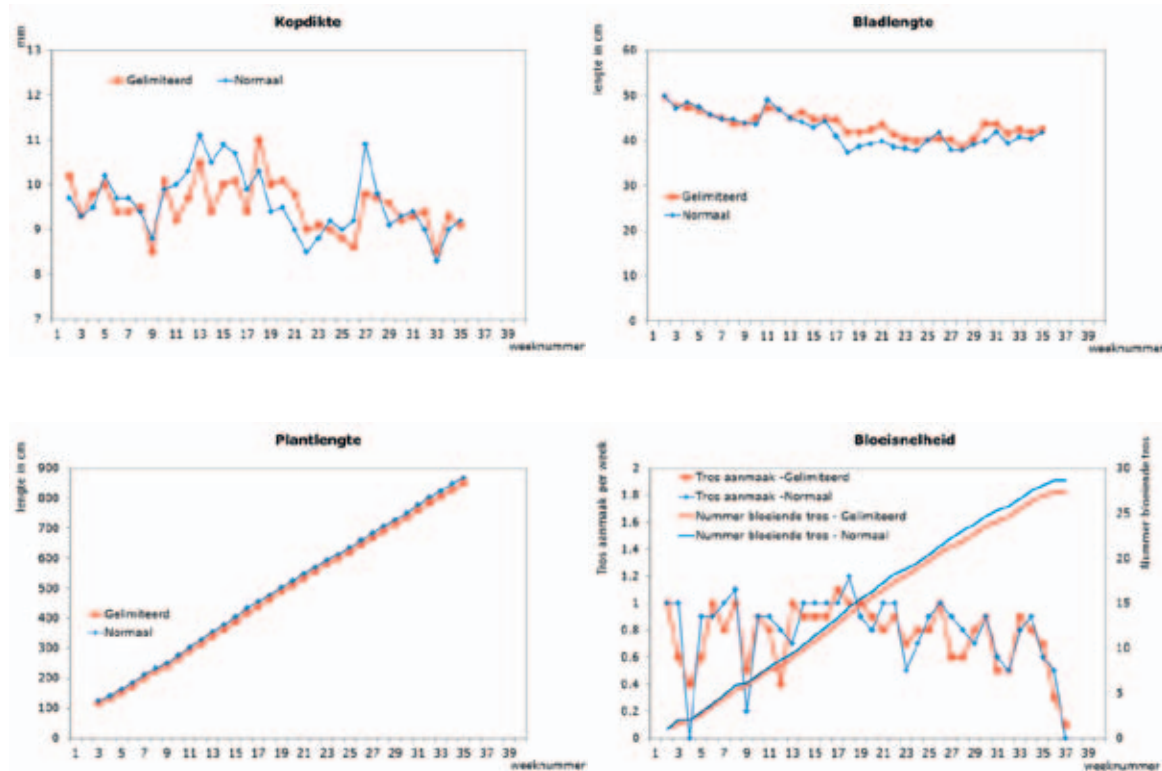
5 Resultaten en Analyse

5.1 Gewasparameters

Om de gewasgroei te beschrijven zijn wekelijks een aantal kenmerken van planten in 2 meetvelden vastgelegd. De dikte van de kop, dat is de dikte van de stengel ter hoogte van de lengte van de plant bij de vorige meting, dus ongeveer 25 cm onder de top is gemeten. De bladlengte is gemeten aan het blad onder de bovenste bloeiende tros.

De kopdikte in de normale afdeling is rond week 11 tot 17, dat is in de periode maart- april, gemiddeld iets hoger dan in de voor CO₂ gelimiteerde afdeling. Dit wijst erop dat in die periode de plant meer assimilaten maakte en daardoor de stengeldikte hoger was. In de periode daarna is het juist andersom. De verschillen in kopdikte tussen de behandelingen zijn gemiddeld klein. De meting in week 27 bij normaal CO₂ lijkt een afwijkende waarneming. Dit kan veroorzaakt zijn door het meten onder de bovenste bloeiende tros, die op dat moment mogelijk vrij laag op de stengel zat.

Voor de bladlengte is vrijwel geen verschil gevonden tussen de afdelingen. Rond week 21 is het blad in de normale afdeling wel iets korter, maar een verschil van enkele centimeters is in het gewas niet te zien. Deze kenmerken laten zien dat de gewasontwikkeling vrij stabiel is verlopen en dat aanpassingen in het klimaat, die zijn gedaan om met name de kopdikte te sturen op rond de 9-10 mm goed zijn uitgevoerd en niet tot grote verstoring van de plantbalans hebben geleid. De plantlengte aan het eind van de teelt was voor beide afdelingen ook vergelijkbaar met 8.5 meter bij gelimiteerd en 8.7 meter bij normaal CO₂.



Figuur 8. Kopdikte, Blad- en plantlengte en bloeijsnelheid voor de behandelingen gelimiteerd en normaal.

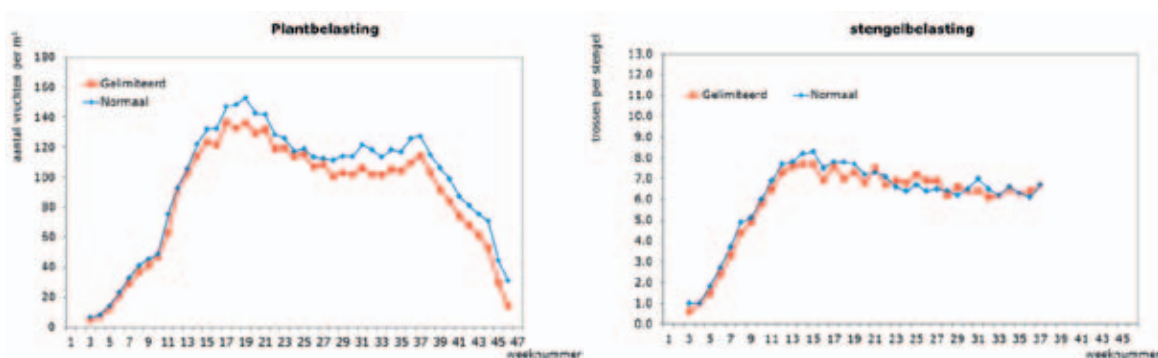
De aanmaak van trossen per week is goed vergelijkbaar als gekeken wordt naar de waarnemingen per week. Als het totaal aantal aangelegde trossen over de hele teelt periode wordt bekeken is de aanmaak bij normaal CO₂ 28 trossen en bij gelimiteerd CO₂ 27 trossen geweest. Een verschil van 1 tros. Het is niet duidelijk aan te wijzen wanneer dit verschil is ontstaan. Vanaf het begin, maar zeker vanaf week 13 is het aantal aangelegde en dus bloeiende trossen bij de normale CO₂ dosering iets hoger. Algemeen wordt aangenomen dat de belangrijkste reden voor verschil in aanleg van nieuwe trossen verschil in temperatuur is. Volgens de metingen van de temperatuur is daar geen reden voor (zie 5.3).

Een andere reden zou kunnen zijn dat in de periode rond week 13 een overschot aan assimilaten is geweest dat zowel de kopdikte verhoogde als de ontwikkelingssnelheid van de kop positief beïnvloedde. Het zelfde zou dan de reden moeten zijn waarom in week 27, 28 de afsplitsingssnelheid net iets hoger is in de normale behandeling dan in de gelimiteerde, maar heel sterk is het verband niet.

De verschillen zijn zo klein dat op basis van dit experiment geen bewijs geleverd kan worden voor invloed van assimilaten beschikbaarheid op afsplitsingssnelheid. Het is alleen een aanwijzing die in systematisch onderzoek verder uitgewerkt zou kunnen worden. Uit eerdere onderzoeken is wel bekend dat het temperatuur effect op de aanleg van nieuwe bladeren en bloemen groot is (De Koning, 1994).

5.1.1 Plantbelasting

De berekende plantbelasting (Figuur 9.)- berekend uit registratie van bloeiende trossen en geoogste trossen - is in de afdeling met normale dosering vanaf begin april hoger dan in de gelimiteerde afdeling en dit verschil is in de teelt blijven bestaan. Opvallend is dat aan het eind van de teelt blijkt dat een aantal geregisteerde vruchten bij de bloei aan het eind van de teelt niet geoogst blijken te zijn, want er is een resterende plantbelasting, terwijl de plant is leeg geoogst. Behalve oogst en zetting is ook geregistreerd hoe de belasting per stengel is met aantal trossen. Daarin is te zien dat de belasting met trossen in april in de normale afdeling hoger is dan in de gelimiteerde behandeling. In juli is dit omgekeerd en naar het eind van de teelt gelijk. De berekende plantbelasting in vruchten per m² en de geregistreerd belasting in trossen per stengel geven niet gelijke informatie. De oorzaak hiervan is niet met zekerheid te achterhalen. Een mogelijk reden is dat vruchten verloren gaan die wel als gezet zijn geregistreerd, maar niet zijn geoogst. Een oorzaak zou kunnen zijn dat vruchten die bij de oogst als afval worden weggeknipt, omdat ze te groen zijn door late zetting en uitgroei, niet zijn meegeteld bij de oogst. Bij de tros registratie speelt dit effect niet. Als wordt aangenomen dat dit in beide afdelingen de oorzaak is van het resterende deel plantbelasting en als wordt aangenomen dat dit over de gehele teeltperiode regelmatig verdeeld is geweest, dan zijn de plantbelastingen in de afdelingen goed vergelijkbaar met het patroon bij de stengelbelasting (gegevens niet getoond). Dit zou wel betekenen dat bij de normale CO₂ dosering meer afval is weggegooid dan bij de gelimiteerde afdeling. Uit de geregistreerde gegevens blijkt dat bij gelimiteerd er 4.5% als afval is genoteerd en bij de normaal 6.6% als afval. Bij normaal is er een sterke piek in afval in de weken 23 tot en 25 en in week 44. Op een totaal van ruim 400 geoogste vruchten zijn dit respectievelijk 19 en 29 vruchten. Als daarmee rekening wordt gehouden komt de plantbelasting aan het eind vrijwel op nul uit. Het verdient aanbeveling de registratie van afval in de plantbelasting zoals uitgevoerd op het IC te verwerken. In dat geval zou de plantbelasting zoals in de weekrapporten opgenomen betere overeenkomen met de werkelijkheid. Ook als hiervoor zou worden gecorrigeerd zou de plantbelasting in de normale afdeling rond week 17-19 hoger zijn dan in de gelimiteerde afdeling.



Figuur 9. Plantbelasting en stengel belasting voor gelimiteerd en normaal.

5.2 Bladoppervlak en drogestof metingen

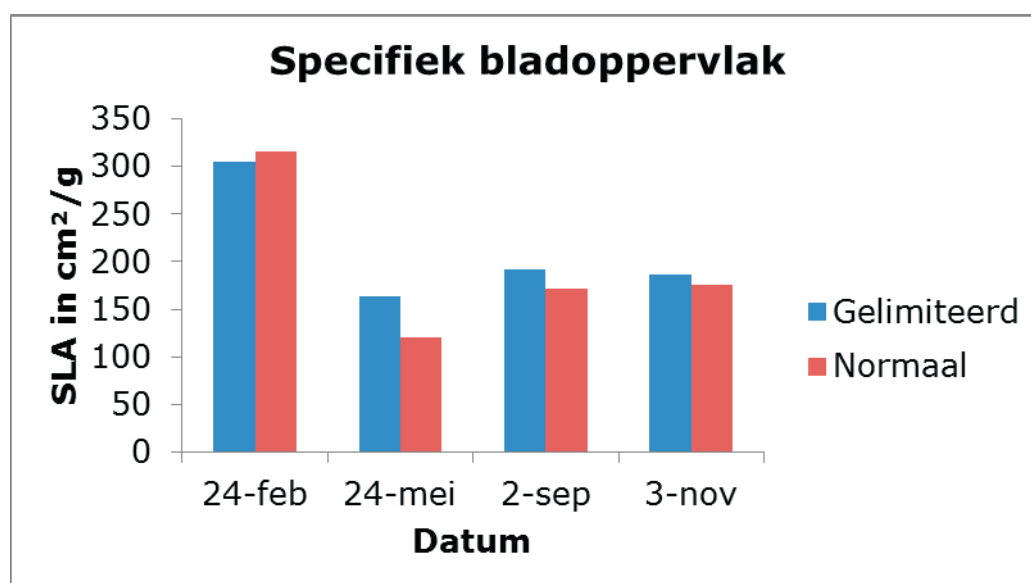
Tijdens de teelt zijn op 4 momenten tussentijdse metingen gedaan aan bladoppervlak, versgewicht en drooggewicht. Bij bladplukken is van een pad ook alle blad gewogen. Deze gegevens zijn verzameld om te kunnen gebruiken als vergelijking bij modelberekeningen van de fotosynthese. Het resultaten wordt samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 1. Vers en drooggewichten en droge stof percentage (gemiddelde van 6 planten).

		Versgewicht in g/m ²			
Datum	Behandeling	Blad	Steel	Vruchten	Totaal
24-feb	Gelimiteerd	931	539	925	2394
	Normaal	962	544	804	2310
24-mei	Gelimiteerd	1964	2079	11324	15367
	Normaal	2336	2230	12803	17368
2-sep	Gelimiteerd	1570	3683	7434	12687
	Normaal	1592	3692	8439	13722
3-nov	Gelimiteerd	1105	3624	6945	11673
	Normaal	1374	4127	7810	13311

		Drooggewicht in g/m ²			Droge stof gehalte in %		
Datum	Behandeling	Blad	Steel	Vrucht	Blad	Steel	Vrucht
24-feb	Gelimiteerd	81.4	44.6	57.1	8.7	8.3	6.2
	Normaal	82.3	44.3	50.5	8.6	8.1	6.3
24-mei	Gelimiteerd	204.2	217.3	608.8	10.4	10.5	5.4
	Normaal	246.0	236.5	699.1	10.5	10.6	5.5
2-sep	Gelimiteerd	155.0	425.5	401.4	9.9	11.6	5.4
	Normaal	170.1	443.4	474.5	10.7	12.0	5.6
3-nov	Gelimiteerd	114.0	454.3	386.9	10.3	12.5	5.6
	Normaal	133.8	512.9	421.3	9.7	12.4	5.4

In de destructieve metingen is te zien dat de vers- en drooggewichten in de normale afdeling gemiddeld hoger zijn dan in de gelimiteerde afdeling.



Figuur 10. Specifiek bladoppervlak op 4 momenten in de teelt.

Het bladoppervlak is in de normale afdeling in de zomer juist iets kleiner. Het specifiek bladoppervlak oppervlak in de normale afdeling is daardoor gemiddeld lager (Figuur 10). De bladeren zijn dus iets dikker of anders van structuur. Dit wijst op een aanpassing in de functionaliteit van het blad. De waarneming dat het blad iets dikker is komt overeen met de observaties van de dikte van het parenchym (zie 5.8). Het blad heeft zich bij de aanleg blijkbaar ingesteld op ontwikkeling bij hogere CO₂ concentraties. De vraag is of met andere maatregelen de dikte van het blad kleiner zou kunnen worden en of het effect van CO₂ dan sterker zou zijn. Die vraag is op basis van dit onderzoek niet te beantwoorden.

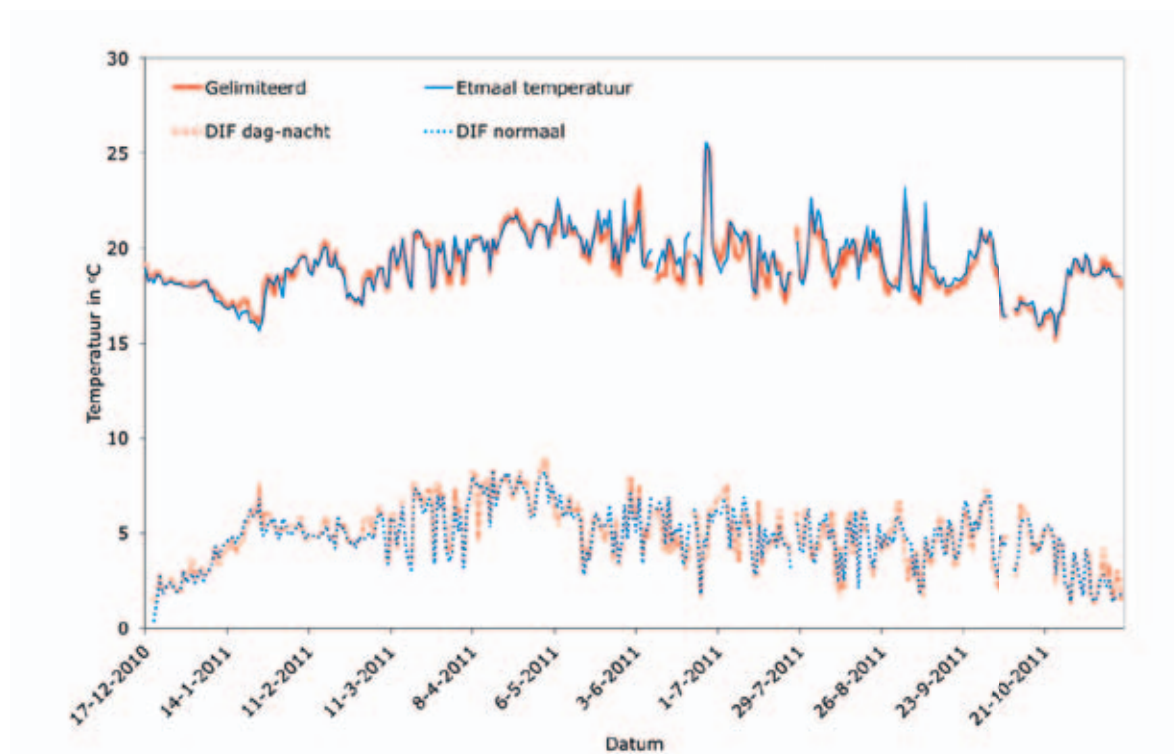
5.3 Klimaat

5.3.1 Temperatuur

In de proefaanpak was voorzien dat het klimaat per afdeling afgestemd zou worden op de groei van het gewas. Die afstemming vindt vooral plaats door aanpassing van de verwarming- en ventilatie temperatuur.

Uit de gewasparameters en de beschrijving vanuit de waarnemingen van de begeleidingscommissie is al op te maken dat in verwarming- en ventilatietemperatuur en in de gerealiseerde temperatuur weinig verschillen zijn te verwachten. Alleen van 10 tot 25 januari en van 1 tot 6 april is er een klein verschil geweest in het setpoint verwarmen. Deze verschillen vallen in de vergelijking van de gemiddelden over het gehele jaar niet op. Ze zijn alleen te vinden als de gegevens per dag en per uur worden bekeken.

Dat de verschillen klein zijn blijkt ook uit de grafieken met de gemiddelde waarden per dag voor temperatuur en de verschillen tussen minimum en maximum temperatuur per dag en de gemiddelden van dag en nacht temperatuur. Vergelijk van de waarden voor etmaal temperatuur, verschil hoogste en laagste waarden per dag of verschil gemiddelde dag ten opzichte van gemiddelde nacht temperatuur laten geen trends zien dat er in temperatuur een verschil tussen de afdelingen is gerealiseerd.



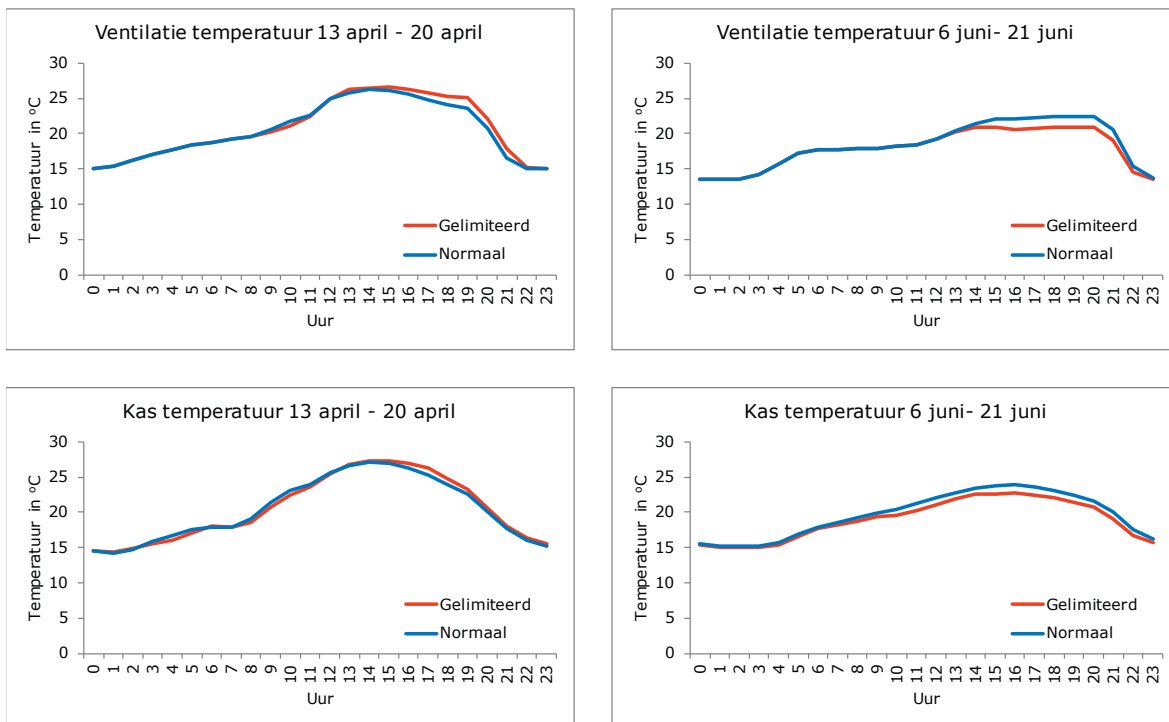
Figuur 11. Verloop van de etmaaltemperaturen in beide behandelingen en het verschil tussen dag en nacht temperatuur (DIF).

5.3.2 Ventilatie

Voor de ventilatietemperatuur van de luwezijde is een paar keer een verschil in setpoint gehanteerd. In de periode van 9 februari tot 10 maart en van 30 maart tot 6 april is de ventilatietemperatuur in de nacht iets verschillend. Dat is voor de temperatuur wel relevant, maar voor de CO₂ dosering niet. In de periode 11 mei tot 22 mei is er een klein verschil van 30 minuten in het moment van afluchten aan het einde van de dag. Ook dat is vooral van belang voor de temperatuur. In twee periodes is er verschil in ventilatietemperatuur die effect kan hebben op de CO₂ concentratie in de kas. In de periode 13 april tot 20 april is de ventilatietemperatuur aan het eind van de middag in de gelimiteerde kas hoger dan in de normale afdeling. In de periode 6 tot 21 juni is in de normale afdeling de ventilatietemperatuur hoger gehouden (Figuur 12). In de etmaal temperaturen is het effect hiervan vrijwel niet te zien.

De ingestelde ventilatie temperatuur laat niet zien wat de snelheid van openen van de luchtramen (P-band regeling) is. Die kan verschillen zodat de ramen sneller opengaan. De gegevens over de P-band regeling zijn niet vastgelegd in de klimaatregistratie. Uit het verschil in gerealiseerde temperatuur in de periode 6 tot 21 juni lijkt het er op dat de luchtramen in de gelimiteerde afdeling iets makkelijker open gingen, de temperatuur blijft iets lager bij gelijk setpoint ventilatie temperatuur rond 12 uur.

Een vergelijking van de raamstanden geregistreerd in de klimaatcomputer over de gehele teelt laat een beeld zien waaruit blijkt dat de raamstanden in de ene afdeling geregeld afwijken van de raamstanden in de andere afdeling. Op dagbasis is de gemiddelde raamstand redelijk gelijk, maar op uur basis zijn behoorlijke verschillen mogelijk. De verschillen zijn aanwezig als de ramen beperkt geopend mogen zijn om de temperatuur te handhaven. Dit geldt voor 40% van de tijd. De overige tijd zijn de ramen ofwel helemaal dicht (48% van de tijd) of 100% open (12% van de tijd). Dit is voor beide afdelingen vergelijkbaar. De ramen aan windzijde zijn 75% van de tijd volledig gesloten. Bij de windzijde geldt dat deze een periode is begrensd op een maximum raamstand van 50%. Dit is gedaan in beide afdelingen.

