

Luchttemperatuur-gradiënt bij roos

Deel 2 Fysiologie en Scenario analyse

Ad Schapendonk, Sander Pot en Kees Rappoldt

Januari 2010



Temperatuur-gradiënt Roos

Onderzoeksrapport PT projectnummer LNV 1802344

Ad Schapendonk¹, Sander Pot¹ en Kees Rappoldt²

¹Plant-Dynamics, Englaan 8, 6703 EW Wageningen, Nederland

²EcoCurves, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren, Nederland

E-mail: ad@plant-dynamics.nl

Plant-Dynamics

Wageningen, 2010

Gesubsidieerd door het Productschap Tuinbouw

REFERAAT

Ad Schapendonk, Sander Pot en Kees Rappoldt, 2010. *Klimaat Roos* ;
Onderzoeksrapport, 42 blz. ; 23 ref.

Dit onderzoek werd gesubsidieerd door het Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV.

Keywords: Klimaat Roos, FiWiHex, Koeling, Verwarming.

Dit rapport geeft een overzicht van de effecten van temperatuurgradiënten in een kas op de fysiologie en opbrengst bij roos en de interacties met licht, CO₂, en RV.

© 2010 Plant-Dynamics BV
Englaan 8, 6703 EW Wageningen, Nederland
e-mail:ad@plant-dynamics.nl

Voorplaat: “Overzicht kas met Red Naomi bij Porta Nova”

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Productschap Tuinbouw en Plant-Dynamics BV.

Inhoudsopgave

Dankwoord	4
1 Samenvatting	5
1.1 Kader van werkzaamheden	5
1.1.1 Resultaten in getallen	5
2 Inleiding	8
2.1 Doelstelling	9
3 Gewastemperatuur	11
4 Fotosynthese en Verdamping	15
4.1 Fotosynthese; deelprocessen	16
4.2 Verdamping	18
4.3 Stress en Fluorescentie (NPQ)	19
4.4 Conclusies Fotosynthese en Verdamping	19
5 Klimaatmodel	20
6 Analyse kasklimaat	22
6.1 Beschrijving van het model	23
6.2 Verwarming bij Boonekamp	24
6.2.1 Temperatuur verschil over het gewas	25
6.2.2 Gesimuleerd experiment: De FiwiHex onder	26
6.3 Koeling bij Boonekamp	27
6.3.1 Gesimuleerd experiment: De FiwiHex onder	27
Temperatuur verschil over het gewas	29
De RV	29
Fotosynthese	31
6.3.2 Porta Nova: metingen met de FiwiHex onder	31
6.3.3 Conclusies Klimaatmodel	32
7 Opschaling naar productie	33
7.1 Conclusies Opschaling naar productie	33
8 Roos Explorer	35
8.1 Waarom modelberekeningen?	35
8.2 Processen in Roos Explorer	36
8.3 Voorbeeld	37
9 Appendix	39
9.1 Luchtvochtigheid	39
9.1.1 Absolute luchtvochtigheid	39

9.1.2	relatieve luchtvochtigheid (RV)	39
9.1.3	Dampdruk (VP) en dampdruk deficit (VPD_l)	40
Bibliografie		41

Dankwoord

We bedanken Matthijs Beelen, Leon Dukker, Marcel Boonenkamp, Adri vd Berg en Jan Franssen voor adviezen en opbouwende kritiek. Simone de Jong en Petra Eekhof van LTO Groeiservice zijn we erkentelijk voor het organiseren van de discussiebijeenkomsten van de BCO.

Last but not least bedanken we PT en het ministerie van LNV voor de subsidiëring van dit onderzoek.

Samenvatting

1.1 Kader van werkzaamheden

Binnen het onderzoek naar de consequenties van onder/boven verwarmen/koelen bij roos heeft Plant Dynamics de fysiologische metingen verricht, in aanvulling op de kasklimaat effecten die door DLV zijn onderzocht. De gecombineerde resultaten zijn vervolgens door Ecocurves en Plant Dynamics gekoppeld aan modelanalyses om de consequentie voor gewasproductie door te rekenen.

In het kader van het experimentele onderzoek naar de fysiologische consequenties werden een aantal meetsessies uitgevoerd: 2 bij vd Weijden, 4 bij Porta Nova, 1 bij vd Berg Roses en 3 bij Boonenkamp. De processen die bestudeerd werden waren: fotosynthese, huidmondjesgeleidbaarheid en temperatuurgradiënten in het gewas. Hierbij werd aandacht besteed aan de dynamische effecten van de instraling, het aan- en uitschakelen van koeling en verwarming. Met behulp van Explorer Roos en Explorer Kasklimaat modellen werden de gemeten fysiologische effecten vertaald naar effecten op productie.

Om de leesbaarheid van het verslag te vergroten zijn gedetailleerde meetresultaten in bijlagen opgenomen. In de lopende tekst worden alleen de werkwijze en de conclusies gepresenteerd met verwijzingen naar de verschillende bijlagen. Bijlage 1; metingen Porta Nova. Bijlage 2; metingen Boonenkamp. Bijlage 3; metingen vd Weijden. Bijlage 4; metingen vd Berg.

1.1.1 Resultaten in getallen

Bovenkoeling Boonenkamp (overdag)

- T gradiënt tussen top en ingebogen blad): 1.5°C (bloem 2°C)
- De huidmondjesgeleidbaarheid (Gs) is gedurende de dag groter dan 200 mmol (niet limiterend voor productie).
- Fotosynthese: maximaal circa $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; constant over de dag.

Bovenkoeling vd Berg (overdag)

- T gradiënt tussen top en ingebogen blad): 1.2°C in vergelijking met 3.8°C in de ongekoelde kas.

- Gs: gedurende de dag > 200 mmol (niet limiterend voor de productie).
- Gs vrijwel gelijk aan gs in de ongekoelde kas.
- Fotosynthese: maximaal circa $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; geen verschil tussen gekoelde en ongekoelde kas.

Bovenkoeling vd Weijden (overdag)

- T gradiënt tussen top en ingebogen blad) 1.5°C in vergelijking met 5.8°C in de ongekoelde kas.
- Gs: constant over de dag > 230 mmol (niet limiterend voor de productie).
- Fotosynthese: hoog met maximum $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Snelle wisselingen in temperatuur. Relatief trage reactie van bloemknoppen in vergelijking met bladeren.

Bovenkoeling Boonekamp(nacht)

- De gs loopt geleidelijk terug van 200 naar 150 mmol aan het eind van de nacht. Koeling aan/uit heeft nagenoeg geen effect op Gs. Grootste respons van Gs is het gevolg van veranderingen in lichtintensiteit maar er is nauwelijks een effect van de koeling. De temperatuur gradiënt over het gewas is maximaal 0.5°C .

Onderkoeling Porta Nova (dag)

- Temperatuur gradiënt tussen top en ingebogen blad) 4.5°C (bloem 5.2°C)
- Gs: gedurende de dag > 200 mmol (niet limiterend). Gs loopt terug gedurende de dag.
- Fotosynthese: maximaal $30\text{-}35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; lichte afname gedurende de dag.

Onderverwarming Porta Nova (dag)

- Temperatuur gradiënt tussen top en ingebogen blad) 0.5°C (bloem 0.3°C)
- Gs: gedurende de dag > 200 mmol (niet limiterend).
- Fotosynthese: maximaal circa $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; lichte toename gedurende de dag.

Bovenverwarming vd Weijden (dag)

- Temperatuur gradiënt tussen top en ingebogen blad) 1.1°C en minder dan 0.5°C met open scherm.
- Gs: gedurende de dag > 200 mmol (niet limiterend).
- Fotosynthese: maximaal circa $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; lichte toename gedurende de dag, vergelijkbaar met de waarnemingen bij Porta Nova.

De effecten van de positie van de FiWiHex voor de gewasfotosynthese waren erg klein, zie paragraaf 6.3.1. De daaruit berekende effecten voor de dagelijkse fotosynthese zijn minder dan 5%. Wanneer we ook de effecten op scheutuitloop en lichtonderschepping meewegen, gebaseerd op de huidige inzichten in het project Paspoort Roos (Schapendonk *et al.*, 2009), dan is de variatie voor de positie van de FiWiHex 15%. De richting van het effect is rasafhankelijk. Er zijn goede mogelijkheden om via gewasmanagement regulerend op te treden zodat het uiteindelijke effect nog meer beperkt zal zijn.

Aandachtspunten bij onderkoelen zijn de relatief lage huidmondjesgeleidbaarheid die bij hogere lichtintensiteiten in combinatie met een relatief leeg gewas de opname van CO₂ kunnen limiteren.

Aandachtspunten bij bovenkoelen zijn de snelle wisselingen en het najlen van (met name) de knoptemperatuur.

Bij onderverwarmen is het risico dat de bloemkwaliteit achterblijft door een laag takgewicht als gevolg van een snellere scheutuitloop (meer concurrentie). Hiervoor kan met management gemakkelijk corrigerend worden opgetreden.

Bij bovenverwarmen is het risico op locale hoge RV onderin het gewas toegenomen met als consequentie een toename van de bladnat risico's.

Inleiding

Temperatuur en vochtgradiënten hebben gevolgen voor fysiologische processen en dus voor de groei en ontwikkeling van planten. De mate waarin de gradiënten invloed hebben op de productiviteit is afhankelijk van de grootte en de richting. Temperatuurafhankelijke processen bij roos zijn de knopuitloop ([Vries *et al.*, 1986](#)) onderin het gewas en bovenin de strekking, de fotosynthese en de verdamping.

Temperatuurinstellingen zijn het belangrijkste stuur bij de teelt van kasgewassen ([Marcelis-van Acker, 1995, 1994](#)). De ruimtelijke temperatuurverdeling in de kas bepaalt of die sturing al dan niet effectief werkt. De respons-tijden van verwarmen en koelen worden korter wanneer geforceerde luchtbewegingen worden geïntroduceerd en dienen op een aangepaste wijze in overeenstemming te worden gebracht met reactietijden van het gewas en het verwachte economische profijt. Het is dus van groot belang om in de ontwerpfasen van een geforceerd koel/verwarmingssysteem, de optimale geometrie te kiezen, in samenhang met de kasstructuur, de raskeuze en de plantdichtheid. De keuze moet garant staan voor de meest gunstige temperatuurverdeling, toegespitst op ras, soort, teelttraditie en energiehuishouding. Met behulp van Het Explorer Kasmodel van Ecocurves en Plant Dynamics kan op hoofdlijnen deze keuze worden gemaakt en op voorhand een analyse van de verwachte effecten, niet in detail maar wel op hoofdlijnen. Een factor die daarbij van groot belang is, is de specifieke bijdrage van de gewaseigenschappen aan het microklimaat. Uit het oogpunt van optimalisatie van koeling/verwarming is het belangrijk om het gewas niet alleen te beschouwen als productiefactor maar ook als een factor die een sterke interactie heeft met het microklimaat. Een veel verdampend gewas zal bijvoorbeeld veel minder voelbare warmte afgeven dan een slecht verdampend gewas. Dit beïnvloedt niet alleen de gemiddelde koude- cq warmte-behoefte maar is ook van invloed op temperatuurprofiel in het gewas en indirect op de luchtbeweging in de kas vanwege een andere warmte of koude behoefte. Een tweede reden om het gewas als integraal onderdeel van het kasklimaat te beschouwen is de invloed van het management op de gewasstructuur. Veranderingen in de opbouw van het gewas, bijvoorbeeld leegknippen of juist veel opsparen van bloemtakken, heeft consequenties voor het microklimaat. Het management en de raskeuze zijn daardoor mede bepalend voor de gewenste positie van de geforceerde verwarming/koeling.

We willen koelen waar de opwarming het grootst is en verwarmen waar dat economisch gezien het hoogste rendement oplevert. Soms is dat de top van het gewas maar onder bepaalde omstandigheden is meer warmte onderin juist gewenst. Het meten en liever nog het voorspellen van de dynamiek van de temperatuurverdeling in een kas is daarom van groot belang. Dit belang is in de afgelopen

jaren toegenomen door de introductie van geforceerde koelsystemen en gemengde koel/verwarmingssystemen. De korte respons tijden moeten op een correcte wijze in overeenstemming worden gebracht met reactietijden van het gewas.

Energiebesparing

Koeling en verwarming grijpen in een kas niet alleen in op de productie maar hebben ook grote gevolgen voor de warmtebalans in een kas en daarmee voor het energieverbruik. Door de effecten van bepaalde situaties op voorhand door te rekenen, kunnen effectieve beslissingen worden genomen die enerzijds energiebesparend ofwel productieverhogend zijn. Het is bijvoorbeeld mogelijk om afwegingen te maken om minder te koelen als de CO₂ concentratie hoog is omdat het temperatuur optimum voor de productie hoger ligt bij een hogere CO₂ concentratie. Ook kan worden afgewogen wat de consequenties zijn van geforceerde klimaatbeheersing (van onderaf of van bovenaf) in vergelijking met ventilatie via ramen of andere maatregelen zoals schermen en vernevelen. Goede beslissingen in dat kader besparen energie zonder productie verliezen. De kosten van verwarming cq koeling kunnen op dagbasis worden afgewogen tegen een verwachte meeropbrengst. Dit zijn eerste stappen naar een complete optimalisatie van het hele kasklimaat, wat uiteindelijk het doel is waar de tuinbouw het meest bij is gebaat.

2.1 Doelstelling

Hoofddlijnen metingen:

1. Bepalen van de dynamiek van de gewastemperatuur bij koelen en verwarmen van bovenaf of van onderaf het gewas, onder verschillende klimaatsomstandigheden.
2. Onderzoek naar de dynamische effecten van de bladtemperatuur over de dag en de consequenties voor fotosynthese en verdamping.
3. Berekenen van de effecten van de geconstateerde korte-termijn effecten van de fotosynthese op de productiecapaciteit.
4. Nauwkeurige bepalen van de bovengrens waarbij de positieve effecten van koeling tot uitdrukking komen en gedurende welke perioden van de dag koeling het meest effectief is. Wat zijn de hoogste en laagste waarden die onder verschillende stralingsinvloeden worden bereikt en wat is de fotosynthese bij die waarden?

Het onderzoek leverde behalve de duidelijke conclusies ook het inzicht dat geforceerd koelen in elk geval vergeleken zou moeten worden met ander mogelijkheden zoals schermen (binnen of buiten) en vernevelen. In het geval van schermen is het interessant om scenario analyses te verrichten naar interactie tussen schermen en planttemperatuur gradiënt. Schermen heeft bij hoge instraling waarschijnlijk evenveel effect als koelen. Wat betekenen beide maatregelen voor fotosynthese en huidmondjesgedrag? Wat is in deze vergelijking het negatieve effect van lichtvermindering door schermen?

De opdeling in hoofdstukken:

1. Hoofdstuk Gewastemperatuur. Bepalen van de dynamiek van de gewastemperatuur bij verschillende manieren van koelen en verwarmen, onder verschillende klimaatomstandigheden. De metingen worden zowel bij open en dicht

scherm verricht. De temperatuurmetingen worden verricht met een infrarood camera, gebaseerd op het bolometer principe, waarbij de storende effecten van infrarood reflecties worden voorkomen.

2. Hoofdstuk Fotosynthese en Verdamping Onderzoek naar de effecten van lokale temperatuurverschillen bij rozencultivars op fotosynthese en verdamping. Uitgangspunt hierbij is een vergelijk van onder en bovenkoeling.
3. Hoofdstuk Klimaatmodel Met Explorer Klimaat worden de gemeten luchttemperaturen en RV waarden, gecombineerd met koeling/verwarming, instraling en schermstand. Het model berekent vervolgens de bladtemperatuurverdeling en de effecten van lokale RV in het gewas. De resultaten worden vergeleken met de actuele temperaturen die als invoer gelden voor de gewasproductie effecten. Door met een gewasgroeimodel te berekenen waar de warmte aan de lucht wordt afgegeven en dat te vergelijken met het gemeten T-profiel zonder koeling kan het stationair convectief transport binnen het gewas worden geschat. Koeling bij de grond vergt een aanzienlijk warmtetransport door het gewas naar beneden, aangedreven door de (turbulente) luchtstroming in het gewas en het temperatuurverschil tussen de warme lucht boven en de koele lucht beneden. Naarmate dit transport moeilijker is, zal het ontstane stationaire temperatuurverschil groter zijn.
4. Hoofdstuk Opschaling naar Productie effecten. Berekenen van de effecten van de geconstateerde korte-termijn effecten van de fotosynthese op de productiecapaciteit. De consequentie van de gemeten plantresponse en het microklimaat op productie wordt berekend met het plantmodel Explorer Roos.
5. Hoofdstuk conclusies.

Om de leesbaarheid te bevorderen zijn alle ondersteunende metingen in bijlagen samengebracht. In de hoofdstukken worden alleen samenvattingen van die metingen en conclusies gepresenteerd. Voor de lezers die meer geïnteresseerd zijn in de achtergronden wordt verwezen naar de bijlagen.

Gewastemperatuur

Om inzicht te krijgen in de warmtebalans van een kas is het onvermijdelijk om de effecten van het gewas mee te nemen in de berekeningen. Het gewas is een belangrijke warmtebron en 30 tot 60% van die warmte wordt als latente warmte in de vorm van verdamping gedissipeerd. Daarnaast is het gewas een zeer belangrijke factor bij het bepalen van de richting van luchtstromen. Een dicht bladpakket kan gesloten pockets construeren waarbinnen hele andere wetmatigheden gelden dan bij een jong open gewas. Nauwkeurige berekeningen aan dit verschijnsel zijn buitengewoon moeilijk. Waar het hier echter om gaat is dat het systeem werkt voor een brede range aan gewastoestanden (weinig en veel bloeistengels), en voor een range aan instralingen. Naarmate het gewas dichter is zal de warmte hoger in de kas zitten en zal bovendien het "gewone" convectief transport in het gewas kleiner zijn. Daar zijn schattingen van gemaakt. De hoeveelheid ingeblazen koude lucht legt vervolgens vast hoeveel warmte er naar beneden verplaatst moet worden en wat dat (in een neutrale laag en dus zonder vorming van een koude laag) voor T-verschil oplevert. Zijn de gemeten T-verschillen veel groter dan is er blijkbaar sprake van laagvorming en moet de menging door extra luchtbeweging worden opgevoerd.

Zonder gewas zal de stralingswarmte voornamelijk door de bodem van de kas geabsorbeerd worden die dan warm wordt. Koeling zo dicht mogelijk bij de bodem is dan effectief omdat de door de bodem opgewarmde lucht op korte afstand kan mengen met de koude lucht. Een complicerende factor hier is de boyancy, het drijven van de warme lucht op de koude. Als het "gewone" convectief transport groot genoeg is blijft het T-verschil klein en speelt de boyancy een ondergeschikte rol. Bij een kleiner "gewoon" convectief transport is er een groter T verschil en ontstaat er een koude laag onderin. De warmte overdracht van boven naar beneden wordt daardoor sterk gehinderd en het T verschil neemt verder toe. Het uitblazen van koude lucht bovenin leidt tot een relatief groter boyancy effect: het gewone convectief transport moet immers over een grotere afstand plaatsvinden en is daardoor minder effectief waardoor de stroming instabiel kan worden: de koude lucht valt lokaal naar beneden hetgeen leidt tot horizontale heterogeniteit. Met een gewas wordt de stralingswarmte niet door de bodem aan de lucht afgegeven maar grotendeels door het gewas. Bij koeling aan de grond leidt dat tot warme lucht boven de gekoelde lucht die bovendien in een soort tunnel van ingebogen blad wordt geblazen. Een goede menging vergt dan een veel hogere luchtsnelheid. Aanbeveling: het kan nuttig zijn om dergelijke metingen (zonder al te veel instraling) ook te doen zonder de feitelijke koeling, maar met dezelfde hoeveelheid ingeblazen lucht. Het vervolgens aanzetten van de koeling levert dan verschillen op waaraan vermoedelijk direct gezien kan worden of de menging tekort schiet.

Bij koeling van boven speelt een gelijksoortig probleem. In plaats van de vorming van een stabiele koude laag die het transport bemoeilijkt, kan hier sprake zijn van instabiliteit. Bij een te kleine menging valt de koude lucht naar beneden en dat zal een grote horizontale heterogeniteit veroorzaken in de kasttemperaturen. Ook hier kunnen dus temperatuurmetingen uitsluitsel geven over wat er gaande is. Bestaande stabiliteitsanalyses uit de literatuur voor een systeem dat boven koud is en onder warm kunnen behulpzaam zijn bij het afschatten van het risico op instabiliteit.

Temperatuur en RV metingen zijn gerapporteerd in deel 1 van dit verslag. Gedetailleerde metingen van de bladtemperatuur onder de 2 situaties van verwarmen en koelen zijn te vinden in de bijlagen. De conclusies uit de metingen met betrekking tot koeling zijn:

- Koelen leidt niet direct tot een hogere fotosynthese. De positieve effecten komen pas tot uitdrukking bij temperaturen boven 29°C en gedurende perioden aan het eind van de dag. Vaak vallen deze condities samen.
- Temperatuurverdeling onder hoge en lage straling. Wanneer de koeling inschakelt, is bij bovenkoeling een zeer snelle afname van de temperatuur bovenin (binnen 4-8 minuten) waardoor bestaande gradiënt vrijwel volledig verdwijnt. Zijn de tijdsconstanten van de variatie die de koeling veroorzaakt te vergelijken met die van wisselingen in straling? Het lijkt erop dat bij onderkoelen de onder- en bovenlaag van de kaslucht onvoldoende mengen.
- Schermen/cq krijten heeft bij hoge instraling praktisch evenveel effect als koelen. Het nadeel van schermen is de sterke afname van PAR. Vooral in situaties dat veel CO₂ beschikbaar is zou de weggeschermd straling nog tot productieverhoging kunnen leiden.
- De huidmondjesgeleidbaarheid is in gekoelde kassen gemiddeld wat lager dan in de niet gekoelde kas. Bij temperaturen boven 29°C wordt deze trend omgekeerd.
- Door de snelle respons van het gewas op straling en koeling is het lastig om een goede regeling te realiseren. Het is aan te bevelen om zowel de intensiteit van de straling als de variatie daarin te betrekken. Rekening houden met de variatie in straling is erg belangrijk om te voorkomen dat de regeling gaat pendelen en om het gebruik van scherm, koeling en dakberegening in onderlinge samenhang te optimaliseren.
- De horizontale variatie is gering (minder dan 1,2 graden en niet hoger dan zonder koelen. Schermen heeft een positief effect op de gelijkmatigheid van de temperatuurverdeling. Uit modelberekeningen bleek zowel de horizontale verdeling als de verticale verdeling homogener te worden na dichttrekken van het scherm. Afhankelijk van de buitentemperatuur en de temperatuur in de nok van de kas, bleek dat een kleine opening van het scherm al een flinke verstoring van die verdeling op te leveren.
- De wijze van koelen zowel bovenlangs als onderlangs is zeer direct. gradiënten in het gewas zijn er vooral onder wisselende lichtomstandigheden. In een stabiele situatie, zonder koeling is de gradiënt tussen top en bodem 1-1,5 C onder bewolkte omstandigheden en 2.5°C-4°C bij hoge instraling.
- Wanneer de koeling inschakelt, is bij bovenkoeling een zeer snelle afname van de temperatuur bovenin (binnen 4-8 minuten) waardoor bestaande gradiënt

vrijwel volledig verdwijnt. De dynamiek die de koeling naar beneden veroorzaakt is te vergelijken met de dynamiek die het doorbreken van de zon naar boven veroorzaakt.

- Bij onderkoelen is de gradiënt (uiteraard) omgekeerd aan bovenkoelen. Bij hoge instraling neemt het verschil toe en wordt dan aanzienlijk groter dan bij bovenkoelen.
- De dynamiek van blad en bloemtemperatuur loopt bij bovenkoeling uit fase door de relatief hoge warmtecapaciteit van de bloem. Dit betekent dat de bloem minder onderhevig is aan de snelle wisselingen dan de bladeren.
- Bij onderkoeling is het effect op de bloemtemperatuur gering, die blijft dus relatief hoog op zonnige dagen. Het lijkt erop dat de onder- en bovenlaag van de kaslucht onvoldoende mengen en op zonnige dagen worden dan ook relatief grote verschillen tussen boven en onderkant van het gewas geregistreerd.
- Bij bovenkoelen is de temperatuurgradiënt van de bladeren binnen het gewas, tijdens het koelen, verwaarloosbaar klein en heeft nauwelijks fysiologische effecten.
- De wijze van koelen zowel bovenlangs als onderlangs is zeer direct. gradiënten in het gewas zijn er vooral onder wisselende lichtomstandigheden. Door de snelle respons van het gewas op straling en koeling is het lastig om een goede regeling te realiseren. Het is aan te bevelen om zowel de intensiteit van de straling als de variatie daarin te betrekken. Rekening houden met de variatie in straling is erg belangrijk om te voorkomen dat de regeling gaat pendelen en om het gebruik van scherm, koeling en dakberegening in onderlinge samenhang te optimaliseren.
- Zoals verwacht geeft onderverwarming een stabiel klimaat met zeer geringe verschillen in de temperatuurverdeling over het gewas.
- Enigszins verrassend bleek dat het klimaat bij bovenverwarming toch goed stuurbaar is. Het biedt de mogelijkheid om 's nachts rustiger te stoken met een dicht scherm waardoor er minder warmte verdwijnt. Toch verdient het aanbeveling om een ondersteunend ondernet te gebruiken vanwege de kans op bladnat onderin het gewas door een relatief hoge luchtvochtigheid en lagere temperaturen onderin het gewas in vergelijking met onderverwarmen.
- Overdag waren er bij bovenverwarming evenals bij onderverwarming slechts geringe verschillen in gewastemperatuur tussen boven- en onderkant van het gewas.

Fotosynthese en Verdamping

De productie van roos wordt bepaald door de assimilatie van het hele gewas (source) waarbij de aanleg van nieuwe sinks (groeicapaciteit van nieuwe scheuten en bloemen) soms volgend is en soms leidend. Het is moeilijk om sink en source te scheiden vanwege de terugkoppelingen die er zijn. Zo zal een hoge fotosynthese een verhoogd niveau van assimilaten in de plant induceren, die vervolgens de cytokinine productie stimuleert. Het verhoogde cytokinine gehalte bevordert op zijn beurt de scheut uitgroei (Vries & Dubois, 1988; Ohkawa, 1984). Voor een optimale productie dient de assimilatenbron (source) in balans te zijn met processen die de assimilaten verbruiken (sink). Sink processen hebben te maken met de benutting van suikers, zoals de vorming van nieuwe scheuten, bladeren, bloemen en de uitgroei van bloemen. Sink en source processen zijn als twee armen van een balans die in evenwicht moeten zijn om een optimale productie te realiseren. In vrijwel alle situaties wordt de productie van rozen direct bepaald door de fotosynthese en benutting van opgeslagen reserves of indirect via de stimulans van die reserves op de knopuitloop (feed-forward regeling). Dat is ook de reden dat hoge CO₂ doseringen en een hoge intensiteit van de assimilatiebelichting rendabel zijn. Deze maatregelen zijn namelijk puur gericht op een hoge fotosynthese.