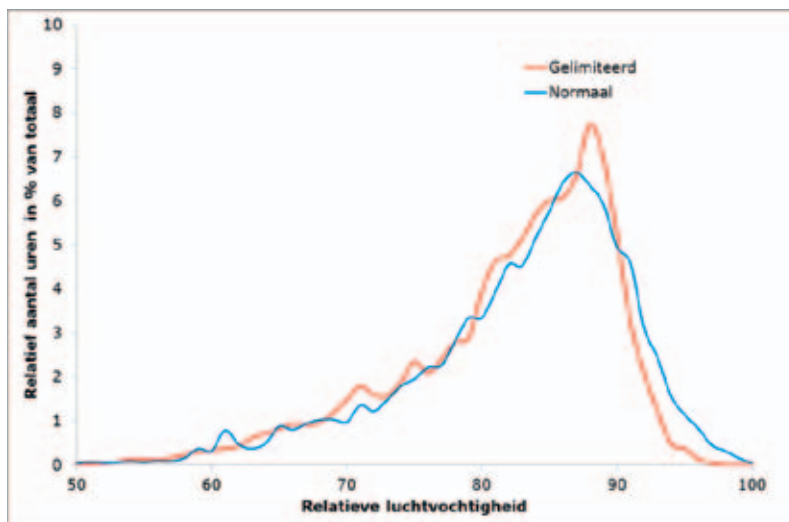


Figuur 12. Cyclisch gemiddelde per 24 uur van ventilatie en kastemperaturen in twee periodes waarin de ventilatie regeling tussen de beide behandelingen afwijkend was.

Er is uit de gegevens over de standen van de luchtramen geen aanwijzing te vinden dat de luchtramen in de gelimiteerde afdeling meer open hebben gestaan dan in de afdeling met normale CO₂ dosering of omgekeerd.

De ventilatiestrategie komt in beide afdelingen dus goed overeen. De verschillen in raamstand tussen de afdelingen zijn het gevolg van de locatie binnen het IC en de windrichting. Dit is verder niet uitgewerkt, maar wel geregeld waargenomen.

5.3.3 Vochtigheid



Figuur 13. Histogram van de verdeling van de relatieve luchtvochtigheid.

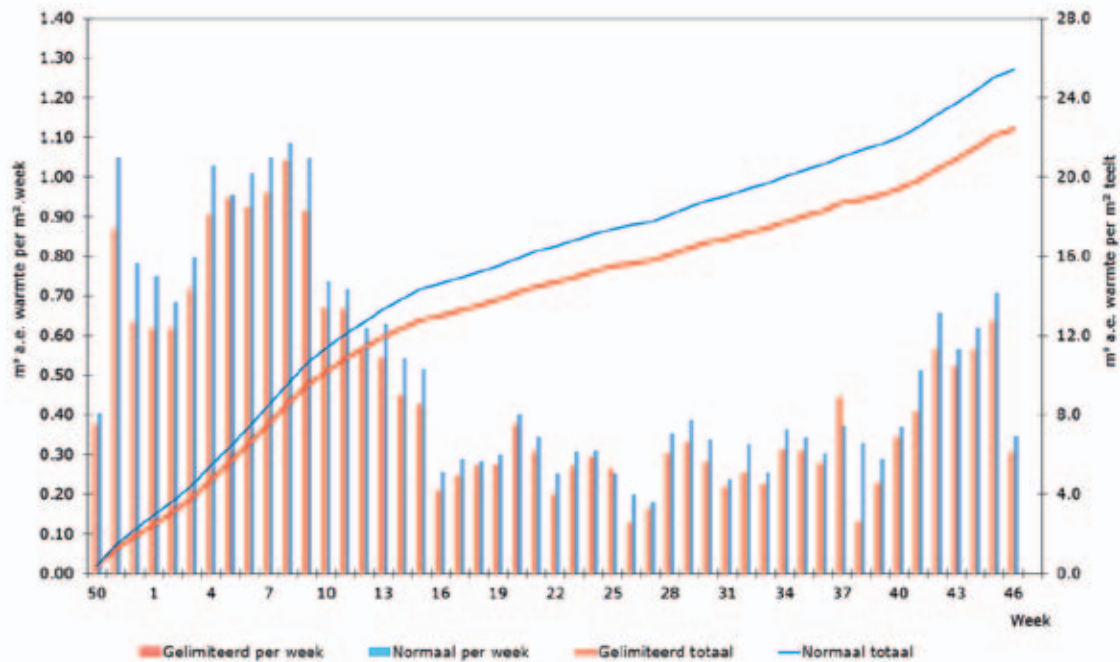
Uit de verdeling van de uren op basis van de gemiddelde luchtvochtigheid blijkt dat bij de normale CO₂ behandeling er meer uren voorkomen met een luchtvochtigheid bij de 90%. De blauwe lijn in Figuur 13. ligt iets meer naar rechts. Bij de wekelijkse begeleiding was dit ook opgemerkt. Dit betekent dat ondanks het meer gebruiken van de geforceerde ventilatie (zie paragraaf 5.4) er een groter risico van natslag is geweest. Dit klopt met de waarneming dat in deze afdeling er ook meer botrytis is opgetreden. Als wordt gekeken naar het vocht verloop gedurende de dag dan is het in het algemeen goed vergelijkbaar. Uitzonderingen zijn rond 23 april. Dan is de normale afdeling overdag duidelijk droger dan de gelimiteerde afdeling, maar van 6 tot 8 mei is dat juist anders om. Gelimiteerd is droger dan normaal geldt ook voor de periode 30 mei-2 juni. De vochtigheid is gemeten met sensoren van Wysensis. De Wysensissensoren geven voor de gelimiteerde afdeling een iets hogere vochtigheid aan. De patronen zijn wel zeer vergelijkbaar met die van de klimaatcomputer. Dit zou betekenen dat de luchtvochtigheid in de afdelingen nog meer met elkaar overeenkomt dan weergegeven in het histogram van Figuur 13.

5.4 Energie

In dit experiment is gewerkt volgens de methode van het nieuwe telen. Maximaal schermen en gebruik van geforceerde ventilatie om de luchtvochtigheid te beheersen. Doel van deze werkwijze is om met een energie input van 24 m³/m² aan aardgas in de warmtevraag van de teelt te voorzien. Aan het eind van de teelt is in de gelimiteerde afdeling 22.5 m³/m² aardgas gebruikt en in de normale afdeling 25.4 m³/m² (Figuur 14). Gemiddeld is de doelstelling dus wel gehaald, maar tussen beide afdelingen is het verschil 2.9 m³/m² en dat is toch een verschil van 12.5%. Dit verschil is gedurende de gehele teelt opgebouwd. Niet alleen in de koude periode als het effect van de buitenomstandigheden via de gevels groot is, maar ook in de zomerperiode. In de gelimiteerde behandeling is voor actieve ontvochtiging 8.8 kWh/m² aan electra gebruikt in bij de normale behandeling 11.2 kWh/m². In de luchtbehandelings kast is bij de gelimiteerde behandeling 1.9 m³/m² aan aardgas warmte gebruikt en bij de normale behandeling 3.1 m³/m². Van het extra energie gebruik komt dus meer dan 1/3 deel voor rekening van extra ontvochtiging die is ingezet. Dit wijst erop dat de normale CO₂ behandeling gemiddeld vochtiger is geweest. Het energiegebruik is geregistreerd met warmtemeters. Het verschil in warmtevraag blijkt ook uit de berekende buistemperatuur over de hele teelt.

Dit experiment laat duidelijk zien dat de locatie van een afdeling invloed heeft op het gerealiseerde energiegebruik.

Een verdere analyse met KASPRO van het energiegebruik is niet uitgevoerd. Dit is voor eerdere experimenten van het nieuwe telen wel gedaan. Daarbij is gebleken dat de resultaten in deze afdelingen goed met een model zijn na te rekenen. Hetzelfde is gedaan door Plant Dynamics met Explorer modellen die tot een zelfde resultaat komen.



Figuur 14. Warmte vraag in de gelimiteerde en normale CO₂ behandelingen per week en totaal. (Verwachte warmte vraag is weergegeven in Figuur 4).

5.5 CO₂ niveau en dosering

In het traject naar dit project toe is gebruik gemaakt van berekeningen met de CO₂-optimizer. Een belangrijke keuze bij de uitvoering van het project is geweest om niet met die software en bijbehorende aansturing de CO₂ dosering te regelen, maar met de standaard instellingen zoals beschikbaar in de regeling van de INTEGRO. De reden hiervoor is dat de verantwoordelijkheid bij de uitvoerende onderzoekers wordt gelegd om de juiste keuzes in de doseerstrategie te maken. Daarbij komt dat met bestaande systemen de uitkomsten van het project directer toepasbaar zijn voor de praktijk.

In de INTEGRO kan gekozen worden voor een regeling gebaseerd op hoeveelheid te doseren CO₂ in kg/(ha.uur). Zoals gebruikelijk in klimaatcomputers kan dit voor meerdere periodes worden ingesteld. In de proef is dit gedaan door 3 periodes te definiëren.

De nachtperiode waarin niet wordt gedoseerd. De nacht begint een uur voor zon-onder. Dit is in beide behandelingen gelijk. De nacht eindigt in de gelimiteerde afdeling een half uur na zon-op en in de normale afdeling één uur na zon-op. De reden voor dit verschil is dat de begeleidende telers eerst een duidelijke daling van de CO₂ concentratie in de kas, en dus fotosynthese activiteit wilden zien voordat de dosering zou starten. De morgenperiode die dus een half uur of één uur na zon-op begon eindigde om 11 uur en ging dan over in de middagperiode die eindigde een uur voor zon-onder. Het verschil tussen de middag en morgen periode is de mogelijkheid om aanvullend CO₂ te doseren in de gelimiteerde afdeling.

In de normale afdeling is de grens dat de dosering stopt altijd 1000 ppm en weer aan bij 800 ppm dosering. De brede dode zone in de CO₂ regeling is bij dosering van zuivere CO₂ niet nodig, maar wel gewenst bij rookgas CO₂.

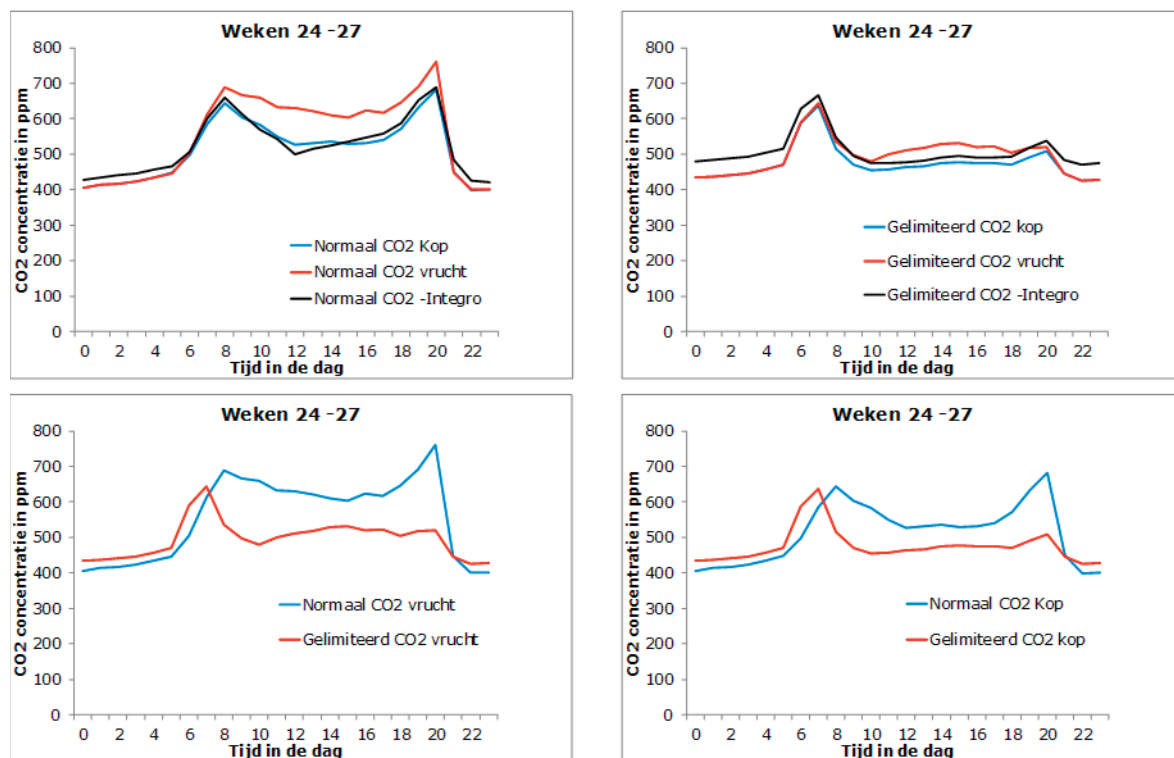
In de gelimiteerde CO₂ dosering is in de grens van uitschakelen op 700 ppm gezet, vanaf juni is dit verlaagd tot 600. Aanschakelen gebeurde op 650 ppm respectievelijk 550 ppm. Vanaf 16 april is daar in de middagperiode aan toegevoegd dat er 150 kg/(ha.uur) gedoseerd mag worden. Op 7 juli is dit verlaagd naar 115 kg/(ha.uur). In de normale afdeling is de hoeveelheid verhoogd tot 230 kg/(ha.uur).

De reden voor de verandering in hoeveelheid was het kleine verschil in productie tot dat moment en het feit dat in de gelimiteerde afdeling meer dan de helft van de CO₂ was gegeven in vergelijking met de normale afdeling. Om toch te streven naar een halvering van de dosering is in de gelimiteerde afdeling de dosering beperkt en in de normale afdeling verhoogd. Hierdoor is er in de normale afdeling bij geopende luchtramen wel meer CO₂ verloren gegaan.

De bewaking van de regeling met grenzen op ppm resulteert erin dat de CO₂-concentratie bij gesloten luchtramen gemakkelijk kan doorschieten. Daarom is bij de invloeden een beperking op de maximaal te doseren hoeveelheid gezet. In de normale afdeling neemt de doseercapaciteit lineair toe met de globale straling in het traject van 0 tot 200 W/m². Pas bij 200 W/m² globale straling is de doseercapaciteit maximaal.

Voor de gelimiteerde afdeling is de doseercapaciteit bij 100 W/m² 40 kg/(ha.uur) en bij 200 W/m² is de maximale waarde van 75 kg/(ha.uur) bereikt.

In de middagperiode, als aanvullend gedoseerd mag worden, zijn deze grenzen respectievelijk 80 en 150 kg/(ha.uur). Door deze instellingen wordt bij lage lichtintensiteiten niet de maximale hoeveelheid direct gedoseerd, maar slechts een deel daarvan. Dit is met zuivere CO₂ en nauwkeurige regelapparatuur goed uitvoerbaar.



Figuur 15. Cyclisch gemiddelde over 4 weken van het CO₂ niveau per uur gemeten met de sensoren gekoppeld aan de INTEGRO of met de LICOR 840A CO₂ analyser. De meetboxen van de INTEGRO hangen bij de kop van het gewas. Van de aanzuigpunten voor de LICOR zitten er 3 bij de kop en 3 tussen het gewas ter hoogte van de vruchten en de onderste groeibuis.

De keuze om de aanvullende dosering te starten vanaf 11 uur is gebaseerd op enerzijds de theorie dat de bladfotosynthese toeneemt met meer instraling en hogere temperatuur (Dieleman *et al.* 2009) en anderzijds een praktische benadering om de 10 kg/m² additionele CO₂ die we mogen gebruiken te kunnen inzetten. Voor de bladfotosynthese geldt dat de bladtemperatuur rond de middag mag oplopen omdat de instraling dan het hoogst is. Daarom was de ventilatiestrategie zodanig dat die naar de middag mocht oplopen. Dit is een gunstige situatie zodat het meeste rendement van extra CO₂ in die periode mag worden verwacht. De CO₂-dosering houdt hierdoor rekening met zowel het stralingsverloop als het temperatuurverloop. In een geoptimaliseerde regeling zou dit nog verfijnder kunnen maar dat is met de INTEGRO niet mogelijk.

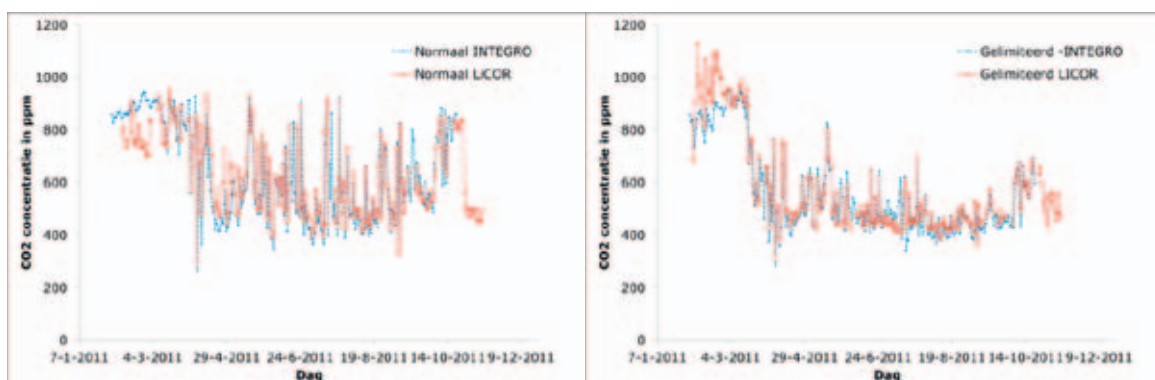
Voor de hoeveelheid CO₂ was aanvankelijk uitgegaan van 5 kg/m² extra maar begin april was de totale dosering in kg/m² in de gelimiteerd afdeling slechts 2.5 kg/m² zodat er ruimte was om 5 kg/m² extra additioneel in te zetten. De 10 kg/m² kan over een periode van 20 weken (week 15 tot 34) met een extra dosering van 75 kg/(ha.uur) gedurende negen en half uur per dag worden gegeven. Dat betekent gemiddeld van 11:00 u tot 20:30 u.

In het project is dus een aantal malen de doseerstrategie aangepast aan de omstandigheden en één keer om de doelstelling te kunnen bereiken. Dit heeft ertoe geleid dat de hoofdlijn, namelijk het streven naar een halvering van de gedoseerde hoeveelheid CO₂, is gehandhaafd. Daarbij is die halvering gerealiseerd in periodes waarvan verwacht mag worden dat deze voor de plant het meest zinvol zijn, gezien de combinatie van temperatuur en straling.

In Figuur 15. wordt voor een periode van 4 weken het verloop van de CO₂ over de dag getoond. In de onderste van de 4 grafieken is goed te zien het verschil van moment van starten van de dosering. Bij de normale CO₂ dosering stijgt de CO₂ concentratie aan het eind van de dag als het licht begint af te nemen en de ramen iets sluiten. In de gelimiteerde afdeling is dit effect afwezig. Dit is conform de verwachting. In de nacht wordt in de gelimiteerde afdeling altijd een iets hogere concentratie gemeten dan in de normale afdeling. Dit is geen afwijking van de analysers maar een klein systematisch verschil tussen de afdelingen, de reden hiervoor is niet bekend.

In de bovenste afbeeldingen van Figuur 15. is te zien dat in de normale afdeling het CO₂ niveau onder in de kas bij de vrucht duidelijk hoger is dan bij de kop. In de gelimiteerde afdeling is dit effect veel kleiner. Dit heeft te maken met zowel de doseercapaciteit als met het feit dat bij de gelimiteerde afdeling de CO₂ geïnjecteerd wordt in een lucht stroom. Hierdoor wordt de CO₂ beter gemengd in de kas gebracht. In de gelimiteerde afdeling komen daardoor in de afzonderlijke metingen geen hoge pieken voor. Bij de normale CO₂ dosering kunnen wel tijdelijke pieken met concentraties boven de 1500 ppm worden gemeten. De verschillen tussen de afdelingen in CO₂ concentratie bij de kop zijn bij geopende luchtramen klein, maar nog wel aanwezig. Een verschil van 50 ppm zou wel tot een klein verschil in productie moeten leiden, maar ook bij gelimiteerd CO₂ is de concentratie in de kas nog altijd boven de 400 ppm.

Het verloop van de CO₂-concentratie kan ook bekeken worden voor de gehele teeltperiode. In Figuur 16. wordt het gemiddeld CO₂ niveau tussen 10 en 17 uur voor de beide afdelingen getoond gemeten met de INTEGRO meetbox en de LICOR 840A. Duidelijk is te zien dat in de normale afdeling het CO₂ niveau tussen de dagen sterker varieert. Het wordt hoger als er minder gelucht hoeft te worden.



Figuur 16. De gemiddelde CO₂ concentratie per dag tussen 10 en 17 uur voor gelimiteerd en normaal CO₂ doseren.

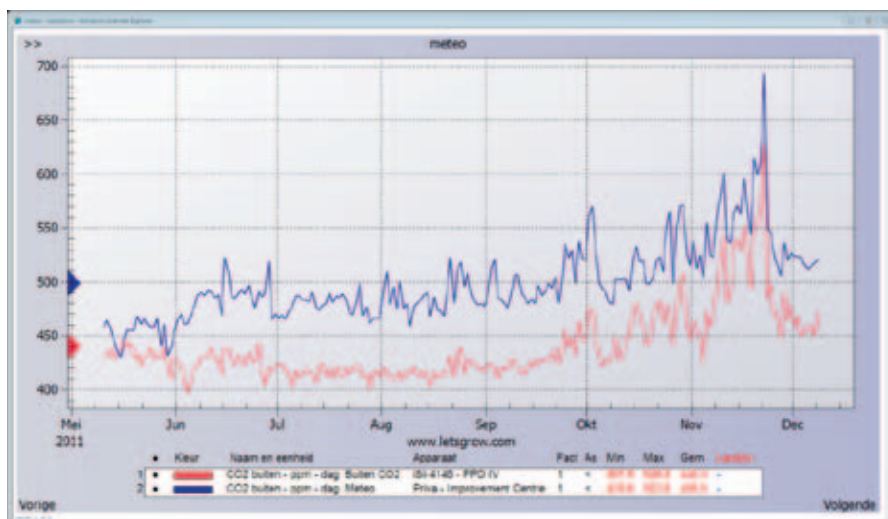
Uit Tabel 2. en Figuur 16. blijkt dat de CO₂ concentratie tussen de afdelingen tussen 10 en 17 uur wel verschilde. Toch heeft dit verschil van ca 75 ppm niet geleid tot een sterke toename van de productie.

Tabel 2. Gerealiseerde CO₂ concentraties tussen 10 en 17 uur per week.

Weeknummer (1 t/m 22)	Normaal	Gelimiteerd	Weeknummer (23 t/m/ 44)	Normaal (vervolg)	Gelimiteerd (vervolg)
1	646	660	23	575	471
2	620	617	24	640	485
3	786	765	25	602	490
4	838	842	26	431	486
5	852	822	27	450	488
6	859	838	28	580	464
7	884	842	29	599	497
8	916	881	30	538	459
9	905	926	31	480	405
10	875	919	32	465	414
11	844	807	33	446	409
12	816	588	34	641	454
13	802	563	35	502	437
14	623	471	36	595	434
15	709	535	37	640	476
16	454	439	38	592	451
17	473	525	39	538	451
18	532	518	40	683	553
19	573	566	41	789	595
20	735	575	42	834	612
21	594	515	43	662	557
22	459	507	44	482	510

5.5.3.1 Buiten concentratie CO₂

Bij IC en Wageningen UR is in 2011 ook de buiten concentratie gemeten. Bij IC werd gemiddeld een waarde van 490 ppm gemeten en bij Wageningen UR een waarde van 440 ppm. De waarde van 490 ppm is onwaarschijnlijk hoog, maar de trends in de metingen zijn wel gelijk en gemiddeld zijn het hoge waarden. In november werd een hogere concentratie gemeten met een piek op 22 november. Een gemiddelde hoge buitenwaarde komt overeen met de metingen in de nacht met de LICOR 840 die altijd boven de 400 ppm bleven.