Er zijn situaties dat de sinksterkte belangrijker is dan de source, bijvoorbeeld wanneer in een teelt een hele snede tegelijkertijd wordt geoogst. Dan worden in korte tijd alle groeiende delen weggehaald en dan is de snelheid waarmee nieuwe sinks worden gevormd van groot belang. Helaas zien we bij het leegknippen van een gewas ook de fotosynthese activiteit van het ingebogen blad afnemen door een negatieve terugkoppeling van een (tijdelijk) gebrek aan sinks en dat kan negatieve consequenties hebben voor de latere uitgroei van nieuwe scheuten.

In dit onderzoek zijn voornamelijk processen van de source bestudeerd maar er is bij de uiteindelijke evaluatie ook een afweging gemaakt van de consequenties van de sink (paragraaf 7).

Fotosynthese en verdamping zijn gevoelig voor temperatuur. Voor de bladfotosynthese geldt dat het temperatuuroptimum hoger wordt, zowel bij een hogere lichtintensiteit als bij een hogere CO₂ concentraties in de kas (Schapendonk & Brouwer, 1985). Uit de metingen bij Porta Nova en bij Boonekamp bleek dat de fotosynthese een vrij vlak optimum heeft voor de bladtemperatuur tussen 20°C en 28°C. Boven 28°C nam de fotosynthese af.

4.1 Fotosynthese; deelprocessen

Een hoge fotosynthese is de basis voor een efficiënte teelt (Challa & Schapendonk, 1986). Deelprocessen voor de fotosynthese zijn: CO₂ binding (Gaastra, 1959; Gutschick, 1984; Schapendonk & Gaastra, 1984), energievastlegging in bladgroenkorrels (hier verder aangeduid als de ETR) (Boogaard *et al.*, 2002), lichtabsorptie en chlorofyl concentratie (Calatayud *et al.*, 2007; Zieslin & Mor, 1990) en huidmondjes opening (Pandey *et al.*, 2007; Blom-Zandstra *et al.*, 1995).

De lichtintensiteit waarbij een plant optimaal groeit wordt begrensd door een benedenwaarde voor een maximale efficiëntie en een bovenwaarde, waarboven beschadiging optreedt en dit komt tot uitdrukking in een licht-response curve met een lineair begin en een afvlakkende curve bij hogere lichtintensiteiten. Met de licht-response van rassen bepalen we de assimilatie eigenschappen op bladbasis (Figuur 4.1).



Figuur 4.1. LiCor-6400 meetapparatuur. Assimilatieparameters en fluorescentie (ETR) werden gemeten met de LiCor 6400. In de meet cuvette van deze apparatuur aan boven- en onderzijde van het ingeklemde blad) worden lichtintensiteit, CO₂ concentratie, temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid door een computerprogramma ingesteld en gevarieerd. Hierdoor kan de reactie van de assimilatie op deze veranderingen bepaald worden. Een fotosynthese van $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ op bladoppervlakte basis, komt overeen met een groei van 1 gram drogestof per m² blad per uur. Stel dat we een dergelijke fotosynthese gedurende 10 uur kunnen handhaven dan is er voldoende energie vastgelegd om 10 g drogestof te assimileren per vierkante meter blad.

De CO₂-opname van bladeren kan direct gemeten worden met behulp van gasanalyse. De LiCor-6400 (Figuur 4.1), kan zodanig geprogrammeerd en gekalibreerd

worden dat automatisch in ongeveer 40 minuten een licht response curve gemeten wordt in een reeks van oplopende lichtintensiteiten. Tijdens elke lichtstap werd de fotosynthese en de verdamping van het betreffende blad gemeten. Daarnaast werd de openings toestand van de huidmondjes bepaald. Tijdens de metingen van de licht response curve werd de CO₂ concentratie op 800 ppm gehandhaafd. In de bijlage 1 tot 4 zijn uitgebreide analyses te zien van licht response curves op de verschillende bedrijven.

De belangrijkste processen in de fotosynthese zijn de snelheid van CO₂ binding en de energievastlegging (ETR). Om fotosynthese karakteristieken te bepalen, zijn verschillende technieken beschikbaar: CO₂-opname kan direct gemeten worden met behulp van gasanalyse en er zijn spectroscopische technieken die de CO₂-opname meten via de vastlegging van lichtenergie in het electronentransport (ETR), voorafgaand aan de omzetting van CO₂ naar suikers. Metingen van ETR zijn een indicatie van de fotosynthese *capaciteit*. De verschillen tussen de fotosynthese *capaciteit* en de daadwerkelijk *gerealiseerde* CO₂ opname wordt vrijwel geheel bepaald door beperkingen van de CO₂ opname door sluiting van de huidmondjes. De maximaal haalbare ETR wordt in de literatuur aangeduid als J_{max} (Havaux, 1993).

In de experimenten die werden uitgevoerd was er geen verschil tussen de positie van de verwarming/koeling met betrekking tot deze eigenschap. In bijlage 4 is dit voor de koelsituatie verder uitgewerkt. Er is dus geen effect van de positie van de FiWiHex op ETR.

V_{max} is een maat voor de maximaal haalbare CO₂ afhankelijke fotosynthese (in feite het verzadigingsniveau van de fotosynthese bij hoog CO₂). V_{max} is de maximale fotosynthese bij lichtverzadiging en hoog CO₂. Op vergelijkbare wijze met J_{max} kan V_{max} bepaald worden, namelijk met een analyse van een curve, gemaakt van de fotosynthese bij oplopende CO₂ concentraties in plaats van oplopende lichtintensiteiten. Hiervoor zijn voorzieningen in de LiCor opgenomen die de gewenste CO₂ concentratie realiseren in de luchtstromen aan onder- en bovenzijde van het blad, dat is ingeklemd tussen beide bladkamers. De lichtintensiteit (PAR) werd tijdens de metingen van de CO₂ respons curves constant gehouden op 1200 μmol m⁻² s⁻¹.

Met behulp van een fit procedure geschreven in het statistisch programma SAS, werden J_{max}- en V_{max}-waarden bepaald uit de licht response curves in de bijlagen. In Tabel 4.1 zijn de gemiddelde waarden voor metingen in zomer en winter weergegeven. Rassen met een hoge ETR hebben in het algemeen op bladbasis een hoge fotosynthese omdat ETR meer dan V_{max} de fotosynthese bepaalt, zeker bij de relatief hoge CO₂ concentraties in de kas. De waarden op zich zijn in een vergelijkend onderzoek alleen relevant in een modelbenadering omdat ze een maximaal haalbare processnelheid weergeven en niet de situatie bij lagere lichtintensiteiten. Wel is duidelijk te zien, voor het ras Red Naomi, dat de maximaal te bereiken waarden in de winter lager zijn dan in de zomer.

De waarden in tabel 4.1 zijn weergegeven zijn gebruikt in de modelberekeningen.

De meest voorkomende oorzaak dat J_{max} in de praktijk niet wordt gehaald is een lage huidmondjesgeleidbaarheid. Dan daalt de CO₂ concentratie in het blad, waardoor de fotorespiratie toeneemt en de netto fotosynthese daalt. Dit treedt meestal op in situaties met hoge straling waarbij de bladtemperatuur en het dampdruk deficit van het blad (VPD_l) hoog oplopen. Huidmondjes sluiten namelijk om uitdroging van het blad te voorkomen. Als huidmondjes zich sluiten is er meer energie nodig om dezelfde hoeveelheid CO₂ vast te leggen.

Tabel 4.1. Jmax25 is de maximale ETR bij 25°C, Vcmax25 is de maximale snelheid van CO₂ binding bij 25°C RD25 is de ademhaling bij 25°C en Gamma is het CO₂ compensatiepunt; de CO₂ concentratie in de kas waar de opname van CO₂ gelijk is aan de ademhaling. Alle snelheden zijn in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

	Vcmax25	Jmax25	RD25	Gamma
Red Naomi (Zomer)	57	166	0.51	67
Red Naomi (Winter)	43	117	0.38	58
Fines (winter)	53	127	0.47	49
Grand Amore (zomer)	81	193	0.72	57

Door de CO₂ concentratie in het meetcuvet te variëren werd het effect van de CO₂ concentratie op de fotosynthesesnelheid bepaald. In het meetcuvet werd de concentratie stapsgewijs opgevoerd: 200 – 400 – 600 – 800 – 1200 – 1600 ppm CO₂ (bij 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR).

De fotosynthese is bij alle behandelingen verzadigd bij 1200 ppm. De metingen werden verricht aan bladeren met een relatief hoge huidmondjesgeleidbaarheid (g_s). Als g_s echter laag is, neemt de CO₂ concentratie in het blad af en dan zal de gewenste instelling van de CO₂ concentratie in de kas hoger worden omdat er een grotere gradiënt nodig is om dezelfde interne concentratie te realiseren als bij een hogere g_s .

4.2 Verdamping

Studies van huidmondjesgeleidbaarheid (g_s) zijn gecompliceerd en vereisen veel waarnemingen. Het bleek dat de effecten van temperatuurgradiënten vooral effect hadden op de huidmondjesgeleidbaarheid en nauwelijks op de fotosynthese processen in de bladgroenkorrels. Voor vrijwel alle metingen betekende dit dat er nauwelijks een effect van de methode van koelen of verwarmen op de fotosynthese werd geconstateerd. Dit werd bevestigd door de analyse met Explorer Roos waarin de deelprocessen werden gesimuleerd (paragraaf 6.3.1). Bij de heersende lichtintensiteiten waren de huidmondjes vrijwel nooit beperkend voor de opname van CO₂. Ook bij onderkoeling, waarbij een gering negatief effect op de huidmondjesgeleidbaarheid werd geconstateerd, was er nauwelijks effect op de gewasfotosynthese. Dit is het gevolg van de relatief lage lichtintensiteiten onderin het gewas. Bij die lage lichtintensiteiten ligt het temperatuuroptimum voor de fotosynthese lager dan bij de hogere lichtintensiteiten in de kop van het gewas, daarnaast is de CO₂ behoefte gering zodat een lage geleidbaarheid niet veel uitmaakt en bovendien is de relatieve bijdrage van de bladeren onderin aan de totale fotosynthese van minder belang dan dat van de opgaande stengels.

De verdamping is evenredig met het dampdrukdeficit van het blad vermenigvuldigd met de openingstoestand van de huidmondjes. Beide factoren worden beïnvloed door de temperatuur en met name de bladtemperatuur. Zo ontstaat een complexe interactie tussen beide factoren. De verdamping wordt het meest geremd bij onderdoor koelen. Verwarmen van onderaf heeft betrekkelijk weinig effect op de verdamping vanwege de relatief lage geleidbaarheid van de huidmondjes onderin het gewas. De hogere bladtemperatuur heeft wel als gevolg dat bij onderdoor verwarmen de kans op bladnat kleiner is dan bij bovendoor verwarmen.

4.3 Stress en Fluorescentie (NPQ)

Uit de fluorescentiemetingen kan een interessante parameter worden berekend, die informatie geeft over de vitaliteit van planten (Schapendonk *et al.*, 1989). Deze fluorescentie parameter (Npq) kan worden gezien als het toerental van de fotosynthese motor. Als dit toerental te hoog oploopt terwijl de fotosynthese nauwelijks meer toeneemt, is er sprake van stress. Op basis van het verloop van Npq en de fotosynthese in afhankelijkheid van de lichtintensiteit, kan de optimale lichtintensiteit bepaald worden. Verder kan uit het verloop van die metingen het niveau worden bepaald waarboven een onaanvaardbare stress verwacht mag worden. Om de relatie tussen Npq en de fotosynthese goed in kaart te brengen zijn meer metingen nodig dan in dit experiment konden worden verricht. Uit de metingen bleek geen stressverhogend effect van onderkoelen bij de heersende lichtintensiteiten. Bij hogere lichtintensiteiten was er een significant negatief effect van onderdoorkoelen. Deze waarneming is alleen relevant als die hoge lichtintensiteiten worden gerealiseerd, bijvoorbeeld in een gewas dat grotendeels leeg is geknipt.

4.4 Conclusies Fotosynthese en Verdamping

- Er is bij onderkoelen een lagere geleidbaarheid van de huidmondjes van topbladeren in gekoelde kas dan in een ongekoelde kas geconstateerd. De geleidbaarheid van bladeren halverwege het gewas (middenblad) is bij gekoeld en ongekoeld gelijk. Bij temperaturen boven 29°C wordt deze trend omgekeerd.
- Onderkoelen: begin juli is de maximale fotosynthese (bij 1600 ppm CO₂ en 1500 μmol PAR) in de ochtend 34 en loopt gedurende de dag geleidelijk terug naar 22. Deze afname wordt veroorzaakt door huidmondjes sluiting.
- Onderkoelen: eind augustus is de maximale fotosynthese in de ochtend 31-35 μmol en loopt terug naar 27 in de middag. Sluiting van de huidmondjes is hier minder heftig.

Specifieke effecten bovenverwarming:

- Geen negatief effect op scheutuitloop.
- Goede aanknopingspunten voor energiebesparing.
- Geen teruggang van huidmondjesgeleidbaarheid en fotosynthese over de dag.

Conclusie: de manier van verwarmen of koelen heeft geen meetbare effecten op de gewasfotosynthese. De effecten op gewasmorfologie worden in paragraaf 7 nader geanalyseerd.

Klimaatmodel

Bij warmtetransport door luchtstroming wordt in het algemeen onderscheid gemaakt tussen vrije en gedwongen convectie. De bedoeling van het voorgestelde rekenwerk is om situaties zoals die zich voordoen te begrijpen in termen van hoeveelheden warmte, instraling, verticale temperatuurverschillen en gemeten luchtsnelheden. In eerste instantie dienen enkele karakteristieke situaties te worden gedefinieerd waarvoor vervolgens rekenwerk wordt gedaan. Dat zijn bij voorkeur situaties waarvoor ook metingen worden uitgevoerd. Een situatie is dan de combinatie van een bepaalde gewastoeestand, een stralingsniveau en een bepaalde koelopstelling. Voorbeelden zijn: in- uitschakelen van FiWiHex met en zonder koeling, scherm open/dicht, hoge/lage instraling., verschillende gewassituaties etc. De dynamiek van de effecten wordt het belangrijkste aandachtspunt.

Vervolgens kan berekend worden op welke hoogte de straling geabsorbeerd wordt. De absorptie van straling leidt tot de productie van waterdamp door gewastranspiratie en tot de productie van voelbare warmte die afgevoerd moeten worden. Ook de hoogten waarop warmte en waterdamp worden geproduceerd kan met het model berekend worden. Het bepalen van het effect van de wijze van verwarming op het rozengekas gebeurt in twee stappen. De eerste stap is het meten van parameters voor het transport van warmte en waterdamp in het gewas. De metingen van DLV bij Boonekamp, PortaNova en vdWeijden leveren daartoe een aanknopingspunt. De tweede stap is het doorrekenen van de invloed van het microklimaat op de teelt voor de twee methoden van verwarming.

Een periode van enkele uren met stabiele omstandigheden blijkt een parameterschatting mogelijk te maken. Dat gebeurt door de verticale component van de windsnelheid te correleren met de temperatuur van diezelfde lucht (op dezelfde plaats). Een correlatie impliceert een netto transport van warmte en dat levert samen met de gemeten temperatuur gradiënt een coëfficiënt voor warmte transport op (in W/m^2 per eenheid gradiënt).

De bedoeling is om situaties van onder- en bovenverwarming te begrijpen in termen van hoeveelheden warmte, instraling, verticale temperatuurverschillen en gemeten luchtsnelheden. In eerste instantie zijn enkele karakteristieke situaties gedefinieerd. Dat zijn situaties waarvoor ook de metingen worden uitgevoerd. Een situatie is dan de combinatie van een bepaalde gewastoeestand, een stralingsniveau en een bepaalde koelopstelling. Voorbeelden zijn: in- uitschakelen van FiWiHex met en zonder koeling, scherm open/dicht, hoge/lage instraling., verschillende gewassituaties etc.

De dynamiek van de effecten was het belangrijkste aandachtspunt. De absorptie van straling leidt tot de productie van waterdamp door gewastranspiratie en tot

de productie van voelbare warmte die afgevoerd moeten worden. Ook de hoogten waarop warmte en waterdamp worden geproduceerd kan met het model berekend worden.

Als de luchtsnelheden, temperatuurverdeling en de variatie in RV bekend zijn uit metingen van DLV, dan kunnen op basis van instraling berekeningen van de warmtebronnen in de kas worden gemaakt. Windsnelheden gemeten in en boven het gewas in combinatie met een bladafstand geven benaderende informatie over het verticaal warmtetransport.

Vervolgens kan de afvoer van warmte via convectie en latente warmte worden gekwantificeerd. Dit maakt het mogelijk om de temperatuurverdeling in het gewas te berekenen. Deze berekeningen kunnen vervolgens worden gekoppeld aan het model "Explorer Roos" om effecten van verschillende koelscenario's door te rekenen.

Explorer Roos is een getest groeimodel voor roos waarmee de effecten van microklimaat en management op de productiviteit van roos kunnen worden berekend.. De simulatie levert verder knop en bloemtemperatuur voor twee typen verwarming die kunnen worden vergeleken met de door Plant-Dynamics gemeten waarden. In de laatste fase van het project wordt dan de simulatie van het microklimaat gebruikt om de invloed van de wijze van verwarming op de teelt door te rekenen.

De simulatie levert verder knop en bloemtemperaturen voor twee typen verwarming die kunnen worden vergeleken met de door Plant-Dynamics gemeten waarden. In de laatste fase van het project wordt dan de simulatie van het microklimaat gebruikt om de invloed van de wijze van verwarming op de teelt door te rekenen.

Analyse kasklimaat

Met behulp van een set gewasmodules die door Plant Dynamics en Ecocurves zijn ontwikkeld kan de hoeveelheid warmte-afgifte (convectief of latent) en de plaats waar die warmte vrijkomt worden berekend. Het model is dynamisch en werd geparаметeriseerd met de gewasmetingen die binnen het project zijn verricht. Door de warmteverdeling in het gewas te berekenen is het niet alleen mogelijk om de effecten daarvan op het microklimaat door te rekenen maar ook om opbrengstveranderingen te schatten. Koeling en verwarming grijpen in een kas niet alleen in op de productie maar hebben ook grote gevolgen voor de warmtebalans en het energieverbruik. Door de effecten van bepaalde situaties op voorhand door te rekenen, kunnen effectieve beslissingen worden genomen die energiebesparend en productieverhogend zijn. Het is bijvoorbeeld mogelijk om afwegingen te maken om minder te koelen als de CO₂ concentratie hoog is. Ook kan worden afgewogen wat de consequenties zijn van geforceerde luchtbeweging (van onderaf of van bovenaf) en wanneer er energiezuiniger gekoeld kan worden met ventilatieramen. Goede beslissingen in dat kader besparen energie zonder productieverliezen. De kosten van verwarming cq koeling kunnen op dagbasis worden afgewogen tegen een verwachte meeropbrengst. Dit zijn eerste stappen naar een complete optimalisatie van het hele kasklimaat, wat uiteindelijk het doel is waar de tuinbouw het meest bij is gebaat.

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat het effect van verwarming en koeling is op de temperaturen in het gewas en in het bijzonder op de blad temperaturen. Dat wordt gedaan met behulp van simulaties van het kasklimaat voor perioden waarvoor door DLV gedetailleerde metingen gedaan zijn op verschillende hoogtes. Allereerst wordt gekeken of het gesimuleerde kasklimaat overeenkomst met het gemeten kasklimaat. Na aanpassing van de ventilatie eigenschappen van de "virtuele kas" is dat het geval. Vervolgens kan, in het model, de FiWiHex verplaatst worden en kunnen bovendoor en onderdoor verwarmen (koelen) direct worden vergeleken, voor hetzelfde rozengekas, en voor hetzelfde weer.

Hieronder wordt eerst zeer beknopt het model beschreven. Vervolgens worden voor enkele winter en voor enkele zomerdagen bij Boonekamp het gemeten en gesimuleerde kasklimaat vergeleken. Tenslotte wordt dan (in het model) de FiWiHex van boven naar beneden verplaatst en wordt bekeken hoe met name de bladtemperaturen daarop reageren.

6.1 Beschrijving van het model

De functie van een model voor kasklimaat is het berekenen van de temperatuur en de luchtvochtigheid op basis van de inputs van buitenaf zoals licht, lucht schermstanden, verwarming en koeling. Omdat de planten zelf via verdamping en lichtonderschepping veel invloed hebben op het kasklimaat maakt berekening van de fotosynthese en gewasverdamping deel uit van het model.

Verder speelt een hele reeks fysische processen een rol:

- Onderschepping van PAR en NIR licht door het glasdek, de kasconstructie, de schermen, het gewas en de vloer,
- Uitwisseling van warmtestraling tussen gewas, glasdek, energiescherm, ondernet en vloer,
- Verwarming van de lucht door het ondernet,
- Verwarming, koeling en condensatie van waterdamp in de Fiwihex,
- De menging van de lucht door luchtbeweging (wind),
- Ventilatie en de daardoor veroorzaakte aanzuiging van buitenlucht.
- Het opnemen en afgeven van warmte door de bodem.

De temperatuur van de lucht wordt berekend voor de lucht onder het gewas, een aantal gewaslagen, de lucht boven het gewas en voor de kap. Hetzelfde geldt voor de luchtvochtigheid. Berekeningen voor een specifieke kas vergen de juiste hoogtes en breedtes en verder aanpassing van de parameters die het ventilatiegedrag beschrijven als functie van raamstanden en wind. De overige parameters zijn afkomstig uit de literatuur (Goudriaan, 1977; Goudriaan & van Laar, 1994; Monteith & Unsworth, 1990; Incropera *et al.*, 2006; de Zwart, 1996).

De verwarming en koeling door de Fiwihex wordt beschreven volgens de specificaties van Lek/Habo, inclusief de condensatie van waterdamp bij koeling van vochtige lucht.

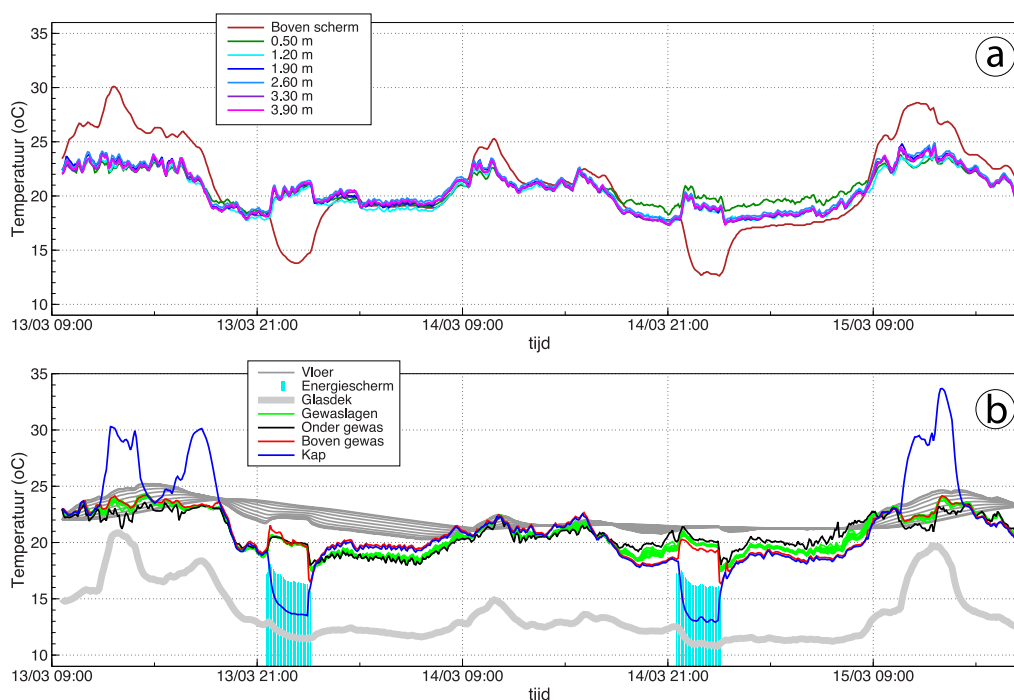
Het verschil in temperatuur tussen de bovenste en onderste delen van het gewas wordt sterk beïnvloed door de efficiëntie waarmee warmte en waterdamp tussen de gewaslagen wordt getransporteerd. Dat transport wordt bepaald door de dichtheid van het gewas, de lokale windsnelheid en een parameter voor menging, de zogenaamde "relative turbulence intensity" α . Goudriaan (1977) geeft daar theorie over, die enigszins vereenvoudigd in het klimaat model is geïmplementeerd.

De gedetailleerde metingen van DLV (ieder 5 seconden een windsnelheid, een temperatuur en een luchtvochtigheid op enkele hoogten) konden worden gebruikt om enkele waarden van de mengingsparameter α te schatten. Afhankelijk van wat wordt aangenomen over de lokale temperatuur gradiënt in het gewas (de gradiënt op een bepaalde hoogte in graden Celcius per meter), komen deze schattingen van α uit op waarden tussen 0.08 en 0.25. In het klimaat model is een waarde van 0.15 gebruikt. Deze waarde is consistent met waarden in Goudriaan (1977) voor een akkergewas en levert temperatuur profielen op die in overeenstemming zijn met de gemeten verdelingen.

6.2 Verwarming bij Boonekamp

De simulatie is uitgevoerd voor een jong rozengewas (Grand Amore, situatie maart 2009). In Figuur 6.1 kunnen de gemeten en gesimuleerde temperaturen met elkaar worden vergeleken. De overeenstemming is bevredigend, zowel wat betreft het niveau van de temperaturen, als wat betreft de dynamiek. Zonder naar volledigheid te streven hieronder enkele observaties.

- Sluiting van het energiescherm vlak na 21:00 uur heeft zoals bekend een markant effect op alle temperaturen. In de kap koelt het af, onder het scherm wordt het warmer. Dat is een gecombineerd effect van een verminderde menging van de lucht en een verminderde uitstraling.
- Bij verwarming (boven) door de Fiwi-hex in de nacht van 13 op 14 maart is het boven het gewas warmer dan eronder. Bij verwarming door het ondernet in de volgende nacht is dat (uiteeraard) andersom.
- De temperatuur in de kap overdag loopt op tot rond 30°C of meer door de licht absorptie van het zonnedoek en de kapconstructie. Hoe hoog de kaptemperatuur precies wordt is erg gevoelig voor details van het model, maar heeft weinig invloed op de temperaturen op gewashoogte. Op 14 maart was er weinig instraling, de opwarming van de kap was gering en blijft in het model geheel uit.



Figuur 6.1. Temperaturen voor verwarming met de Fiwi-hex boven het gewas (nacht van 13 op 14 maart 2009) en verwarming met het ondernet (nacht van 14 op 15 maart) bij Boonekamp. (a) Een meting door de klimaatcomputer boven het scherm en de temperatuur metingen op 6 hoogtes door DLV. (b) Gesimuleerd met het klimaatmodel van EcoCurves en Plant-Dynamics met fotosynthese parameters voor Grand Amore. De bundel donkergrijze lijnen geeft de bodemtemperatuur op 10 dieptes (de snelst variërende is die voor het oppervlak). De dikke lichtgrijze lijn is de temperatuur gesimuleerd voor het glasdek. Zie ook de tekst voor een verdere bespreking.

- De bodem speelt een rol als warmtebuffer. Zoals verwacht kan worden is die rol niet dominant, maar is ook niet verwaarloosbaar.

De vochtigheid van de buitenlucht maakt geen deel uit van de beschikbare invoergegevens. Daardoor is het simuleren van de luchtvochtigheid uiteraard bemoeilijkt. Om in ieder geval het risico op bladnat 's nachts te kunnen schatten is de luchtvochtigheid van de buitenlucht zodanig gekozen dat die 's nachts dichtbij verzadiging is. Tijdens de zonnige perioden op 13 en 15 maart is de lucht vermoedelijk droger geweest. De gesimuleerde vochtgehalten zijn dan te hoog en de RV ook.

In Figuur 6.2 wordt de RV zoals gemeten met "de meetbox" in de kas (de bruine stippellijn) vergeleken met gesimuleerde waarden voor het gewas (de groene lijnen). De overeenstemming is redelijk behalve op de lichte dagen 13 en 15 maart.

De blauwe lijnen in Figuur 6.2 geven de RV die de lucht zou hebben bij afkoeling tot bladtemperatuur (voor onderste en bovenste bladlaag). Er zijn twee pieken zichtbaar die een risico op bladnat betekenen. De eerste piek (op 13 maart rond 17:00 uur) komt echter voort uit een te hoge waarde voor de luchtvochtigheid van het gewas.

De tweede piek (op 14 maart rond 21:00 uur) is realistisch. Die is ontstaan door afkoeling van de bovenste bladeren bij verwarming met het ondernet. De sluiting van het energiescherm vlak na 21:00 maakt een eind aan de hoge RV door stijging van de temperatuur (zie Figuur 6.1).

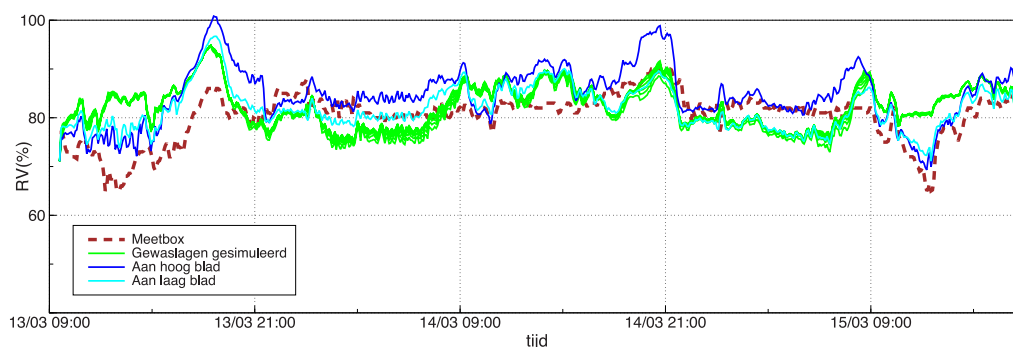
6.2.1 Temperatuur verschil over het gewas

Omdat het in deze studie gaat over het effect van onderdoor en bovendoor verwarmen (koelen) vormt de vergelijking in de Figuren 6.1 en Figuur 6.2 slechts de achtergrond waartegen in meer detail naar de temperatuurverdeling gekeken wordt.

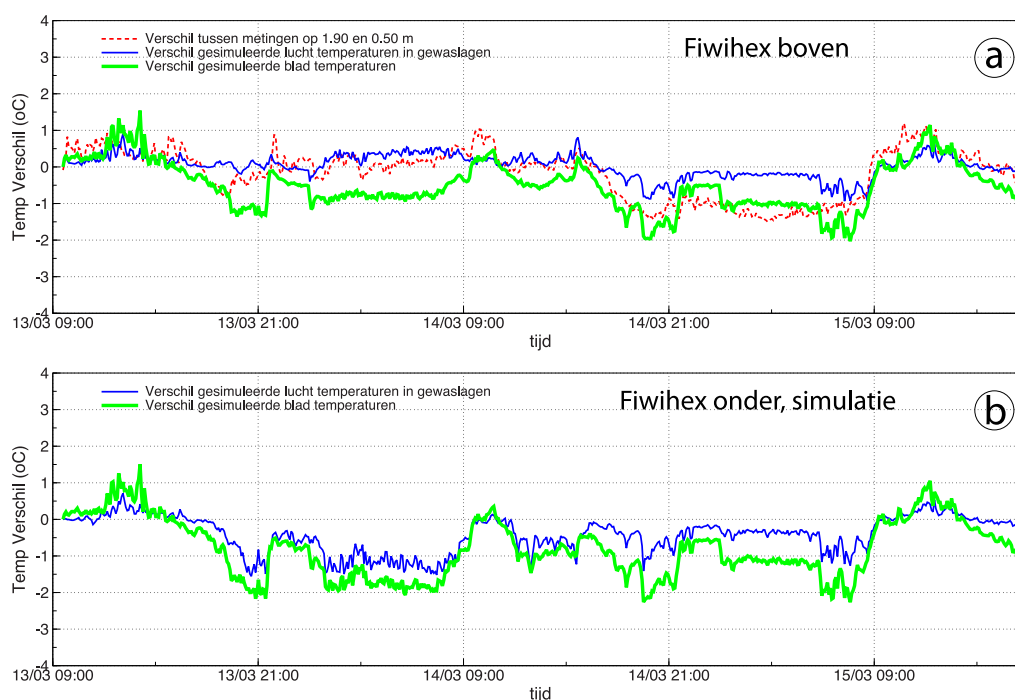
Figuur 6.3a laat het temperatuur verschil over het gewas zien. De rood gestippelde, gemeten curve is het verschil tussen de lucht temperatuur gemeten op 1.90 m en 0.50 m hoogte (de DLV metingen). De getrokken lijnen geven het verschil weer tussen de gesimuleerde *lucht* temperaturen voor de onderste en bovenste gewaslaag¹ en tussen de gesimuleerde *blad* temperaturen.

We zien dat de temperatuur verschillen over het gewas klein zijn. Dat komt doordat

¹Het rozengegewas is gesimuleerd als zes bladlagen.



Figuur 6.2. Gemeten (stippellijn) en gesimuleerde (getrokken lijnen) RV voor situatie beschreven in Figuur 6.1. De blauwe lijnen geven de RV voor een bladlaag als de lucht op blad temperatuur zou zijn. Zie verder de tekst.



Figuur 6.3. Temperatuur verschil over het gewas (boven minus onder). (a) Gemeten en gesimuleerd (Boonekamp, maart). (b) **Simulatie experiment:** de Fiwihex onder het gewas in plaats van erboven. De Fiwihex zuigt lucht dan aan van boven het gewas en blaast de verwarmde lucht onder het gewas uit. Merk op dat alleen in de eerste nacht (van 13 op 14 maart) de Fiwihex gebruikt is voor verwarming. In de tweede nacht is het ondernet gebruikt.

het nog een jong en tamelijk ijl gewas was. Over het algemeen is er een redelijke overeenstemming tussen de gemeten verschillen (de rode stippellijn) en de gesimuleerde verschillen in lucht temperatuur (de blauwe lijn). Alleen in de nacht van 14 op 15 maart ligt het gemeten verschil een graad onder het berekende².

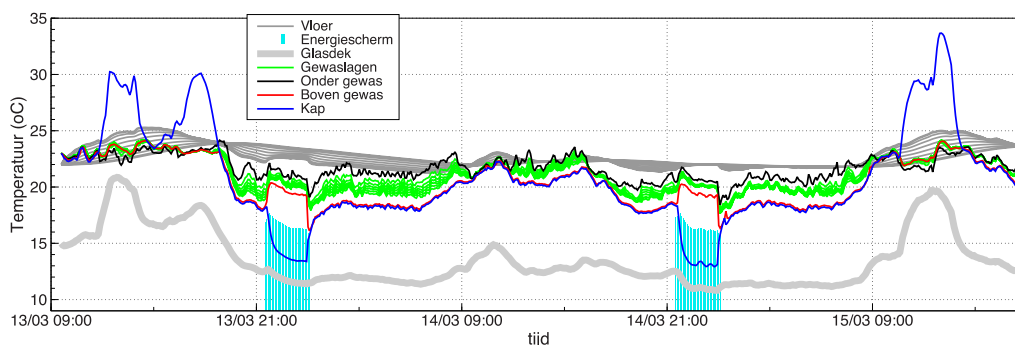
6.2.2 Gesimuleerd experiment: De Fiwihex onder

Het klimaat model is gebruikt om het kasklimaat te berekenen met de Fiwihex onder het gewas terwijl verder *alles* hetzelfde blijft, inclusief de raamstanden. Het kasklimaat wordt dus niet bijgeregeld omdat de temperaturen anders zijn dan met de Fiwihex boven, maar *alleen* de Fiwihex gaat naar beneden.

Wat daarbij wel in rekening gebracht wordt is dat een Fiwihex onder het gewas lucht aanzuigt van boven het gewas, de lucht verwarmt (of koelt) en vervolgens onder uitblaast. Dat betekent dat de Fiwihex zolang de ventilator aan staat invloed zal hebben op het gewasklimaat, zelfs als er niet verwarmd wordt.

Het effect van de verplaatsing van de Fiwihex op de temperaturen is te zien in Figuur 6.4. De groene lijnen zijn de temperaturen in het gewas en kunnen worden vergeleken met die in Figuur 6.1b. In de "Fiwihex nacht" van 13 op 14 maart zijn de temperatuurverschillen over het gewas groter geworden. In de nacht van 14 op

²Dat kan het gevolg zijn geweest van een nachtelijke uitstraling, die groter is geweest dan aangenomen. De berekeningen zijn gemaakt voor een stralingstemperatuur van de nachtelijke hemel gelijk aan die van de buitenlucht (een bewolkte hemel). Het kan ook de invloed van de warme buizen van het ondernet op de sensor op 0.50 m hoogte zijn geweest.



Figuur 6.4. Simulatie experiment: gesimuleerde temperaturen voor verwarming met de Fiwihex *onder* het gewas voor de situatie bij Boonekamp in maart 2009 (zie Figuur 6.1 voor de temperaturen met de Fiwihex boven).

15 maart is er verwarmd met het ondernet. De naar beneden gehaalde Fiwihex³ blaast de warme lucht door het gewas, hetgeen leidt tot iets hogere temperaturen *onder* en *in* het gewas, zonder dat de *verschillen* tussen hoge en lage bladeren beïnvloed worden.

Figuur 6.3b op bladzijde 26 laat expliciet het verschil zien tussen de temperaturen boven- en onderin het gewas. Onderdoor verwarmen (in de nacht van 13 op 14 maart) heeft tot gevolg dat de blad temperatuur bovenin ongeveer 2°C lager is dan onderin. Dat is een graad meer dan met de Fiwihex boven in Figuur 6.3a. Dat komt doordat de bovenste bladlagen in minder direct contact staan met de uitgeblazen verwarmde lucht en daardoor verder kunnen afkoelen.

Het effect van de virtuele verplaatsing van de Fiwihex op de RV in het gewas komt hieronder aan de orde bij de bespreking van de metingen in mei 2009.

6.3 Koeling bij Boonekamp

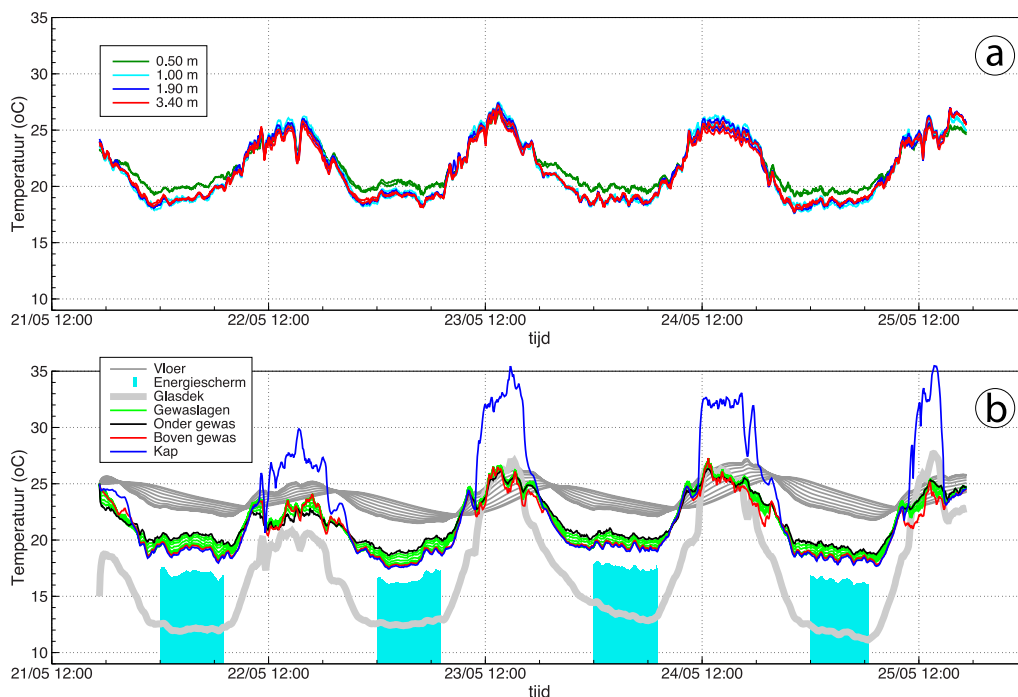
De analyse is uitgevoerd voor meetperiode van 21-mei-2009 tot 25-mei-2009. Het gewas is voller (in de simulaties LAI=2.6) en het weer is warmer dan in maart. Overdag wordt er gekoeld en 's nachts verwarmd met de Fiwihex. Het kasklimaat is gesimuleerd met behulp van *precies dezelfde modelparameters* als in de simulaties voor maart. De (onbekende) stralingstemperatuur van de nachtelijke hemel is op 10°C onder de temperatuur van de buitenlucht gezet.

In Figuur 6.5 worden gemeten en gesimuleerde temperaturen vergeleken, op dezelfde manier als in Figuur 6.1. De overeenstemming tussen gemeten en gesimuleerde temperaturen is goed. De temperaturen rond het middaguur van 22 mei zijn in de simulatie een graad te laag. De RV en de temperatuur verschillen over het gewas worden hieronder besproken, samen met een simulatie van de Fiwihex onder het gewas. De gesimuleerde temperatuurverschillen worden tenslotte vergeleken met metingen bij Porta Nova.

6.3.1 Gesimuleerd experiment: De Fiwihex onder

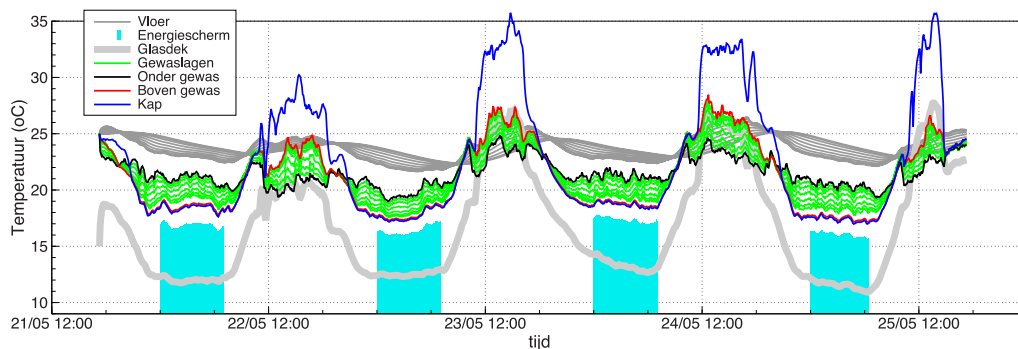
Figuur 6.6 laat de gesimuleerde temperaturen zien voor de meetperiode in mei, maar nu met de Fiwihex onder het gewas. De verschillen in temperatuur over

³Volgens de invoergegevens heeft de Fiwihex ventilator aangestaan, ook tijdens de nacht van 14 op 15 maart waarin verwarmd werd met het ondernet.



Figuur 6.5. Temperaturen voor een meetperiode in mei bij Boonekamp met verwarming in de nacht en koeling overdag. De Fiwihex apparaten hangen boven het gewas. (a) Metingen op 4 hoogtes door DLV (elke hoogte $2\times$). (b) Gesimuleerd met het klimaatmodel van EcoCurves en Plant-Dynamics met fotosynthese parameters voor Grand Amore. De bundel donkergrijze lijnen geeft de bodemtemperatuur op 10 dieptes (de snelst variërende is die voor het oppervlak). De dikke lichtgrijze lijn is de temperatuur gesimuleerd voor het glasdek. Zie ook de tekst voor een verdere bespreking.

het gewas zijn enkele graden hoger dan met de Fiwihex boven het gewas. Dat komt omdat de stralingswarmte overdag minder direct wordt weggekoeld en ook de verwarming 's nachts ook niet direct de bovenkant van het gewas betreft (waar de afkoeling plaatsvindt). De bovenste gewaslagen zijn daardoor overdag warmer en 's nachts kouder dan met de Fiwihex boven het gewas.



Figuur 6.6. Simulatie experiment: gesimuleerde temperaturen voor verwarming met de Fiwihex *onder* het gewas voor de situatie bij Boonekamp in mei 2009. De verschillen in gewas temperatuur zijn enkele graden groter dan met de Fiwihex boven het gewas. (zie Figuur 6.5 voor de temperaturen met de Fiwihex boven).

Opmerkelijk is dat de gemiddelde temperatuur van het gewas gelijk is gebleven.

Voor de bovenste gewaslaag is het gemiddelde over de gesimuleerde periode 21.2°C met de Fiwihex boven en 21.3°C met de Fiwihex onder het gewas. Voor de onderste gewaslaag is dat 21.6°C en 21.5°C met Fiwihex boven, respectievelijk onder. Door de opwarming overdag en de extra afkoeing 's nachts zijn dus wel *de verschillen* groter geworden, maar de *gemiddelde temperatuur* is niet veranderd, *op iedere hoogte in het gewas*. In Figuur 6.7 op bladzijde 30 worden de verschillen over het gewas in detail bekeken.

Temperatuur verschil over het gewas

Figuur 6.7a (Fiwihex boven) laat gemeten en gesimuleerde waarden zien voor het temperatuurverschil tussen de bovenste en onderste delen van het gewas. Zowel de metingen (rode stippellijn) als de simulaties (blauwe lijn) laten zien dat 's nachts de lucht bovenin het gewas ongeveer 1°C kouder is dan onderin (de blauwe lijn in de vroege ochtend op alle dagen). Dat is een graad meer dan in maart (zie de ochtend van 14 maart in Figuur 6.3a) omdat in mei de grond warmer was, de uitstraling hoger en het gewas dichter.

Overdag is het verschil *in lucht temperatuur* nihil omdat de koeling met de Fiwihex boven het gewas voorkomt dat de lucht daar opwarmt (we bespreken nog steeds Figuur 6.7a). De blad temperaturen (groene lijn) schommelen om de lucht temperaturen heen. Overdag zijn de bladeren bovenin het gewas warmer dan de lucht (door de instraling) en 's nachts kouder dan de lucht (door verdamping en uitstraling).

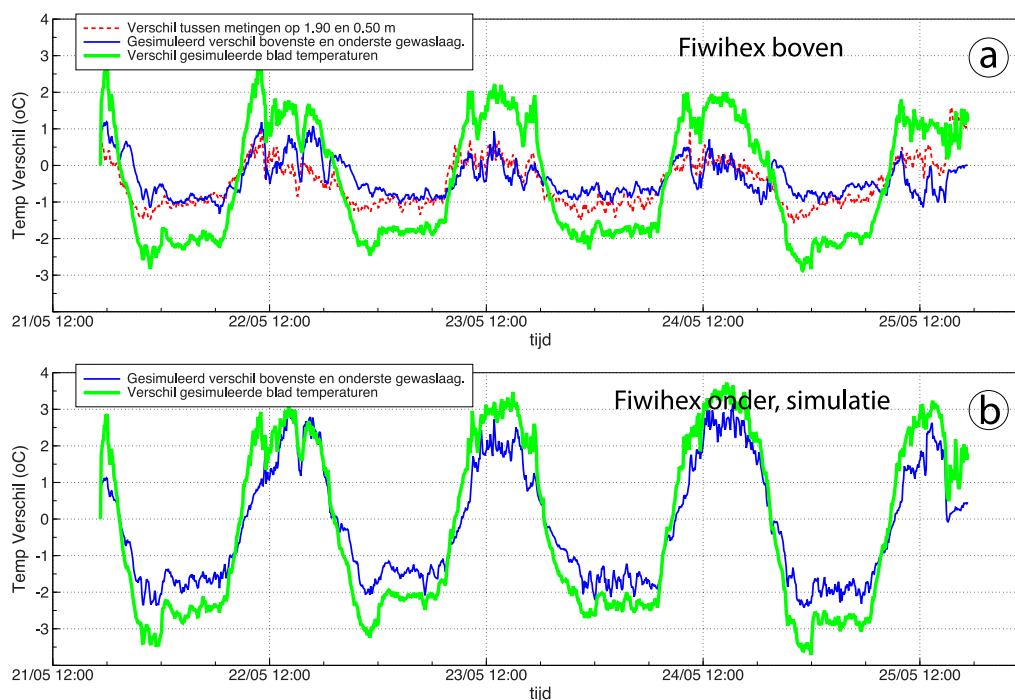
Figuur 6.7b laat zien wat er gebeurt als de Fiwihex naar beneden verhuist. De verwarming overdag en de koeling 's nachts zijn nu enigszins indirect (via de lucht die door het gewas geblazen wordt). De lucht bovenin het gewas is daardoor overdag ongeveer 2°C warmer en 's nachts 2°C koeler dan onderin.

Voor de blad temperaturen zijn de verschillen nog iets groter. Aan de groene lijn in Figuur 6.7b zien we dat de bovenste bladeren overdag ongeveer 3°C warmer en 's nachts ongeveer 3°C kouder zijn dan de bladeren onderin. Dat is zowel overdag als 's nachts ongeveer één graad meer dan in Figuur 6.7a met de Fiwihex boven.

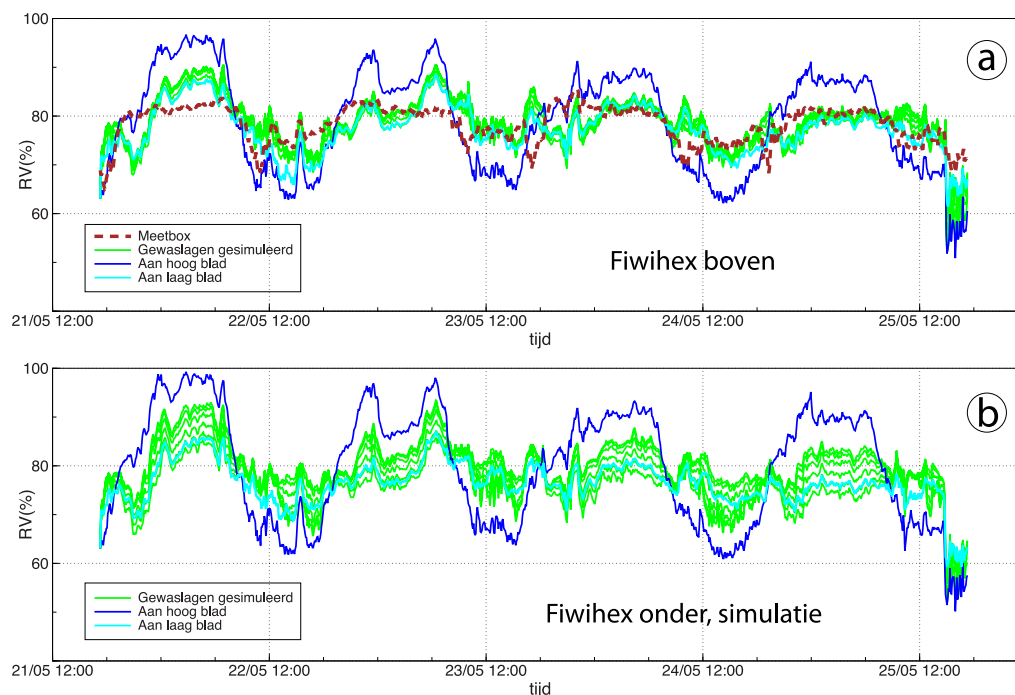
De RV

Gemeten en gesimuleerde vochtgehalten zijn te vinden in Figuur 6.8a. De gemeten curve (bruine stippellijn) en de berekende waarden (groene lijnen) schommelen beide rond een waarde iets beneden de 80%. Wel zijn de schommelingen in de berekende waarden heftiger. Daarmee moet bij de interpretatie rekening worden gehouden. Het risico op nachtelijk "bladnat" is weer bekeken door de RV van de bovenste en de onderste gewaslaag te berekenen alsof de lucht temperatuur aldaar gelijk zou zijn aan die van het blad (dat overdag warmer en 's nachts kouder is dan de lucht).

Figuur 6.8b laat het simulatie resultaat zien voor de Fiwihex onder het gewas. De grotere temperatuur gradiënt over het gewas komt tot uiting in een groot verschil in RV, zo'n 10% tussen boven en onder (de brede bundel groene lijnen). Overdag is de temperatuur bovenin het gewas relatief hoog en is de RV diensgevolge relatief laag, ongeveer 70%. Als overdag de RV zou worden opgevoerd tot 80% bovenin het gewas (door maatregelen van de klimaatcomputer) dat stijgt de RV aan de onderkant tot boven de 90%. De temperatuur gradiënt over het gewas bij onderdoor koelen levert dus een risico op bladnat onderin, met name als de RV bovenin op



Figuur 6.7. Temperatuur verschil over het gewas (boven minus onder). (a) Gemeten en gesimuleerd bij Boonekamp in mei 2009. (b) **Simulatie experiment:** de FiwiHex onder het gewas in plaats van erboven. De FiwiHex zuigt lucht aan van boven het gewas en blaast de (overdag) gekoelde of ('s nachts) verwarmde lucht onder het gewas uit. Zie de tekst voor verdere uitleg.



Figuur 6.8. Relatieve vochtigheid RV (a) Gemeten en gesimuleerd voor de kas van Boonekamp (meetperiode mei 2009). (b) **Simulatie experiment:** de FiwiHex onder het gewas in plaats van erboven. Onderdoor koelen leidt tot een verschil in RV van zo'n 10% tussen de bovenste en onderste delen van het gewas. Merk op dat overdag de RV onderin het gewas het hoogst is en 's nachts de RV bovenin het gewas.

80% gehouden wordt.

In Figuur 6.8b zijn ook weer "bladnat RV" waarden gegeven voor de bovenste en onderste delen van het gewas. De nachtelijke waarden voor de bovenste bladeren (de toppen van de donderblauwe lijn) zijn niet duidelijk verhoogt ten opzichte van Figuur 6.8a met de Fiwihex boven. Dat betekent dat de nachtelijke verwarming onderin een klein extra risico geeft op bladnat bovenin het gewas.