Figuur 17. Gemeten waarden voor de CO₂ concentratie buiten bij Wageningen UR Bleiswijk en Improvement Centre.

Over verandering van de buitenwaarde van de CO₂ is op de internetsite <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/sio-keel.html> informatie te vinden van de langjarige toename van CO₂ in de buitenlicht boven Amerika en de grote oceaan. Die is gestegen sinds 1960 van 320 naar 390 ppm in 2008. Deze stijging is op alle getoonde 11 locaties inclusief de zuidpool te zien. Hoewel dit ver bij ons vandaan is mag redelijker wijs worden aangenomen dat de buiten concentraties ook in ons land zijn gestegen en dat daardoor de concentratie in een kas zonder aanvullend doseren hoger is. Een hogere buitenconcentratie verkleint de lekverliezen zodat met weinig doseren de concentratie in de kas hoog gehouden kan worden.

Daardoor kunnen resultaten van 10 jaar geleden andere uitkomsten hebben gegeven omdat de gemiddelde buitenwaarden net iets lager zijn geweest. De CO₂ brochure (Esmeijer, 1999) gaat bijvoorbeeld nog uit van rekenvoorbeelden met 350 ppm buiten waarde, terwijl in Naaldwijk in de winter al buiten waarden werden gemeten boven de 400 ppm. Hey en Schapendonk (1984) gaan uit van een buitenwaarde van 340 ppm.

5.5.1 Hoeveelheid gedoseerde CO₂

De totale gedoseerde hoeveelheid CO₂ in de normale afdeling is uitgekomen op 46.2 kg/m² en in de gelimiteerde behandeling op 23.2 kg/m² (Tabel 3.). De hoeveelheid in de normale afdeling is duidelijk lager dan waar in de doelstelling van werd uitgegaan 65 kg/m². Een belangrijk verschil met de berekening voor de doelstelling is dat de doseercapaciteit lager is geweest. Een verschil van 25% in doseer capaciteit 200 of 250 kg/(ha.uur) maakt in de gegeven hoeveelheid veel uit.

Uit de gegevens over de hoeveelheid is af te lezen dat tot week 26 de gedoseerde hoeveelheid 21.6 om 13.1 kg/m² is. Vastgesteld wordt op dat moment dat in de normale afdeling de 65 kg/m² niet zal worden bereikt, daarbij is in de gelimiteerde afdeling dan slechts 40% minder gebruikt dan in de normale afdeling. Daarom is op 7 juli de strategie aangepast om wel tot het verschil van 50% in hoeveelheid te komen. Verlaging van de extra doseer capaciteit tot 40 kg/(ha.uur) in de gelimiteerde afdeling zodat maximaal 115 kg/(ha.uur) in de middag wordt gegeven en verhoging van de dosering tot 235 kg/(ha.uur) in de normale afdeling. Aan het eind van de proef blijkt dat goed te zijn uitgekomen. De hoeveelheid die op praktijk bedrijven via rookgassen van de WKK worden gedoseerd zijn niet bekend. Daarom kan er ook geen vergelijk met de praktijk gemaakt worden.

Tabel 3. Hoeveelheid gedoseerde CO₂ per week en totaal.

Week	Gelimiteerd kg/(m².week)	Normaal kg/(m².week)	Gelimiteerd cumulatief kg/m²	Normaal cumulatief kg/m²
4	0.092	0.156	0.1	0.2
5	0.122	0.193	0.2	0.3
6	0.157	0.211	0.4	0.6
7	0.204	0.232	0.6	0.8
8	0.156	0.180	0.7	1.0
9	0.119	0.204	0.8	1.2
10	0.212	0.324	1.1	1.5
11	0.295	0.371	1.4	1.9
12	0.423	0.866	1.8	2.7
13	0.389	0.665	2.2	3.4
14	0.331	0.728	2.5	4.1
15	0.536	1.049	3.0	5.2
16	0.853	1.265	3.9	6.4
17	0.969	1.398	4.9	7.8
18	0.983	1.472	5.8	9.3
19	0.980	1.404	6.8	10.7
20	0.830	1.251	7.6	12.0
21	0.947	1.556	8.6	13.5
22	0.971	1.726	9.6	15.2
23	0.923	1.608	10.5	16.9
24	0.806	1.544	11.3	18.4
25	0.799	1.523	12.1	19.9
26	0.960	1.697	13.1	21.6
27	0.899	1.960	14.0	23.6
28	0.627	1.644	14.6	25.2
29	0.654	1.636	15.2	26.9
30	0.635	1.879	15.9	28.7
31	0.735	1.863	16.6	30.6
32	0.605	1.483	17.2	32.1
33	0.759	1.803	18.0	33.9
34	0.582	1.567	18.6	35.5
35	0.703	1.600	19.3	37.1
36	0.477	1.329	19.7	38.4
37	0.565	1.434	20.3	39.8
38	0.596	1.487	20.9	41.3
39	0.627	1.816	21.5	43.1
40	0.493	1.142	22.0	44.3
41	0.320	0.663	22.3	44.9
42	0.425	0.688	22.8	45.6
43	0.274	0.444	23.0	46.1
44	0.156	0.121	23.2	46.2
45	0.033	0.052	23.2	46.2
46	0.012	0.019	23.2	46.2

5.5.2 Meting van de concentratie

In Figuur 15. komen de metingen van de INTEGRO en de LICOR goed overeen. Toch was het installeren van een extra meetnet een essentieel onderdeel voor het welslagen van het experiment. Al snel na de start van de waarnemingen kwam naar voren dat de normale elektronische sensoren in de meetboxen van de Intrego sterk verliepen. Dit bleek uit de waarnemingen met de LICOR 840 A (Figuur 16). De meetboxen zijn opnieuw geijkt en later door Priva vervangen door meetboxen met een andere meetprincipe. Deze bleven wel goed werken. Hoewel dit geen onderdeel van het onderzoek was, was dit wel een van de discussie- en leerpunten in de begeleidings groep. De instrumentatie voor nauwkeurig CO₂ doseren en meten moet veel beter. Extra kosten hiervoor worden terugverdient door besparing op gedoseerde CO₂ of door het voorkomen van een te laag CO₂ niveau in de kas, wat productie zou kunnen kosten. De regeling van de CO₂ dosering was steeds gebaseerd op de meting voor de INTEGRO bij de kop van het gewas.

5.5.3 Concentratie in relatie tot ventilatie.

Bij de analyse van de temperatuur en ventilatie (5.3.2) is al beschreven dat de raamstanden tussen beide afdelingen duidelijk konden verschillen. Een relatie tussen raamstand en CO₂ niveau blijkt ook moeilijk te leggen. Uiteraard is er wel een licht verband, dat bij hoge raamstand het CO₂ niveau lager is, dan bij lage raamstand, maar het verband is te gering om hier duidelijk conclusies aan te verbinden. De keuze voor een doseerstrategie om een bepaald niveau van CO₂ te handhaven zal dus niet op basis van raamstand als eenvoudige input variabele kunnen. Theoretisch is wel te berekenen hoe het CO₂ gehalte in de kas zal dalen als de ventilatie van de kas in m³/m².uur toeneemt. Uitgaande van een opname aan CO₂ door een gewas bij gegeven de globale straling en een lichtafhankelijke dosering is te berekenen welke van de factoren, straling of doseerhoeveelheid het sterkste effect heeft op de gerealiseerde concentratie in de kas. Uit die analyse blijkt straling relatief weinig invloed heeft, maar dat dosering vooral bij laag ventilatievoud een positief effect heeft op de concentratie in de kas. De buitenwaarde heeft vooral gevolgen voor de CO₂ concentratie in de kas bij hoog ventilatievoud.

Het maakt dan veel uit of de buitenwaarde 360 ppm of boven de 400 ppm is.

5.5.4 Dosering en concentratie in relatie tot straling

De strategie van de temperatuur en ventilatie zijn niet gemakkelijk aan de dosering en de gerealiseerde concentratie te koppelen. Als de dosering per dag wordt gelegd naast de concentratie tussen 10 en 17 uur blijkt wel dat hoge doseer hoeveelheden gekoppeld zijn aan lage concentraties. Blijkbaar is het verlies door de ramen dan het grootst. Als de dosering per dag wordt uitgezet tegen de straling van die dag dan blijkt bij gelimiteerd CO₂ een duidelijke relatie die begrensd is. Hoe hoger de straling hoe hoger de gedoseerde hoeveelheid. Bij de normale CO₂ behandeling is deze relatie veel minder duidelijk aanwezig. Daar kan ook bij weinig licht nog veel zijn gedoseerd.

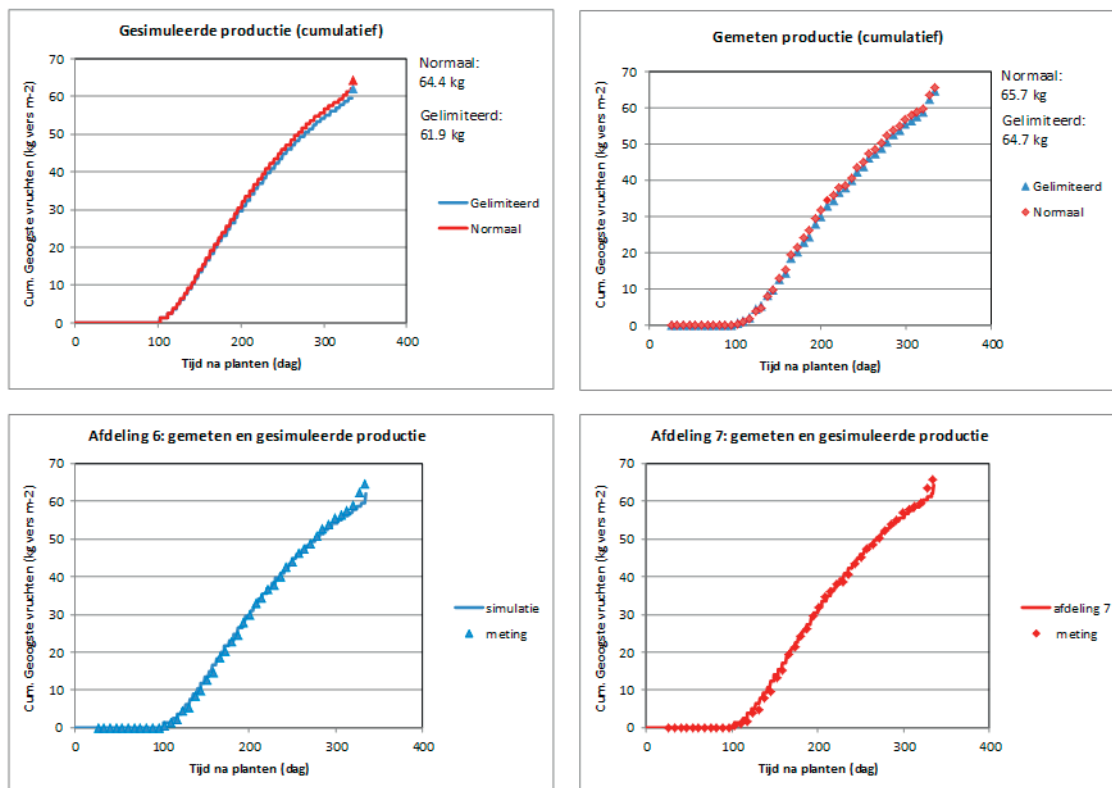
5.6 Fotosynthese

Voor verklaring van mogelijke verschillen in productie tussen de beide behandelingen is op grond van bestaande kennis te verwachten dat dan de meest waarschijnlijke oorzaak is dat de actuele fotosynthese tussen beide behandelingen zal verschillen.

De actuele fotosynthese voor een gewas is gebaseerd op de maximale fotosynthese capaciteit van de bladeren en hoe deze capaciteit benut wordt door de plant. Als de capaciteit –bladoppervlakte * capaciteit per oppervlakte eenheid beperkt is kan extra CO₂ of licht niet leiden tot een hogere actuele fotosynthese. Als licht of CO₂ beperkt zijn dan wordt de capaciteit niet volledig benut voor een maximale fotosynthese. Als er verschillen in productie ontstaan kan dat dus liggen aan beperking in de capaciteit of beperking in het gebruik van de capaciteit.

De beperking voor de benutting van de capaciteit is de lichtintensiteit ofwel de globale straling. Die is slechts 25% van de tijd boven een waarde van ca 200 W/m² en slechts 10% van de tijd boven de 500 W/m² (Bijlage IV). Een meerproductie moet dus in slechts een deel van de tijd worden gerealiseerd, maar de straling is wel voor beide afdelingen gelijk. Alleen als relatief veel lichtrijke momenten zouden voorkomen is de te verwachten meerproductie hoger.

Een belangrijke eigenschap is dus de maximale capaciteit van de bladeren voor fotosynthese per oppervlakte eenheid. De capaciteit van de fotosynthese wordt gemeten met de LICOR 6400 en is gedaan op 8 dagen (zie 3.5). Een uitvoerige beschrijving van de analyse staat in bijlage III. De conclusie is dat voor de licht en CO₂ response de maximale capaciteit van de bladeren per oppervlakte eenheid voor de fotosynthese niet verschilt tussen de behandelingen.



Figuur 18. Gemeten en gesimuleerde productie voor beide behandelingen.

Een verschil in productie tussen de behandelingen moet dan voortkomen uit de verschillen in CO₂ concentratie en lichtbenutting. De lichtintensiteit is in beide afdelingen vergelijkbaar geweest, want er is geen belichting toegepast. De schermdoeken zijn op gelijke wijze aangestuurd op temperatuur en licht. Het enige verschil kan in het begin van de teelt de licht toetreding via de zuidgevel zijn. Bij gelimiteerd is dat een buitengevel en bij normaal een dubbele tussengevel. Hoe groot dat effect op de productie is geweest is niet te bepalen. Er was bij de start van de proef wel een verschil in ontwikkeling zichtbaar, maar later was dit niet meer aanwezig. Aangenomen wordt dat het verschil in ligging te verwaarlozen is omdat de productie gegevens van paden van 31.5 meter zijn geteld. De enige factor die dan nog over is, is effect van de CO₂ concentratie.

Uit een analyse met het INTKAM model voor gewasproductie komt gebaseerd op gerealiseerd klimaat, zoals lichtintensiteit, temperatuur, vochtigheid en CO₂ concentratie, dat het verschil in gesimuleerde productie (2.5 kg/m²) iets groter is dan het gemeten verschil (1 kg/m²)(Figuur 18). Voor deze simulatie zijn dezelfde instellingen in gewasparameters gebruikt als voor het doorrekenen van eerdere proeven met Het Nieuwe Telen. Praktische aanpassingen zoals snoeibeleid en bladplukken zijn als gegeven aan het model opgelegd.

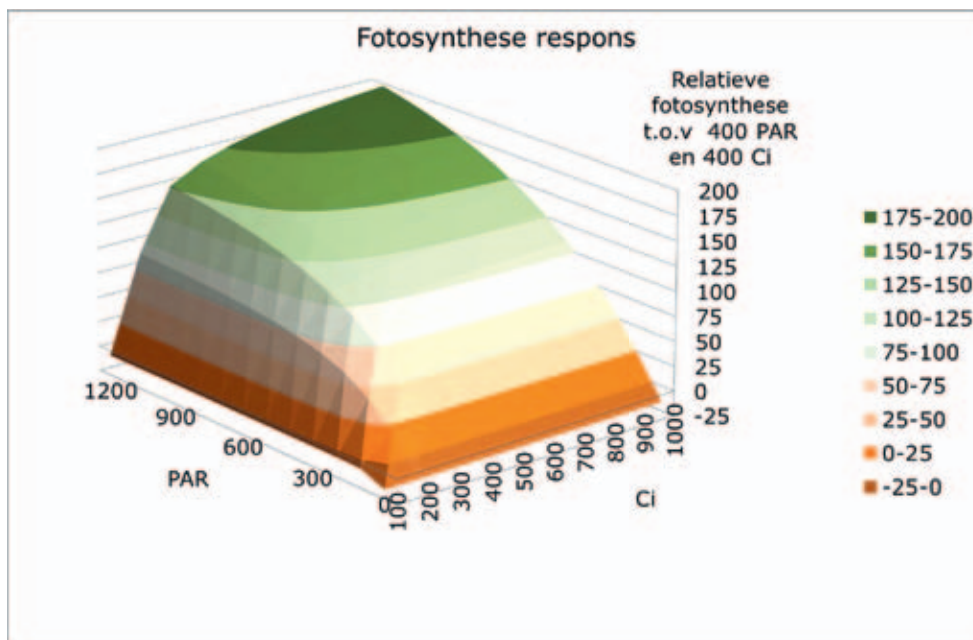
Met het INTKAM model is ook nagerekend of de verschillen in de fotoresponse curves zoals gemeten op 8 dagen en op twee gewashoogten (Bijlage III) zouden leiden tot grotere verschillen in productie. Dat blijkt niet het geval.

De verschillen tussen simulatie en werkelijkheid zijn klein en voor simulaties zeker acceptabel. Vergelijking van het verschil in cumulatieve productie tussen werkelijkheid en model tot het moment van de ethrel behandeling laat zien dat het model aanvankelijk de productie overschat. Dat rond begin juli model en werkelijkheid weer gelijk zijn en dat daarna het model opnieuw de productie overschat om bij de start van de ethrel behandeling weer op vrijwel gelijk niveau te zitten.

Er is dus tussen model en werkelijkheid een klein verschil in moment van oogst, maar gemiddeld is de gelijkheid erg goed. Dit constaterende zou de conclusie kunnen zijn: de uitkomsten van deze proef zijn conform bestaande kennis. Echter dat klopt niet met de aannames die genoemd zijn bij de start van dit experiment. Vooraf was de verwachting gebaseerd op de CO₂ optimizer dat het verschil groter zou zijn en het nu gebruikte model verwacht nog steeds een verschil groter dan gemeten. Dit vraagt dus om een nadere analyse.

5.6.1 Fotosynthese afhankelijk van licht en CO₂

De lichtresponse en CO₂ response worden gemeten bij twee reeksen van gedefinieerde omstandigheden, maar in werkelijkheid kunnen alle combinaties van lichtintensiteit en CO₂ concentratie voorkomen. Door de gegevens van beide response curves te combineren kan een beeld worden gemaakt van de bladfotosynthese. In Figuur 19. is dit gedaan als relatieve waarde ten opzicht van de fotosynthese bij 400 ppm en 400 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ PAR. Er zijn uit deze figuur een aantal belangrijke aandachtspunten af te leiden.



Figuur 19. Voorbeeld van de relatieve fotosynthese capaciteit. De capaciteit bij 400 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ PAR op bladniveau en 400 ppm Ci is op 100 gezet.

Als de C_i (de CO₂ concentratie in de intercellulaire ruimte in het blad) daalt onder de 300 ppm dan neemt de fotosynthese sterk af. Dan is het beperkend effect van CO₂ limitatie via de binding aan Rubisco (zie uitleg in bijlage III) heel groot. Een tweede wat te zien is, is dat bij stijgende C_i de fotosynthese bij lage lichtintensiteiten nauwelijks toeneemt. Bij hogere lichtintensiteiten neemt de fotosynthese bij stijgende Ci wel toe. De vraag die hierbij wel gesteld moet worden is of deze stijging voor alle cultivars gelijk is, want de reactie die hier getoond wordt geldt voor Komeett. Duidelijk is dat de combinatie van hoog licht en hoog CO₂ het sterkste effect heeft. Maar in de praktijk komen vooral de combinatie laag licht - hoog CO₂ en hoog licht - laag CO₂ voor.

In het project gewasmanagement geeft Dieleman een vergelijkbare conclusie voor het gecombineerde effect van lichtintensiteit en CO₂. Bij laag licht en hoog CO₂ is de fotosynthese gelijk aan hoog licht en laag CO₂, alleen als de combinatie wordt gerealiseerd is er sprake van een duidelijke stijging van de fotosynthese (Dieleman *et al.* 2009). In het project Luchtcirculatie (De Gelder *et al.* (2006), Elings *et al.*, (2007)) is voor verschillende lichtintensiteiten de lichtresponscurve gemeten voor Aromata. Daarin werden geen verschillen gevonden bij 700 of 1000 ppm CO₂. Dit klopt met de resultaten van dit onderzoek, dat bij hogere CO₂ concentraties het effect van verhoging van CO₂ op de fotosynthese gering is.

5.6.1.1 Beperking door te lage concentratie CO₂ in het blad.

Als een CO₂ concentratie in het blad onder de 300 ppm een sterk verlagend effect heeft dan is de vraag gerechtvaardigt: Hoe groot is de kans dat dit optreedt. De interne CO₂ concentratie zal laag zijn als er veel wordt gebruikt en de aanvoer van CO₂ beperkt is. Het verbruik is hoog als er veel licht op een blad valt. Te berekenen is dat de CO₂ bij een initiële interne concentratie van 400 ppm in de intercellulaire ruimten met een goed functionerende fotosynthese binnen een minuut al is gebruikt. Het handhaven van een voldoende interne concentratie zal dan afhankelijk zijn van de geleidbaarheid voor CO₂ van de huidmondjes. Als de huidmondjes lokaal tijdelijk sluiten kan er plaatselijk dus een beperking in CO₂ optreden. In dit onderzoek is dat aspect niet onderzocht maar de volgende hypothese kan worden geformuleerd: in de bovenste bladeren kan door hoge instraling de verdamping zo hoog worden dat de plant de huidmondjes lokaal en tijdelijk sluit waardoor er tijdelijk een lage CO₂ concentratie in de plant ontstaat. Een hoge externe CO₂ concentratie is dan gunstig om zodra de huidmondjes weer iets opengaan snel een interne concentratie boven 400 ppm te realiseren. Dit zal zich vooral voordoen bij condities van veel licht en lage luchtvochtigheid. Hoe relevant dit effect is kan met een literatuur studie en ondersteunt met een modelberekening op basis van huidige modellen worden geanalyseerd.

Het verdient daarom aanbeveling om dit verder te onderzoeken.

Als een hoge luchtvochtigheid door bijvoorbeeld verneveling het tijdelijk sluiten van de huidmondjes voorkomt dan is goed te verklaren dat dit een gunstig effect heeft op de productie ook bij relatief lage CO₂ concentraties in de kas. Lager in het gewas is licht beperkend, maar zijn de huidmondjes mogelijk wel gesloten omdat ze weinig energie ontvangen. Door de gesloten huidmondjes kan C_i dan toch beperkend worden, omdat de stomataire geleidbaarheid te laag is. Verhoging van de CO₂ concentratie kan dan gunstig zijn voor de fotosynthese in de onderste bladeren. De bijdrage aan de totale fotosynthese is echter gering door het lage lichtniveau.

Een groter aantal huidmondjes per oppervlakte eenheid is gunstig om de interne CO₂ concentratie overal in het blad snel te laten toenemen. Bij minder huidmondjes is de afstand waarover CO₂ moet diffunderen en de hoeveelheid CO₂ die per huidmondje moet worden opgenomen groter, wat het effect van tijdelijk sluiten van een huidmondje versterkt. De preciese effecten van aantal huidmondjes op interne CO₂ concentratie wordt in een vervolg project bekeken.

Op basis van CO₂ response curve voor de interne CO₂ concentratie is de stelling te verdedigen dat verhoging van de CO₂ concentratie boven 600 ppm niet zinvol is bij lage lichtintensiteit. Onbewezen is de hypothese dat lokale en tijdelijke sluiting van de huidmondjes het effect van verhoging van de CO₂ concentratie bij hoge licht intensiteit versterkt.

5.6.1.2 Cultivar effect

In dit onderzoek is gewerkt met de cultivar Komeett. In het project gewasmanagement is gewerkt met Cappricia en ook daarvan zijn de lichtresponse en CO₂ response bepaald. Voor een meting in juni 2009 aan Cappricia bij het project gewasmanagement en een meting in juni 2010 bij Komeett in het project gelimiteerd CO₂ zijn de omstandigheden niet vergelijkbaar. Ondanks deze verschillen zijn de CO₂ response curves redelijk vergelijkbaar. (Gegevens niet getoond). Dit wijst er op dat er geen of weinig cultivar effect is. Het sluit echter niet uit dat er wel sprake kan zijn van een cultivar effect. Maar ook het feit dat de simulatie van de productie voor beide proeven met hetzelfde model goede resultaten oplevert wijst er op dat niet direct een effect van cultivar op de fotosynthese capaciteit is te verwachten. Uiteraard kan door verschil in omstandigheden zoals CO₂ concentratie en lichtintensiteit de actuele fotosynthese verschillend zijn geweest, maar dit wordt bij model berekeningen verdisconteerd in het resultaat. Grotere effecten zijn van de veranderingen in de loop van de teelt te verwachten. Voor een goede vergelijking van cultivars zou een veel groter onderzoek met meerdere cultivars op veel verschillende bedrijven met verschillende omstandigheden nodig zijn.

5.6.1.3 Modelbeperkingen

Bij de vergelijking van de simulaties vooraf en achteraf blijken er verschillen tussen simulatie en werkelijkheid. Een model heeft altijd beperkingen. De gebruikte berekening vooraf gebaseerd op een relatief simpele fotosynthese routine en regel voor de relatie tussen raamstand, CO₂ dosering en CO₂ concentratie zal bij gebruik van een gemiddeld jaar vooraf de meeste afwijking kunnen vertonen. Een meer geavanceerd gewasmodel dat gevoed wordt met gerealiseerd klimaat moet de productie beter kunnen voorspellen. Toch heeft ook zo'n model zijn beperkingen omdat er mogelijk kleine veranderingen in de gewasreactie zijn die in het model niet goed kunnen worden verwerkt. De werkelijkheid is gecompliceerder.

Of de gegevens die nodig zijn voor een model zijn alleen indirect te verkrijgen. Zo is de vertaling van bladfotosynthese naar gewasfotosynthese bij model berekeningen een cruciale factor. Veranderingen in bladstructuur of functionaliteit van huidmondjes op verschillende plaatsen zijn in een model veelal niet meegenomen, omdat dit de berekeningen nog complexer maken en bij de ontwikkeling van een model niet de bepalende factor zijn om tot een acceptabel resultaat te komen.

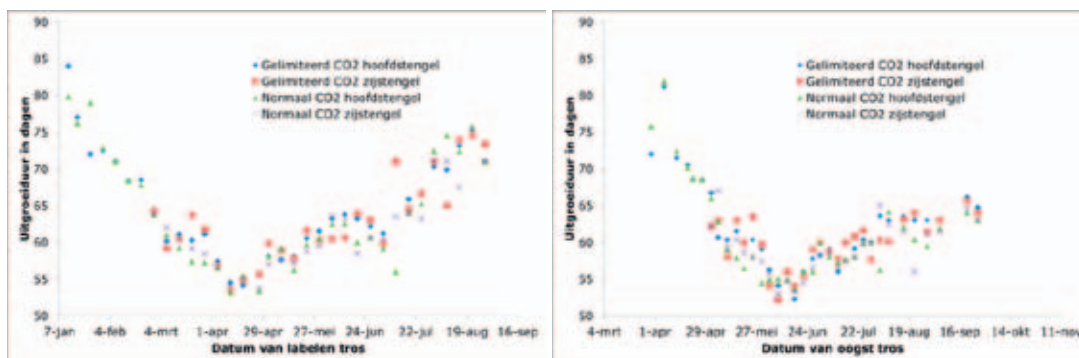
5.6.2 Conclusie fotosynthese

Tussen de behandelingen is geen verschil in de fotosynthese response curves gemeten. Deze metingen van de fotosynthese stemmen overeen met eerdere onderzoeken. De interne CO₂ concentratie mag ook lokaal niet onder de 300 ppm zakken. De hypothese is dat de betere prestatie van het gewas in de gelimiteerde afdeling te maken kan hebben met een minder sluiten van de huidmondjes in het bovenste deel van het gewas.

5.7 Uitgroei duur

Gedurende de teelt is van totaal 1295 trossen de uitgroei duur geregistreerd. De gemiddelde uitgroei duur was voor de eerste trossen, gelabeld in januari, ruim 80 dagen. Gedurende de teelt daalde dit naar een minimum van 54 dagen voor trossen gelabeld in april en liep daarna weer langzaam op (Figuur 20- links). De trossen met de kortste uitgroei duur werden geoogst begin juni (Figuur 20- rechts). In deze paragraaf wordt hierna steeds gewerkt met de dag van bloei van de tros als uitgangspunt.

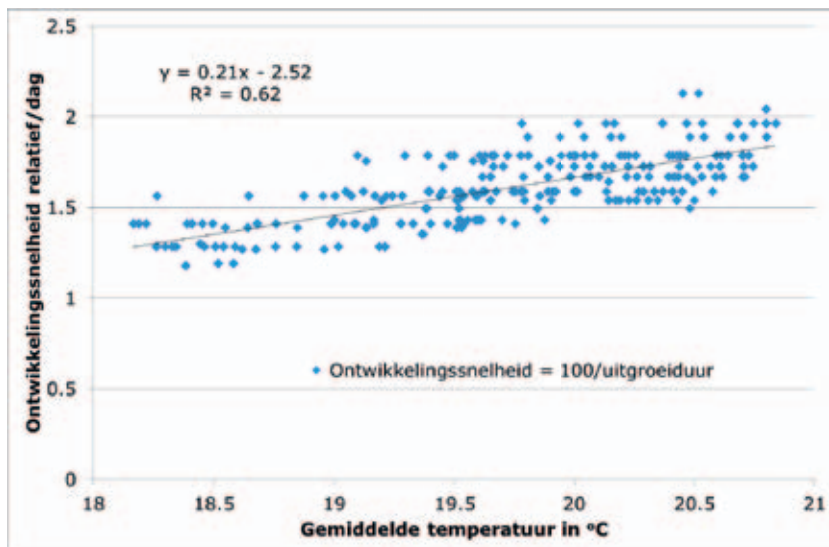
De uitgroei duur voor de beide afdelingen en voor het hoofd- en zijstengels vertonen in de loop van het jaar een goede overeenkomst. Hierin is geen effect van de afdeling te zien. Alleen bij de trossen die op 11 juli zijn gelabeld zijn opmerkelijke verschillen. In de analyse zijn alle trossen die na eind augustus zijn gelabeld niet meegenomen, omdat die aan het eind van de teelt versneld zijn afgerijpt door de behandeling met ethrel.



Figuur 20. Waarnemingen van de uitgroei duur gemiddeld per label datum (links) of per oogstdatum (rechts) voor de beide afdelingen en de hoofd- en zijstengels.

De gegevens over uitgroei duur kunnen worden gecombineerd met de temperatuur om het effect van temperatuur op de uitgroei duur te analyseren. Een eenvoudige benadering voor de ontwikkelingssnelheid van een vrucht of tros is dat deze een rechtlijnige relatie heeft met de gemiddelde temperatuur tijdens de ontwikkeling. Dit geldt goed in het traject van gemiddelde etmaal temperaturen van 16 tot 24 °C. De ontwikkelingssnelheid is 100/uitgroei duur van een tros. Met de gegevens die de relatie tussen ontwikkelingssnelheid en temperatuur beschrijven kan de uitgroei duur worden berekend. De parameters van de rechte lijn – de constante en de helling – kunnen worden omgezet in de vaak gebruikte termen basistemperatuur en temperatuursom. Een tros is rijp als de som van alle graden per dag boven de basistemperatuur een bepaalde temperatuursom heeft bereikt. Heuvelink (2005, blz. 74) geeft voor het ras Counter aan dat de vruchten rijp zijn als de temperatuursom 940 graaddagen bereikt is bij een basis temperatuur van 4°C. Een lage basis temperatuur wil niet zeggen dat de ontwikkeling tot die temperatuur goed blijft gaan, want de lijn gaat alleen op voor het traject waarin waarnemingen zijn verzameld. Bij lagere temperaturen kan de ontwikkeling dus wel anders verlopen.

Uit de gegevens van de uitgroei duur en de etmaal temperatuur kunnen dus de kengetallen, basistemperatuur en temperatuursom, berekend worden. Om dit te doen moet de uitgroei duur worden omgerekend naar een ontwikkelingssnelheid per dag (100/dagen) en dit getal worden uitgezet tegen de gemiddelde temperatuur. Uit de parameters die de rechte lijn tussen ontwikkelingssnelheid en gemiddelde temperatuur beschrijven (Figuur 21.) zijn de basis temperatuur en de temperatuursom berekend. Deze komen uit op 478 graaddagen bij een basistemperatuur van 12 °C. Bij de waarnemingen moet worden opgemerkt dat door het labelen op maandag en de vaste oogstdagen op maandag, donderdag en woensdag de uitgroei duur en daarmee de ontwikkelingssnelheid vaste stappen kent. Dit maakt dat in de figuur duidelijke horizontale lijnen in de puntenwolk zijn te zien. Een tweede onnauwkeurigheid is dat niet gelabeld is op de dag dat de eerste bloem van een tros bloeit, maar dat een bloeiende tros is gelabeld. Hierdoor kan een onderschatting van de uitgroei duur ontstaan want een tros met de 4e of hogere bloem in bloei had eerder als bloeiend geregistreerd kunnen worden.



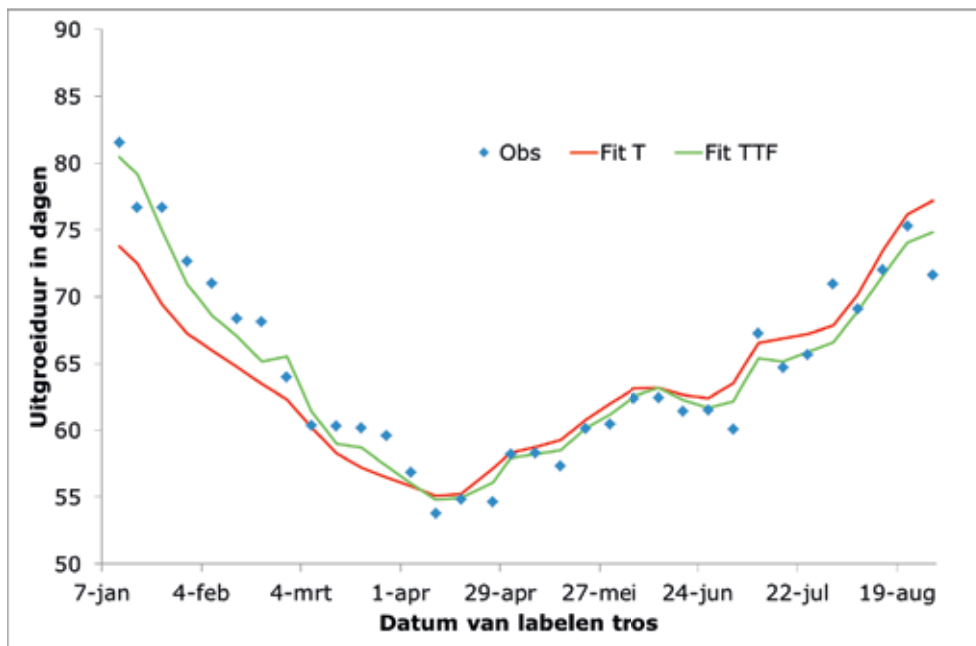
Figuur 21. Ontwikkelingssnelheid tegen gemiddelde temperatuur voor 1295 trossen.

Ondanks deze beperking blijkt dat Komeett in deze proef dus duidelijk andere parameters voor de ontwikkelingssnelheid van de trossen heeft, dan die genoemd door Heuvelink. De waarden wijken ook sterk af van die voor Cappricia, het ras dat in het project gewasmanagement bij geconditioneerd telen is gebruikt. Voor Cappricia is de basis temperatuur 5.2 °C en de temperatuursom 995 graaddagen. Deze gegevens zijn berekend aan de hand van vergelijkbare registraties als gedaan voor Komeett. Een hogere basistemperatuur en lagere temperatuursom betekenen dat de ontwikkelingsduur sterker zal reageren op verandering van de etmaaltemperatuur in het traject tussen 16 en 20 °C. Het effect van 16 naar 20 °C is bij een basis temperatuur van 12 °C een verdubbeling van het aantal graaddagen per dag van 4 naar 8 graaddagen. Hierdoor wordt bij een temperatuursom van 478 graaddagen de uitgroei duur gehalveerd van 120 naar 60 dagen.

Eenzelfde verandering van 16 naar 20 °C geeft bij een basis temperatuur van 4 °C en een temperatuursom van 1100 graaddagen slechts een verandering van 12 naar 16 graaddagen per dag en de uitgroei duur zal dalen van 92 naar 69 dagen. Vertaalt naar de vergelijking Cappricia en Komeett. Ze hebben bij 18.7 °C een gelijke uitgroei duur van 74 dagen. Verhoging van de etmaal temperatuur met 1 °C tot 19.7 °C verlaagt de uitgroei duur van Komeett tot 65 dagen en van Cappricia tot 69 dagen. Bij 20.7 °C zijn de uitgroei dueren respectievelijk 58 en 64 dagen. Verlaging van de etmaal temperatuur tot 18.2 °C verlengt de uitgroei duur voor Komeett tot 79 dagen en voor Cappricia tot 77 dagen.

Met de gegevens over temperatuursom en basistemperatuur kan berekend worden of de waargenomen en berekende uitgroei duur wel goed met elkaar overeen komen. Als dit wordt gedaan dan blijkt toch dat deze simpele benadering aan het begin van de teelt een te lage waarde geeft van de ontwikkelingsduur (Figuur 22, Fit T). De Koning (1994) heeft in zijn model berekening naast een temperatuur effect ook rekening gehouden met een effect van de plantleeftijd in de vorm van een effect voor het trosnummer. Omdat per tros zowel trosnummer als bloeiende bloem, is geregistreerd kunnen die waarden als extra verklarende variabelen in de analyse worden betrokken. Als dat wordt gedaan verbeterd de

regressie coëfficiënt van een R^2 van 0.62 voor de simpele benadering naar 0.71 voor de multiële regressie. Dus een duidelijke verbetering. Het effect is zichtbaar in Figuur 22. De berekende uitgroei duur past beter bij de waarnemingen als trosnummer en bloeiende bloem erbij worden betrokken.



Figuur 22. Gemiddelde van de waargenomen uitgroei duur (Obs) en de berekende uitgroei duur op basis van alleen een temperatuur effect (Fit T) en de berekende uitgroei duur op basis van temperatuur effect en invloed van trosnummer en bloeiende bloem (Fit TTF).

De Koning en in navolging van hem Heuvelink hebben voor de ontwikkelingssnelheid per dag in hun modellen ook met een andere benadering gewerkt (De Koning, 1994 blz. 141). Daarbij is de ontwikkelingssnelheid van de vrucht niet alleen afhankelijk van de temperatuur maar ook van het stadium van de vrucht zelf, het trosnummer en de straling die de vrucht in de eerste 3 weken van ontwikkeling ontvangt. De formule hiervoor en de parameters daarvan kunnen gebruikt worden om de uitgroei duur te berekenen. Dan blijkt ook dat voor Komeet deze parameters anders zijn. Een verkennende analyse geeft aan dat de basis waarde lager is en de stralingscomponent hoger. Voor toepassing in geavanceerde modellen zou een verdere analyse nodig zijn. Een volledige analyse hiervan vraagt namelijk een dynamische berekening van de uitgroei duur, want de gemiddelde temperatuur vanaf bloei en zetting tot oogst is bij een variërende ruimtetemperatuur niet constant. Als daarbij de temperatuur invloed, die stadium gevoelig is, betrokken moet worden dan kan dat kan alleen in een complexe dynamische berekening. Die is in het kader van dit project niet uitgevoerd.

Het effect van de temperatuur invloed op de ontwikkelingssnelheid tijdens verschillende stadia van ontwikkeling is in de modelberekening vooral aanwezig bij temperaturen boven de 21 °C. In het traject van 17 tot 20 °C is de invloed gering. In meerdere studies worden effecten van teeltmaatregelen op uitgroei duur bij tomaat besproken, maar steeds is de analyse die wordt gegeven terug te voeren op het onderzoek begin jaren 90 van de vorige eeuw door De Koning en Klapwijk. Afwijkende gegevens voor temperatuursom en basistemperatuur worden niet genoemd.

De gegevens over uitgroei duur voor Komeet laten dus zien dat deze afwijkt van Capprica en in de literatuur vermeldde gegevens. Een analyse van de gegevens van de uitgroei duur in de diffuus glas proef laat een vergelijkbare uitkomst voor Komeet zien – basistemperatuur 11,4 °C en een temperatuursom van 536 graaddagen. Voor simulatie van de reactie op verwarming van de vruchten zoals gedaan in de studie van Schapendonk en Rappoldt (2011) heeft deze informatie gevolgen voor de conclusies van die studie, omdat deze voor Komeet anders zullen uitkomen. Waar Cappricia slechts gering op een lagere temperatuur in het begin van de teelt zal reageren, kan Komeet duidelijk vertragen door een lagere temperatuur.

Het verdient aanbeveling om de informatie over uitgroei duur voor hoofdassen in de tomaten teelt als standaard gegeven te gaan verzamelen zodat betere simulaties van effecten van temperatuur op groei en ontwikkeling kunnen worden gemaakt. In een studie naar ras effecten (Kaarsemaker, 1999) werd geconcludeerd dat het temperatuur effect op de uitgroei duur groter was dan ras effecten. In deze studie worden echter geen getallen voor basistemperatuur en temperatuursom voor de gebruikte rassen genoemd. Het huidige onderzoek laat zien dat de conclusie van Kaarsemaker niet correct is.

Een andere vraag die bij de gegevens over uitgroei duur gesteld moet worden is de vraag naar het effect van de teeltwijze. Heeft de techniek van Het Nieuwe Telen een vertragend effect vooral in de eerste fase van de teelt. Daarvoor zou de vruchttemperatuur in die fase een duidelijk lagere waarde moeten hebben als in de gangbare teelt. Omdat de analyse over de uitgroei duur voor Komeet is gedaan over de gehele teelt periode van begin januari tot en met augustus is het sterk reageren van Komeet op de ruimte temperatuur niet te verklaren uit de teeltwijze. In de maanden mei tot en met augustus is de teelt niet sterk afwijkend en ook dan reageert Komeet sterk op temperatuur. Zie de toename in uitgroei duur van mei naar augustus. Verder blijkt Komeet in de diffuus glas proef dezelfde reactie op temperatuur te vertonen.

Concluderend. De genetische eigenschappen en dus plant fysiologische eigenschappen, die de uitgroei duur van Komeet bepalen zijn afwijkend van rassen zoals Cappricia. De vertraging bij het Nieuwe Telen heeft dus niet alleen te maken met de lagere teelttemperatuur, maar is mede veroorzaakt door de cultivar keuze. Een andere temperatuurreactie bij de uitgroei duur betekent bij model berekeningen dat het moment van oogsten anders wordt. Voor de totale productie heeft dit geen gevolgen omdat de fotosynthese niet door de uitgroei duur van vruchten wordt beïnvloed.

5.8 Huidmondjes en bladstructuur

De huidmondjes aantallen per cm^2 zijn op 4 dagen geteld. Van de 4 dagen is er op 3 dagen een betrouwbaar verschil, maar de eerste keer heeft de normale CO_2 dosering meer huidmondjes en op 27 juni en 3 oktober heeft gelimiteerd meer huidmondjes (Tabel 4). Gemiddeld heeft gelimiteerd er wel meer, het is geen consistent beeld. Daarbij is aantal huidmondjes wel een indicator voor opname mogelijkheid van CO_2 door het blad, maar de openingstoestand is voor de opname in het blad belangrijker. Uit het aantal huidmondjes is wel af te leiden dat de afstand die CO_2 in het blad moet afleggen parallel aan het bladoppervlak verschillend is, maar ook dat is slechts een klein deel van de totale weg die CO_2 moet afleggen om van buiten de plant tot in de chloroplasten waar de fotosynthese plaatsvindt te komen. De laatste 3 metingen wijzen er wel op dat het gewas zich mogelijk heeft aangepast aan de omstandigheden en meer huidmondjes heeft gevormd om meer CO_2 te kunnen opnemen bij gelimiteerd CO_2 doseren. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat bij normaal CO_2 de concentratie CO_2 onder in het gewas hoog kan zijn. Via een signaalwerking kan de plant bij nieuw te vormen bladeren hierop reageren door minder huidmondjes aan te leggen. Dit is beschreven voor o.a. Arabidopsis, Populier en Tabak, maar niet onderzocht bij tomaat (Zie Trouwborst *et al.* 2010.)

Tabel 4. Aantal huidmondjes per cm^2 blad.

Datum	Gelimiteerd	Normaal
2-mrt-11	9600	10528
27-jun-11	10442	8400
11-aug-11	11038	10723
3-okt-11	11556	9009

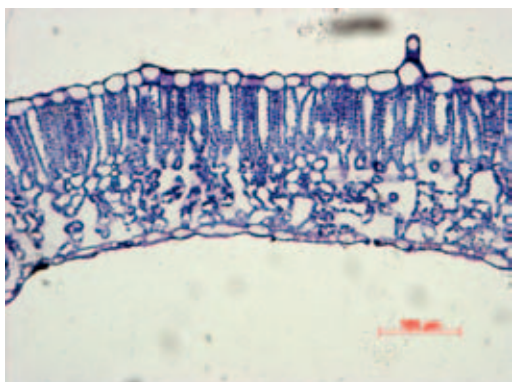
Een ander aspect van afstand is de bladdikte en de bladstructuur. De verhouding tussen sponsparenchym en palissade parenchym. Op 26 augustus zijn daarvoor bladmonsters genomen. Dit is gedaan met een tussentijd van 2 uur vanaf 's morgens 8 uur tot 's middags 16 uur. De oudere bladeren onderin het gewas zijn dikker dan de bladeren bovenin de kas, wat te verwachten is. Voor de dikte van het palissade en sponsparenchym worden voor beide behandelingen duidelijke verschillen gevonden die zich vooral uiten in de verhouding van de dikte van beide lagen.

Tabel 5. Dikte van palissade en sponsparenchym afhankelijk van de CO₂ dosering.

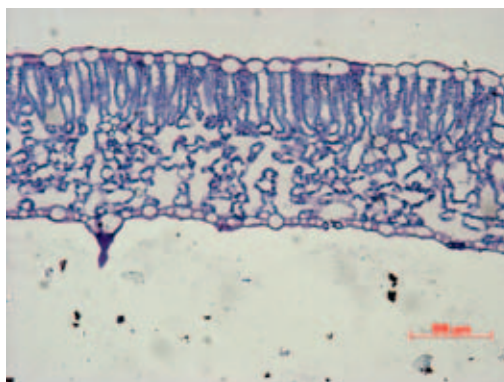
Behandeling	Plaats	Palissade parenchym	Spons parenchym	Mesofyll	Ratio Palissade/ Spons
Gelimiteerd	Boven	66	96	162	0.70
	Onder	122	163	285	0.78
Normaal	Boven	76	90	166	0.86
	Onder	129	149	278	0.89

Een kleinere laag palissade parenchym ten opzichte van het sponsparenchym laat zien dat het gewas zich in dit opzicht aan de CO₂ concentratie kan aanpassen. Dit komt overeen met de resultaten van de destructieve metingen, waarin het specifiek oppervlak tussen de behandelingen een klein verschil liet zien (Bladoppervlak en drogestof metingen 5.2).

Aan de betekenis van dergelijke verschillen in bladstructuur worden in een vervolg onderzoek nader aandacht besteed.



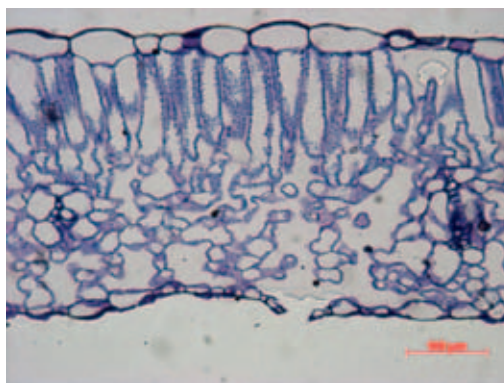
Normaal hoog



Gelimiteerd hoog



Normaal laag



Gelimiteerd laag

Figuur 23. Voorbeelden van de bladdikte en structuur in bladmonsters van 26 augustus.