Fotosynthese

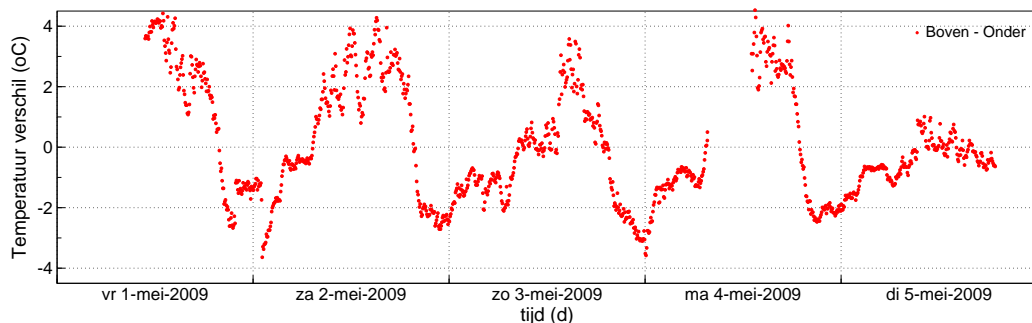
De relatief hoge temperaturen bovenin het gewas bij onderdoor koelen overdag leidt in principe tot een andere fotosynthese. Nu is het verschil klein, en fotosynthese is minder gevoelig voor temperatuur dan zaken als rijping en gewasontwikkeling. Voor beide situaties is de assimilatie voor zes bladlagen opgeteld en vervolgens is het totaal over de gesimuleerde periode te bepaald.

Het resultaat is 155.66 gram met de Fiwihex boven en 155.68 gram met de Fiwihex onder het gewas, een werkelijk verwaarloosbaar effect. Hierbij moet worden aange-tekent dat de regeling van het kasklimaat ongewijzigd is gebleven. Ventilatie en de mate van koeling zijn *niet* aangepast aan het veranderde gewasklimaat. Daardoor is de RV bovenin het gewas, waar het meeste licht wordt geabsorbeerd, lager dan bij verwarming bovenin (zie Figuur 6.8 en de uitleg daarbij).

6.3.2 Porta Nova: metingen met de Fiwihex onder

Dat de temperatuur verschillen over het gewas een stuk groter zijn met de Fiwihex onder is niet alleen gesimuleerd maar ook gemeten. Figuur 6.9 laat metingen zijn bij Porta Nova waar de Fiwihex apparaten onder het gewas zijn geplaatst.

Net als in het gesimuleerd experiment is het overdag bovenin warmer dan onderin en 's nachts bovenin kouder dan onderin. Dat ligt ook voor de hand omdat er overdag gekoeld wordt en 's nachts verwarmd wordt. Van belang is hier dat de gemeten gradiënten aanzienlijk zijn en zelfs wat groter lijken te zijn dan in de simulatie voor Boonekamp (Figuur 6.7b). Dat laatste kan echter liggen aan de specifieke weersomstandigheden. Het simulatie experiment voor Boonekamp en de metingen bij Porta Nova hebben immers niet betrekking op dezelfde dagen. Duidelijk is in ieder geval dat de temperatuurverschillen meerdere graden bedragen.



Figuur 6.9. Temperatuurverschillen over het gewas *gemeten* bij Porta Nova. Net als in het gesimuleerd experiment is het overdag bovenin warmer dan onderin en 's nachts bovenin kouder dan onderin.

6.3.3 Conclusies Klimaatmodel

Onderdoor koelen leidt niet tot andere *gemiddelde* temperaturen in het gewas. Er is wel een grotere temperatuur gradiënt over het gewas. Die grotere temperatuur-gradiënt leidt tot grote verschillen in RV bovenin en onderin het gewas. Bij koeling overdag is de RV onderin zo'n 10% hoger dan bovenin, bij verwarming 's nachts is dat andersom.

Overdag leidt dat tot een relatief lage RV (70%) van de bovenste gewaslaag. Deze lagere luchtvochtigheid doet het effect op de fotosynthese van de hogere blad temperatuur teniet. Er is geen enkel verschil in de gewas fotosynthese berekend tussen de situaties met de Fiwihex boven en de Fiwihex onder het gewas.

Onderdoor koelen en het handhaven van een RV bovenin het gewas van 80% brengt een risico op bladnat onderin met zich mee. Het risico op nachtelijk bladnat bovenin is iets verhoogd bij onderdoor verwarmen maar dat effect is klein.

Het effect van onderdoor koelen en verwarmen op de fotosynthese is dus klein of afwezig. Dat hoeft niet te gelden voor de ontwikkeling van de scheuten en knoppen. *Gemiddeld* veranderen de temperaturen weliswaar niet, maar *als* de knopontwikkeling vooral door nachtelijke temperaturen wordt bepaald, dan zal er natuurlijk een effect zijn van de wat lagere nachtelijke temperatuur bovenin het gewas. Dergelijke verschillen ontstaan echter alleen als de temperatuur 's nachts en de temperatuur overdag in verschillende mate van invloed zijn. Het in verschillende mate" moet bovendien aanzienlijk zijn. Het gaat immers om temperaturen die overdag 1°C hoger en 's nachts 1°C lager zijn dan met de Fiwihex boven het gewas.

Opschaling naar productie

Als de luchtsnelheid, temperatuurverdeling en de variatie in RV bekend zijn (paragraaf 6), dan kunnen op basis van instraling berekeningen van de warmtebronnen in de kas worden gemaakt. Windsnelheden gemeten in en boven het gewas in combinatie met een bladafstand geven benaderende informatie over het verticaal warmtetransport.

Vervolgens kan de afvoer van warmte via convectie en latente warmte worden gekwantificeerd. Dit maakt het mogelijk om de temperatuurverdeling in het gewas te berekenen. Deze berekeningen kunnen vervolgens worden gekoppeld aan het model "Explorer Roos" om effecten van verschillende koelscenario's door te rekenen. Explorer Roos is een getest groeimodel voor roos waarmee de effecten van microklimaat en management op de productiviteit van roos kunnen worden berekend. In tabel 7.1 zijn berekeningen voor een teelt van 10 rassen weergegeven waarbij de gemiddelde temperatuureffecten en de gemiddelde gradiënt over het gewas bij onder- en boven-verwarmen werd opgelegd aan die betreffende teelt. De effecten zijn in feite een uitvergroting van de realiteit omdat in werkelijkheid verschillen in de gradiënten tussen onder- en bovenverwarmen kleiner omdat ze gedempt worden door terugkoppelingen in het feitelijke kasklimaat. Er is weinig verschil in opbrengst en kwaliteit tussen onderdoor en bovendoor verwarmen op o.a. productie uitloop etc. De cijfers zijn duidelijk indicaties (trends) maar geven geen betrouwbare resultaten voor de absolute cijfers. Het gaat hier om de onderlinge verhoudingen en het feit dat voor een dergelijk groot aantal rassen met zulke uiteenlopende eigenschappen toch betrekkelijk kleine effecten zijn te zien. De invloed van teeltstrategie en gewasmanagement op productie, uitloop etc. is daarentegen veel groter. Het is dan ook erg waarschijnlijk dat eventuele rasafhankelijke negatieve effecten van onderdoor- en bovendoor-verwarmen c.q. koelen heel goed door teeltmanagement kunnen worden opgeheven.

7.1 Conclusies Opschaling naar productie

De effecten van de plaats van de FiWiHex zijn rasafhankelijk maar er kunnen toch enkele algemene conclusies worden geconstrueerd. Het lijkt dat rassen die een relatief grote temperatuurgevoeligheid hebben voor scheutuitloop zoals Red Naomi, Prima Donna en Passion, gebaat zijn bij een positie van de FiWiHex onderin het gewas. Door de positie onderin het gewas van met name de warmtebron wordt de uitloop gestimuleerd. Het gevaar bestaat dat dit, bij een gebrek aan de benodigde assimilaten, leidt tot kleine takken. Voor rassen die erg makkelijk uitlopen, zoals

Tabel 7.1. Procentuele voordeel van onderverwarmen tov bovenverwarmen. Een positief getal geeft het relatieve voordeel van onderverwarmen. Een negatief getal geeft het procentuele nadeel van onderverwarmen. Over alle rassen heen is er nauwelijks effect van de positie van de verwarming op de productie maar tussen rassen zijn er aanzienlijke verschillen. De effecten op aantal takken en takgewicht zijn groter dan op opbrengst. De verschillen zullen in de praktijk uiteindelijk kleiner zijn door aanpassingen van het gewasmanagement.

Ras	aantal	takgewicht	uitloopsnelheid	taksnelheid	oogst totaal
Prima Donna	12	-4.4	7.2	8	7.1
Grand prix	12.9	-5	4.9	7.6	7.3
Red Naomi	21.9	-6.1	5.8	8.2	14.5
Passion	8	-5.4	0.3	7.6	2.2
Bordeaux	6.9	-4.4	9.6	7	2.2
Avalanche	-12.6	-2.3	1.3	6.7	-14.6
Sweet Akito	-12.5	2.6	6.5	8.3	-10.3
Aqua	-1.1	-3.4	6.9	7.6	-4.4
Talea	11.5	-6.5	7.7	8	4.3
Botanic Red	0	-1.7	6.2	8.7	-1.7
Gemiddelde	4.7	-3.6	5.6	7.8	0.7

Avalanche, leidt een hogere temperatuur tot een enorme toename van het aantal takken en uiteindelijk tot een verstoring van de hele plantbalans. In de analyse is echter uitgegaan van temperatuurgradiënten over het gewas, waarbij de gemiddelde temperatuur voor alle rassen hetzelfde was. Dit kan een vertekend beeld opleveren en het is niet uitgesloten dat ook Avalanche prima presteert met een onderverwarming, mits het setpoint voor de gemiddelde bladtemperatuur op een lager niveau wordt afgesteld.

Roos Explorer

Explorer Roos© is een rekenmodel dat de productie van verschillende rozenrassen doorrekent op basis van mechanistische processen. Modelparameters zijn gemeten voor de 10 rozenrassen die in dit rapport besproken worden. In het model zijn kasklimaat, gewasstructuur, gewasmanagement, fotosynthese en plantontwikkeling opgenomen.

Na een korte inleiding over modelberekeningen volgt een beknopte beschrijving van de processen in Explorer Roos. Tenslotte wordt in paragraaf 8.3 een voorbeeld berekeningen besproken.

8.1 Waarom modelberekeningen?

Bij modelberekeningen wordt nogal eens gedacht aan voorspellingen. Het voorspellen van absolute opbrengsten (in kg m^{-2}) is echter moeilijk omdat allerlei gevoeligheden dan precies goed gekwantificeerd moeten zijn. Voorspellende berekeningen vereisen dus een goed getest model in combinatie met nauwkeurige waarden voor de kritische gewaseigenschappen.

Veel vaker wordt een model als Roos Explorer ingezet in combinatie met metingen of proeven. Het gaat dan niet zozeer om nauwkeurige kwantitatieve voorspellingen, maar om de interpretatie van waarnemingen en metingen. Bijvoorbeeld:

- Het narekenen van het resultaat van een vergelijkende proef om te zien of de grootte van het waargenomen effect kan worden begrepen en in een "logisch" verband kan worden gebracht met fotosynthese, groei en ontwikkeling van de planten.
- Het verkennen van gevoeligheden: Welke eigenschappen van gewas of kas zijn het meest bepalend voor het resultaat?
- In een vergelijkende proef is in theorie alles hetzelfde behalve de onderzochte maatregel (wel of geen LED verlichting, verwarming boven of onder, etc.). In de praktijk zijn er echter nogal eens verschillen tussen de behandelingen die er eigenlijk niet hadden moeten zijn. Bijvoorbeeld een verschil in plantdatum of een technisch verschil tussen de gebruikte kassen. In zulke situaties kunnen we met behulp van modelberekeningen nagaan of het waargenomen effect mogelijk het gevolg kan zijn geweest van de storende factoren.
- Het kan ook wenselijk zijn om *voordat* een proef wordt opgezet een verondersteld effect door te rekenen om te zien hoe groot het *ongeveer* kan zijn.

- Een teelt kan worden doorgerekend op basis van gemeten licht en kasklimaat om te zien hoe goed het model werkt. Vervolgens kunnen verkennende berekeningen worden gemaakt: "Wat zou de opbrengst geweest zijn bij een andere belichting?", "Wat zou er gebeurd zijn bij een (iets) ander gewasmanagement?", "Wat zou de opbrengst geweest zijn als het weer dat van vorig jaar was geweest?"

Al deze toepassingen hebben met elkaar gemeen dat de modelberekeningen een vergelijkend karakter hebben en worden uitgevoerd in nauwe samenhang met metingen, de cijfers van een voorbije teelt of de waarnemingen tijdens een proef.

Samenvattend kunnen we stellen dat modelberekeningen in de eerste plaats tot doel hebben de interpretatie van metingen en proeven te vergemakkelijken en te verbeteren. Consistentie tussen enerzijds de empirische resultaten (van proef of teeltseizoen) en anderzijds een mechanistisch model verhoogt de zekerheid waarmee conclusies kunnen worden getrokken. En dat verhoogt de doelmatigheid van proeven. Modelberekeningen met een zuiver voorspellend karakter zijn slechts een extreem (en zeldzaam) geval: rekenwerk *zonder* nieuwe metingen.

8.2 Processen in Roos Explorer

Om de dynamiek van knippen en scheutvorming te kunnen beschrijven rekent de Explorer Roos met individuele planten. De modeluitkomsten zijn dus het gemiddelde of de som van wat bijvoorbeeld 100 planten (in het model) doen. Wat de planten met elkaar delen is het kasklimaat en de verticale lichtverdeling in 10 gewaslagen. Heeft een plant op een bepaald moment alleen kleine takken, bijvoorbeeld, dan worden die beschaduwd door de erboven liggende bladlagen van de andere planten.

De complexiteit van de productie van rozen wordt vooral gekenmerkt door het feit dat met het verwijderen van het geogste product tevens een deel van de productiemachine (de bladeren) wordt verwijderd. Dat gebeurt in het model ook. Worden van een bepaalde plant opgaande takken gesneden dan gaan er knoppen uitlopen die aanvankelijk gevoed worden vanuit het ingebogen blad (via de reserves). Naarmate de nieuwe takken hoger komen en meer blad hebben groeien ze in steeds sterkere mate op eigen kracht verder totdat ze, bij het bereiken van een bepaald ontwikkelingsstadium, worden geogst.

Het door de bladeren onderschepte licht levert de assimilaten voor verdere groei. De fotosynthese is verschillend voor de bladeren van jonge, groeiende takken en voor de relatief oude bladeren van uitgebogen takken. Als de vraag naar assimilaten voor lengtegroei en bladgroei groter is dan het aanbod wordt de groei gereduceerd.

Het gewasmanagement oefent invloed uit op het gewas door het verwijderen of uitbuigen van takken. Ook in het model hebben de "management parameters" een grote invloed op de productie en op het gewicht van de geogste takken.

Het onderdrukken van de scheutvorming door staande takken geeft gemakkelijk aanleiding tot oscillaties in de productie ("flushes") die in de praktijk ook worden waargenomen. De invloed van het gewasmanagement op de productie en op de oscillaties is een intrigerend onderwerp dat met Roos Explorer bestudeerd kan worden.

Over dit alles heen ligt het kasklimaat dat via CO₂, temperatuur, RV en assimilatielicht invloed uitoefent op de fotosynthese, de groei en de ontwikkeling van de takken. Er kan gerekend worden met gemeten kasklimaat om een voorbij seizoen

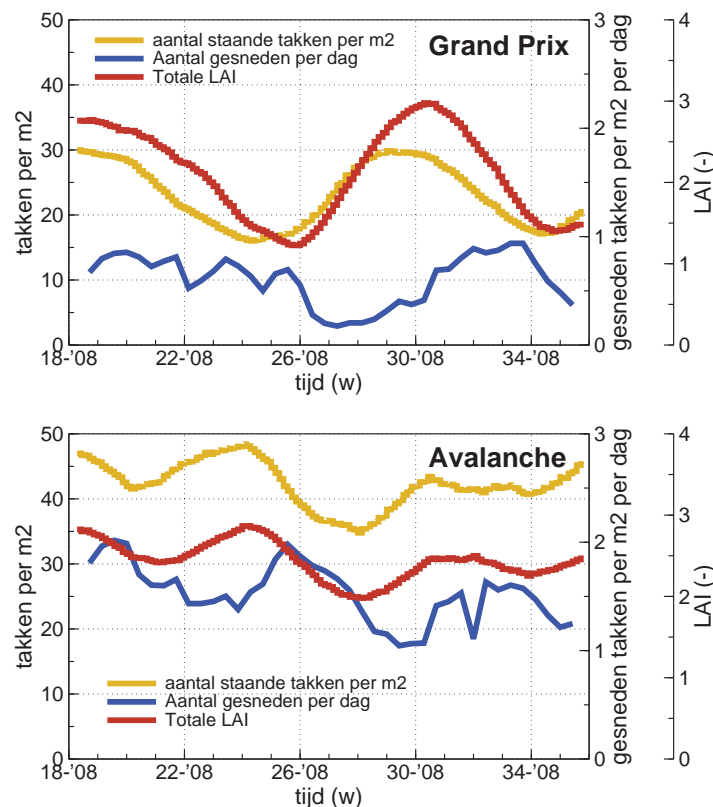
of een proef "door te rekenen". Gemeten kasklimaat is echter bezwaarlijk als er bijvoorbeeld anders belicht en geschermd wordt in de berekeningen, een maatregel die invloed heeft op het kasklimaat. Ten behoeve van dit soort effecten is de Explorer Roos ook gekoppeld met een model voor kasklimaat. Daarmee wordt dan (in dit voorbeeld) de interactie met het gewasklimaat (RV, temperatuur, licht) in rekening gebracht.

8.3 Voorbeeld

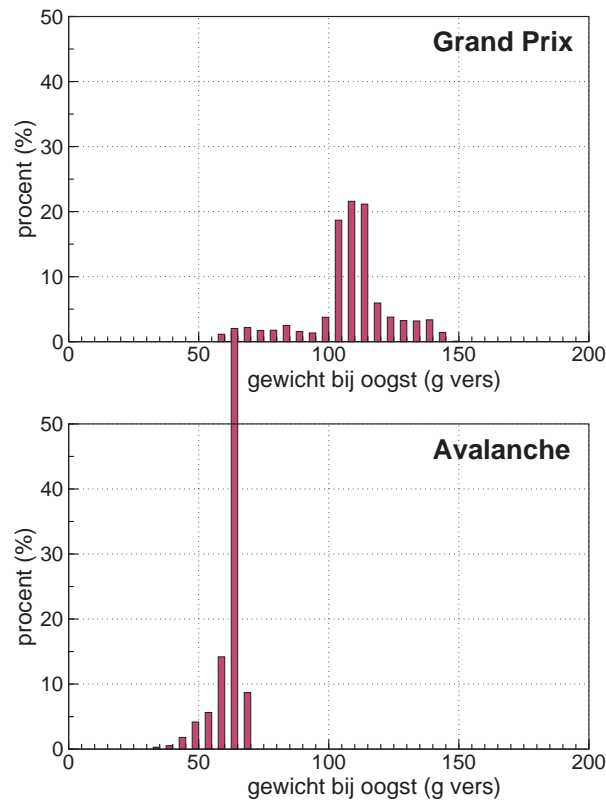
Bij wijze van voorbeeld is een simulatie gedaan voor Grand Prix en Avalanche voor de periode april t/m juli van 2008. In Figuur 8.1 is te zien dat de schommelingen voor Avalanche heftiger zijn dan voor Grand Prix. Dat komt door de grotere rol van de apicale dominantie bij Avalanche.

In Figuur 8.2 worden de gewichten van de geogste takken weergegeven als grootteklassen met een bijbehorend percentage. De gewichtsverdeling wordt dus gesimuleerd door Explorer Roos op basis van gegevens over de normale takontwikkeling. De spreiding hangt zal dan onder andere afhangen van de heftigheid van de flushes.

De opbrengst als versgewicht voor de gesimuleerde periode (april t/m juli) voor Grand Prix 7.9 kg met een gemiddeld takgewicht van 107 g. Voor Avalanche was



Figuur 8.1. Simulatie voor Grand Prix (boven) en Avalanche (onder). De horizontale as geeft weeknummer en jaar. De drie curven in elke grafiek zijn het aantal staande takken, het aantal geogst per dag en de LAI. De gewichten van de geogste takken worden gegeven in Figuur 8.2.



Figuur 8.2. Simulatie voor Grand Prix (boven) en Avalanche (onder). Gewicht van de geogste takken weergegeven als percentages in gewichtsklassen van 0–5 g, 5–10 g, 10–15 g, 15–20 g, etc.

de totale opbrengst 11.2 kg met een gesimuleerd takgewicht van gemiddeld 60 g. Dat zijn hoge opbrengsten. Het betreft echter het seizoen met het meeste licht en het betreft een eerste schatting van de modelparameters. Naar aanleiding van de gedetailleerde uitwerking in de andere hoofdstukken van dit verslag kunnen de parameterwaarden nog verbeterd worden.

Appendix

9.1 Luchtvochtigheid

VPD_l in relatie tot RV in de kas 0.8 kPa komt overeen met: 25 °C blad en 75 % RV kas 30 °C blad en 80 % RV kas

1.5 kPa komt overeen met: 25 °C blad en 55 % RV kas 30 °C blad en 65 % RV kas

Luchtvochtigheid is een van de belangrijkste klimaat factoren in de kas. Bij alle temperaturen kan waterdamp door condensatie overgaan in vloeibaar water en door verdamping weer in waterdamp. Voor verdamping van waterdamp is veel energie nodig, die bij condensatie weer vrijkomt. De overgang van waterdamp naar water en omgekeerd heeft grote invloed op de energiehuishouding in de kas. Inzicht in het begrip luchtvochtigheid en alles wat daarmee samenhangt, is dus van essentieel belang voor een goed kasklimaat. De luchtvochtigheid is afhankelijk van de hoeveelheid waterdamp die in de lucht zit. Om een beeld te krijgen moet men rekening houden met de volgende factoren: absolute luchtvochtigheid, relatieve luchtvochtigheid (RV), dampdruk, dampdruk deficit, dauwpunt.

9.1.1 Absolute luchtvochtigheid

Is de hoeveelheid waterdamp (g/m³) die de lucht maximaal kan opnemen. Omrekeningen van absolute luchtvochtigheid naar relatieve luchtvochtigheid kan alleen als de temperatuur bekend is. Bijvoorbeeld 15 g/m³ bij 17.5 °C is gelijk aan 100% RV, terwijl bij 25 °C het gelijk is aan 65% RV.

9.1.2 relatieve luchtvochtigheid (RV)

De relatieve luchtvochtigheid is de verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die in de lucht zit en de hoeveelheid die de lucht bij dezelfde temperatuur maximaal kan opnemen. De RV wordt uitgedrukt in procenten. Bijvoorbeeld bij 20 °C kan de lucht 17.3 g/m³ waterdamp bevatten. Als er nu maar 13 g/m³ inzit bij 20 °C is er een RV van 75

Veranderingen in de RV zijn afhankelijk van twee factoren: de temperatuur en het vochtgehalte. Bij een gelijk vochtgehalte daalt de RV als de temperatuur stijgt. Omgekeerd stijgt de RV als de temperatuur daalt. Als de luchttemperatuur gelijk blijft maar het vochtgehalte veranderd wijzigt ook de RV.

9.1.3 Dampdruk (VP) en dampdruk deficit (VPD_l)

Dampdruk ontstaat door botsingen van waterdamp moleculen. De druk die de moleculen uitoefen hangt af van de massa en de gemiddelde snelheid (is temperatuur) van de moleculen. Alle gassen die zich in de lucht bevinden maken samen de luchtdruk. Dampdruk van water ligt normaal ergens tussen de 1 en 5 kPa. Het waterdamp druk deficit is het verschil tussen de maximale waterdamp druk en de actuele waterdamp druk. De VPD_l ligt normaal tussen de 0.1 kPa (hoge luchtvochtigheid) en de 3 kPa (lage luchtvochtigheid). Een lage VPD_l betekent een hoge luchtvochtigheid en omgekeerd. Hoe hoger de VPD_l hoe droger de lucht en hoe meer de plant moet verdampen.

Referenties

- Blom-Zandstra, M., Pot, C. S., Maas, F. M., Schapendonk, A. H. C. M., 1995. Effects of different light treatments on the nocturnal transpiration and dynamics of stomatal closure of two rose cultivars. *Scientia Horticulturae* 61, 251–262.
- Boogaard, R., Harbinson, J., Mensink, M., Ruijsch, J., 2002. Effects on quantity and daily distribution of irradiance on photosynthetic electron transport and CO₂ fixation in tomato. In: Kooten, Snel (Eds.) *Plant Spectrofluorometry: Applications and Basic Research*, pp. 49–54. Rozenberg Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Calatayud, Á., Roca, D., Gorbe, E., Martínez, P. F., 2007. Light acclimation in rose (*Rosa hybrida* cv. Grand Gala) leaves after pruning: Effects on chlorophyll a fluorescence, nitrate reductase, ammonium and carbohydrates. *Scientia Horticulturae* 111, 152–159.
- Challa, H., Schapendonk, A. H. C. M., 1986. Dynamic optimisation of CO₂ concentration in relation to climate control in greenhouses. In: Enoch, H. Z., Kimball, B. A. (Eds.) *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops*, pp. 47–160. CRC press inc, Boca Raton, Florida.
- de Zwart, H. F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Ph.D. thesis, Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Gaastra, P., 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light carbon dioxide temperature and stomatal diffusion resistance. *Meded Landbouwhogeschool Wageningen* 59, 1–68.
- Goudriaan, J., 1977. Crop micrometeorology: a simulation study. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. PhD thesis Agricultural University Wageningen.
- Goudriaan, J., van Laar, H. H., 1994. Modelling potential crop growth processes. Textbook with exercises. *Current Issues in Production Ecology*, Volume 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Gutschick, V. P., 1984. Photosynthesis model for C₃ leaves incorporating CO₂ transport, propagation of radiation, and biochemistry 2 ecological and agricultural utility. *Photosynthetica* 18, 569–595.
- Havaux, M., 1993. Non-photochemical energy dissipation in photosystem ii: Theoretical modelling of the energy-dependent quenching of chlorophyll fluorescence emission from intact plant leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 19, 97–104.

- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., Levine, A. S., 2006. Fundamentals of heat and mass transfer. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 6th edition.
- Marcelis-van Acker, C. A. M., 1994. Ontogeny of axillary buds and shoots in roses: Leaf initiation and pith development. *Scientia Horticulturae* 57, 111–122.
- Marcelis-van Acker, C. A. M., 1995. Effect of temperature on development and growth potential of axillary buds in roses. *Scientia Horticulturae* 63, 241–250.
- Monteith, J. L., Unsworth, M. H., 1990. Principles of environmental physics. Arnold, London.
- Ohkawa, K., 1984. Effects of benzyladenine on bud break of roses. *Scientia Horticulturae* 24, 379–383.
- Pandey, R., Chacko, P. M., Choudhary, M., Prasad, K., Pal, M., 2007. Higher than optimum temperature under CO₂ enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). *Scientia Horticulturae* 113, 74–81.
- Schapendonk, A., c.s. Pot, Rappoldt, C., 2009. Plantenpaspoort roos. sleutel voor optimale productie. In: Schapendonk, A. (Ed.) In: Verslagen van onderzoek Productschap Tuinbouw, projectnummer 13040, pp. 1–109. Productschap Tuinbouw, Louis Pasteurlaan, Zoetermeer, Nederland.
- Schapendonk, A. H. C. M., Brouwer, P., 1985. Environmental effects on photosynthesis. simulated and experimental results from a study on a 'tomato-minicrop'. *Acta Hort* 174, 269–276.
- Schapendonk, A. H. C. M., Dolstra, O., van Kooten, O., 1989. The use of chlorophyll fluorescence as a screening method for cold tolerance in maize. *Photosynthesis Research* 20, 235–247.
- Schapendonk, A. H. C. M., Gaastra, P., 1984. Physiological aspects of optimal CO₂ control in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 148, 474–484.
- Vries, D. D., Dubois, L. A., 1988. The effect of bap and iba on sprouting and adventitious root formation of 'Amanda' rose single-node softwood cuttings. *Scientia Horticulturae* 34, 115–121.
- Vries, D. D., Dubois, L. A., Smeets, L., 1986. The effect of temperature on axillary bud-break of hybrid tea-rose seedlings. *Scientia Horticulturae* 28, 281–287.
- Zieslin, N., Mor, Y., 1990. Light on roses. a review. *Scientia Horticulturae* 43, 1–14.