5.9 Houdbaarheid

Voor de bepaling van de houdbaarheid zijn 7 keer van beide afdelingen vruchten in de standaard bewaarproef gezet bij Wageningen UR. De bewaarbaarheid van de vruchten is in het algemeen goed zonder verschil tussen de behandelingen. De vruchten van de eerste oogst 7 april en van 20 juli zijn korter te bewaren dan die van de overige dagen. Bij 20 juli was er sprake van vruchten met enige kleine zwelscheurtjes, deze worden eerder slap. Van de eerste oogst is geen duidelijk reden voor slap worden genoteerd. Over alle bewaarproeven heen is in de gelimiteerde afdeling geen enkele vrucht afgeschreven als verrot. Bij de normale afdeling werden bij de proeven in mei tot en met augustus er een of twee vruchten afgeschreven als rot.

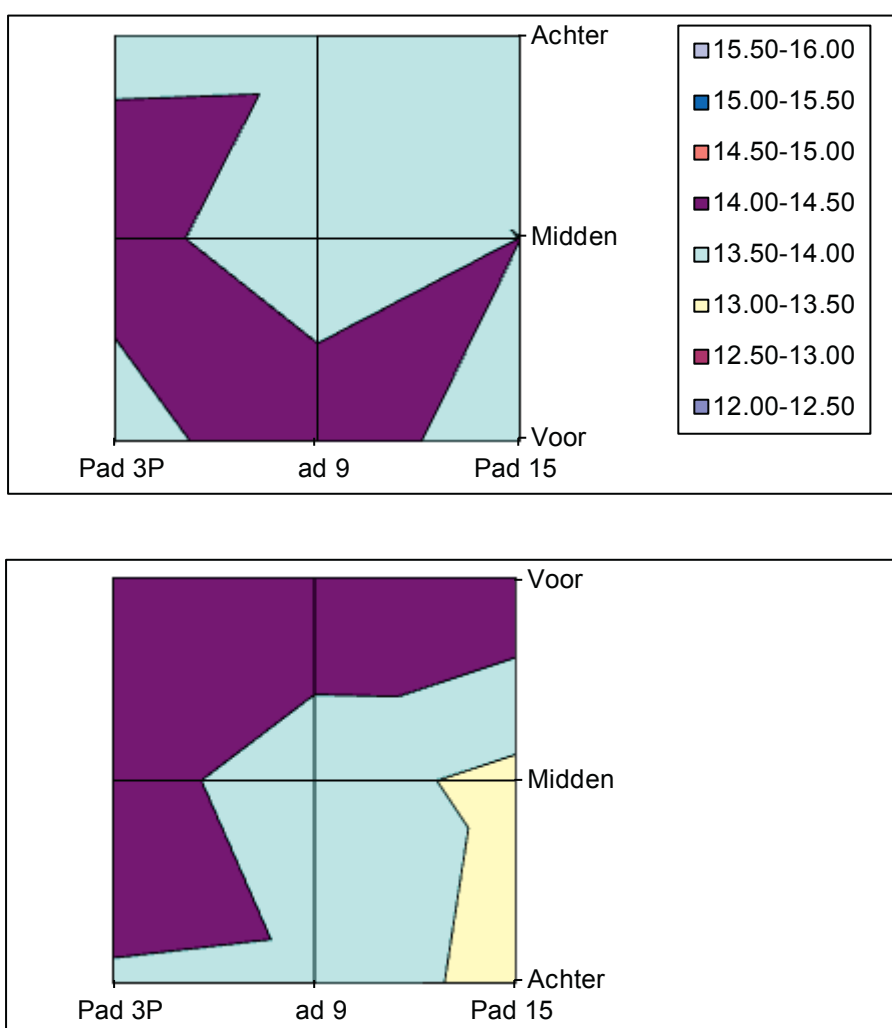
Tabel 6. Gemiddelde houdbaarheid voor 7 oogstdagen verspreid over de teelt.

Oogst datum	7-apr	9-mei	22-jun	20-jul	10-aug	20-sep	18-okt
Gelimiteerd	10.6	15.9	18.3	11.6	14.8	18.1	14.9
Normaal	12.8	16.4	17.1	11.6	13.8	18.4	15.1

De houdbaarheid verschilt dus niet als gevolg van de verschillende doseer strategie.

5.10 Temperatuurverdeling

De temperatuur verdeling is een aandachts punt bij het nieuwe telen. Uit de geregisteerde waarden met de Wysensis sensoren, blijkt dat vooral in de winter de temperatuur bij de gevels lager is geweest dan in het midden en bij de tussen wanden naar de andere afdelingen. Dit heeft te maken met de wijze van verwarming en gebruik van de gevelschermen. Als de groeibuis wordt gebruikt als verwarming is er aan de gevel minder vermogen beschikbaar, dan als het buisrail net wordt gebruikt. Dit verschil in temperatuur verdeling is later in de teelt veel kleiner. Voor de interpretatie van het CO₂ effect is dit verschil verder niet gebruikt. Het voorbeeld in Figuur 24. illustreert wel de noodzaak van een goede gevel verwarming in gevel schermregeling bij toepassing van het nieuwe telen.



Figuur 24. Voorbeeld van temperatuur verdeling in beide afdeling in de maand januari gemiddeld van 19 uur tot middernacht.

5.11 Gewasweging

Met de weegbalk van de PRODRAIN is continu het gewicht van 16 stengels gemeten. De resultaten daarvan tonen dat het gewas bij de normale dosering veelal zwaarder was dan van de gelimiteerde afdeling. Opmerkelijk is dat de sterkste toename in gewicht is in de periode tot half mei en niet in de periode juni-juli. De metingen van de prodrain laten door verstoringen van de wegingen regelmatig grote afwijkende waarden zien. Hierdoor ontbreken in de figuur gegevens van meerdere dagen. Het beeld van de gewasweging past bij het beeld van de andere waarnemingen; in de normale afdeling is het gewas zwaarder.



Figuur 25. Verloop van de groei in kg/m² per dag voor gelimiteerde CO₂ doseren en normaal CO₂ doseren.

5.12 Nutriënten opname

Er is een berekening gemaakt van de nutriënten opname.

Uitgangspunten voor de berekening zijn:

- Voor de samenstelling van de gift is het recept gemaakt in de mest-unit en een 30 procent aandeel van drainwater indien aanwezig. Vervolgens is deze waarde gecorrigeerd naar de EC gift zoals die in de klimaatcomputer wordt geregistreerd.
- Voor de samenstelling van het drainwater is de analyse van het mat water gebruikt. Zodra er drain wordt verwezenlijkt is uitgegaan van een behaald percentage van de gift geregistreerd in de klimaatcomputer. Dit alles gecorrigeerd op de geregistreerde EC drain.
- De verdamping is berekend door de gift in liters per vierkante meter te verminderen met de gerealiseerde hoeveelheid drainwater in liters per vierkante meter.

Alle element gegevens die in concentratie zijn weergegeven, worden omgerekend naar oppervlakte, door de concentratie maal het aantal liters om te rekenen via de mol massa's naar kilogrammen per hectare met de volgende resultaten:

Kationen:

	NH₄	K	Na	Ca	Mg
Gelimiteerd	42	2312	-4	1687	365
Normaal	23	2458	22	1615	350

Anionen:

	NO₃	Cl	SO₄	P	N totaal
Gelimiteerd	1625	664	489	398	1667
Normaal	1619	653	491	380	1642

Uitgaande van een gelijke oogst en deze benadering voor het bepalen van de gewasopname kan worden geconcludeerd dat er nagenoeg geen verschillen zijn geweest in de opname van voedingselementen tussen de twee afdelingen.

6 Conclusies en aanbevelingen

De productie van tomaat met een beperkte dosering van CO₂ blijkt heel goed mogelijk. Een verschil van 50% in dosering resulteerde in slechts een gering verschil in productie van 1 kg/m².

De dosering blijkt lager dan vooraf was geraamd.

Als oorzaken voor dit geringe verschil in productie en dosering worden in dit rapport een groot aantal punten besproken:

- Hogere CO₂ buitenwaarden dan in het verleden, waardoor de ventilatie verliezen van CO₂ geringer zijn.
- Bij de verschillende manieren van CO₂ doseren ontstond bij de gelimiteerd afdeling een gelijkere verdeling van de CO₂ door de ruimte zonder pieken. Bij de normale CO₂ dosering was de CO₂ concentratie onderin het gewas verhoogd en vertoonde meer pieken. – De situatie in de praktijk voor de CO₂ dosering komt wat betreft de verdeling in de kas het meest overeen met de werkwijze toegepast voor gelimiteerd CO₂ doseren.
- Aanpassing van de plant aan de CO₂ concentratie. Deze aanpassingen zijn gemeten in aantal huidmondjes en bladstructuur.
- De aanpassing in aantal huidmondjes wordt mogelijk in gang gezet door de hoge hogere CO₂ concentratie rond de oudere bladeren.
- De fotosynthese daalt het sterkst als de CO₂ concentratie in het blad – in de intercellulaire ruimtes- daalt onder de 300 ppm. Als hypothese is geformuleerd dat dit zich kan voordoen als bij veel instraling een deel van de huidmondjes toch tijdelijk sluit. Deze hypothese vraagt nader onderzoek.
- Het weer in 2011 was zoals elk jaar uniek. Het is niet mogelijk om een uitspraak te doen over de vraag of de sombere zomer gunstig was voor de afdeling met gelimiteerd CO₂.

Het is op basis van dit onderzoek niet mogelijk om een uitspraak te doen over het belang van elk van deze factoren voor de verklaring van het productie verschil.

- De berekeningen zoals gedaan met het eenvoudige fotosynthese model dat gebruikt is voor de CO₂ optimizer blijkt niet geschikt om scenario berekeningen te kunnen doen.
- De temperatuur gevoeligheid voor uitgroei van de vruchten van Komeett is sterker dan die van Cappricia. Dit heeft gevolgen voor scenario berekeningen om vroege productie te voorspellen. Komeett zal op temperatuur verhoging sterker reageren met een vroegere productie en sterkere stijging van de assimilaten vraag.
- De houdbaarheid verschilde niet voor vruchten uit beide CO₂ behandelingen.
- De plantbelasting is bij de normale CO₂ dosering in het begin hoog geweest. Daardoor kwam de teelt moeilijker in balans en werd er meer afval geknipt.

Aanbevelingen

- De dosering van CO₂ moet meer licht afhankelijk worden gedaan. Bij weinig licht is een concentratie van CO₂ in de kas van 600 ppm ruim voldoende. Als er veel licht is moet gestuurd worden naar een goede balans tussen verlies via ventilatie en opname in de plant. Handhaven van een concentratie iets boven de buitenwaarde rond de 450 ppm is dan voldoende.
- Gebaseerd op vastgelegde CO₂ per uur zou een strategie met de volgende instellingen moeten volstaan.

Stralings grens in W/m ²	Dosering in kg/ha.uur
0	40
200	40
350	65
500	85
650	100
800	110

- Een CO₂ concentratie in de kas boven de 800 ppm voegt weinig toe aan de productie van een gewas.
- De apparatuur voor meting van de CO₂ concentratie in de kas moet aan hoge eisen van betrouwbaarheid voldoen.
- Het is niet nodig om pas als de CO₂ concentratie in de morgen sterk is gedaald CO₂ te gaan doseren.
- De aanpassing van de structuur van het blad en de functionaliteit van huidmondjes in relatie tot groei moet verder worden onderzocht.
- Voor scenario studies moeten geavanceerde modellen worden gebruikt, waarbij de resultaten worden besproken met gewasdeskundigen. Uiteindelijk zal een experiment de juistheid van de uitkomsten uitwijzen
- Bij alle experimenten en modelberekeningen moet rekening worden gehouden met verschillen tussen cultivars. Dit experiment is uitgevoerd met Komeett die voor uitgroeiduur een duidelijk andere gevoeligheid voor temperatuur heeft dan Cappricia. Een belangrijke vraag is dan of voor fotosynthese en opname van CO₂ cultivar verschillen zijn. Dit is op basis van dit onderzoek niet te zeggen. Wel kan in het algemeen worden gesteld voor optimalisatie van de teelt de specifieke eigenschappen van een ras belangrijk zijn. Voor de algemene principes zoals opname van CO₂ en fotosynthese zullen reacties in de zelfde richting gaan. Wel kunnen er verschillen in mate van reactie voorkomen. Ter illustratie zowel Komeett als Cappricia rijpt sneller af bij hogere temperatuur, maar Komeett reageert sterker op een temperatuur verandering.

7 Literatuur

Dieleman, J.A., en Zwart, H.F. de, (2004).

Optimaal besturen van temperatuur en CO₂ op basis van fotosynthese en energie. Wageningen : Plant Research International, (Nota / Plant Research International 323) (PT 11291)

Dieleman, J.A., Gelder, A. de, Eveleens, B.A., Elings, A., Janse, J., Lagas, P., Qian, T., Steenhuizen, J.W. en Meinen, E., (2009). Tomaten telen in een geconditioneerde kas: groei, productie en onderliggende processen. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Nota / Wageningen UR Glastuinbouw 633)

Dieleman, J.A., Zwinkels, J., De Gelder, A., Kuiper, I., De Zwart, F., Van Dijk, C. en Dueck, T., (2007).

CO₂ bij paprika: meerwaarde en beperkingen. Nota 494, Wageningen UR Glastuinbouw, 74 pp.

Elings, A., Meinen, E., Campen, J.B., Stanghellini, C. en Gelder, A. de, (2007).

The photosynthesis response of tomato to air circulation Acta Horticulturae 761 . - p. 77 - 84.

Esmeijer, M. (1999).

CO₂ in de Glastuinbouw. Proefstation voor de Bloemisterij en Glasgroente. 128 pp.

Gelder, A. de, Campen, J.B., Elings, A., Stanghellini, C. en Meinen, E., (2006).

Luchtcirculatie en productie: Resultaten kasexperiment 2005,

vervolg op deskstudie en klimaatkamer experimenten Naaldwijk : Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. Glastuinbouw, (Rapporten PPO 41616052.2)

Heij, G. en Schapendonk, A.H.C.M., (1984).

CO₂ depletion in greenhouses. Acta Hort.148:351-358

Koning, A.N.M. de, (1994)

Development and dry matter distribution in glasshouse tomato : a quantitative approach. Wageningen UR Proefschrift.

Snel, J.F.H. en Dieleman, J.A., (2009).

Naar een verbetering van de CO₂ efficiëntie van glastuinbouwgewassen. Wageningen UR Glastuinbouw, (Nota / Wageningen UR Glastuinbouw 646) (PT 12037)

Swinkels, G.L.A.M. en Zwart, H.F. de, (2002).

Optimaal gebruik van CO₂ in de glasgroenteteelt, Wageningen, (IMAG Nota:P 2002-68) (PT 10930)

Telgen, H.J. van, Voogt, J.O., Warmenhoven, M. en Weel, P.A. van, (2009).

Huidmondjesopening. Wageningen UR Glastuinbouw. Rapport 266

Trouwborst, G., Pot, S.C., Schapendonk, A.H.C.M. en Fanourakis, D., (2010).

Huidmondjes in ontwikkeling: Invloed van omgevingsfactoren op de huidmondjesanatomie van bladeren, een literatuurstudie. Plant Dynamics B.V.; Wageningen University, Horticultural Supply Chains Group, Wageningen, p. 29.

Zwart, H.F. de (2004).

Praktijkmetingen aan optimalisatie van zuivere CO₂-doseringen. Agrotechnology & Food Sciences Group, (Rapport 311) (PT 11460)

Bijlage I Teeltstrategie bij Gelimiteerde CO₂ dosering.

Ras	: Komeett
Onderstam	: Maxifort
Planttype	: 2 koppen per plant
Plantdatum	: 15 december
Plantdichtheid	: 1.9 planten per m ²
Extra stengel	: week 6 alle planten verdubbelen = 3.8 planten/m ²
Trossnoei	: 4/5 vruchten per tros

Schermen : 3- XLS 18, XLS 10 en AC folie

AC- Folie blijft gehandhaafd tot eind februari.

Strategie om met minimaal CO₂ te telen.

Gedurende het jaar zullen steeds keuzes moeten worden gemaakt voor o.a.

- Verwarmings temperatuur
- Ventilatie temperatuur en P band regeling in combinatie met een ventilatie strategie om het na te streven CO₂ zo hoog mogelijk te houden binnen de grenzen van de teeltmogelijkheden.
- Buis volgorde en begrenzing
- Scherm voorwaarden
- CO₂ doseerstrategie gebaseerd op te realiseren CO₂ concentratie gegeven beperkte CO₂ doserings capaciteit

Periode: Vanaf planten tot eind februari

Situatie: Folie dicht, schermen maximaal benutten voor energie besparing.

De maximale globale straling loopt op van 250 tot 600 W/m²

CO₂ is gelimiteerd op beschikbare CO₂ uit WKK en ketel van maximaal 75 kg/(ha.uur).

Als 5 m³/(m².uur) wordt ontvochtigd is het CO₂ verlies bij een verschil in concentratie van (1000-400)=600 ppm 5.5 g/(m².uur) Als de opname door de planten bij dit verlies groter is van 2 g/m².uur kan een tekort aan CO₂ ontstaan. Dit komt vrijwel nooit voor in de winter.

In 2010 is de ontvochtiging in januari niet aan geweest en in februari rond een maximum van 60% van de capaciteit en dan is het CO₂ verlies slechts 3.3 g/(m².uur). Daarbij vaak met een aan/uit regel gedrag.

Omdat nog weinig wordt geventileerd zal CO₂ dosering met 75 kg/(ha.uur) tijdens de dagperiode geen probleem moeten opleveren om het CO₂ niveau in de kas op 1000 ppm te houden. Wel moet ervoor gewaakt worden dat de CO₂ meting en dosering goed verlopen om een goede verdeling van de CO₂ in de afdeling te krijgen, zonder hoge pieken in concentratie. De nivolorator bevordert de goede verdeling van de CO₂ in de kas.

De ruimte die we teeltkundig verder nog hebben is het CO₂ verloop dat we willen hebben over de dag: de periode en het niveau dat we handhaven.

De belangrijkste limiterende factor in deze periode is licht. Verhoging van het CO₂ niveau heeft tot 100 W/m² globale straling een relatief geringer effect dan bij een licht niveau boven de 200 W/m². Bij weinig licht mag daarom een lager CO₂ niveau worden gehandhaafd van rond de 600 ppm bij 200 W/m² straling moet een CO₂ niveau van 1000 ppm worden gerealiseerd. Dit betekent dat vanaf zon-op tot 600 ppm wordt gedoseerd en dit niveau licht afhankelijk wordt verhoogd tot 1000 ppm bij 200 W/m². Een half uur voor zon-onder wordt gestopt met doseren.

Periode maart

Situatie : Het folie is eruit. Overdag kan de zon behoorlijk doorkomen tot 800 W/m^2 en er wordt begonnen met luchten om de temperatuur overdag niet te veel te laten oplopen. De nachten zijn nog koel, dus kan de nacht temperatuur redelijk laag komen.

De ontvochtiging staat veel aan en regelt ook op maximaal vermogen. CO_2 is gelimiteerd op maximaal 75 kg/(ha/uur) . De WKK maakt nog voldoende uren. Alle warmte kan nog worden benut voor verwarming.

Bij 500 W/m^2 globale straling kan de plant ongeveer $4 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{uur}$ vastleggen voor groei. De dosering van $7.5 \text{ gr/(m}^2 \cdot \text{uur)}$ gaat dan al grotendeels naar de plant. Gebruik van luchtramen kan al snel leiden tot een lagere concentratie dan in het systeem van niet gelimiteerd doseren.

De strategie van beperkt doseren bij lage lichtniveaus blijft gehandhaafd.

Opwarmen van de kas van nacht naar dag temperatuur moet geleidelijk verlopen om condensatie te voorkomen. Bij het nieuwe telen wordt dat gedaan door het oplopen van de temperatuur met de zon te beheersen door iets te luchten als dit nodig is. Omdat je dan ook CO_2 verliest moet het CO_2 doseren niet te snel naar hoge waarden gaan. De CO_2 dosering wordt daarom tot 12 uur beperkt tot een niveau van 700 ppm. Daarna wordt tot 1000 ppm gedoseerd waarbij op basis van licht : $<200 \text{ W/m}^2 =$ omlaag tot 600 ppm of op tijd : half uur voor zon-onder = uit de strategie aangepast wordt.

In maart groeit het gewas snel naar een volgroeid en producerend gewas. De etmaal temperatuur kan nog wel zodanig worden gestuurd dat de gewenste etmaal temperatuur gelet op de plant ontwikkeling gerealiseerd kan worden. Er hoeft nog niet ingegrepen te worden in de plantontwikkeling door blad of tros wegnemen om de plant in balans te houden. Blad wegnemen in het vroege voorjaar is als maatregel beschikbaar, dit als een generatieve sturing die misschien nodig is voor de juiste balans.

Aandacht punt is de snelheid van afrijpen van de eerste vruchten. Door de groeibuis lager in de plant te kunnen gebruiken en als primair net te hanteren moet de vruchtontwikkeling voldoende snelheid kunnen krijgen.

Periode April/mei

Situatie: Licht is er volop. Buiten is het nog fris en bij oostenwind ook nog wel eens droog weer.

Al kan er ook een zeer warme periode in voorkomen. Maar ook zeer sombere koele dagen Dat maakt het beschrijven van een algemene lijn voor deze periode lastig.

De plant is volledig in productie en zwaar belast.

De beschikbare CO_2 uit WKK is 75 kg/ha uur gedurende plateau uren. De warmte wordt volledig benut om de virtuele buffer leeg te maken. Dit wordt gedaan door in de morgen op te stoken tot ca. $18 \text{ }^\circ\text{C}$. In de avond/ voornacht wordt de temperatuur voldoende verlaagd om op een gewenst etmaal uit te komen.

Luchting wordt beperkt gehanteerd, waarbij opgelet wordt dat de luchtvochtigheid in de kas niet te snel mag dalen en er geen sterk drogende lucht de kas in komt. Om dat te voorkomen wordt de nivulator ingezet.

De plantontwikkeling is bepalend voor keuzes van vrucht snoei per tros, blad wegnemen of tros wegnemen.

De luchting is bij instraling in de morgen nog maar beperkt nodig, daarom wordt zodra er voldoende licht is CO_2 gedoseerd. De additionele capaciteit van maximaal 100 kg/ha uur wordt ingezet als de lichtintensiteit boven de 400 W/m^2 is omdat dan extra CO_2 een toegevoegde waarde heeft. Dit wordt ook gedaan op warme zonnige dagen. Dan wordt ook de nivulator gebruikt om de luchtstroming in de kas zo maximaal mogelijk te maken.

Als het VD te sterk oploopt ($> 7 \text{ g/m}^3$) wordt begonnen met het inzetten van verneveling om de ventilatie te beperken. Ook daarbij wordt de nivulator ingezet om de vochtverdeling zo goed mogelijk te maken.

Het Setpoint voor het inzetten van de luchtbevochtiging zal van meer factoren afhankelijk moeten zijn dan alleen VD, bv. ook T en instraling moeten worden meegenomen. Verder moet over het etmaal met verschillende periodes en bijbehorende verschillende setpoints worden gewerkt.

Op dagen dat niet wordt gelucht omdat het relatief donker is maar de lichtintensiteit tot nog wel boven de 200 W/m^2 is wordt tot 1000 ppm CO_2 gedoseerd.

De temperatuur lijn is grof weg rond $18 \text{ }^\circ\text{C}$ bij zonop, oplopende lichtafhankelijk tot $26 \text{ }^\circ\text{C}$ rond 15 uur in de middag. Daarna constant op $26 \text{ }^\circ\text{C}$ tot een half uur voor zon-onder. Dan afluchten naar $15 \text{ }^\circ\text{C}$. De schermen gaan dicht $1 \text{ }^\circ\text{C}$ boven de gewenste nachttemperatuur (XLS 10) resp bij gewenste nacht temperatuur (XLS 18) Schermen openen weer op straling: XLS 10 boven 50 W/m^2 of op tijd: XLS 18 bij zon-op of buiten $T 3 \text{ }^\circ\text{C} < \text{stookT}$

Ruim voor het afluchten (ca. 30 minuten) wordt gestopt met CO_2 doseren.

Om de afstand tussen verwarming en kop minimaal te houden en voldoende ruimte boven het gewas te hebben voor een bufferend klimaat wordt de kop het gewas verder bij de draad vandaan gehouden en wordt vaker een ronde gemaakt om het gewas een slag te laten zakken in plaats van wat nu veelal wordt gedaan 2 slagen laten zakken.

Periode Juni-Juli

Situatie: Vol op licht en voldoende warmte. De luchtramen gaan makkelijk open.

De CO_2 dosering uit de WKK is begrensd tot 75 kg/ha uur op plateau uren.

Aanvullende dosering CO_2 met 100 kg/ha uur. Voor optimale inzet moet die worden gegeven als er veel licht is en de luchtramen zo dicht mogelijk zijn. Bij straling tussen 200 en 300 W/m^2 wordt gedoseerd tot 800 ppm . Invloed van de raamstand zorgt voor verlaging van de dosering tot een niveau van 400 ppm CO_2 . De nivulator en de luchtbeweging door de open ramen moeten samen zorgen voor voldoende menging van de lucht.

Als het vochtdeficit van de lucht boven de 7 g/m^2 komt wordt de bevochtiging ingezet in combinatie met de nivulator.

Gewas handelingen in deze periode zonodig blad wegnemen in de kop. Trossnoei tijdig weer van 5 naar 4 brengen omdat na juli de licht hoeveelheid afneemt en de plant anders te zwaar belast blijft.

Te overwegen is om in deze periode boven een stralings niveau van 800 W/m^2 of boven een stralingssom per dag van het XLS 10 doek te gaan sluiten om onder het gesloten doek langer een hoog CO_2 en vochtgehalte te kunnen. Het doek moet dan wel volledig sluiten omdat een niet volledig sluiten geen effect heeft op het CO_2 gehalte. Sluiten boven een stralingsniveau is vergelijkbaar met Gerbera die volop schermt in de zomer.

Periode Augustus-Einde teelt

Situatie : Het gewas is vol in productie. De lichtintensiteit neemt af. Half september wordt de kop uit het gewas gehaald. De laatste trossen worden op 5 gesnoeid. De temperatuur wordt zo laag mogelijk gehouden door zo koel mogelijk te gaan in de nacht.

Voor de vochtbeheersing wordt de ontvochtiging gebruikt met als back-up de inzet van de groeibuis. Er wordt niet meer met de verneveling gewerkt want het wordt vrijwel niet meer te droog in de kas.

De schermen worden in de nacht weer gebruikt op basis van verschil binnen- buiten en op uitstraling.

CO_2 is alleen nog maar beschikbaar uit WKK en ketel met maximaal 75 kg/ha uur op plateau uren. Vanaf begin augustus wordt tot het verwijderen van de kop niet aanvullend gedoseerd. Daarna weer tot begin november opnieuw aanvullend CO_2 doseren om de laatste vruchten zo zwaar mogelijk te laten worden.

De beperking van de CO₂ dosering in augustus betekent dat in die periode de plantbalans gestuurd moet worden door bewuste snoei in het aantal trossen of vruchten per tros. Een assimilaten te kort maakt de plant namelijk ook vatbaarder voor botrytis.

Bij het blad plukken moet er wel voor gezorgd worden dat voldoende LAI wordt gehandhaafd. De praktijk is dat tot boven de te oogsten tros blad wordt geplukt, maar voor voldoende lichtonderschepping zou onderin het gewas extra blad aan gehouden moeten worden. Dit kan door bijvoorbeeld een blad onder de tros toch te laten zitten en een blad vlak boven de tros wel mee te nemen. Hierdoor krijgt de tros wel voldoende licht maar wordt meer licht onderschept.

Een optimale LAI ligt rond de 3 m² blad/m² kas. Vermindering van LAI betekent anderzijds ook minder vocht productie in de nacht wat voor de vocht beheersing beter is.

De LAI van drie is een grof gemiddelde voor het gehele jaar. Bij Green Q adviseren we de LAI te laten fluctueren door het jaar, afhankelijk van de hoeveelheid instraling. Dus in het voorjaar snel naar 3 werken, in de zomer 3-4, in het najaar terug naar 2-3. Vanaf eind augustus gaan we langzaam terug naar een LAI van 1.5, dat betekent 4 tot 6 bladeren per stengel aanhouden. De bladoppervlakte per blad in het najaar wordt steeds groter, dit kost ook veel energie van de plant. Een Komeett is hier niet zo gevoelig voor, maar rassen als Cappricia en Success maken zulke grote bladeren, dat er een negatieve invloed is op de netto fotosynthese bij het aanhouden van meer blad.

In de Integro bestaan instel mogelijkheden op concentratie en hoeveelheid te doseren CO₂.

Bij het IC wordt vooral op concentratie geregeld. De regeling op hoeveelheid per afdeling is veel moeilijker.

Tussen de grenzen van minimale en maximale CO₂ concentratie kan gedoseerd worden waarbij op deze waarden invloeden mogelijk zijn van

- Straling of in de kas gemeten PAR
- Windsnelheid
- Raamstand
- Temperatuur
- Vocht
- Klimaat

Het is mogelijk om een extern berekende waarde via een extra invloed mee te geven.

Voor gelimiteerd CO₂ doseren is vooral het gebruik van de stralingsinvloed belangrijk om meer CO₂ te geven bij hogere intensiteit en deze weer te verlagen door de invloed van de raamstand.

De invloed van de raamstand op de CO₂ concentratie in de kaslucht bij doseren is vrij groot.

In het traject van 0 tot 25% raamstand op de luwe zijde neemt de CO₂ concentratie gemiddeld af van 1000 naar 500 ppm. De afname is in de zomer iets sterker dan in de winter en de herfst, mogelijk door de extra opname door het gewas. Uitgaande van een concentratie van 1000 ppm bij geen ventilatie is in het traject van 0 tot 5% raamstand de daling in concentratie ongeveer 75 ppm tot 15% raamstand komt daar nog zo'n 150 ppm bij.

Belangrijker dan de daling in PPM is het verlies aan CO₂ door de toenemende ventilatievoud. Boven de 5% raamstand neemt die snel toe, vandaar ook de sterkere daling in concentratie. Voor de hoeveelheid te doseren CO₂ is dan de lichtintensiteit belangrijk. In de zomer is daardoor de concentratie bij 15% raamstand ook lager dan in het voorjaar.

Volgens de model berekeningen is het verstandig om bij veel ventilatie de aanvullende CO₂ te doseren bij hoge lichtintensiteit.

Bijlage II Teeltbeoordeling

In de bezoeksrapporten van GreenQ en in de aanvullende verslagen van de wekelijkse begeleiding en de maandelijkse begeleiding commissie onderzoek zijn opmerkingen over de stand van het gewas of discussie punten genoteerd. In deze bijlage wordt een selectie hieruit chronologisch weergegeven om een beeld te schetsen van het verloop van de teelt en de gesprekken daarom heen. Als de ontwikkeling normaal is verlopen is dit niet in dit overzicht opgenomen.

23 december 2010

Bij de start een gezonde, wat schrale plant. Een week na planten komt de eerste tros *et al.* wat uit. Telen met meer DIF en een iets lager etmaal, ook gezien het lage te verwachten licht.

De verwarming in afdeling 7- normaal - heeft een iets hogere gemiddelde buis nodig dan afdeling 6 – gelimiteerd-gedeeltelijk is dit te verklaren door een koudere gevel van de buurafdeling, en voor de rest door de koudere buitengevel op het Noordwesten.

6 januari 2011

De plant staat in evenwicht. Zeker niet te sterk, maar wel wat licht van kleur. 's Middags om 16 uur was hij net niet voldoende op kleur. Daarom hebben we nu de groeibuis in de middag verhoogd naar de vijftig graden.

Hoe zit dat nu met de aanmaak van het aantal huidmondjes in een blad? Daar is weinig literatuur over. Algemeen aangenomen wordt dat een fluctuatie in het CO₂ niveau over het etmaal ervoor zorgt dat er meer huidmondjes worden aangemaakt dan dat het niveau de hele dag hoog is. Vandaar dat het goed is 's morgens de plant eerst de CO₂ concentratie wat te laten dalen voordat je start met doseren.

26 januari

De bloemen komen niet spontaan open en verschillen sterk in ontwikkeling op de tros. De mening is dat de grote DIF tussen maximum dag en minimum nacht daar debet aan is. De plant wordt in de nacht te lang stil gezet. Een andere oorzaak kan zijn het onvoldoende beschikbaar hebben van water, zeker nu er meer licht komt. We denken dat aangepaste temperatuur strategie – stralings invloed op de voornacht temperatuur zodat deze na een zonnige dag minder daalt - en watergift – overdag water geven- het probleem voldoende kunnen tegen gaan.

9 februari

Het gewas is door de gekozen strategie van de afgelopen weken, duidelijk beter komen te staan. Mogelijk werkt de folie op heel zonnige dagen eerder iets drukkend op de temperatuur dan verhogend. Hiervoor moet dan naar de temperatuur boven het folie worden gekeken.

Er wordt een dief aangehouden.

23 februari

De stand van het gewas in bij gelimiteerd is als positief beoordeeld. Bij normaal oogt het gewas wat dunner en naar het betonpad toe worden de planten wat generatiever. Om beide afdelingen gelijk te houden is er besloten om de middagpiek in afdeling 7 met een graad te verlagen naar 23°C. Dat er is gewacht met het verwijderen van het folie werd gezien de kou van de laatste dagen positief beoordeeld, maar morgen (24-2-2011) moet het er wel uit nu er zachter weer wordt voorspeld.

Vanuit de BCO worden er vraagtekens gezet bij het ingezette snoeibeleid. Graag wil de BCO uitleg waarom er op vier moet worden gesnoeid en niet op vijf. Er wordt gesteld dat op vijf gesnoeide trossen mooier ogen (optische kwaliteit is beter) en geliefder zouden zijn in de handel. Het zou ook meer conform de praktijk zijn als er op vijf zou worden gesnoeid. Dus met op vier snoeien zouden we van de praktijk afwijken en dat kan ook weer vragen en opmerkingen oproepen bij de proef.

We moeten oppassen dat we niet alleen kilo's willen knallen, maar ook een kwalitatief uitstekend product produceren!

2 maart

De discussie over snoeibeleid keert terug.

Belangrijk is om nu goede regelmaat in de plantbelasting te krijgen, want steeds te sterk corrigeren levert een onregelmatigheid op die zich later in een lastige teelt vertaalt. Je blijft corrigeren.

De CO₂ meting in afdeling 7 bleek te hoog aan te geven. De meetbox is vervangen en nu wel een goed resultaat.

15 maart

In de kas discussiëren we nogmaals over de snoeistrategie. We gaan de komende trossen op 5 snoeien.

Wel voldoende DIF realiseren, maar niet te lang lage temperatuur die de plant te sterk vertraagd.

Het effect van virus op de generativiteit van het gewas is goed zichtbaar. Wel iets minder dan vorige week.

Het weg halen van een blaadje in de kop zal niet meer wekelijks maar om de week gedaan gaan worden. Bij een afsplitsing van minder dan 1 tros per week kun je ook niet wekelijks een blaadje wegnemen.

23 maart

Na de paar zonnige dagen staat het gewas er goed op. De bloei is hoog in de kop. Regelmatig.

Er wordt geen blaadje uit de kop gehaald. De blaadjes zijn nog te klein om dit weer te doen.

De tros waar dat nog kan wel beugelen. Te korte trosstelen niet beugelen.

De CO₂ dosering is door Van der Sande en Bronkhorst (leverancier van de MFC's) nagekeken en er is een aanpassing gemaakt. Nu zijn de dosering en gerealiseerde niveaus van CO₂ zoals verwacht.

In afdeling 7 waar 200 kg/(ha.uur) direct als zuiver wordt gedoseerd is er een duidelijke CO₂ gradient van onder naar boven meetbaar. Op de zonnige dagen is er ook een verschil tussen de afdelingen in CO₂ bij de kop.

30 maart

Er wordt een duidelijk verschil in stand van het gewas tussen normaal en gelimiteerd CO₂ geconstateerd. In afd 7 een dikkere kop. (is ook te zien in de stengeldikte in het weekrapport).

Wel wordt opgemerkt dat de sterkere kop bij de hogere dosering ook te maken heeft met de achterstand in ontwikkeling van de vruchten die een paar weken geleden was waar te nemen. In afdeling 6 is de assimilaten vraag van de vruchten net iets hoger dan in 7. Dit zal naar verwachting de komende weken snel weg zijn. Daarom wordt er in afdeling 7 niet aangepast naar een hogere etmaal.

Om de CO₂ bij beperkt doseren iets hoger te krijgen wordt nu vooral gekeken naar de temperatuur strategie voor ventilatie. Iets hogere ventilatie temperatuur in de middag en iets lagere stook temperatuur 's nachts. Geen grote veranderingen, want het gewas moet niet uit balans raken. Als teler zou je eigenlijk niets willen veranderen. Voor de proef gaan we nu wel iets extremer om het effect te zien.

We gaan nog niet op licht extra doseren. Eerst goed zien wat de ventilatie strategie doet.

Opgemerkt wordt dat goed is te zien dat de plant veel CO₂ opneemt.

6 april

Het etmaal is in de twee afdelingen onbedoeld verschillend uitgekomen. De ingezette lijn van warmer telen in de middag in afdeling 6 om de CO₂ binnen te houden, en dit in de nacht te compenseren, heeft er toe geleid dat het etmaal uit elkaar is gelopen, maar ook de gewasstand. Merkwaardig genoeg is de gewasstand van afdeling 6 gewenst, die van 7 is te traag bloeiend, terwijl we juist in 6 een andere lijn hebben ingesteld, en 7 ongemoeid hebben gelaten. We gaan nu beide nagenoeg gelijk instellen.

Het energieverbruik is nogal verschillend tussen de afdelingen 6 & 7. We telen in de geest van HNT, maar met de focus op CO₂ limiteren. Het gaat er dus niet om de warmte verbruiken tussen de afdelingen exact gelijk te krijgen. Overigens is het logisch dat een schaduw afdeling meer energie nodig heeft dan een zonzijde afdeling. Het gemiddeld gebruik van afdeling 6 & 7 is cumulatief nu 0.6 m³/m² boven de prognose. Dat is nog gemakkelijk terug te winnen in de komende tijd.

13 april

De stand van het gewas in afd 7 is goed. In afdeling 6 is de kop dunner en de tros wat zwakker. Het snoeibeleid passen we nog niet aan, maar is wel een maatregel die we moeten overwegen als de trossen zwakker blijven. In afd 6 zal dan eerder naar minder vruchten gegaan moeten worden.

Om aan het eind van de dag de CO₂ proberen binnen te houden in afdeling 6 is invloed stralingsom op de ventilatietemperatuur aangepast.

Om niet te hoog uit te komen in temperatuur is in de morgen de ventilatie iets makkelijker gezet. Maar voordat er geventileerd wordt hebben we de CO₂ dosering in de morgen iets vroeger gezet en direct de capaciteit van 75 kg/(ha. uur) bij een lichtintensiteit van 20 W/m² in afdeling 6.

De komende week zal Arie een berekening maken hoe we de extra 10 kg CO₂ op jaarbasis kunnen gaan inzetten. Nu we veel licht hebben en stevig ventileren is het zinvol om de extra CO₂ te kunnen gaan gebruiken.

20 april

Het gewas staat echt mooi vanochtend. Een mooie groeikleur, sterke regelmatige kop en mooie afbloei. De grofheid is mooi, niet te grof. De geoogste kwaliteit is wat zwak, iets zachte waterige plekken in sommige vruchten door virusprint. Het wat ongelijke doorkleuren, gevolg van een wat zwakke zetting versterkt dit nog iets. Omdat nu de afbloei en de regelmaat zo super mooi is, en er bijna kracht over is, blijven we nog even op vijf snoeien. Afdeling 7 is overigens iets zwakker op de afbloei. Dit kan gedeeltelijk een gevolg zijn van het te schrale middagklimaat. Het etmaal is in de twee afdelingen is in beide afdelingen nu mooi gelijk. Het klimaat op het eind van de middag is in afdeling 6 beter, meer groeierig, dan in afdeling 7. Hier werd het VD toen een periode 12, terwijl afdeling 6 juist zakte naar VD 8. Dit laatste is veel beter. In de morgen willen we juist wat gemakkelijker luchten, ook in afdeling 6. De windzijde mag met weinig naloop meelopen als er weinig wind is in de morgen. We besluiten om vanaf nu de additionele capaciteit te gaan inzetten, overdag van 11 tot 18 uur. Hierbij wordt een hoge lichtdrempel gebruikt. Bij rond de 350 Watt/m² gaan we starten met extra dosering inzetten.

Wat betreft het indraaien nog even een aandachtspunt: De grote uitgebroken dieven, (wit)koppen, etc. geven nu een flinke Botrytis plek boven in het gewas. In ieder pad is daar wel iets van te vinden. Zorg dat de indraaier een mes en een potje bij zich heeft om vlakke wonden te maken, en eventueel af te dekken met een wondafdekmiddel.

27 april

Het snoeibeleid van op 5 snoeien wordt nog niet aangepast. Dat moet waarschijnlijk wel over 2 weken, omdat de dan ontwikkelende trossen pas na de langste dag worden geoogst.

In afdeling 7 zijn de bevestigings bouten van een draadboog in de laatste tralie gebroken. Hierdoor is in drie paden grote gewas schade ontstaan. De telers adviseren om het gewas in deze paden volledig op te ruimen.

11 mei

De afgelopen week was het VD overdag in afdeling 6 overdag 6.1 g/m³ en in afdeling 7 7.6 g/m³.

Het gewas staat er goed bij. De plantbelasting voor een gewas met bijna 4 stengels per m² is hoog. De kop van de plant is spits, maar stengeldikte is uiteindelijk goed.

Gezien de zware plantbelasting, het mindere weer, het optreden van bladpuntjes en bladrandjes is afgelopen maandag in overleg met Arie de Gelder besloten om op 4 te gaan snoeien. Ook Peter Klapwijk heeft begin van deze week dit advies gegeven nadat hij het gewas heeft gezien. Op de bijeenkomst is toch besloten om voorlopig op 5 te blijven snoeien. Vanuit GreenQ consultancy wordt hierbij aangegeven dat het risico op verzwakking van het gewas zeer groot is, aangezien aan het einde van de week regenachtig en kouder weer wordt verwacht.

18 mei

Het gewas staat er in het algemeen goed bij. De kop is iets dunner geworden. De kop van de plant is wat gelig, niet schokkend, maar wel goed om de alert te blijven op de EC in mat. Plaatselijk blijft het 5de bloempje ver achter op de rest, wat uiteindelijk tot groene punten kan leiden. De tros in afdeling 7 is iets sterker met meer bloemen dan in afdeling 6.

Het snoeibeleid is nogmaals besproken. In afdeling 6 is de zwakke 5e bloem de reden om op 4 te snoeien. In afdeling 7 meer de algemene stand van het gewas. Ook de berekening met de GreenScheduler geeft aan dat we de plantbelasting omlaag moeten brengen door op 4 te snoeien. Verwacht wordt dat het gewas daarop zwaarder kan worden, als er onvoldoende herstel van groei is moet er alsnog een tros worden weggenomen in juni.

De conclusie van de begeleidingsgroep is om vanaf deze week al de trossen toch op 4 vruchten te snoeien. Bij het op 5 snoeien bestaat het risico dat uiteindelijk de 5de vrucht als nakomertje toch moet worden weggeknipt, en we maken het gewas er met 5 vruchten niet gemakkelijker op.

De CO₂ meters van WUR (LICOR 840A) zijn vergeleken en geven gemiddeld over een dag een verschil van 13 ppm, als de lucht uit de corridor wordt gemeten. In de nacht was het verschil systematisch 25 ppm, overdag door grotere fluctuaties gemiddeld heel klein.

25 mei

Het gewas staat op zijn tandvlees. Met name afdeling 7 heeft het moeilijk met de hoog opgelopen plantbelasting van de afgelopen periode met veel instraling. Zwakke trossen en bladrandjes, een wat licht gekleurde kop. Nu het iets donkerder is deze weken dan de gemiddelde instraling, hebben de gewassen het daar moeilijk mee.

Duidelijk is dat het snoeibeleid nu echt naar maximaal 4 vruchten moet. Terugkijkend hoeven we geen spijt te hebben dat we 2 weken terug al naar 4 zijn gegaan. De plantbelasting gaat nu ook met de stevige oogsten van vorige week en deze week duidelijk omlaag.

In afdeling 7 moet selectief gesnoeid worden. De vraag is of de bladrandjes die we nu zien voldoende opdrogen of een invalspoort voor Botrytis worden. De ontvochtiging moet daar duidelijk aan bijdragen.

1 juni

De kop in afdeling 7 is wel iets verbeterd, maar staat nog niet spontaan. De kleur is flets geel, de bladrandjes zijn nog niet over. Oorzaak is duidelijk de hoge plantbelasting en relatief hoog etmaal, dus ten opzichte van plantbelasting en licht. We moeten nog even geduld hebben. Binnen twee weken is de plantbelasting voldoende gezakt om weer hergroei te krijgen. In deze afdeling is er heel even teveel aan assimilaten naar de vruchten gegaan, daardoor een verzwakte kop.

Afdeling 6 is al weer voldoende herstelt. De plantbelasting is daar lager geweest, de plant heeft daar nu al van kunnen profiteren. Verder is het etmaal daar lager geweest, voor een gedeelte onbedoeld. We gaan dit nu meer gelijk trekken. Achteraf had de plantbelasting in afdeling 7 eerder omlaag gemoeten. Dit heeft mogelijk te maken met de vruchten die in het begin hoger hingen dan in afdeling 6. Afdeling 7 zit de gewasdraad hoger. Onbalans in het gewas in het begin. Onbalans betekent dat er toen ook momenten zijn geweest dat de assimilaten vraag hoger was dan het aanbod. Een stabiele regelmatige groei blijkt opnieuw het beste voor de gewasontwikkeling. Dat is niet nieuw, maar wordt hier bevestigd.

Opvallend is de hogere afsplitsing in afdeling 7. Dus de afsplitsingsnelheid lijkt niet alleen door temperatuur, maar ook een gedeelte door CO₂ concentratie beïnvloed te worden.

Er is meer Botrytis gevonden, nauwelijks in afdeling 6, wel met name op de achtergevel in afdeling 7. De oorzaken zijn zwakheid in het gewas, de onbalans van de start van de teelt, en wat onhandig omhangen van de planten in het begin op de achtergevel waardoor knikken in de stam zijn ontstaan. Daar zitten nu de plekken op.

We leren nu goed de verschillen tussen veel CO₂ of gelimiteerd CO₂ doseren. Gelimiteerd doseren is heel iets anders dan gewoon de kraan half dicht zetten. Welk moment van de dag hoeveel doseren en de raamstand invloed meenemen, maken dat we de gedoseerde CO₂ zeer goed benutten.

Vandaag zien dat met minder CO₂ doseren er een heel mooie afdeling tomaten staat te groeien met een goede productiepotentie.

8 juni

afd 6 staat iets zwakker in de kop en zeker de tros is zwakker minder bloemknopjes dan in afd 7.
Check de hommels afd 7 hier staan veel bloemen open.

22 juni

Aandachts punt is dat er nu wel wat gescheurde vruchten zijn. De laatste trossen met 5 vruchten worden de komende week geoogst. Duidelijk is dat daar wat meer groene vruchten aan de punt zitten, terwijl de eerste vruchten rijp zijn. We discussiëren over de vraag of we net als sommige telers in de praktijk niet moeten gaan clippen. Voordeel minder kans op slappe kop bij scherp weer, nadeel een meer vegetatieve groei. We kiezen er nu voor om gewoon te blijven draaien zoals we steeds hebben gedaan. Clippen is een maatregel die niet algemeen praktijk is.