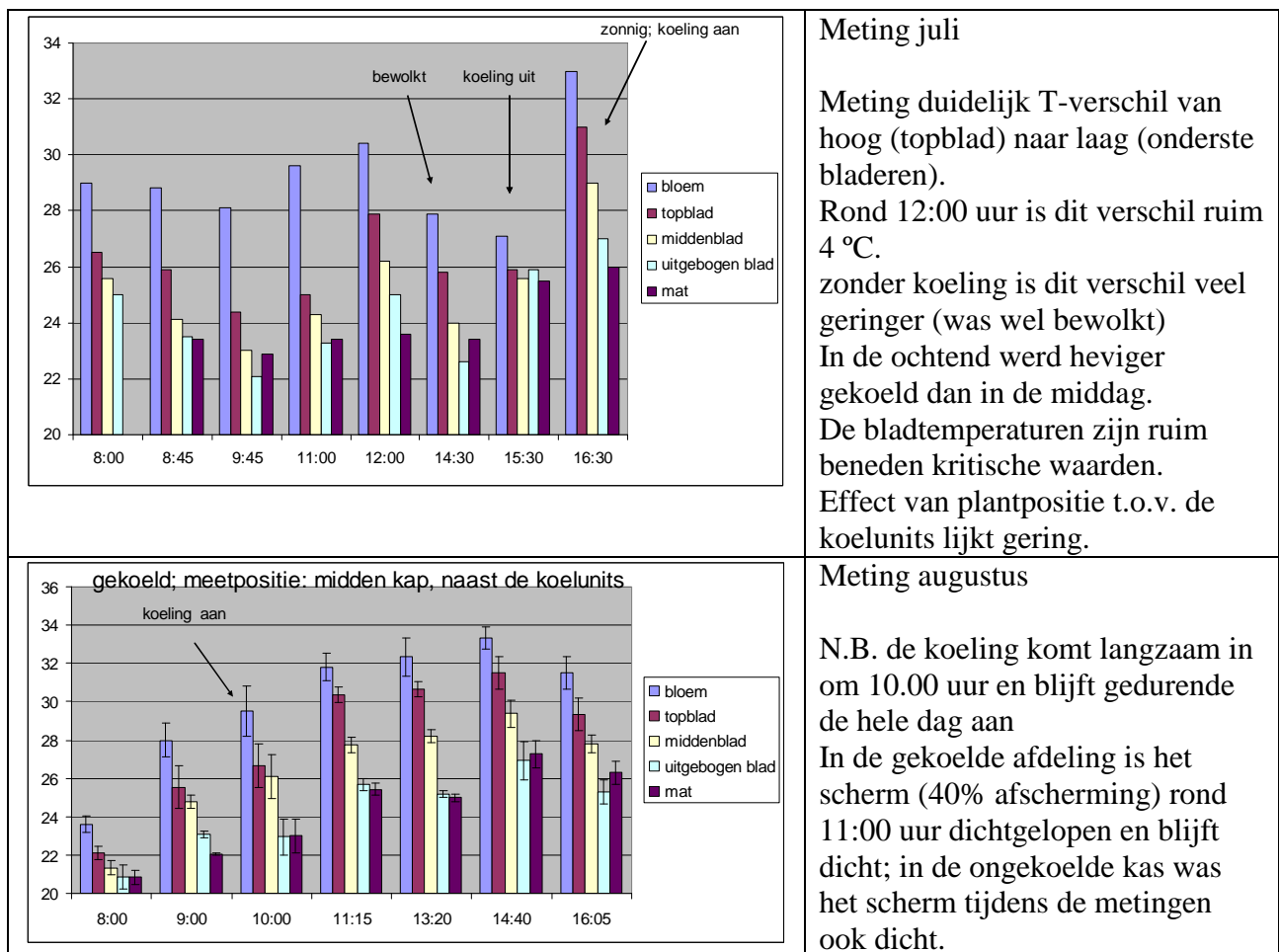
Bijlage 1

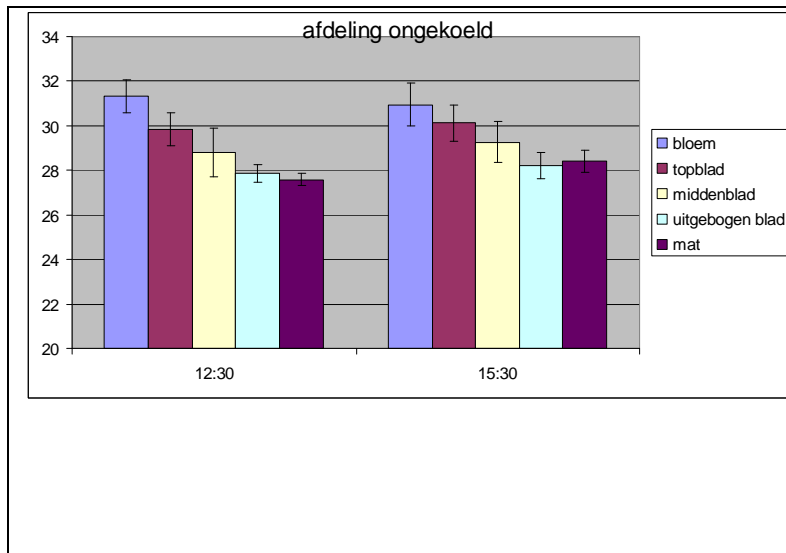
Porta Nova

Tprofiel.

Gekoelde afdeling: gradiënt 4 tot 5 graden tussen ingebogen blad en topblad (aan het begin van de dag is deze circa 1 graad). Dit beeld is hetzelfde, onafhankelijk van meetpositie (planten welke in lijn tussen 2 tegenover elkaar gelegen koelunits staan of naast de koelunits). De gemiddelde temperatuur van het gehele gewas (incl. bloem) vanaf koelen tot het eind van de dag is 28.6 graden op positie naast de koelunits en 28.8 graden op positie in lijn tussen 2 tegenover elkaar staande koelunits.

Ongekoelde afdeling: gradiënt 2 graden tussen ingebogen blad en topblad. De gemiddelde gewas temperatuur (gemeten om 12:30 en 15:30 op 30 aug.) is 29.5 graden.

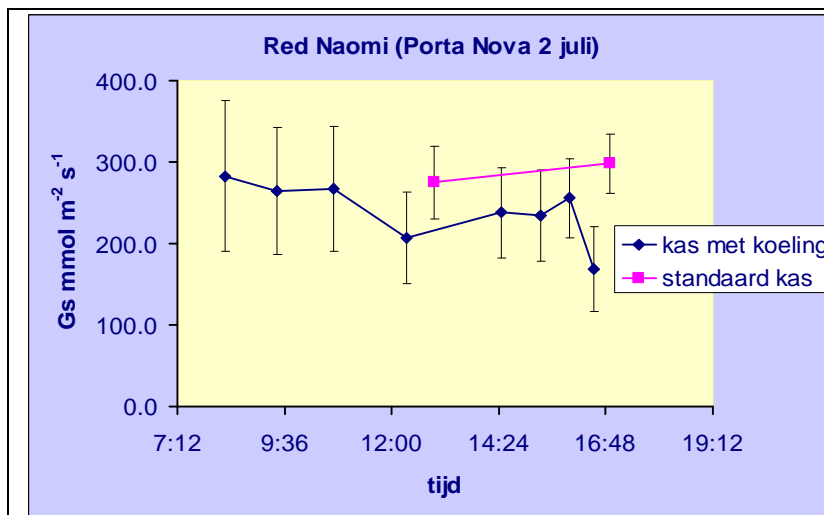




Meting augustus.

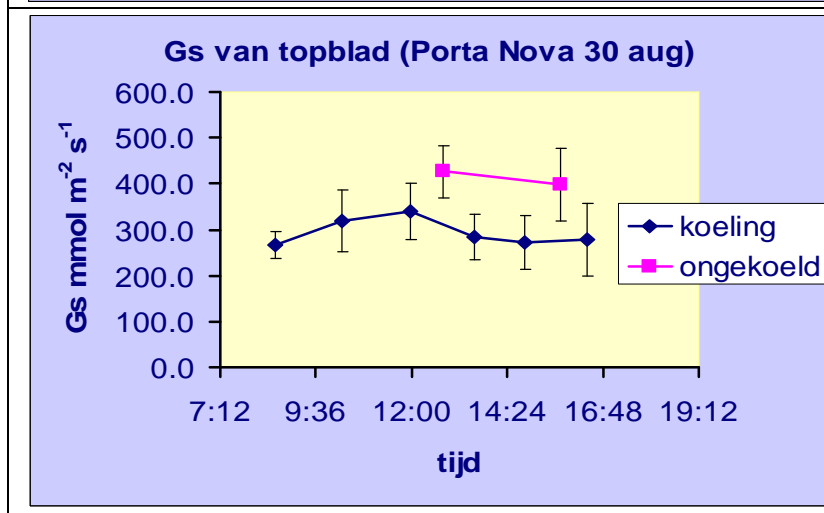
In de middag was de temperatuur van de topbladeren in de niet-gekoelde kas hoger dan in de gekoelde kas.

Porometer.



Van de topbladeren is de T in de gekoelde afdeling hoger dan in de niet-gekoelde kas (vooral 30 aug.).

Het is nog niet duidelijk of dit de oorzaak is van de lagere geleidbaarheid in de gekoelde kas

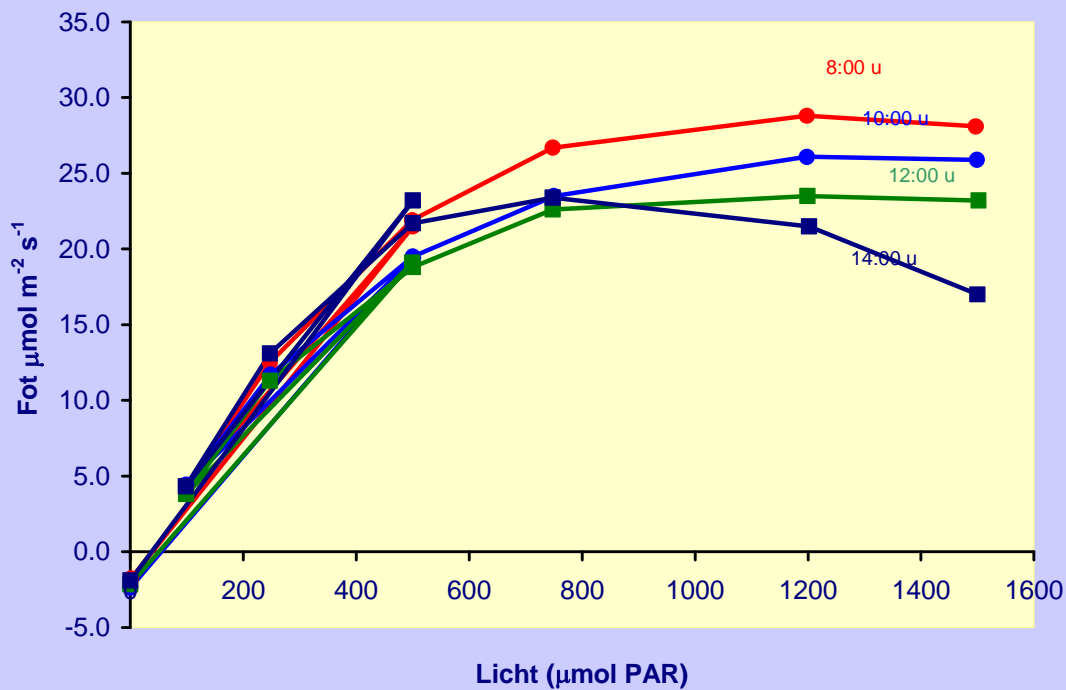


Het patroon (hogere Gs van topblad van ongekoeld t.o.v. gekoeld) is dezelfde als op 2 juli.

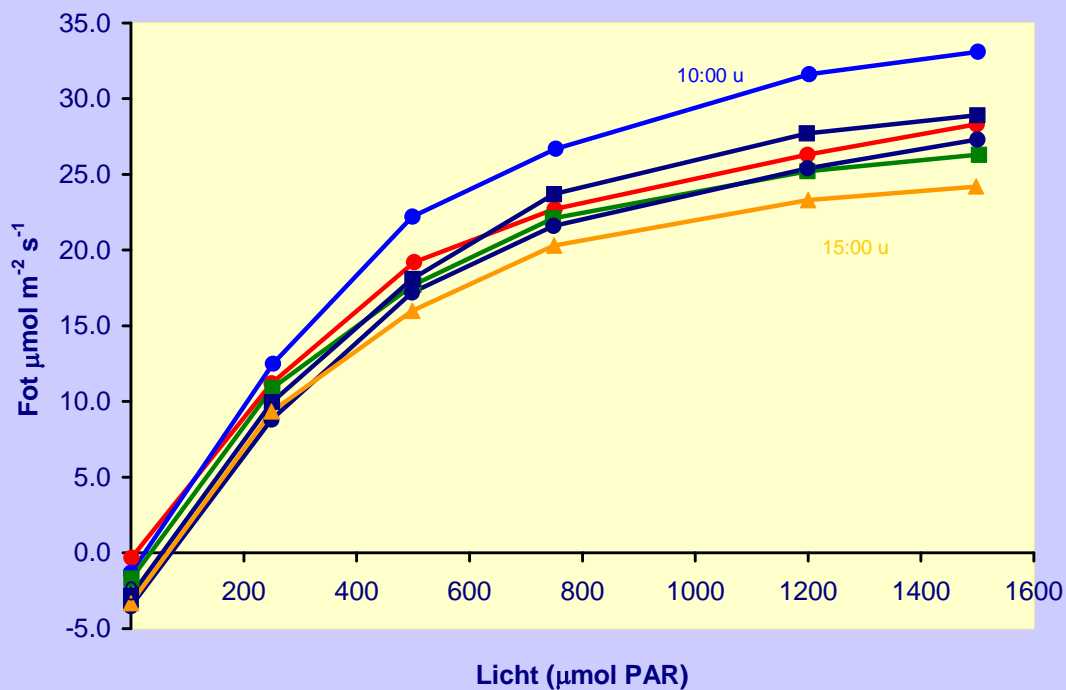
De Gs van bladeren halverwege het gewas (middenblad) is bij gekoeld en ongekoeld gelijk (alleen gemeten op 30 aug.), wat correspondeert met het feit dat ook de temperaturen op die positie gelijk waren in beide behandelingen

Fotosynthese.

Deze is zowel op 2 juli als 30 aug alleen gemeten in de gekoelde afdeling aan jong volgroeide topbladeren.



Fotosynthese lichtresponse metingen over de dag gemeten op 2 juli
 Er is een verloop over de dag als een gevolg van huidmondjessluiting. Dit effect is vooral te zien bij hogere lichtintensiteit.


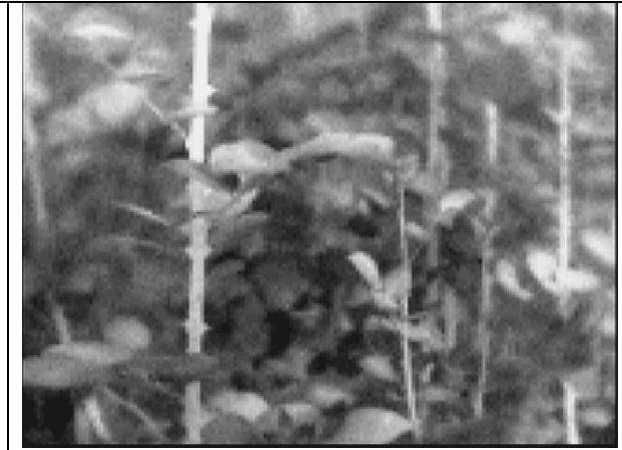




Fotosynthese lichtresponse metingen over de dag gemeten op 30 augustus.
 De fotosynthese is hoger dan in juli. Dat komt overeen met de waargenomen hogere geleidbaarheden. Daarnaast is het gewas ook vitaler dan in juli. Opvallend is de toename in de fotosynthese in de ochtend. Dit werd ook bij vd Berg waargenomen.

Op 2 juli is de maximale fotosynthese (bij 1600 ppm CO₂ en 1500 μmol PAR) in de ochtend 34 en loopt gedurende de dag geleidelijk terug naar 22. Deze afname komt waarschijnlijk door huidmondjes sluiting (zie Licor data).

Op 30 augustus is de maximale fotosynthese (zelfde condities) in de ochtend vrijwel dezelfde (31 & 35) en loopt terug naar 27 in de middag. Sluiting van de huidmondjes is hier minder heftig

Opnames Bolometer 30 augustus:

	
<p>Opname van ingebogen blad met links het pad</p>	<p>Detail opname van stengel en blad. Duidelijk is te zien dat de stengel warmer is dan het blad</p>
	
<p>Opname van bovenste deel van het gewas</p>	<p>Opname van het pad (donkere plek in het midden) en links en rechts het gewas.</p>

Koeling

Metingen mei en juli 2009:

- 1 Metingen bij Porta Nova met extra aandacht voor verdamping en aanvullende metingen bij Boonekamp. Bepalen van de dynamiek van de gewastemperatuur bij verschillende manieren van koelen, onder verschillende klimaatsomstandigheden.
- 2 Onderzoek naar de dynamische effecten bladtemperatuur over de dag en de effecten daarvan op fotosynthese en verdamping. De metingen worden verricht met een handheld meter. Uitgangspunt hierbij is een vergelijk van onder en bovenkoeling.

3 Berekenen van de effecten van de geconstateerde korte-termijn effecten van de fotosynthese op de productiecapaciteit.

Als belangrijkste punt wordt verdampingsdruk genoemd. Ruimtetemperatuur en planttemperatuur werden gelijktijdig gemeten worden onder diverse omstandigheden.

Porta Nova (12 mei 2009)

Algemeen:

meetpositie: zelfde vak als de akoestische meting van DLV (middenpad)

Leon koelt veel rustiger (70% stand ventilator/ uitblaas T 21 graden).

Het effect van koelen is dan ook nauwelijks zichtbaar op de knoptemperatuur (vandaar scherm vrij snel dicht).

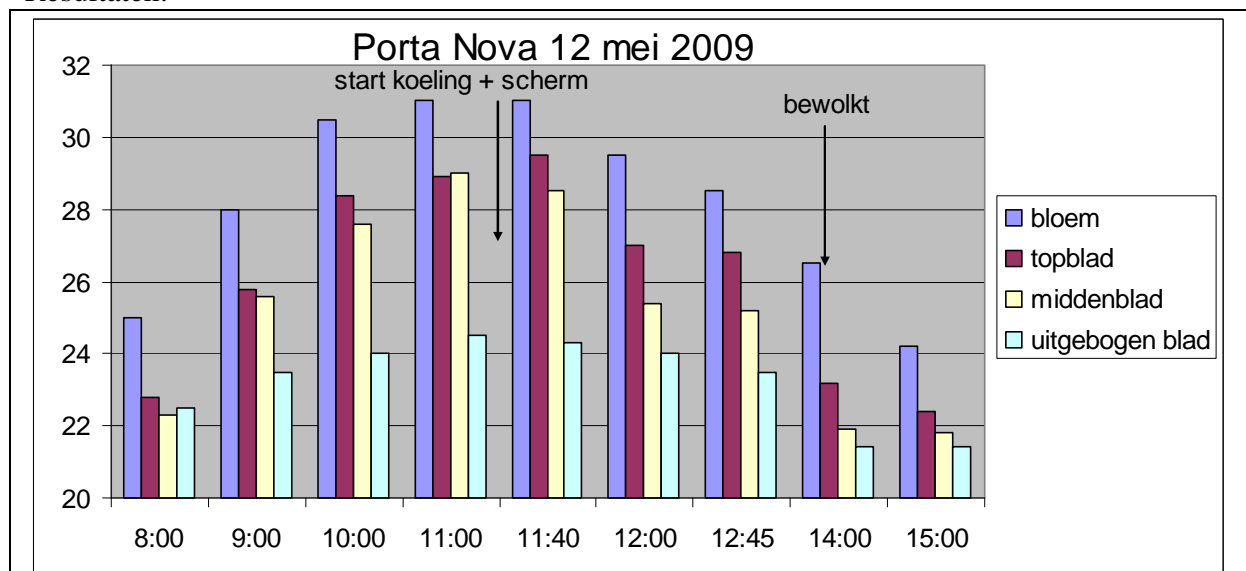
klimaat: zeer zonnig; vanaf 14:00 steeds meer bewolkt.

Koeling aan: 11:25 uur. (uit na 14:00 uur)

Scherm: dicht 11:45 / open 14:15 uur

Krijt: 10% afscherming PAR en 15% warmte.

Resultaten:



In de ochtend was het zeer zonnig, waardoor de knop temperatuur snel oploopt.

Het scherm liep vrij snel dicht na start koeling.

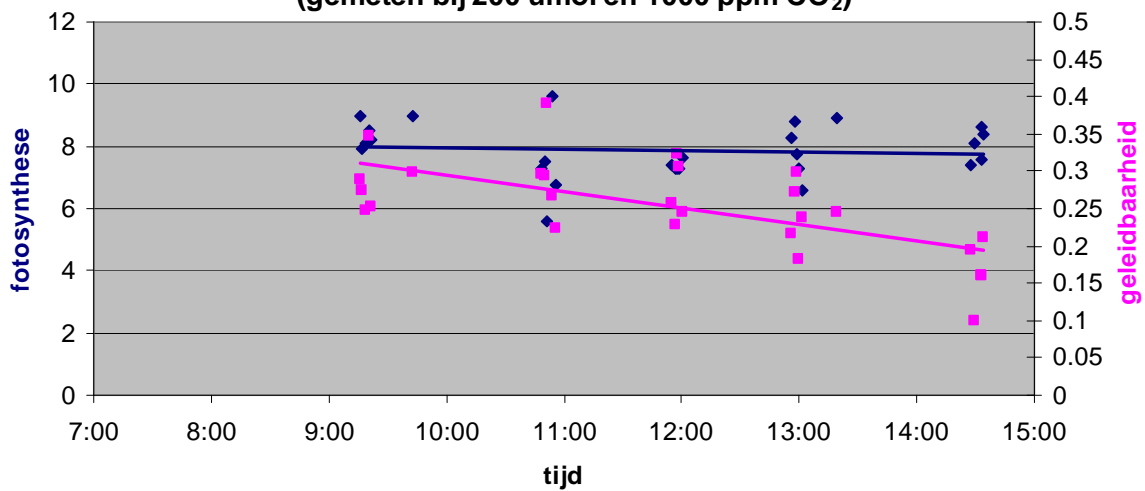
De maximale gradiënt tussen topblad en uitgebogen blad is circa 5 graden.

Na ongeveer 1 uur koeling is de gradiënt teruggelopen naar 3 graden.

Na 14:00 uur wordt het bewolkt en nemen de temperatuur verschillen af.

PortaNova
12 mei koelen

Response van topbladeren (gemeten bij 200 μmol en 1000 ppm CO_2)

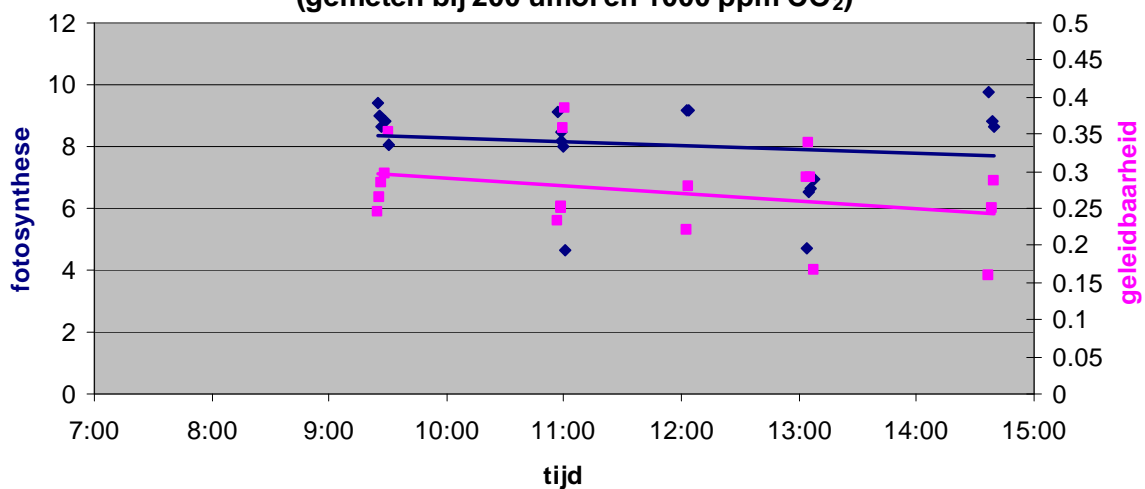


Topbladeren (volgroeï 5-blad)

Verloop huidmondjesopening en fotosynthese in de tijd, gemeten bij 200 μmol PAR. De huidmondjes sluiten geleidelijk in de tijd. De fotosynthese bij 200 μmol blijft stabiel. Dit betekent dat de CO_2 opname bij dit relatief laag licht niet wordt gelimiteerd door huidmondjesopening.

PortaNova
12 mei koelen

Response van bladeren 2/3 onder de top (gemeten bij 200 μmol en 1000 ppm CO_2)

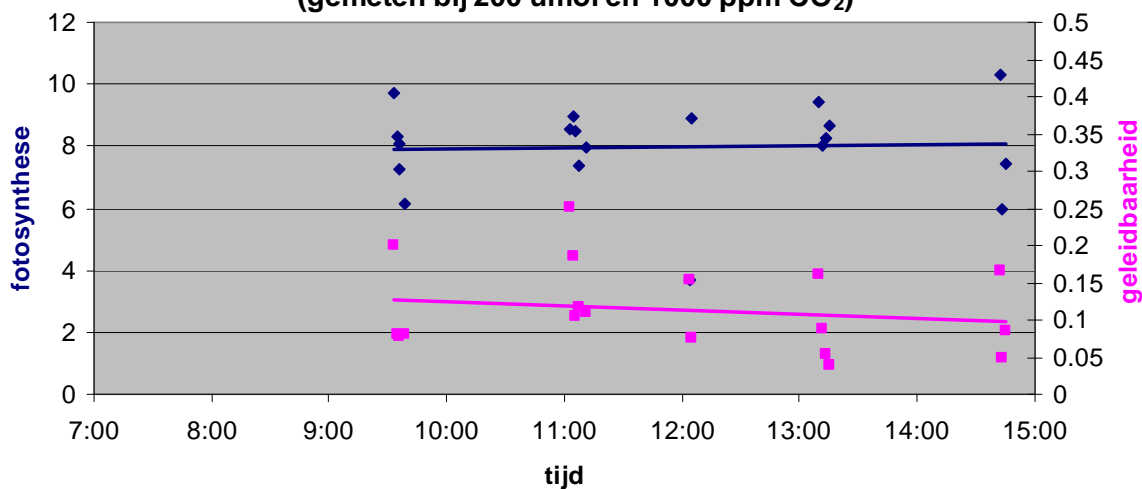


Bladeren 2/3 onder de top.