29 juni

Het aandachtspunt van vorige week clippen of niet wordt nu duidelijk beantwoord met niet clippen. De hete dag gisteren is niet te zien aan het gewas. Ook de zetting lijkt daar nog niet onder geleden te hebben.

De plant in afdeling 6&7 staat mooi in balans, wel dun maar meer met voldoende troskracht en inhoud. Kleur in Afdeling 7 is zoals meestal knap lichter. Hij bloeit hier iets hoger, de tros is iets sterker, maar het gewas is wel iets ongelijker. Opvallend dat er twee mooie afdelingen staan te groene met bijna vergelijkbare prestaties, echter wel met de helft lagere CO₂ dosering!

6 juli

We zien aan de cumulatieve CO₂ verbruiken, dat we in afdeling 7 minder CO₂ gebruiken dan geprognosticeerd. Dus in afdeling 7 zal op jaarbasis veel minder gaan dan de 64 kilo die was begroot. We komen daarom nu aan een CO₂ reductie van 40% in plaats van de beoogde 50% tussen de twee afdelingen. Dit opgeteld bij het feit dat de verschillen tussen de afdelingen niet groot zijn (redelijk gelijke gewasopbouw, en 1,5 kg/m² productieverval), heeft ons als weekgroep doen besluiten dat we het verschil in doseerhoeveelheid gaan vergroten. Uiteraard binnen de beschreven doelstellingen van de proef. We gaan nu in afd. 7 de dosering verhogen van 200 naar 235 kg/ha/uur. In afdeling 6 gaan we van 75 kilo ('s morgens) en 150 overdag, naar 75 kilo 's morgens en 115 kilo overdag. We willen hiermee het cumulatieve verschil gaan sturen richting 50%. Het zou ook leerzaam zijn als daardoor de zichtbare en meetbare verschillen tussen de afdelingen groter worden. Die gaan we dan uiteraard weer met andere klimaatparameters proberen te optimaliseren.

13 juli

Het gewas in de afdelingen staat zwaar beladen, met een daardoor wat stugge, wat dunne stand van het gewas met kortere bladen. De troskracht is nog niet groot, zelfs de 4e bloem is vaak wat achter op de eerste drie in de tros. Afdeling 7 staat scherper dan afdeling 6. Het staat op de grens. Staat goed op de vrucht. Dit is voor afdeling 6 positiever dan verwacht, hier was de verwachting dat dit gewas meer vegetatief zou weggroeien. Kan er voorzichtig de conclusie worden getrokken dat CO₂ niet nodig is om generatief te sturen?

20 juli

Afdeling 6 was net gedraaid, maar toonde net iets zwakker dan vorige week. Met name de troskracht is onvoldoende. Afdeling 7 staat iets krachtiger dan vorige week, ook de troskracht is hier verbeterd. Voor de rest staat er in beide afdelingen een mooi sterk gezond gewas, met een mooie harde bladkleur en goed generatief.

27 juli

De dikte van de kop in afdeling 6 is matig. De eerste 50 cm vanaf de top van de plant is dun en zal waarschijnlijk niet veel dikker worden onder deze weersomstandigheden. De trossterkte neem wel toe in afdeling 6 alhoewel hij minder sterk is dan in afdeling 7.

10 augustus

Afdeling 6 toont vanaf de kar gezien mooi, kleur goed, troskracht beter, op vier snoeien is goed mogelijk. Vorige week werd erg getwijfeld aan de kracht van de vierde bloem, dit is nu een regelmatige tros geworden. Verder is de bladrand gestopt. Onder vandaan gezien hangt er niet veel te oogsten product klaar. Dit in tegenstelling met afdeling 7, waar wel drie trossen klaar hangen met redelijker grofheid. Hier is de bladrand nog iets langer doorgedaan in de kop, en de troskracht is minder. De tros staat wat omhoog te steken, de bloei zit erg hoog.

Wortels zijn goed. Er vliegen veel Macrolophus rond, dat is goed om te zien. Botrytis is in afdeling 7 iets meer aanwezig dan in afdeling 6.

Drie weken geleden was de kop erg dun zeker in afd. 6 waardoor er in 6 niet meer geschermd wordt in de ochtend. Het leek er tot vorige week op dat de vierde vrucht aan de tros niet goed door zou groeien, maar dat valt toch mee. In afd. 7 stond tros er vorige week veel sterker op dan nu. Er zijn steektrossen en bloemverdroging. In de ochtend wordt er in afdeling 7 nog geschermd van half vijf tot acht uur. Joost geeft aan dat het schermen de aanwezigheid van de steektrossen verklaard. Gezien de kop en de gewasstand wordt besloten om in afd. 7 het scherm minder snel te gaan gebruiken. Deze wordt ingesteld bij 8 graden.

Er volgt een levendige discussie met verschillende mogelijke nieuwe inzichten, maar vooral vragen. Zo is de vraag of de plant te beïnvloeden is om een hoger aantal huidmondjes aan te leggen door een moment van heel laag CO₂ gehalte in de kas aan te houden, maar hoe vaak etc. dat is niet bekend. Wanneer legt het blad zijn hoeveelheid huidmondjes aan? In afdeling 7 is het blad kleiner en heeft het minder huidmondjes. Zou dat meer bladrandjes tot gevolg hebben, omdat de plant dan minder kan verdampen (in vergelijking met afd. 6)?

Is dit fenomeen ras en gewas afhankelijk? In afd. 6 is het gewas efficiënter bezig. Hoe zou het gewas in afd. 6 reageren als er elke dag 2 uur lang een hoog CO₂ gehalte wordt aangeboden?

24 augustus

Afdeling 6 gelimiteerd CO₂. Groeizaam gewas. Tros niet heel sterk, maar nog wel voldoende

Afdeling 7 normaal CO₂. Iets minder groeizaam gewas. Tros ook niet heel sterk. Opvallend is dat een deel van de bloemen hier niet goed zet, maar aborteert.

31 augustus

De plant in afdeling 6 vertoont al weken een heel mooie regelmaat. Kopdikte, bladlengte, voldoende generatief en een gelijkmatige troskracht, net voldoende om een trosje van vier te kunnen maken. Die regelmaat is in afdeling 7 veel minder aanwezig. En hier is de laatste twee weken een probleem met bloem abortie. Wel zijn er veel Macrolophus wantsen aanwezig. Het lijkt erop dat die de veroorzaker zijn.

7 september

De Macrolophus schade die met name zichtbaar was in afdeling 7 is daar wat verminderd, maar nu ook in lichte mate zichtbaar in afdeling 6.

Botrytis is in afdeling 7 iets meer aanwezig.

De afgelopen vier weken zijn de verschillen tussen de afdelingen niet groter geworden. De producties lopen niet ver uit elkaar. (niet zoals de verwachting vooraf was).

Qua temperatuur was afdeling 7 de laatste weken iets warmer, nu is de temperatuur weer gelijk. In afdeling 7 is het de laatste week knap vochtiger volgens het wekrapport. Herbert gaat de oorzaak hiervan nog na (nakijken van meetgegevens).

De schade door Macrolophus in combinatie met zwakte van de plant wordt in afdeling 7 minder, maar afdeling 6 laat nu ook schade hiervan zien. De schade is in de praktijk ook vooral op de warmere, donkere plekken te vinden. Het voorkomen van de schade begint al bij een goede bloemkwaliteit. Als de bloem goed is, is de kans op Macrolophus schade minder.

Deze zomer is er gemiddeld 13 procent minder licht geweest dan dezelfde periode vorig jaar. Wat heeft dat voor invloed op de resultaten?

Er volgen verschillende vragen en opmerkingen over toediening van CO₂.

- Wanneer wordt CO₂ het meest efficiënt ingezet?
- Hoe moeten we CO₂ toepassen?
- De kwaliteit van CO₂ is ook een belangrijk punt.
- Er heersen veel verschillende strategieën voor het doseren van CO₂ onder de telers.
- Wat is de invloed van teeltsysteem, rassen, onderstammen en plantafstanden?
- Het verschil in huidmondjes heeft bij de leden van de BCO de nodige vragen en interesse gewekt. Hier willen we meer van weten.

14 september

Er is vorige week gekopt en de laatste tros wordt gebeugeld. Met de infectiedruk van Botrytis lijkt het in afdeling 6 mee te vallen. Belangrijk is om ook met donkere dagen niet te koud te gaan zitten en dan toch temperatuur in de kas te brengen. In afdeling 7 zien we wat meer infectiedruk van Botrytis. De laatste tijd zien we tussen beide afdelingen min of meer hetzelfde beeld wat betreft de aantasting van Botrytis, namelijk in afdeling 7 meer aantasting. De ligging van de beide afdelingen ten opzichte van de zon heeft daar duidelijk invloed op gehad en daarbij is afdeling 7 in het nadeel (meer schaduw).

12 oktober

Botrytis is sluimerend aanwezig en komt nu tot uiting in afdeling 7. Hierop moet wel actie ondernomen worden, immers nog 4 weken teelt te gaan. Advies is om in ieder geval de stengels uit elkaar te trekken.

Bijlage III Analyse Fotosynthese

De fotosynthesesnelheid als functie van CO₂ of licht kan gaan verschillen als er aanpassing van de fotosynthesecapaciteit aan de omstandigheden optreedt. Dit zou dan moeten blijken uit verschillen in de parameters die bepaald kunnen worden uit de lichtresponse curve en de CO₂ responsecurve. De metingen daarvoor zijn gedaan met een LiCOR 6400XT met Leaf Chamber fluorometer cuvet op 8 dagen: 10 februari, 16 maart, 14 april, 12 mei, 14 juni, 21 juli, 1 september en 29 september. De lichtresponse is gemeten bij 900 ppm CO₂ in de bladkamer en de CO₂ response bij een lichtintensiteit van 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR. Per meetdag en per behandeling zijn aan 3 net volgroeide bladeren (5^e blad onder de kop) en aan 3 oudere bladeren (5^e blad boven de onderste tros) deze metingen gedaan. Deze metingen geven informatie over de kenmerken van de bladfotosynthese. De metingen zijn willekeurig verdeeld over de dag uitgevoerd, zodat er geen structureel effect van het moment op de dag dat de metingen zijn gedaan in de resultaten doorwerkt.

Interpretatie CO₂ response curve

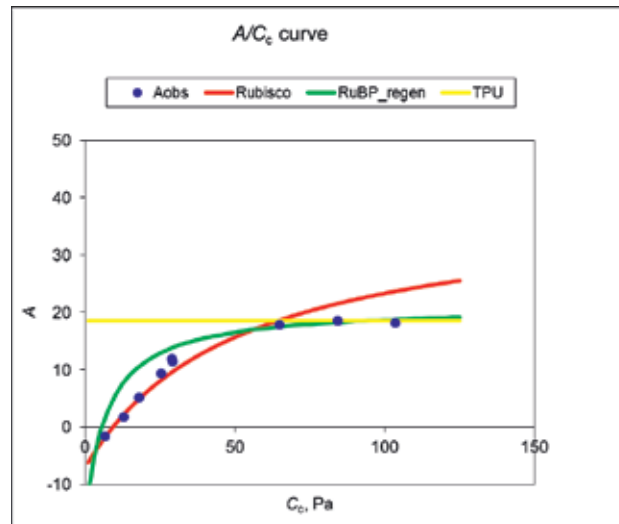
Voordat de resultaten worden besproken volgt hieronder eerst enige toelichting op de CO₂ response curve, in de literatuur vaak genoemd de A/Ci curve

De A/Ci curve is de lijn die de relatie tussen fotosynthese en interne (i) CO₂ concentratie beschrijft. A staat voor de assimilatie ofwel fotosynthese en Ci voor de partiële CO₂ druk in de intercellulaire holtes in het blad. De A/Ci curve wordt bepaald met behulp van de LICOR 6400 door bij een verzadigende lichtintensiteit (1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR) de fotosynthese te meten bij verschillende CO₂ niveaus in de bladkamer. 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR komt ongeveer overeen met 650 W/m² globale straling als de lichttransmissie van een kas 80% is.

Een blad wordt bij de metingen in een bladkamer geklemd. Op basis van de waterdamp productie wordt de stomataire geleidbaarheid afgeleid. Deze wordt omgezet naar geleidbaarheid voor CO₂ en gebruikt in combinatie met de CO₂ concentratie in de bladkamer om de interne CO₂ concentratie te berekenen (Ci). De interne waarde C_i wordt gebruikt om de fotosynthese tegen uit te zetten, om goed het effect van CO₂ los te kunnen analyseren van huidmondjesgedrag. De gegevens van de metingen worden in een procedure, die door Sharkey *et al.* (2007) is beschreven, gebruikt om de parameters van de curves die de fotosynthese response op de CO₂ concentratie beschrijven te schatten. De geschatte parameters zijn V_{cmax}, J, TPU, Rd en Gm. Deze parameters die geschat zijn bij de heersende blad temperatuur worden met correctie voor temperatuur gevoeligheid om gerekend naar waarden bij 25 °C.

- V_{cmax} is de maximale carboxylatie snelheid, en wordt bepaald door de concentratie Rubiscoenzym en de activatietoestand van het enzym.
- J is de snelheid van het lineaire elektronen transport in de lichtreactie van de fotosynthese. De productie van ATP en NADPH (energieverstrekkende moleculen) is afhankelijk van dit electronentransport. Deze moleculen verzorgen de energietoevoer van energiebehoevende reacties . Onder andere het regenereren van ribulose bisfosfaat (RuBP) is afhankelijk van de hoogte van deze waarde en kan een bovengrens vormen voor de fotosynthesesnelheid bij hoog CO₂.
- TPU staat voor triose fosfaat gebruik en geeft een maximale waarde voor de verwerking van primaire producten (triose fosfaat) van de lichtonafhankelijke reacties van fotosynthese. Bij te geringe verwerking van triose fosfaat, kan productlimitatie optreden of andersoortige negatieve feedback. De waarde van triose fosfaat gebruik kan verwijzen naar de snelheid van vorming van suikers, zetmeel, of een transportlimitatie (bijvoorbeeld in het exporteren van suikers naar de vaatbundels, het floëem). In tomaat is deze waarde vrijwel nooit beperkend. Het kan een signaal zijn dat de sink beperkt is.
- Rd staat voor de snelheid van de mitochondriale ademhaling (Respiratie). Mitochondriën zijn organellen in de cel waarin de citroenzuurcyclus plaatsvindt. Hierbij komt CO₂ vrij als eindproduct bij de oxidatie van koolwaterstoffen.
- Gm, de geleidbaarheid van het mesofyl voor CO₂ transport, wordt gebruikt om de concentratie CO₂ in de chloroplasten(Cc), waar de CO₂ vastlegging plaatsvindt, te berekenen. De fotosynthese als functie van de concentratie CO₂ in de chloroplast(Cc) geeft de reactie van de fotosynthese op CO₂ met de minste invloed van transportlimitaties. Bij tomaat in Nederlandse productiekassen is over het algemeen de geleidbaarheid van het mesofyl voor CO₂ zo hoog dat Cc en Ci nagenoeg gelijk zijn. Daarom wordt algemeen de A/Ci curve getoond als het gaat om de response van de plant op verschillende concentraties van CO₂.

De CO₂ response curve (A/C_i curve) bestaat uit drie delen.



Figuur 1. Voorbeeld van een A/C_i curve analyse volgens de procedure van Sharkey.

In het eerste stuk tot ca 300 ppm Ci ~30 Pa (de rode lijn in de grafiek door de onderste blauwe punten) is de hoeveelheid Rubisco dat reageert met CO₂ de beperkende factor. In feite wordt dan de omvang en de activiteit van het bindingscomplex gemeten. De initiële helling van de curve is o.a. afhankelijk van bladdikte en concentratie Rubisco complex in het blad maar ook van de activatietoestand van Rubisco, die onder andere bepaald wordt door de lichtintensiteit en de CO₂ concentratie in de chloroplast. Door al deze invloeden kan de initiële helling variëren voor verschillende bladeren. Rubisco katalyseert zowel de binding van RuBP met CO₂ als met O₂ en heeft een vrij lage omzettingssnelheid. Omdat deze reacties concurrerend zijn geeft een verhoging van de CO₂ concentratie in dit eerste deel van de curve een stimulatie van de carboxylatie (reactie met CO₂) van RuBP en een verlaging van de oxygenatie (reactie met O₂). De maximale omzettingssnelheid van Rubisco is bij verzadigende lichtintensiteit en lage CO₂ concentratie (dus het eerste deel van de curve) limiterend voor de fotosynthesesnelheid en wordt uitgedrukt in de parameter V_{cmax} .

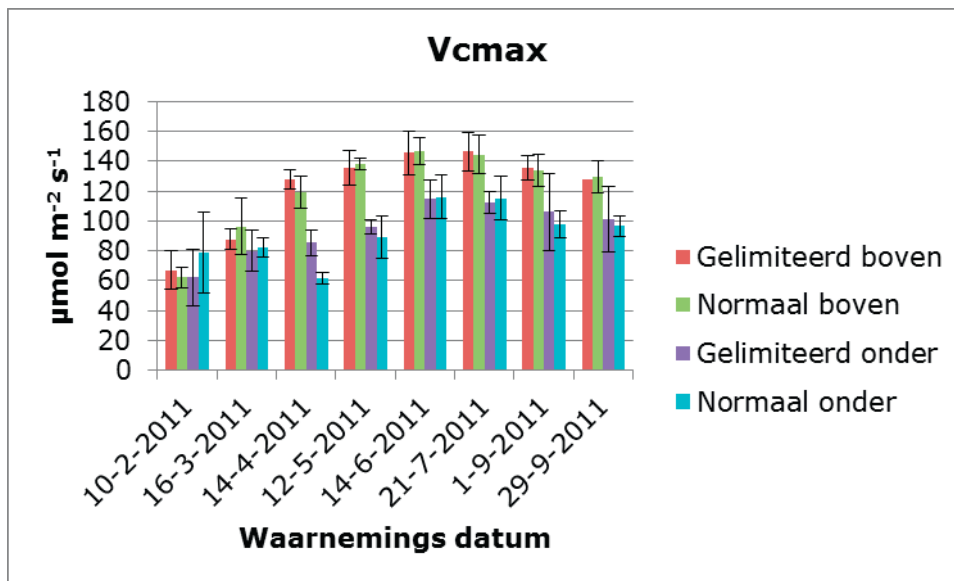
In het tweede deel van de curve (de groene lijn door de hoogste blauwe punten) is niet Rubisco de beperkende factor maar de snelheid waarmee het substraat RuBP weer wordt aangemaakt vanuit Ribulose mono fosfaat. Dit kost energie en is daarom afhankelijk van de productie van energiehoudende moleculen vanuit de lichtreactie van de fotosynthese. Bij aanname van een bepaalde productiestoichiometrie van ATP en NADPH uit het lineaire electronentransport, en een vaste efficiëntie van verbruik tijdens het doorlopen van calvin cyclus, kan worden afgeleid wat het lineaire electronentransport (J) tijdens de meting is geweest. Aangezien de meting bij verzadigende lichtintensiteit is uitgevoerd, kan er vanuit worden gegaan dat dit electronentransport de maximale waarde J_{max} weergeeft. Een verhoging van CO₂ concentratie in dit gebied van de curve geeft een verhoging van de fotosynthesesnelheid, doordat de reactie van RuBP met O₂, gevolgd door verwerking middels fotorespiratie onderdrukt wordt, en dus ook het energiegebruik dat hiermee gepaard gaat.

Een derde limitatie voor de fotosynthesesnelheid die kan optreden bij zeer hoge CO₂ concentraties is de verwerkingssnelheid van triose fosfaat, het primaire product van de lichtonafhankelijke fotosynthesereacties. Dit is bij een goed groeiend tomaten gewas vrijwel nooit het geval. Dit wordt weergegeven met de gele lijn. In de analyse is deze getrokken door het hoogste punt van de waarnemingen, aangezien deze altijd gekoppeld waren aan de hoogste CO₂ concentratie. Dat wil dus zeggen dat bij de gepresenteerde metingen de snelheid van triose fosfaat verwerking niet limiterend is geweest.

De A/C_i curve is voor de verdere berekeningen de laagste waarde van de lijn voor Rubisco beperking (rode lijn) en lichtbeperking (groene lijn).

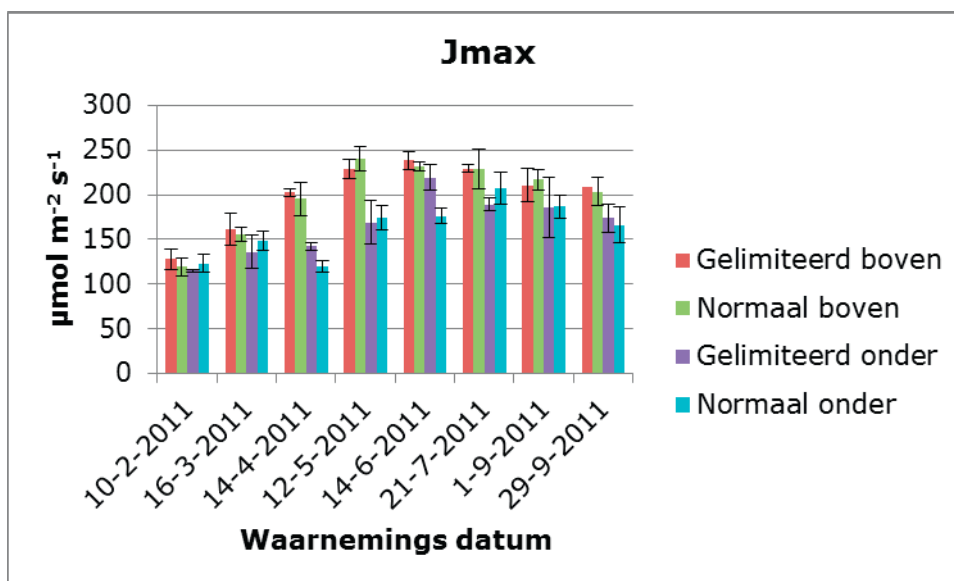
Resultaten CO₂ response

Met behulp van de procedure van Sharkey *et al.* (2007) met de aanpassingen dat toewijzen van een punt aan TPU is gedaan door het punt met de meting van de hoogste fotosynthese snelheid te dupliceren en het geduplicateerde punt toe te wijzen aan TPU beperking en de donker ademhaling te beperken tot maximaal 6 zijn alle A/C_i curves geanalyseerd. Uit de CO₂ response curve zijn de volgende parameters met hun waardes af te leiden



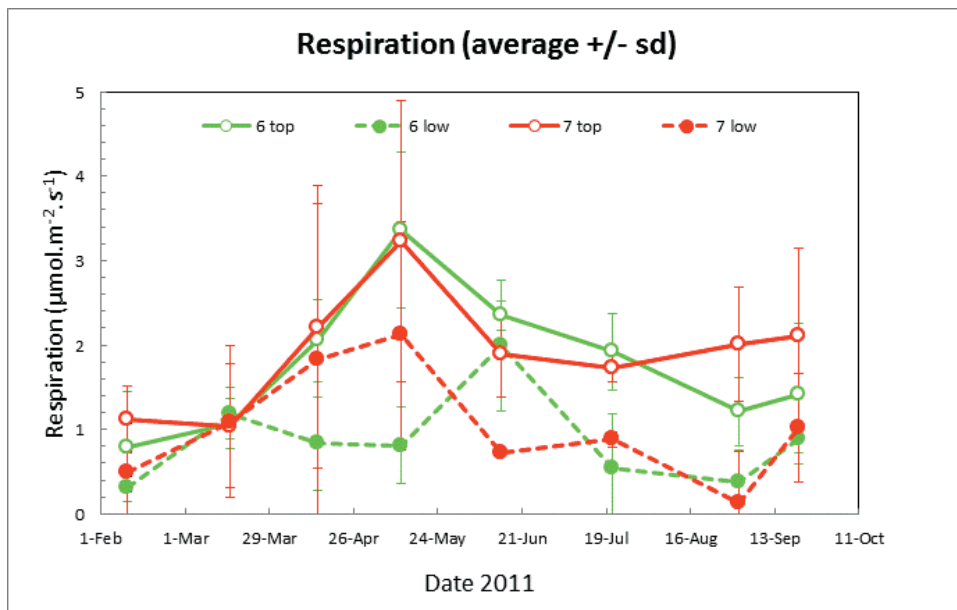
Figuur 2. V_{cmax} per datum.