De response is gelijk als bij de topbladeren, echter het sluiten van de huidmondjes gaat wel minder snel.

PortaNova
12 mei koelen

Response van uitgebogen blad (gemeten bij 200 μmol en 1000 ppm CO_2)



Uitgebogen blad.

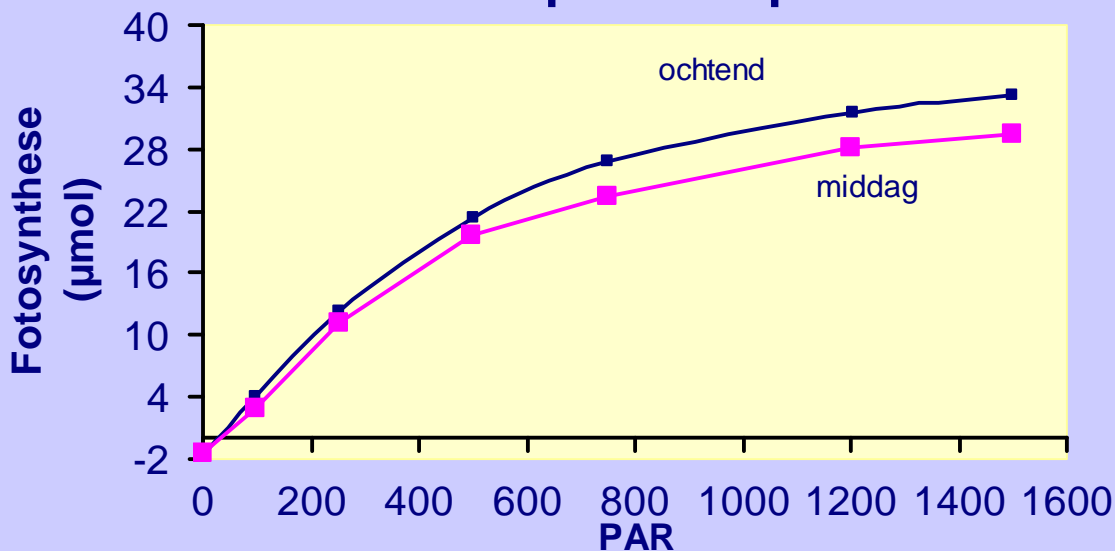
Het patroon is dezelfde als bij bovenliggende bladeren.

De fotosynthese activiteit van alle bladlagen is deze relatief lage lichtintensiteit dezelfde.

De huidmondjesopening van het ingebogen blad is wel beduidend lager. Dit betekent dat bij hoog licht de fotosynthesesnelheid eerder zal worden gelimiteerd door huidmondjesopening.

PortaNova
12 mei koelen

Licht response topblad



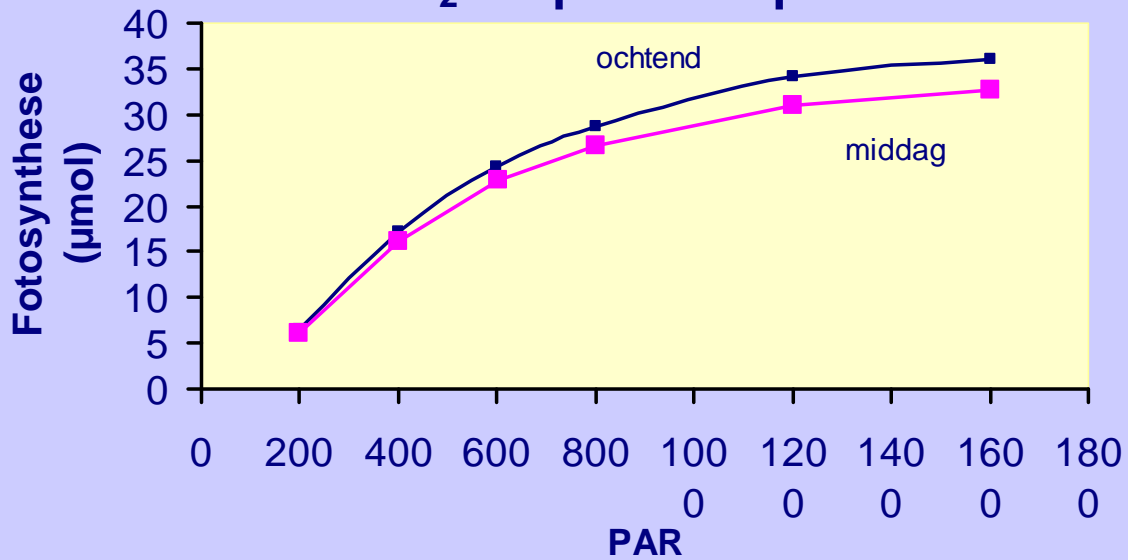
Fotosyntheseresponse bij oplopend licht en 1000 ppm CO_2 .

De maximale fotosynthesesnelheid is hoog.

Hetzelfde blad 's middags gemeten geeft een wat lagere respons, wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door huidmondjessluiting.

PortaNova
12 mei koelen

CO₂ response topblad



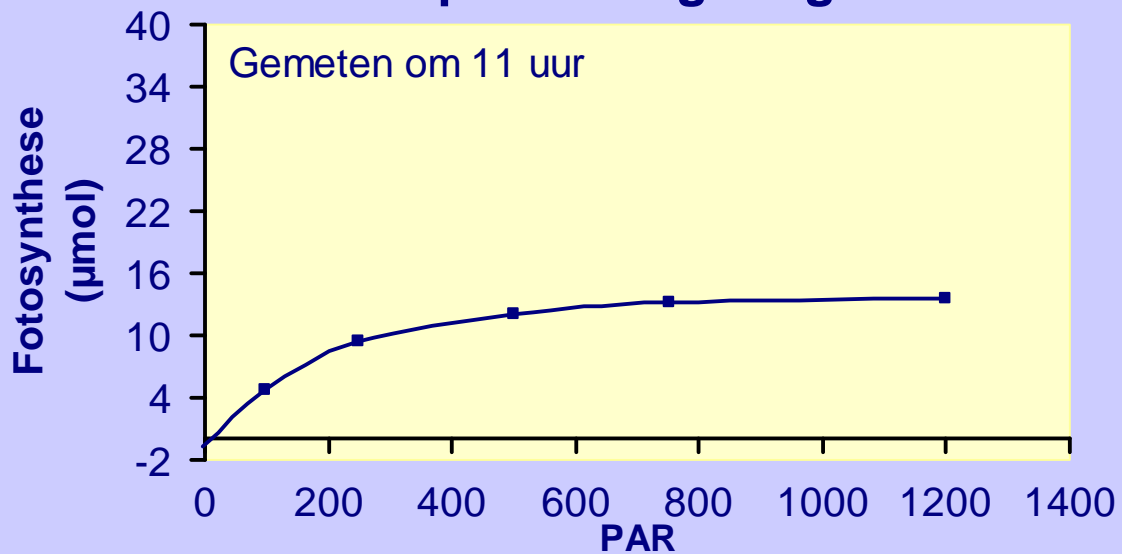
Fotosyntheseresponse bij oplopend CO₂ en 1500 µmol PAR.

De maximale fotosynthesesnelheid is hoog.

Hetzelfde blad 's middags gemeten laat ook hier een lagere response zien.

PortaNova
12 mei koelen

Licht response uitgebogen blad

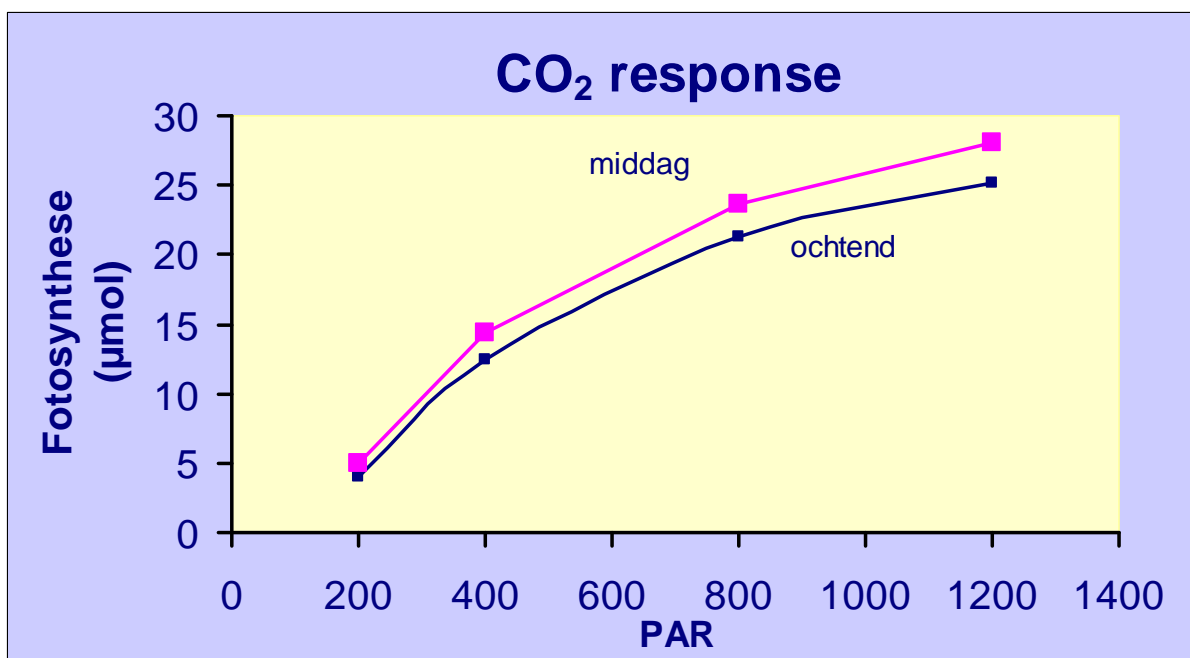
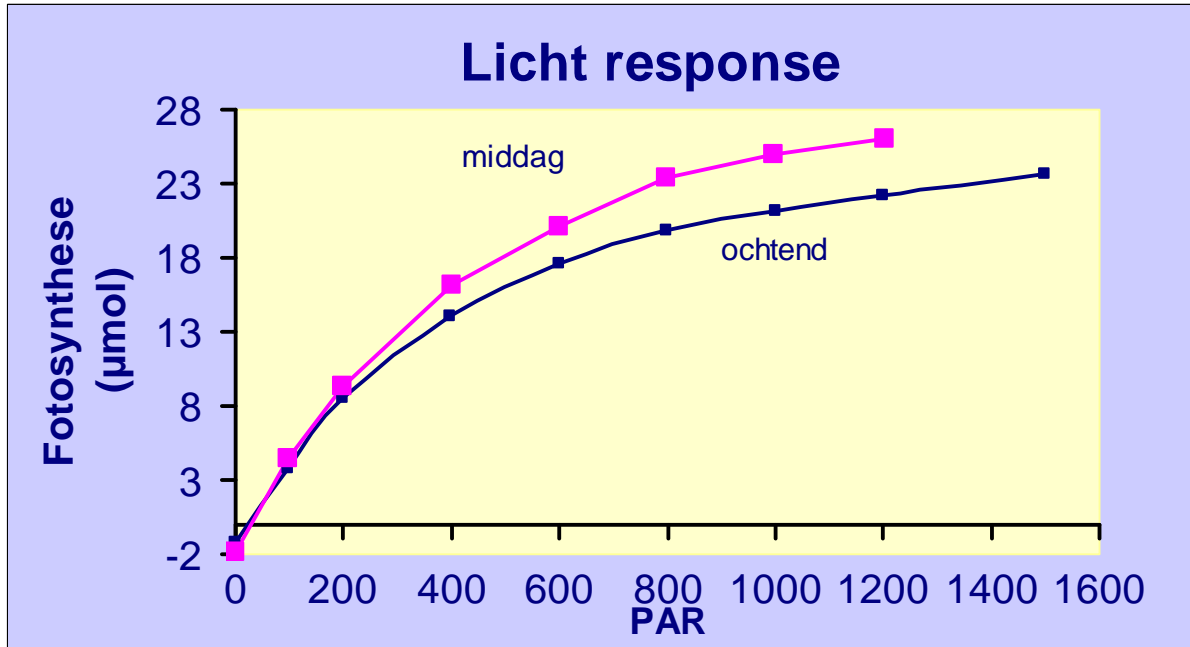


Ter illustratie is de fotosynthese respons van een uitgebogen blad gemeten. Bladkeuze is bij dit soort metingen altijd heel erg moeilijk, vanwege grote variatie in bladleeftijd en schaduw. Dit meetblad is een bovenliggend, volgroeid blad, donkergroen van kleur. Lichtverzadiging is bij ongeveer 250 µmol PAR.

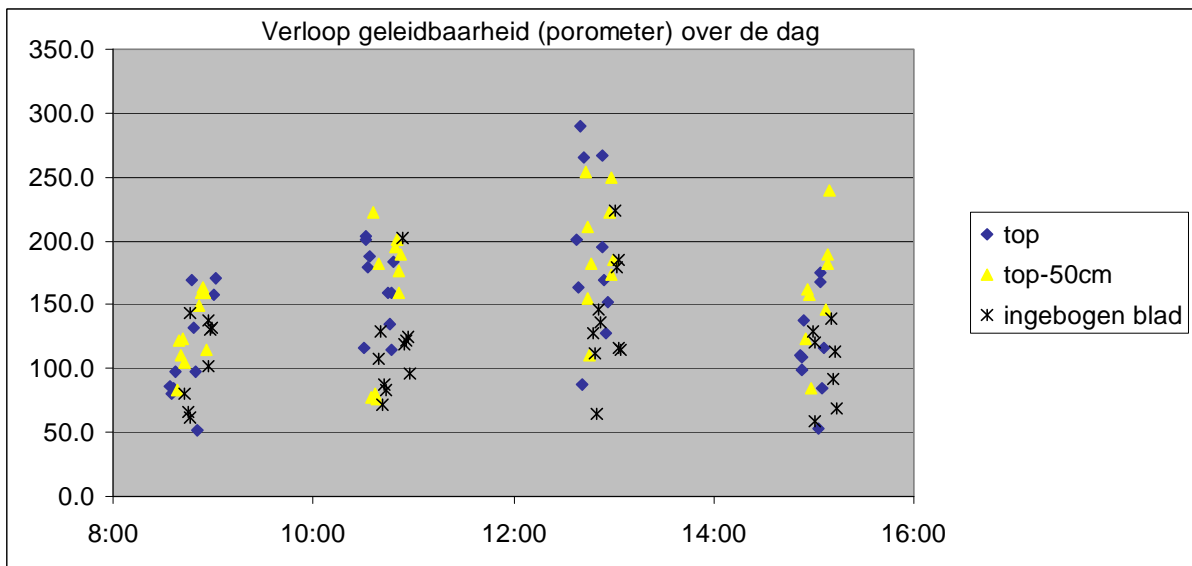
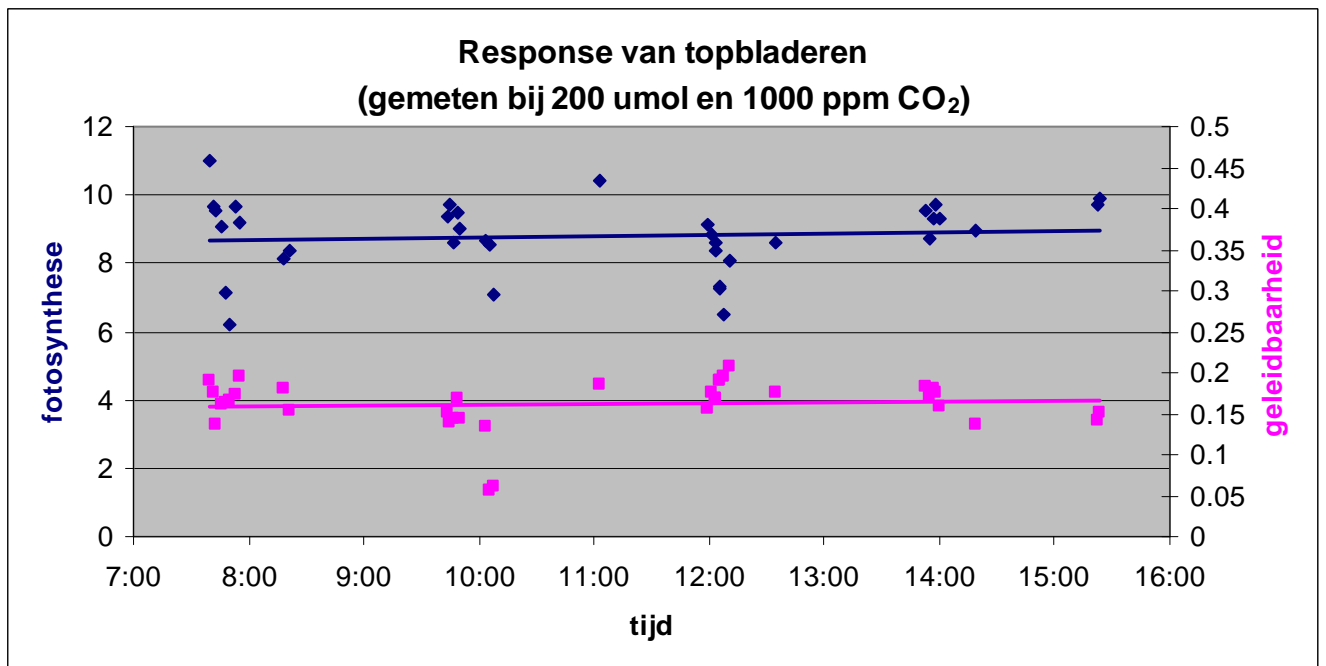
Porta Nova

Verwarming

15 januari 2009



Productief gewas. Er is geen afname van de fotosynthese in de loop van de dag.
De huidmondjesgeleidbaarheid (G_s) is redelijk constant over de dag met de hoogste waarden rond 13:00 uur.

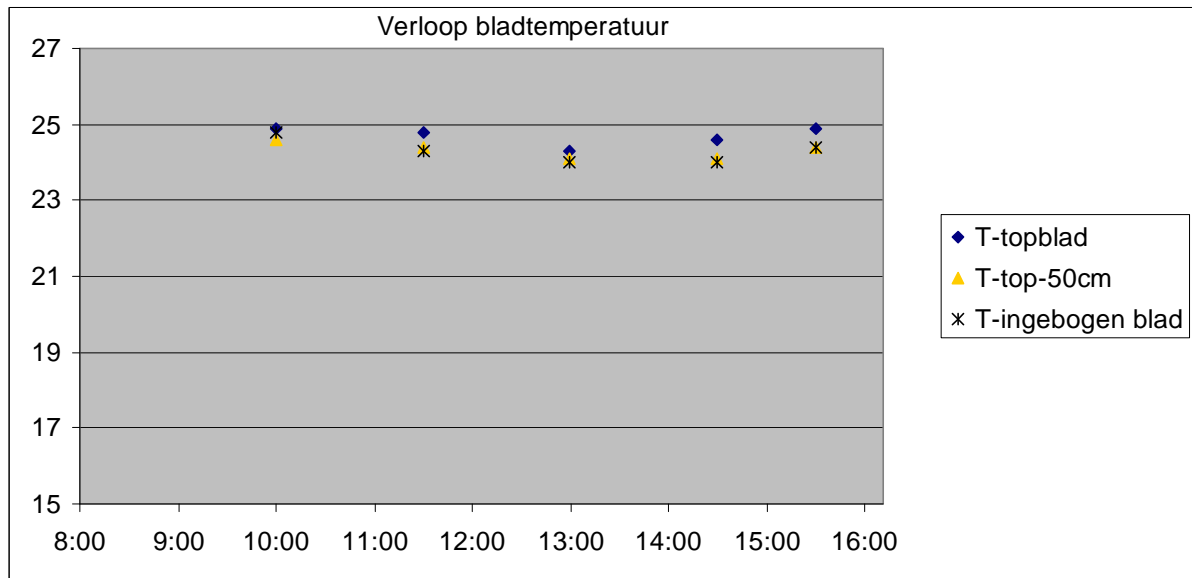


Gemiddeld is de G_s van de topbladeren ongeveer dezelfde als halverwege de plant. De G_s van het ingebogen blad is wel lager dan de bovenliggende bladeren, maar relatief tov eerdere gewasmetingen nog redelijk hoog. Een G_s waarde van 200 betekent dat de huidmondjes vrij ver open staan en dat de fotosynthese onder normale omstandigheden niet wordt gelimiteerd door de huidmondjes.

N.B. a.d.v. de porometer metingen lijkt de RV op tophoogte 10% hoger dan op hoogte van het ingebogen blad.

T-profiel, gemeten met hand IR-meter.

tijd	T-topblad	T-top-50cm	T-ingebogen	blæopmerkingen	Belichting hele tijd a:
7:30	24.6	24.5	24.8	dubbel scherm dicht	
10:00	24.9	24.6	24.8	lichtscherm open / energiedoek dicht	
11:30	24.8	24.4	24.3	energiedoek open	
13:00	24.3	24.1	24	energiedoek net weer dicht	
14:30	24.6	24.1	24	energiedoek dicht	
15:30	24.9	24.4	24.4	energiedoek dicht	



Zeer geringe verschillen tussen de temperatuur in het profiel. Stabiel klimaat.

Bijlage 2

Boonekamp koeling

Boonekamp (1 juli 2009)

Algemeen:

metingen:

afd.4: pad 56 ter hoogte van akoestische meting van DLV

Screening met Licor (200umol/1000ppm) aan top, midden en ingebogen blad (n=4 elk uur)

Irc + CO2 response aan topblad (ochtend + middag)

Irc aan ingebogen blad (1x)

T-profiel elk uur gemeten.

Porometermeting in de tijd ter ondersteuning van scr Licor metingen.

Klimaat:

Belichting aan van 02:00 tot 07:30 uur.

zeer zonnig (vanaf 10:00 uur) en warm

Scher姆: (type LS 13Ultra met 30% afscherming) loopt dicht om 12:00 uur

Kasdek is gekrijt (Reduheat 21 emmers/ha)

ramen: wijd open; met koeling aan iets meer gesloten, maar toch nog open voor afvoer vocht.

Koeling:

start: 10:00 uur (koelvermogen komt geleidelijk door buffering koelwater in de leidingen)

koeling loopt na circa 30 minuten op vol vermogen en blijft doorlopen tot eind.

Teelt/gewas kenmerken:

Gekoelde kas:

planting: Grand Amore jan 2009

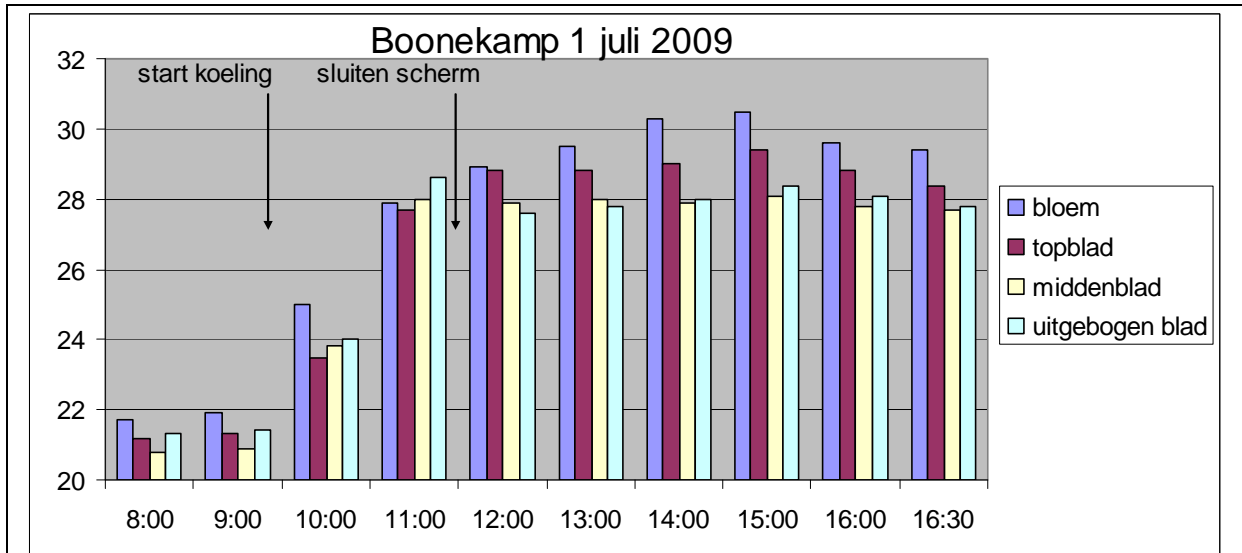
taklengte: circa 80 cm

meeldauw gevoelig (regelmatig spuiten)

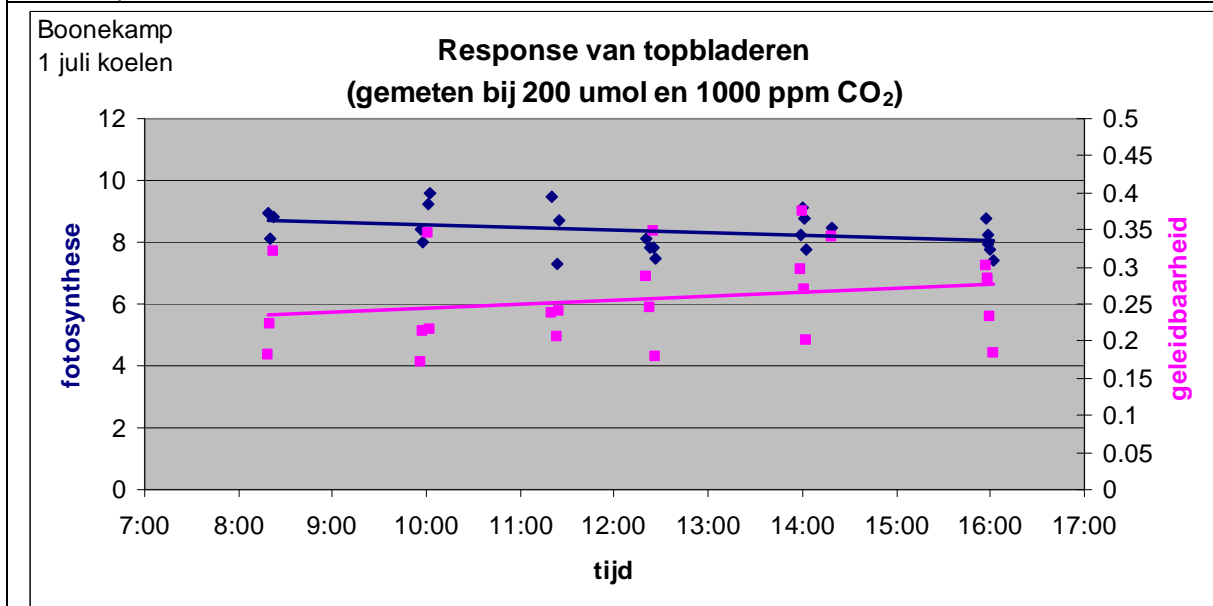
verdampmt goed volgens Marcel

Hoge T-bloem geeft kleine bruine randjes op de bloem; probleem bij Grand Amore is gering.