Er zijn geen structurele verschillen in de maximale carboxylatie snelheid V_{cmax} tussen de afdelingen. In de periode naar de zomer toe neemt V_{cmax} toe, daarna iets af. Dit is een normaal patroon, dat wordt veroorzaakt door de invloed van de seizoensgebonden lichtintensiteit tijdens ontwikkeling van de gemeten bladeren.



Figuur 3. J_{max} per datum.

J_{max} , de maximale capaciteit voor lineair electronentransport, verschilt niet significant tussen afdelingen. Vanaf 14 april structureel hogere J_{max} in de bovenlaag bij beide afdelingen, als gevolg van groei en ontwikkeling bij een hoger lichtniveau. Alleen bij de meting van 14 juni lijkt de onderlaag bij gelimiteerd een iets hogere capaciteit te hebben dan bij normaal. Echter geen structureel verschil, want op de volgende meting is er geen significant verschil meer te zien. Omdat de TPU is bepaald op basis van één punt – de maximaal gemeten fotosynthese – is deze niet relevant voor de vergelijking tussen de behandelingen. TPU is een maat voor de verwerking van triose fosfaat en kan een sink-limitatie laten zien, maar de metingen laten deze in geen geval zien en dus is TPU feitelijk lineair gecorreleerd met de maximale fotosynthese snelheid A_{max} .



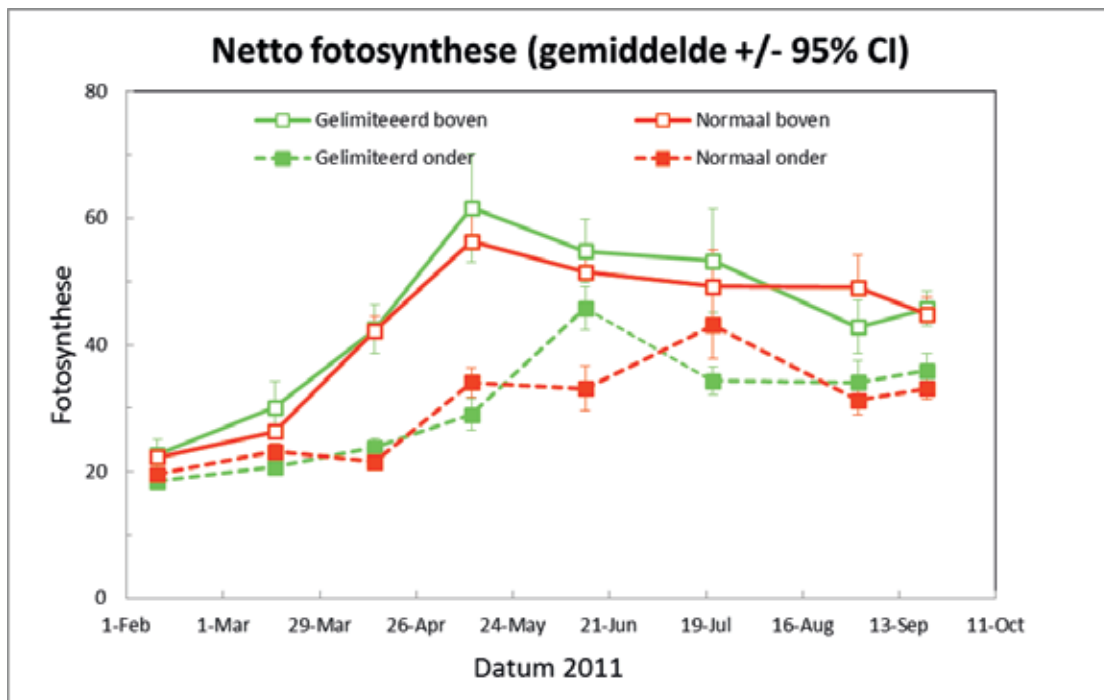
De mitochondriale ademhaling bleek lastig om goed vast te stellen. Deze meting is bij de licht response curve bepaald bij een CO₂ concentratie van 900 ppm in het donker, maar dit heeft een slechte signaal-ruis verhouding tot gevolg. Rd kan ook indirect worden afgeleid uit de A/Ci curves. Echter hierbij kan er door de grote gradient tussen CO₂ concentratie buiten en binnen de bladkamer lek langs het blad ontstaan waardoor een afwijking in de metingen ontstaat, en Rd onrealistisch hoge waarden kan aannemen. Daarom is bij de modelberekeningen gebruik gemaakt van de bepaling van Rd uit de lichtresponse curves, waarbij geen significante verschillen tussen de afdelingen te zien waren.

Op basis van de analyse van de CO₂ response metingen verschilt de fotosynthese capaciteit niet significant tussen beide afdelingen.

Licht response curves

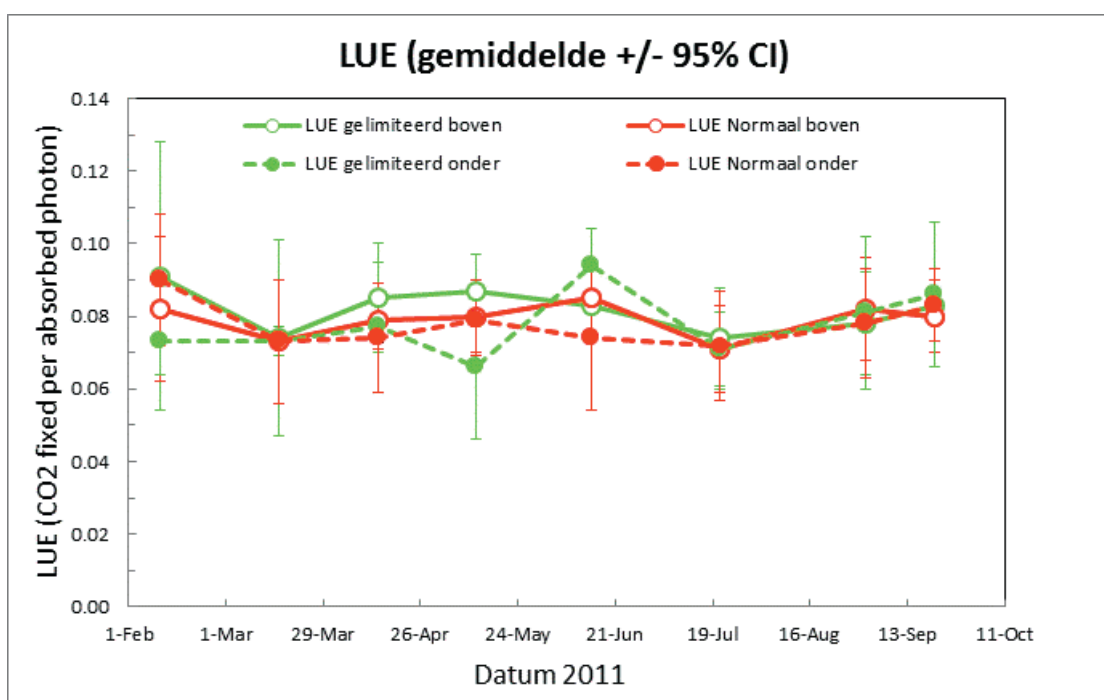
De licht response curves zijn gemeten bij een constante CO₂ concentratie van 900 ppm in de bladkamer. Uit de lichtresponsecurves zijn een aantal parameters bepaald:

- Amax, de maximale bruto fotosynthese, d.w.z. de productie van CO₂ door de mitochondriale ademhaling is verdisconteerd in de meting van de maximale netto fotosynthese.
- LUE, de maximale efficiëntie van licht voor CO₂ vastlegging.
- Jmax, maximale lineaire electronentransport.

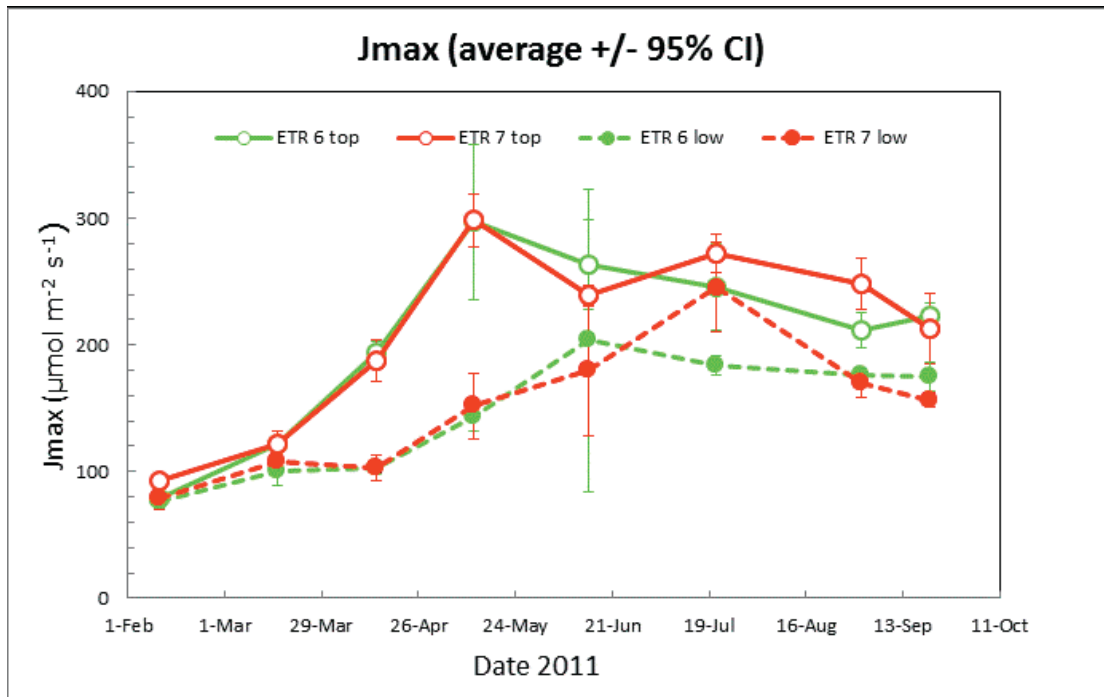


Figuur 4 Maximale Netto fotosynthese bepaald uit licht response curves.

De maximale netto fotosynthese voor de bovenste bladeren loopt op tot begin mei en neemt daarna weer af. De maximale netto fotosynthese voor de onderste bladeren heeft een piek in juni/juli. Dit patroon heeft te maken met de invloed van de seizoensgebonden lichtintensiteit op de ontwikkeling van de maximale energievoorziening uit de lichtreacties en is ook duidelijk te zien in de eerdere figuur voor J_{max} . Er zijn duidelijke verschillen tussen de bovenste en onderste bladeren. Deze verschillen komen overeen met de gegevens van de A/C_i metingen, waarbij de capaciteitsbepaling aan de onderste bladeren in feite een weerspiegeling is van eerder gemeten bovenste bladeren, minus de capaciteitsafname door veroudering. Tussen de behandelingen worden voor de bovenste bladeren in het geheel geen verschillen gevonden. In de onderste bladeren zijn er alleen verschillen op 14 juni en 21 juli, maar niet systematisch.



De maximale omzettingsefficiëntie van opgevangen licht (Light use efficiency) bij 900 ppm CO₂ kon worden bepaald uit de initiële helling van de fotosynthese, uitgezet tegen de geabsorbeerde lichtintensiteit. Bij de bepaling van deze LUE is als aanname gesteld dat de absorptie van opgevangen PAR licht constant is tussen de behandelingen en de verschillende bladlagen (0.84). Uit de figuur valt duidelijk te zien dat er geen significante verschillen konden worden vastgesteld tussen de behandelingen en ook niet tussen de bladlagen. Dit wil zeggen dat hoewel de maximale fotosynthesecapaciteit duidelijk terugloopt bij de onderste bladeren (zie J_{max}- en V_{cmax} bepaling uit A/Ci curve en J_{max} bepaling uit licht response curve in volgende figuur), de maximale lichtbenuttingsefficiëntie gelijk blijft.



Figuur 5. De maximale elektronen transport snelheid (J_{max}) volgens de licht response curves.

Bij de lichtresponse curve is de maximale elektronen transport snelheid bepaald met behulp van chlorofyl a fluorescentie. Deze blijkt over het algemeen iets hoger te liggen voor beide behandelingen vergeleken met de bepaling van J_{max} uit de A/Ci response, wat erop kan wijzen dat de lichtintensiteit van 1200 μmol PAR m⁻² s⁻¹ niet altijd volkomen saturerend is geweest. Wel bevestigt deze meting dat de metingen van J_{max} niet systematisch te verschillen tussen beide afdelingen.

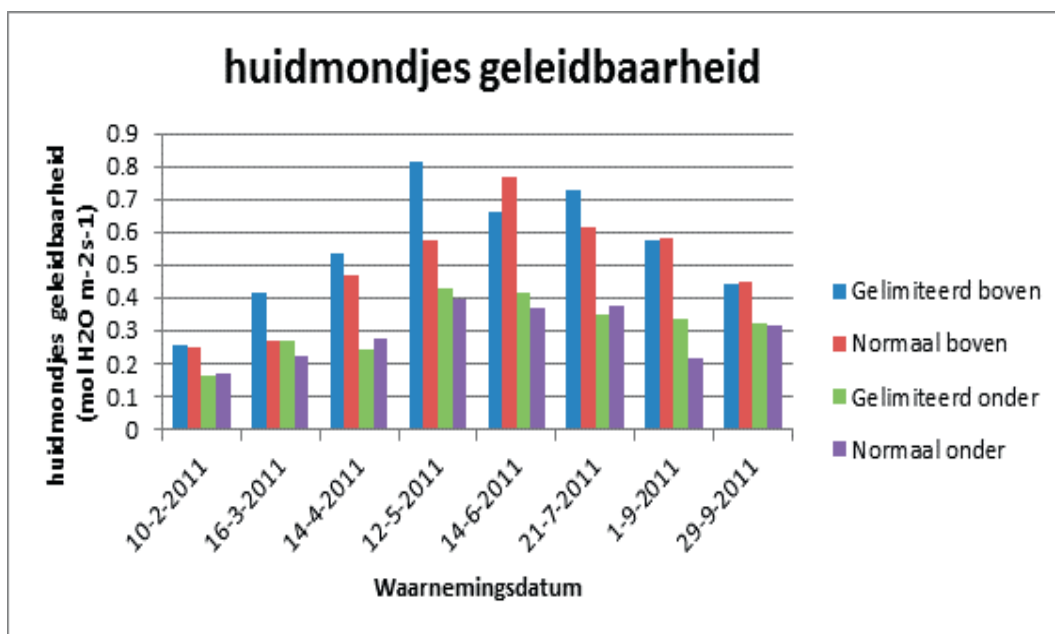
Op basis van de analyse van de licht response metingen verschilt de fotosynthese capaciteit en efficiëntie niet significant tussen beide afdelingen

Conclusies:

- De fotosynthese capaciteit en lichtbenuttingsefficiëntie verschilde niet significant tussen planten uit de twee afdelingen.
- Er was duidelijk een seizoensverloop in de fotosynthesecapaciteit te zien
- De bladeren bovenin het gewas hadden structureel hogere fotosynthesecapaciteit dan bladeren onderin het gewas, maar de maximale lichtbenuttingsefficiëntie verschilde niet significant tussen beide bladlagen.

Huidmondjes-geleidbaarheid

Bij het meten van de CO₂ response curve wordt automatisch de geleidbaarheid van de huidmondjes bepaald. Daarbij viel op dat in de eerste helft van het seizoen de geleidbaarheid van de bladeren in gelimiteerde afdeling bij gelijke condities over het algemeen hoger lag dan in de normale afdeling. Een hogere geleidbaarheid betekent dat waterdamp gemakkelijker het blad uit kan diffunderen en CO₂ er juist makkelijker in kan. De huidmondjesgeleidbaarheid is afhankelijk van een groot scala aan factoren. Zo kan de CO₂ concentratie in het blad de geleidbaarheid van de huidmondjes beïnvloeden, waarbij de huidmondjes meer gaan openstaan bij lage CO₂ concentraties. Echter, de omvang van dit effect varieert tussen soorten en was niet noemenswaardig in de CO₂ response curves. Daarom is in onderstaande figuur het gemiddelde van de huidmondjesgeleidbaarheid tijdens de CO₂ response curve geploteerd voor beide afdelingen en bladlagen. Hierbij is duidelijk te zien dat voor de meeste metingen de geleidbaarheid hoger lag in de gelimiteerde afdeling. Het effect is het duidelijkst te zien in de bovenste bladlaag. Het lijkt alsof het effect vervolgens met vertraging terugkeert in de onderste bladlaag, zoals eerder te zien was voor de fotosyntheseparameters. Dit zou kunnen suggereren dat het verschil ontstaat tijdens de ontwikkeling (wellicht door verschillen in bladstructuur of aantallen huidmondjes, zie 5.8), en vervolgens terugloopt met de algehele geleidbaarheidsvermindering door bladveroudering. Echter, vervolgonderzoek zou dit moeten bevestigen. Het effect van de gevonden verschillen is niet zo makkelijk te duiden, omdat huidmondjesgeleidbaarheid dynamisch geregeld wordt, door openen en sluiten van de huidmondjes. De waarden van geleidbaarheid in de figuur zijn bepaald bij 1200 μmol PAR m⁻² s⁻¹ en zullen zodoende lager liggen voor lagere lichtintensiteiten. Dit viel ook te zien in de lichtresponse metingen, waarbij de geleidbaarheid duidelijk lager lag bij lagere lichtintensiteiten, maar het verschil tussen de afdelingen wel in stand bleef.

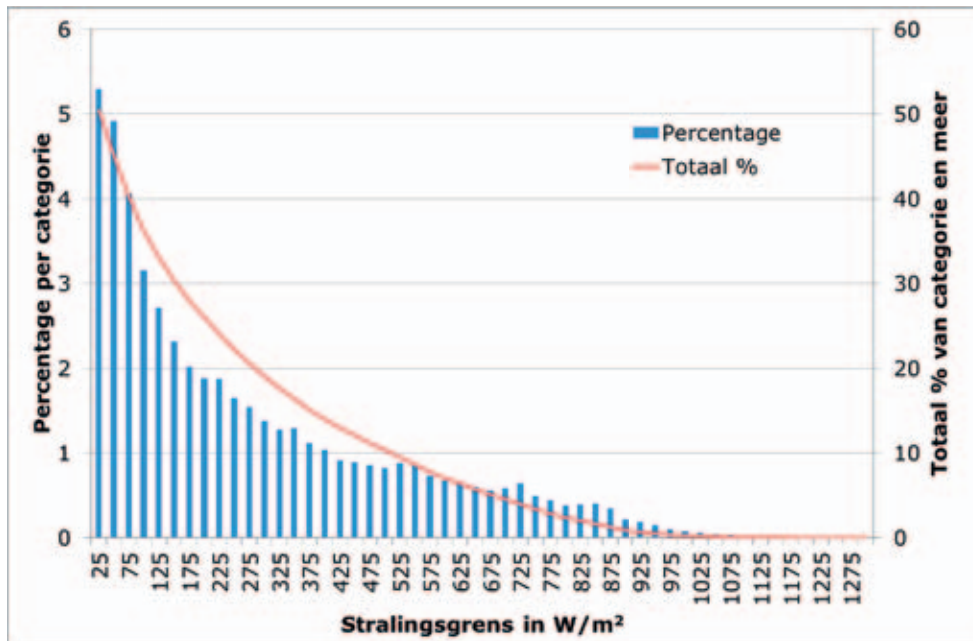


Om toch een indruk te geven dient het volgende rekenvoorbeeld:

Een geleidbaarheid voor waterdamp van 0.5 mol H₂O m⁻² s⁻¹ geeft omgerekend een geleidbaarheid voor CO₂ van ongeveer 0.3 mol CO₂ m⁻² s⁻¹. Aangezien de gradient tussen de CO₂ concentratie buiten en binnen het blad de drijvende kracht is achter het CO₂ transport door de huidmondjes, hangt het vervolgens van de grootte van deze gradient en de buitenconcentratie af hoeveel invloed de geleidbaarheid op de beschikbaarheid van CO₂ heeft. Dit heeft bij hoge fotosynthesesnelheid meer invloed dan bij lage, want fotosynthesesnelheid = geleidbaarheid * concentratiegradient. D.w.z. bij een concentratie buiten het blad van 900 ppm en een fotosynthesesnelheid van 35 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ zal de concentratie in de substomataire holtes ongeveer zijn: 900 - 35/0.3 = 783 ppm of ~78Pa bij 1 bar buitendruk. Als we vervolgens kijken naar de A/Ci curves dan valt te zien dat de helling bij 78 Pa zeer vlak is, en hier dus weinig effect is van de geleidbaarheid van de huidmondjes op de CO₂ beschikbaarheid, want de CO₂ concentratie in het blad blijft hoog genoeg. Echter, hoe lager de buitenconcentratie of de geleidbaarheid daalt, hoe lager de intercellulaire concentratie wordt. En bij lagere Ci wordt het effect steeds groter, omdat de bijbehorende hellingshoek van de A/Ci response ook groter wordt (zie uitleg bij A/Ci curves).

Bijlage IV Stralingsverdeling

Bij de fotosynthese is straling een belangrijke energiebron. De fotosynthese neemt niet-lineair toe bij toenemende globale straling. Voor 2011 is de gemeten globale straling per 5 minuten opgeslagen. Onderstaande figuur geeft een beeld van de verdeling van de straling per categorie van 25 W/m² en van het aantal dat in een categorie en daarboven valt. 49.5% van de tijd is de straling minder dan 5 W/m². Slechts 10% van de tijd is de straling hoger dan 500 W/m². Omgerekend naar PAR is dat een grens van 925 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. 25% van de tijd is de straling boven de 200 W/m². Een gunstig effect op de fotosynthese van hogere CO₂ waarden moet vooral komen uit de 10% uren met hogere instraling.



Bijlage V Gebruik van modellen

In dit project zijn meerdere modellen gebruikt. Elk van de modellen is ontwikkeld voor specifieke toepassingen. Bij het gebruik van modellen moet altijd de vraag gesteld worden of ze geschikt zijn voor toepassing in een andere situatie.

Bij de start van het project zijn simulaties gemaakt met een model voor CO₂ optimalisatie. De CO₂ optimiser is ontwikkeld voor operationele toepassing. Het bevat een sterk vereenvoudigde fotosynthese module. In dit project is gebleken dat deze module voor de moderne rassen en de sterk veranderde teeltstrategieën niet meer voldoet.

Het model GreenSchudeler van GreenQ is gemaakt als prognose instrument. Het wordt vooral gebruikt om vooraf een planning te maken van een teelt met stengeldichtheid en snoeibeleid, waarbij de inbreng van de consultant belangrijk is om de planning optimaal te maken. Het is niet gevalideerd voor alternatieve CO₂ strategieën. Hierdoor is het beperkt toepasbaar en zeker niet als analyse instrument.

De modellen van EcoCurves voor kasklimaat en gewasgroei zijn in dit project niet gebruikt voor analyse van gegevens, maar in een eerder project wel voor analyse van het energie gebruik bij Het Nieuwe Telen.

Het model KASPRO voor simulatie van energiegebruik en kasklimaat en het model INTKAM voor gewasgroei, beide modellen zijn van Wageningen UR Glastuinbouw, zijn gebruikt om kasklimaat analyses te maken en om de gewasgroei te analyseren. Deze modellen hebben elk hun specifieke kwaliteiten en trachten de werkelijkheid zo goed mogelijk te beschrijven. Daarbij kan de parameterisering zodanig worden aangepast. Daarna kunnen dan alternatieven worden doorgerekend, waarbij uitgangspunt is dat alle overige condities gelijkblijven.



Ministerie van Economische Zaken
Landbouw en Innovatie



Projectnummer: 3242107910 | PT nummer: 14232