1.1 Resultaten:



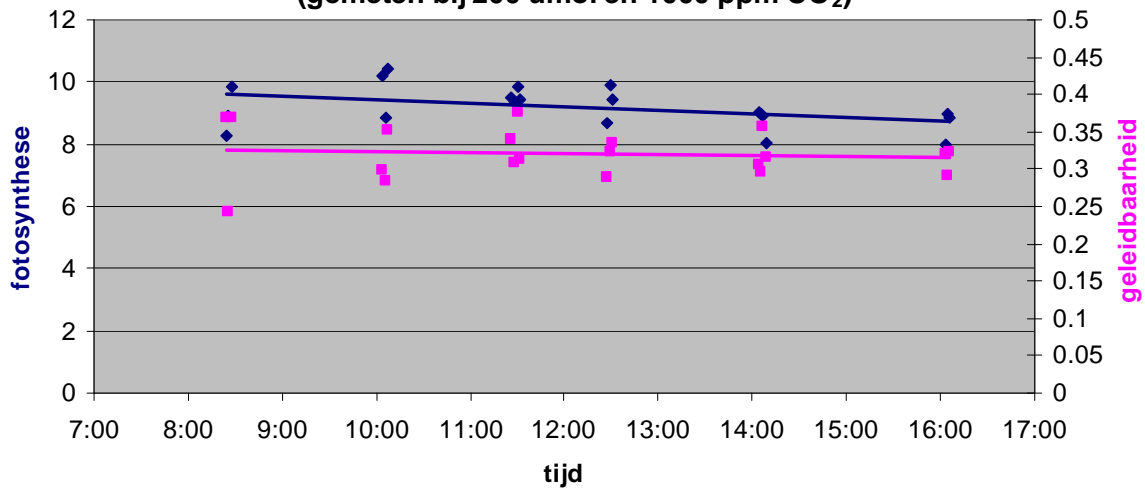
Vanaf 10:00 uur was het zeer zonnig, waarbij de knop temperatuur snel oploopt. Start koeling en sluiten schermdoek is weergegeven in de figuur. De temperatuur gradiënt over het gewas is gering (max. 2 graden) Bloemtemperatuur loopt net op boven de 30 graden, maar moet nog gerelateerd worden aan de luchttemperatuur.



Topbladeren (volgroeï 5-blad)
Verloop huidmondjesopening en fotosynthese in de tijd, gemeten bij 200 μmol PAR. De huidmondjes opening blijft redelijk stabiel, net als de fotosynthese. Dit betekent dat de CO_2 opname bij dit relatief laag licht niet wordt gelimiteerd door huidmondjesopening.

Boonekamp
1 juli koelen

Response van bladeren 2/3 onder de top (gemeten bij 200 μmol en 1000 ppm CO_2)

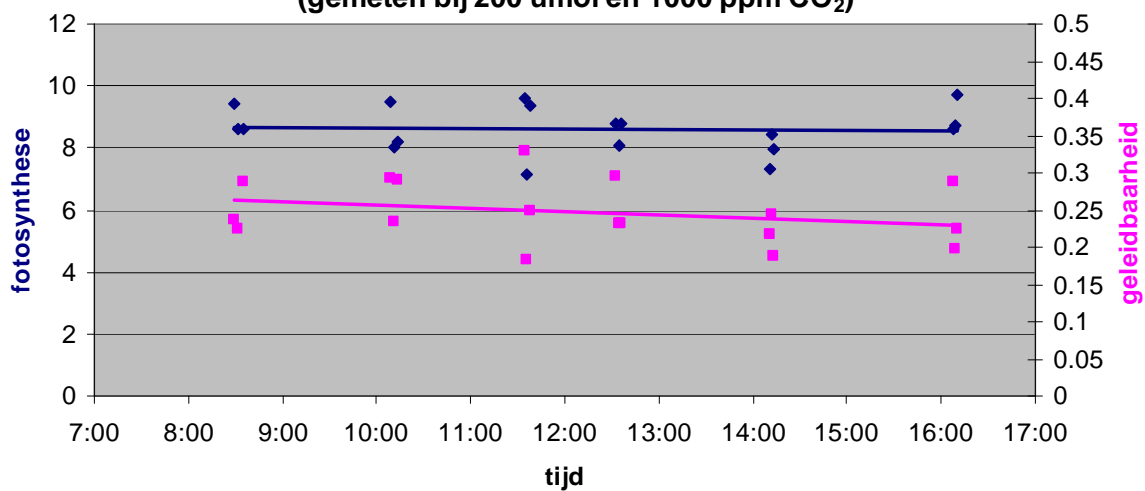


Bladeren 2/3 onder de top.

De response is gelijk als bij de topbladeren. De lichte afname van de netto fotosynthese in de tijd kan ik niet verklaren. Mogelijk toename donkerademhaling door hoge bladtemperatuur?

Boonekamp
1 juli koelen

Response van uitgebogen blad (gemeten bij 200 μmol en 1000 ppm CO_2)



Uitgebogen blad.

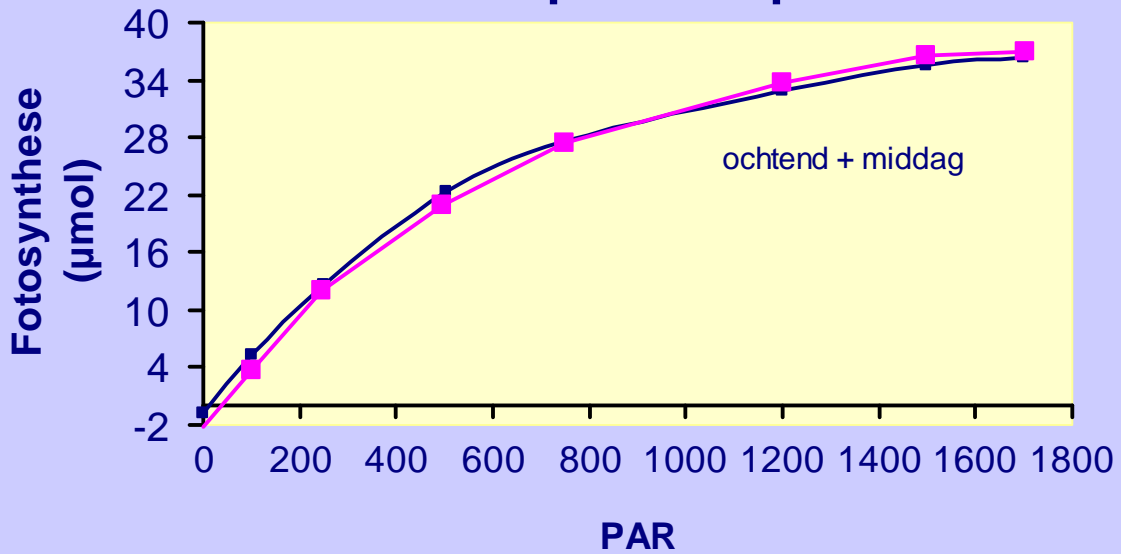
Het patroon is dezelfde als bij bovenliggende bladeren.

De fotosynthese activiteit van alle bladlagen is deze relatief lage lichtintensiteit dezelfde.

Ook de huidmondjesopening van het ingebogen blad blijft hoog en is dus actief.

Boonekamp
1 juli koelen

Licht response topblad



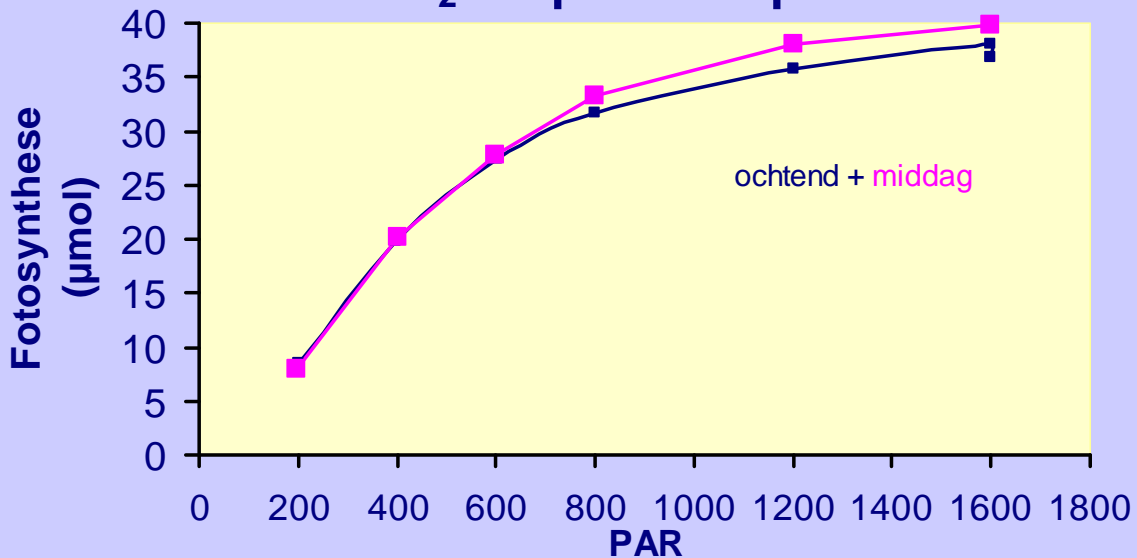
Fotosyntheseresponse bij oplopend licht en 1000 ppm CO₂.

De maximale fotosynthesesnelheid is zeer hoog.

Hetzelfde blad 's middags gemeten geeft een identieke respons, wat betekent dat de fotosynthese niet wordt gelimiteerd.

Boonekamp
1 juli koelen

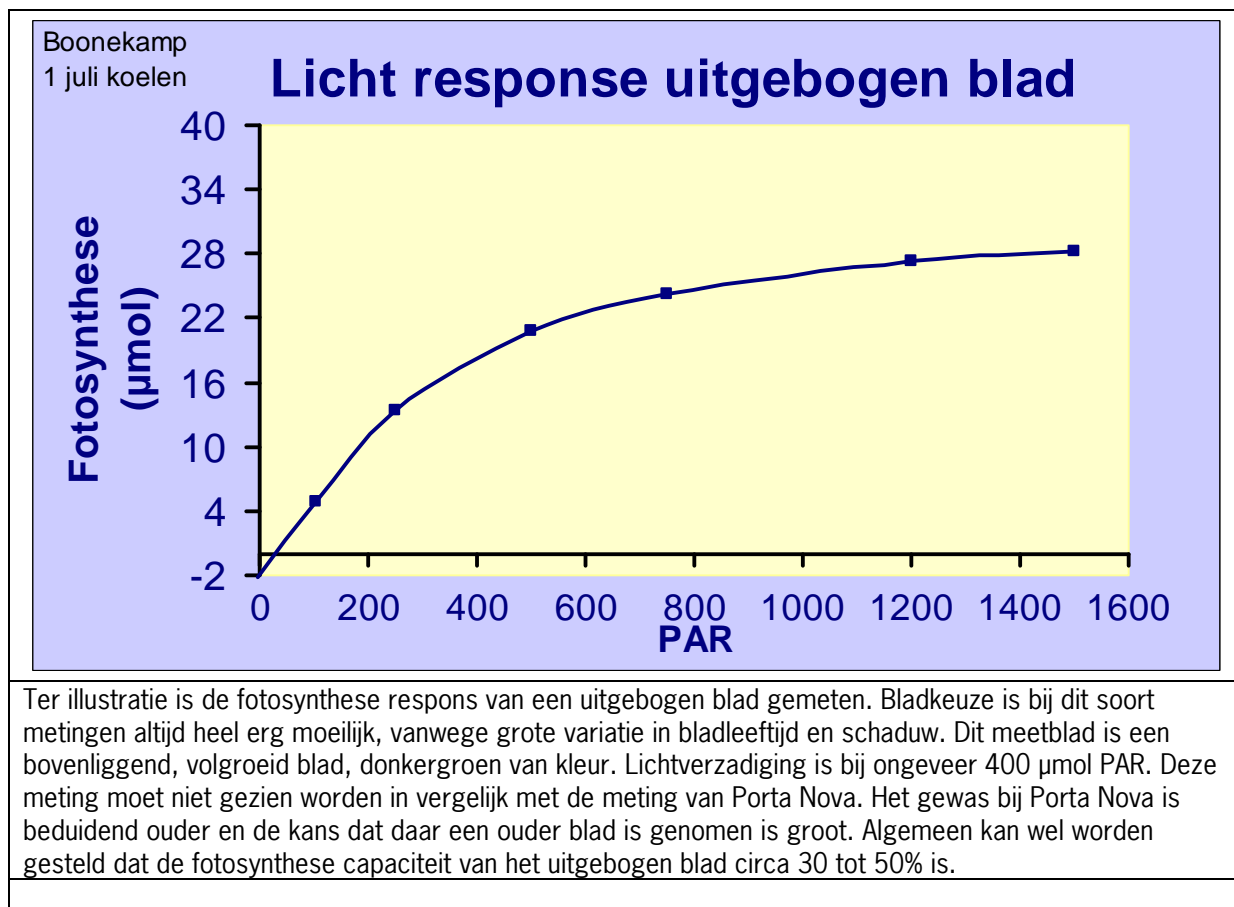
CO₂ response topblad



Fotosyntheseresponse bij oplopend CO₂ en 1500 µmol PAR.

De maximale fotosynthesesnelheid is zeer hoog.

Hetzelfde blad 's middags gemeten laat ook hier een zelfde response zien.



2 Bovenkoeling Boonekamp (nachtmetingen).

Op 31 augustus 2009 heeft Plant Dynamics een meetsessie uitgevoerd bij Boonekamp met als doel het effect in kaart te brengen van het inschakelen van de koeling (bovenkoeling) op de huidmondjesopening en temperatuurprofiel van het gewas, in afwezigheid van straling. Hiertoe zijn metingen uitgevoerd aan het eind van de dag en gedurende de nacht tot het aanschakelen van de assimilatiebelichting. Overdag werd gekoeld. De koeling werd circa 2 uur voor zonsondergang uitgeschakeld en weer ingeschakeld na 1,5 uur donker.

2.1 Werkwijze.

Aan het eind van de middag zijn 8 volgroeide takken met bloem geselecteerd in afdeling 4. De positie in de kas is 2 vakken voor de weeggoet en in de nabijheid van akoestische metingen van DLV.

Van alle takken is het topblad intensief gevolgd op huidmondjes gedrag in de tijd en fotosynthesesnelheid overdag (en ademhaling 's nachts) met de Licor-6400.

Daarnaast is het patroon van huidmondjes gedrag van topbladeren, middenbladeren en ingebogen bladeren gemeten met een porometer (Decagon model sc-1). Dit is een minder nauwkeurige

meting in vergelijking met de Licor-6400, maar geeft een goede en vooral snelle indicatie van eventuele verschillen.

Het temperatuurprofiel van de bloem, topblad, middenblad en ingebogen blad is gevolgd in de tijd met een infrarood handmeter (Fluke 561).

2.2 Klimaat.

31 augustus was een warme dag met veel zon. Voor een evaluatie van de in dit rapport weergegeven meetgegevens, verdient de aanbeveling de klimaatgegevens vanuit de klimaatcomputer en de akoestische metingen van DLV mee te nemen in de analyse.

Klimaatskenmerken:

- overdag staat de koeling aan
- 18:30 uur koeling uit
- 20:30 uur start nacht (schemer; zon onder)
- 22:30 uur koeling aan
- 24:05 uur start belichting (1/3 deel aan; circa 60 μmol)
- schermdoek is hele tijd open

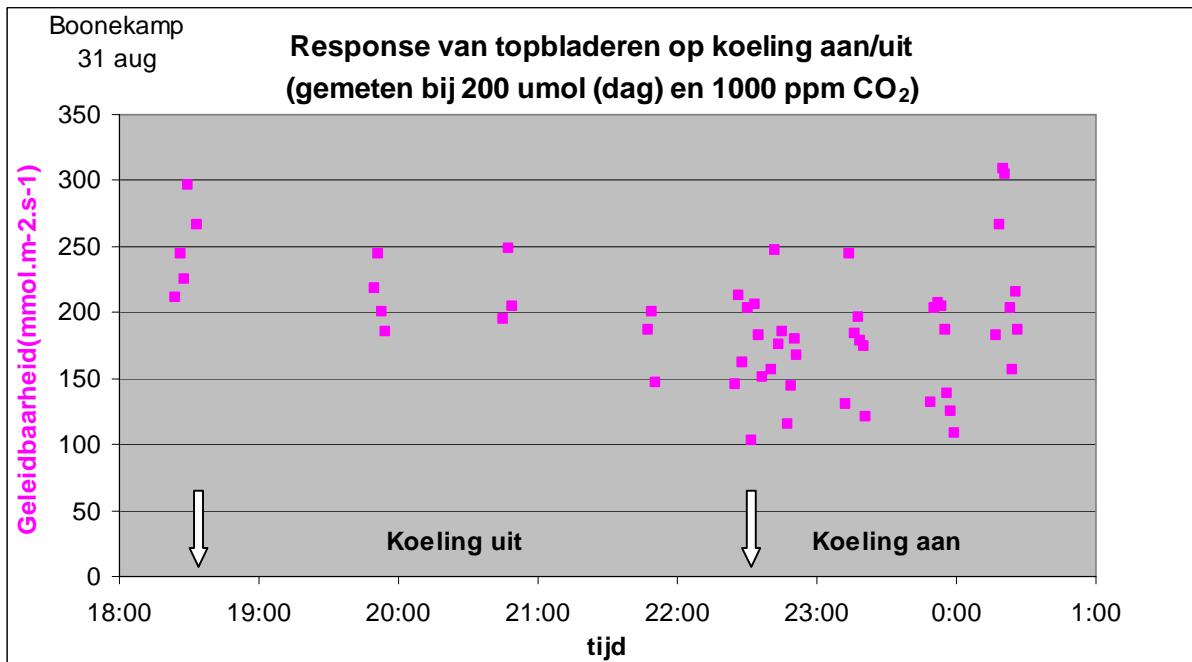
Temperatuur aanvoerleiding koelwater Fiwihex: 11,4 – 11,6 °C.

Temperatuur afvoerleiding koelwater Fiwihex: 17,1 – 17,4 °C.

2.3 Huidmondjes.

Een maat voor de openingstoestand van de huidmondjes is het meten van de geleidbaarheid voor water. Een hoge geleidbaarheid betekent dat de huidmondjes open staan en dat het blad potentieel veel kan verdampen. De verdampingssnelheid hangt af van het verschil in vocht in het blad en de omgeving (VPD blad).

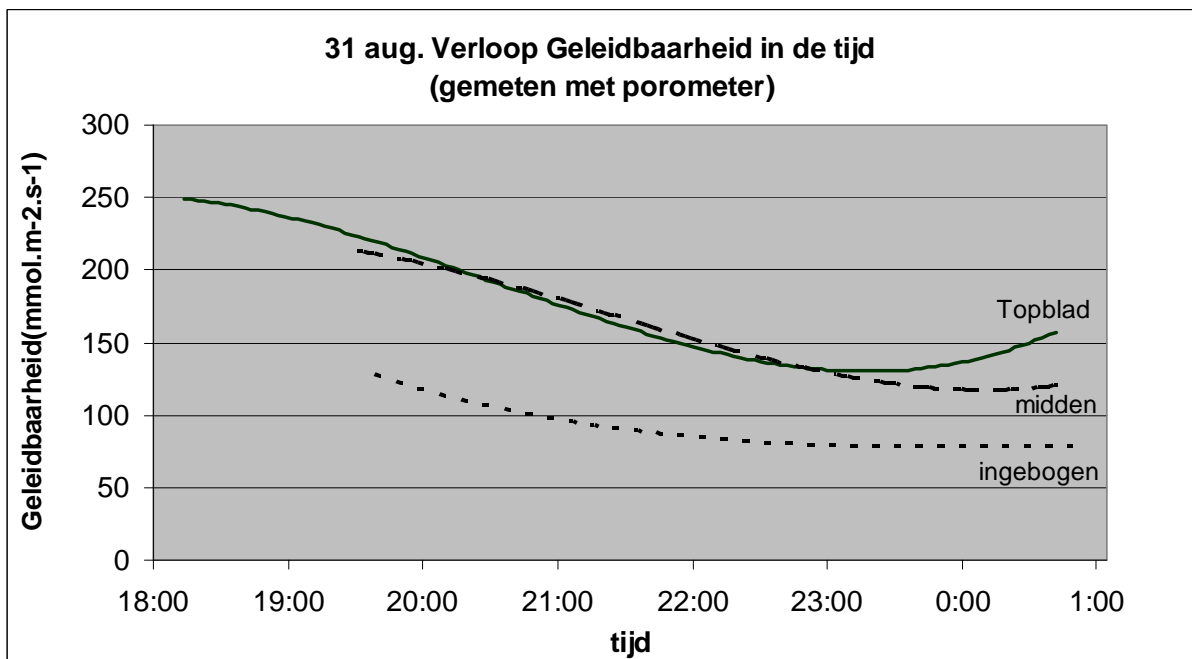
De geleidbaarheid is gemeten met de Licor-6400 en een porometer. In onderstaande figuren is het verloop van de huidmondjes geleidbaarheid weergegeven in de tijd.



Verloop huidmondjes geleidbaarheid van topbladeren in de tijd, gemeten met de Licor-6400. Start nacht is 20:30 uur. De geleidbaarheid neemt heel langzaam af gedurende de nacht. Op moment van start koelen om 22:30 uur neemt de spreiding toe, maar blijft de gemiddelde geleidbaarheid redelijk stabiel rond de $150 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Op moment dat de belichting aangaat (24:05 uur) neemt de geleidbaarheid heel snel toe tot waarden van voor de nacht.

Waarden boven $100 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ betekend dat de huidmondjes redelijk open staan en in situaties overdag niet limiterend zijn voor de opname van CO_2 en daarmee niet limiterend voor de fotosynthese.



Het patroon van huidmondjes gedrag van topbladeren, middenbladeren en ingebogen bladeren

gemeten met een porometer (Decagon model sc-1).

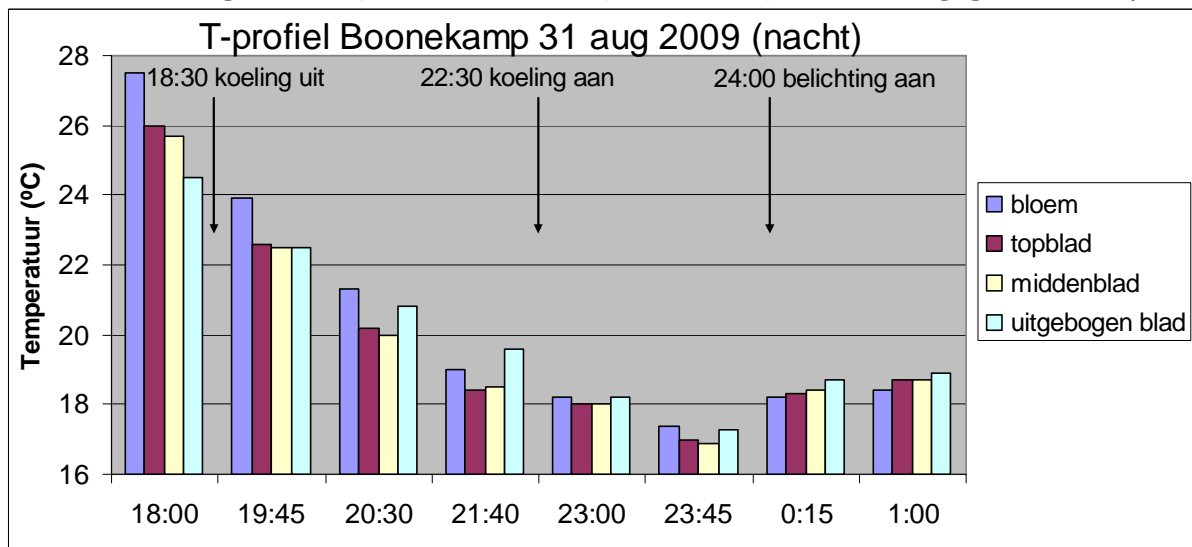
De geleidbaarheid van de huidmondjes van het topblad en middenblad ligt op hetzelfde niveau en verloopt volgens hetzelfde patroon. Alleen bij het aangaan van de belichting reageren de topbladeren wat sterker met het openen van de huidmondjes.

Het ingebogen blad ligt beduidend lager en reageert (nog) niet op aangaan van de belichting.

2.4 Temperatuur profiel.

Het temperatuurprofiel door het gewas van bloem, topblad, middenblad tot ingebogen blad is gevolgd in de tijd met een infrarood handmeter (Fluke 561).

In onderstaande figuur is het profiel en het verloop van de temperatuur weergegeven in de tijd.



2.5 Fotosynthese.

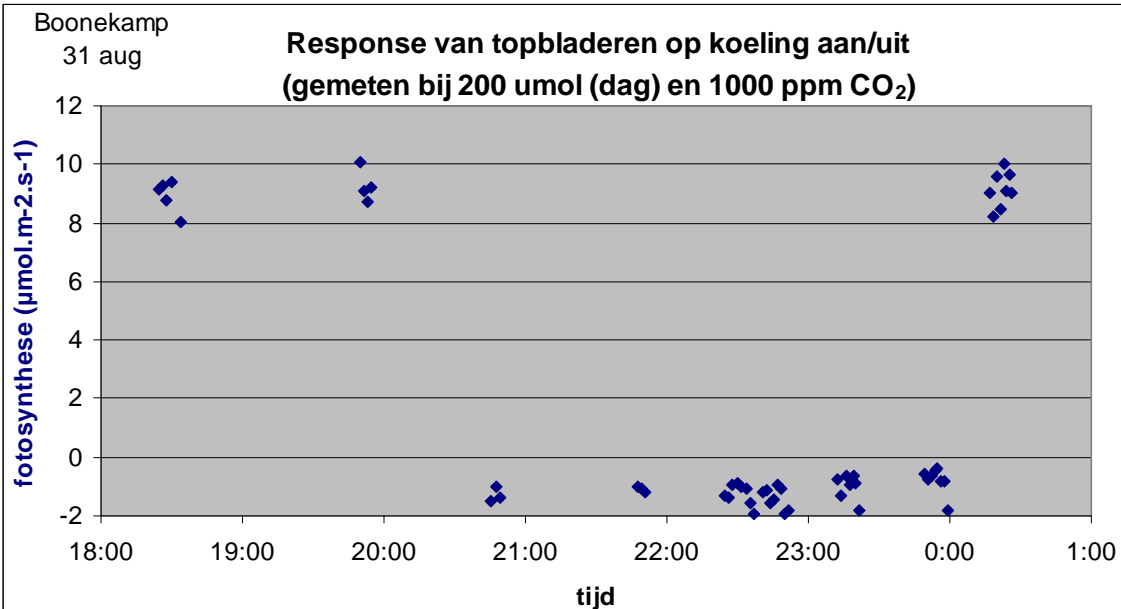


Fotosynthese metingen Grand Amore.

LiCor-6400 meetapparatuur. De fotosynthese snelheid en huidmondjes geleidbaarheid (= een maat voor opening van de huidmondjes) zijn gemeten met de LiCor 6400. Licht en CO₂ in het cuvet waren ingesteld op 200 μmol PAR en 1000 ppm.

Gedurende de nacht is in het donker gemeten (ademhaling).

Voor de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid zijn de omgevingsconditie aangehouden.



Tot 20:00 uur is de fotosynthesesnelheid gemeten bij 200 μmol PAR en 1000 ppm CO₂. Gedurende de nacht is alleen in het donker gemeten (ademhaling) om de bladeren niet te verstoren in hun nacht behandeling. 10 minuten na inschakelen van de belichting (1/3 deel) is de fotosynthesesnelheid weer gemeten bij 200 μmol . De fotosynthese komt op hetzelfde niveau als voor de nacht. Door assimilatiebelichting wordt het fotosynthese apparaat dus snel geactiveerd, wat ook al zichtbaar was in een toename van de huidmondjes geleidbaarheid.

2.6 Conclusie.

Bij deze meetsessie ontbreekt een goede referentie waarbij bijvoorbeeld gedurende de hele nacht de koeling uit is. Als enige kan een vergelijk gemaakt worden tussen de periode in de nacht waarbij de koeling uit is en waarbij de koeling wordt ingeschakeld. Vergelijk van deze periodes laat weinig verschil zien in huidmondjes response Bij inschakelen van de koeling neemt de spreiding wel toe, maar blijft de gemiddelde geleidbaarheid redelijk stabiel rond de $150 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Uit deze waarneming lijkt een conclusie gerechtvaardigd dat koeling weinig effect heeft op de huidmondjes geleidbaarheid. Licht heeft wel een direct effect op de geleidbaarheid, wat goed te zien is in een toename van de geleidbaarheid op moment van inschakelen van de assimilatiebelichting.

De geleidbaarheid van de huidmondjes van het topblad en middenblad is vrijwel identiek. Alleen bij het aangaan van de belichting reageren de topbladeren wat sterker met het openen van de huidmondjes, wat waarschijnlijk te maken heeft dat de topbladeren meer licht opvangen. Het ingebogen blad heeft de laagste geleidbaarheid.

De temperatuur van het gewas is het laagst aan het eind van de nacht en ligt rond de 17 graden. De gemiddelde huidmondjes geleidbaarheid is vrij constant gedurende de nacht en wordt dus niet beïnvloed door deze relatief lage temperatuur Het verschil in temperatuur tussen bloem, topblad, middenblad en ingebogen blad zeer gering.

De fotosynthesesnelheid (CO_2 opname) gemeten bij $200 \mu\text{mol PAR}$ en 1000 ppm CO_2 , gemeten overdag is 8 tot $10 \mu\text{mol CO}_2\text{.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Dit is een normale waarde ten opzichte van eerdere metingen. Aan het eind van de nacht, na inschakeling van de assimilatiebelichting wordt de fotosynthese snel geactiveerd en bereikt binnen enkele minuten hetzelfde niveau (gemeten onder dezelfde condities).

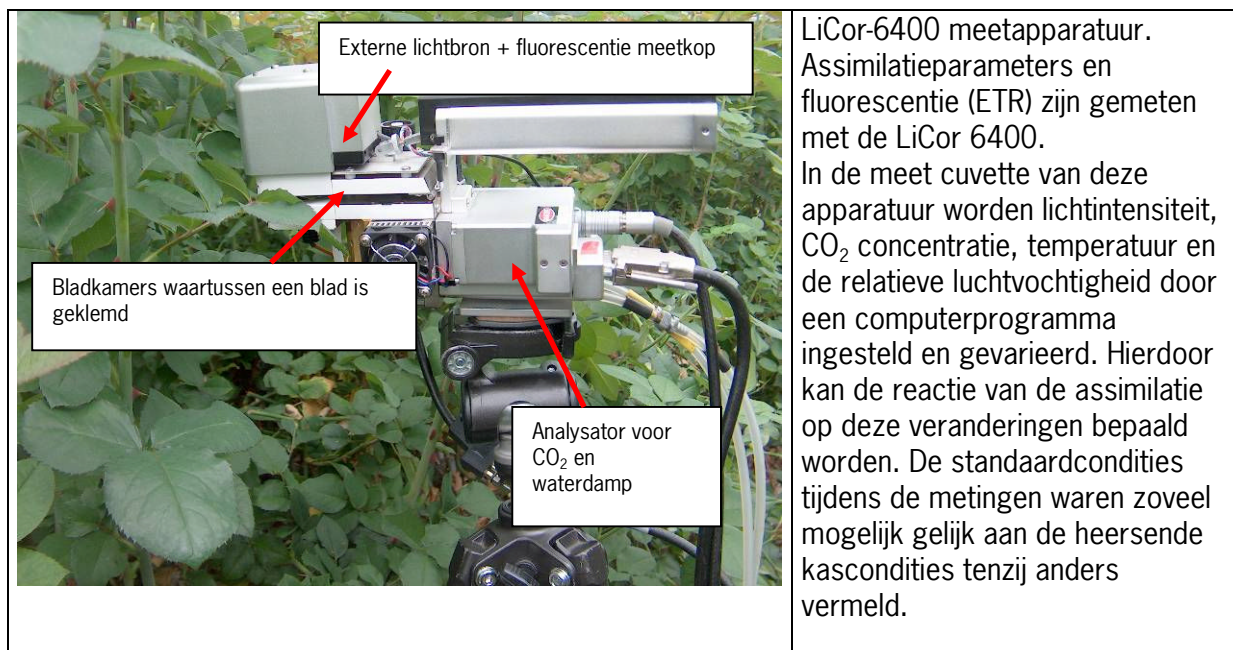
Bijlage 3 Koeling (vd Weijden)

In het onderzoek is het effect van koeling op de dynamiek van fysiologische processen in kaart gebracht. Er is speciaal aandacht besteed aan de fotosynthese parameters en de huidmondjes reactie in afhankelijkheid van lichtintensiteit (zie bijlage 1), VPD (zie bijlage 2) en CO₂ concentratie. Daarnaast werd het effect van koeling op de verandering van gewastemperatuur en de huidmondjesgeleidbaarheid bestudeerd en inzichtelijk gemaakt door de spreiding van de bladtemperatuur in kaart te brengen, zowel in de tijd als over het gewas. De temperatuurverdeling over het gewas werd ook gemeten met een bolometer (IR-160 Thermal Imager), om op die manier ook een visueel inzicht te krijgen in de temperatuurverdeling. De resultaten van het onderzoek zullen het uitgangspunt worden voor een verdere optimalisering van temperatuurbeheersing in de rozenteelt.

1.1 Materiaal en Methoden

1.1.1 Fotosynthese en huidmondjes metingen

De fotosynthese metingen zijn verricht met de LiCor fotosynthese apparatuur. In het meetcuvet van deze apparatuur kunnen de lichtomstandigheden, de CO₂ concentratie, de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid gevarieerd worden. Hierdoor kan de korte-termijn reactie in fotosynthese van het blad op deze veranderingen bepaald worden.



De LiCor-6400 kan zodanig geprogrammeerd en gekalibreerd worden dat automatisch in ongeveer 40 minuten een reeks van oplopende lichtintensiteiten op het ingeklemd blad wordt gedoseerd. Na elke stap wordt de actuele assimilatie van het betreffende blad gemeten. Daarnaast wordt de openingstoestand van de huidmondjes gemeten en wordt met behulp van chlorofyl fluorescentie de fotosynthese capaciteit gemeten. Tijdens de metingen met de LiCor-

6400 bij verschillende lichtintensiteiten werd de CO₂ concentratie op 800 ppm gehandhaafd. De lichtintensiteit tijdens de CO₂ respons curve was 1500 μmol PAR.

1.1.2 Temperatuurmetingen

Temperatuur metingen werden verricht met een infrarood thermometer en een bolometer (IR-320) met een gevoeligheid van 0,08 °C, speciaal ontwikkeld voor het langgolvlige gebied waardoor er geen hinder werd ondervonden van kortgolvlige infrarood reflecties.

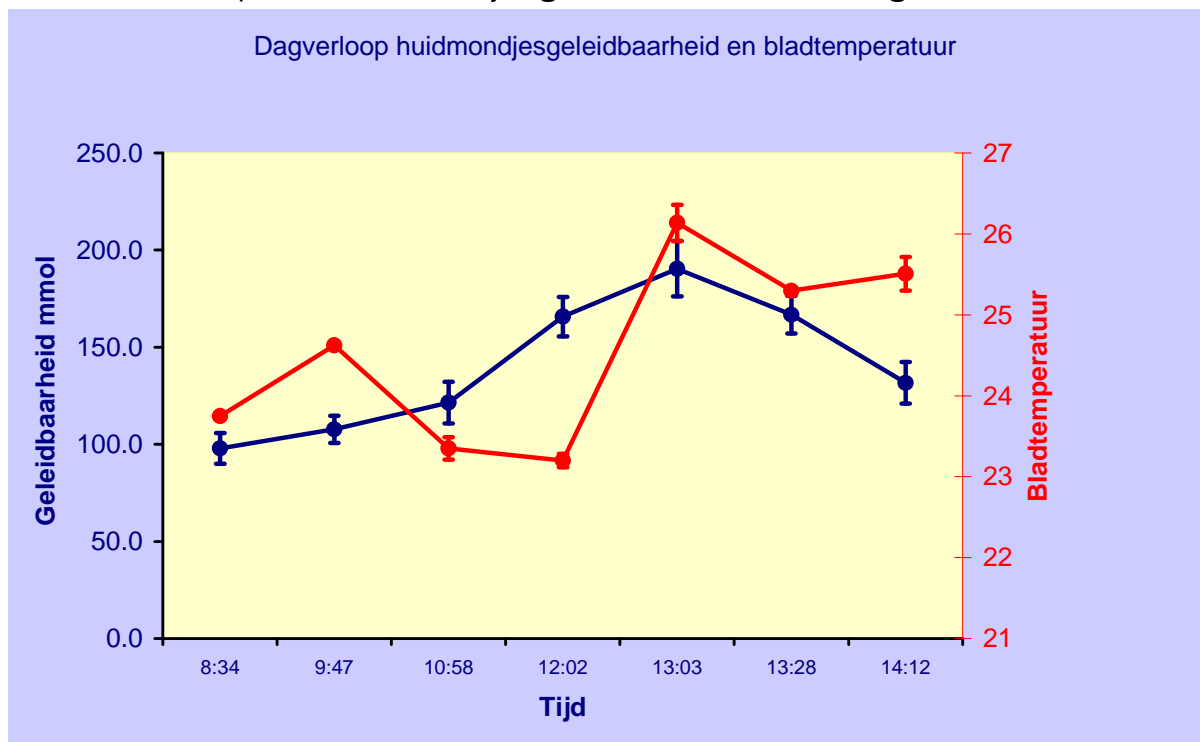
1.1.3 Kasklimaat

Planting: kap 9,60 m, 4 bedden per kap, gewashoogte 2 meter.

De metingen werden verricht op 19 mei 2008. Het was een bewolkte dag met felle zonnige perioden. De buitentemperatuur was laag (ongeveer 14 °C). De assimilatiebelichting (100 μmol) werd om 8:00 uitgeschakeld. Het scherm werd enkele malen op de dag voor korte periodes gesloten. Scherm dicht bij 500 Watt/m², scherm open bij 420 W/m².

1.2 Experimentele resultaten

1.2.1 Verloop van de huidmondjes geleidbaarheid over de dag



In bovenstaande figuur geeft de rode lijn het verloop van de gemeten bladtemperatuur. De weergegeven bladtemperatuur in de porometer wijkt 0.8 tot 1.2 °C naar boven af van de werkelijke temperatuur, gemeten met de IR bladtemperatuurmeter vanwege opwarming in de sensor. De temperatuur blijft ruimschoots beneden de 28 °C en het is vanuit dat oogpunt dat de

relatief hoge geleidbaarheid ook in de middag wordt gehandhaafd. De hoogste bladtemperatuur die werd geregistreerd was 29 °C om 12:30 onder hoge instraling. Het is een uitdaging om ervoor te zorgen dat de afname in lichtbenutting aan het eind van de dag, door sluiting van de huidmondjes wordt voorkomen. Belangrijke indicaties zijn daarbij het voorkomen van bladtemperaturen boven 28 °C en het aanhouden van een hoge RV, voor zover dit geen problemen oplevert met schimmel en bacterie ziekten.

Uit de metingen met bleek dat bij Finess de geleidbaarheid (G_s) in de ochtend langzaam toeneemt tot een maximum rond het middaguur. De snelheid is waarschijnlijk gekoppeld aan de lichtintensiteit maar ook aan bladtemperatuur. De gemiddelde G_s over de dag was $140 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, met een standaardafwijking van 10 bij 12 metingen per tijdstip in de grafiek. Uit de hoge fotosynthese waarden blijkt dat de geleidbaarheid niet berekend is voor de fotosynthese. Hoewel de opening van de huidmondjes is gekoppeld aan de lichtintensiteit is het niet uitgesloten dat er een vertraging optreedt door de koeling in de ochtend.

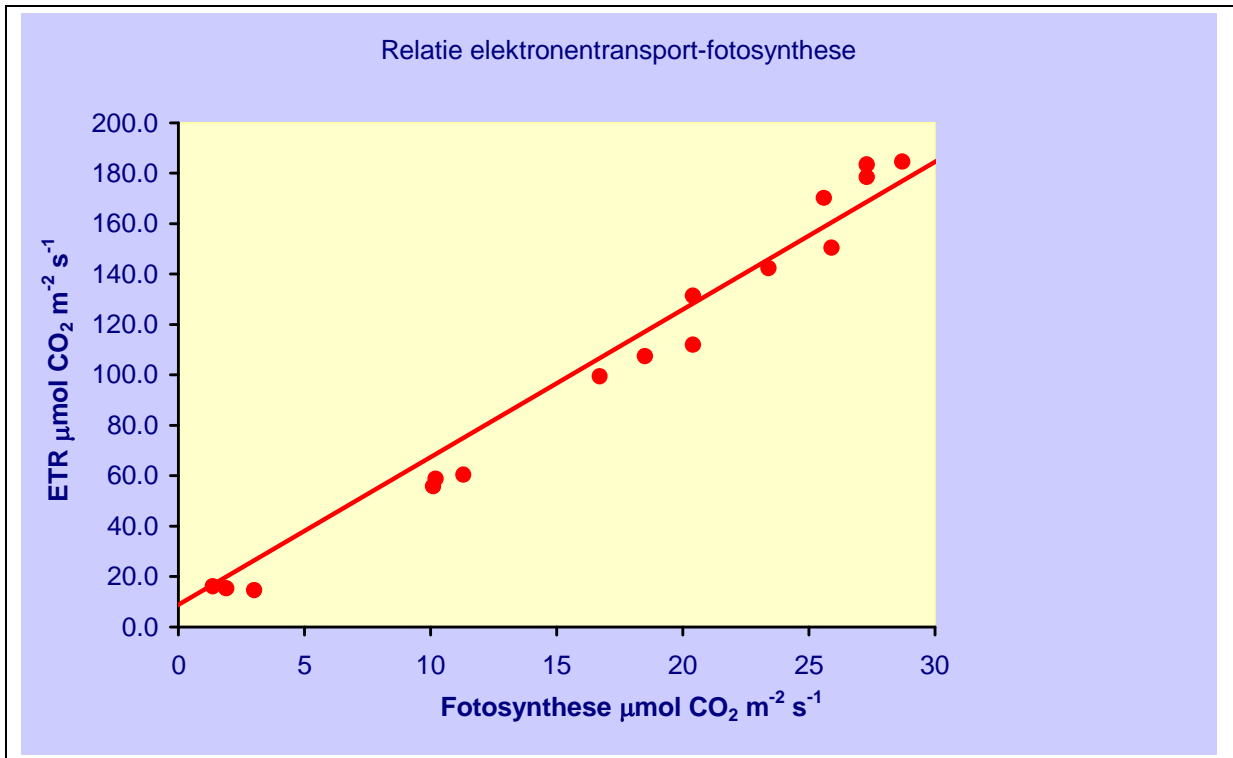
1.2.2 Fotosynthese capaciteit

Het is opmerkelijk dat huidmondjes geleidbaarheid van de gemeten bladeren op geen enkel moment beperkend geweest voor de assimilatie, kenmerkend voor een zeer productief gewas.

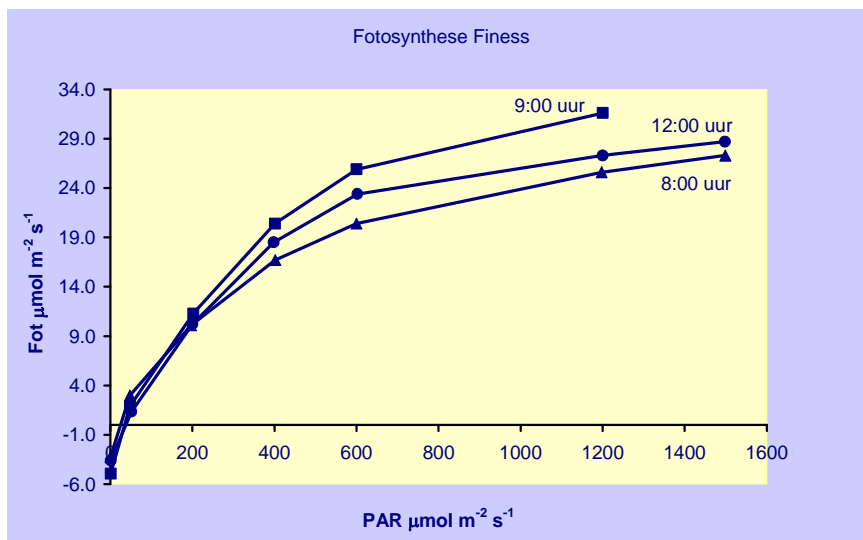


Meting fotosynthese aan topbladeren bij Finess.

Met behulp van fluorescentiemetingen, die simultaan worden verricht met de assimilatiemeting, is de assimilatie capaciteit in afwezigheid van huidmondjesbeperking bepaald (ETR). De relatie tussen de simultaan gemeten fotosynthese en ETR voor alle metingen is in de figuur hieronder weergegeven.



1.2.3 Fotosynthese licht response

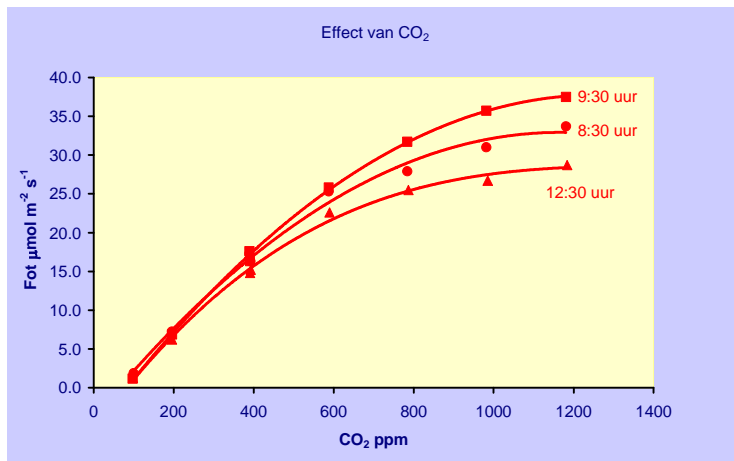


Van 8:00 's ochtends (rondjes) naar 9:00 u neemt de fotosynthese bij hogere lichtintensiteiten toe. In dit geval werd niet veroorzaakt door de huidmondjesgeleidbaarheid maar door een langzame toename van ETR. De huidmondjesgeleidbaarheid nam overigens ook toe maar was nooit beperkend. De verschillen tussen de tijdstippen op de dag zijn betrekkelijk gering.



Overzichtssituatie van meetplot in gekoelde kas.

1.2.4 Fotosynthesemetingen: invloed CO₂



Door de CO₂ concentratie in het meetcuvet te variëren werd het effect op de fotosynthese snelheid bepaald. De initiële startconcentratie was 200 ppm. In het meetcuvet werd de concentratie steeds gevarieerd. De lichtintensiteit werd constant gehouden op 1500 μmol PAR. Er is een licht toename in de ochtend, gevolgd door een geringe afname naar de middag toe (12:30u). De hoge waarde van bijna 40 μmol m⁻² s⁻¹ is een garantie voor een hoge productiviteit van het gewas.

1.2.5 Bladtemperatuur



Opstelling voor meting van fotosynthese karakteristieken en IR beelden.



Koelsysteem op locatie. De directe luchtstroom vanuit de fijnmazig verspreide koelers aan de top van het gewas zorgt voor een zeer directe terugkoppeling naar de bladtemperatuur. Fluctuaties van 4-6 °C zijn daarbij regelmatig gemeten.



Koelsystemen (zwart) en constructiedelen (licht) en bladeren (grijs), gemeten met de IR camera.



Op de foto hiernaast is de meetopstelling te zien waarmee temperatuurgradiënten in de kas werden gemeten. Op verschillende hoogten zijn sensoren opgehangen voorzien van een afscherming tegen directe straling.

Bladtemperatuurverdeling

Kas temperatuur en positie in het gewas

Zon
-koeling

Zon
+ koeling

Bewolkt
-koeling

Bewolkt
+koeling

Tijd	12:40 u	9:36 u	10:20 u	11.59 u
Kastemperatuur:	26,2	24,1	21,9	20,8
Straling W/m2 buiten:	800	760	180	150
Top	29,1	21,7	23,4	20,6
Midden	25,8	22,1	22,9	19,9
Uitgebogen blad	25,4	21,4	22,1	19,8
Bodem	26,0	21,5	21,0	21,0

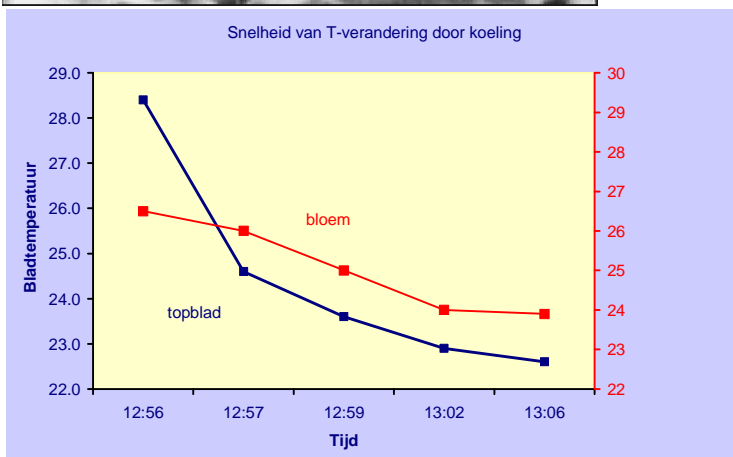


IR image 12:40

Lichte delen van de bladeren zijn 29,1 °C.

Donkere bladeren zijn 25,2 °C.

Dit weerspiegelt de variatie van bladtemperatuur als de koeling niet is ingeschakeld bij een hoge instraling.



Snelheid waarmee de bladtemperatuur en de bloemtemperatuur daalt nadat de koeling is ingeschakeld. Door de hoge warmtecapaciteit reageert de temperatuur van de bloem vertraagd in vergelijking met die van het blad. Het is slechts een kwestie van enkele minuten voordat de bladtemperatuur zich op een nieuwe (constante) lagere temperatuur heeft ingesteld.



12:40 u . Op de opname is de spreiding van temperatuur in de top van het gewas weerspiegeld. De koeling was uit. De lichte tint van direct belichte bladeren geeft een temperatuur van 28,8 °C. De donkere tint van beschaduwde bladeren en bloemknop weerspiegelt een temperatuur aan van 25,9 °C,



De tweede opname is gemaakt vanuit dezelfde hoek als de opname links, 2 minuten nadat de zon verdween. De temperatuur van de bladeren daalde met 4 graden naar 24,8°C. De temperatuur van de bloem daalde naar 24,7°C. Let op: de range van grijs tinten is in beide afbeeldingen anders door interne calibratie van de IR-camera.

2 Conclusie

- Door de wisselende straling was de meetdag een uitgelezen kans om de dynamiek van de temperatuurvariatie in het gewas in kaart te brengen.
- Het gewas heeft bovengemiddelde assimilatiecapaciteit en biedt naar verwachting ook hoge takopbrengsten. Sturing op kwaliteit en grofheid is in dit kader meer relevant dan de totale opbrengst. Die is al goed. Ook de huidmondjesgeleidbaarheid is goed. De langzame toename in de ochtend is enigszins afwijkend van het normale patroon bij roos, waarbij de opening rond 10:00 's ochtends compleet is. De tragere opening heeft echter geen inbreuk gedaan op de fotosynthese capaciteit.
- De wijze van koelen is zeer direct. Gradiënten in het gewas zijn er vooral onder wisselende lichtomstandigheden. In een stabiele situatie, zonder koeling is de gradiënt tussen top en bodem 1-1,5 °C onder bewolkte omstandigheden en 2,5 – 4 °C bij hoge instraling. Wanneer de koeling inschakelt is er een zeer snelle afname van de temperatuur bovenin (binnen 4-8 minuten) waardoor de eerst bestaande gradiënt vrijwel volledig verdwijnt. De dynamiek die de koeling naar beneden veroorzaakt is te vergelijken met de dynamiek die het doorbreken van de zon naar boven veroorzaakt.
- Door de snelle respons van het gewas op straling en koeling is het lastig om een goede regeling te realiseren. Het is aan te bevelen om zowel de intensiteit van de straling als de variatie daarvan te betrekken. Rekening houden met de variatie in straling is erg belangrijk om te voorkomen dat de regeling gaat pendelen en om het gebruik van scherm en koeling in onderlinge samenhang te optimaliseren.
- De dynamiek van blad en bloemtemperatuur loopt uit fase door de relatief hoge warmtecapaciteit van de bloem. Dit betekent dat de bloem minder onderhevig is aan de snelle wisselingen dan de bladeren.

3 Verwarming (vd Weijden)

Start bovenverwarming 21 november 2008.

Dag was bewolk met binnenscherm dicht tot 11:00 uur; belichting hele tijd aan (behalve rond 13.00 uur i.v.m. storing).

In principe wordt alleen verwarmd met het FiWiHex systeem. Min/max buis (onder 20/45 °C) mag erbij komen als de T 1°C tot beneden setpoint daalt.

Op de meetdag is uitsluitend via fiwihex verwarmd (T-aanvoer = 33°C; Tafvoer = 30°C; eenmalig gemeten om 14:00 uur).

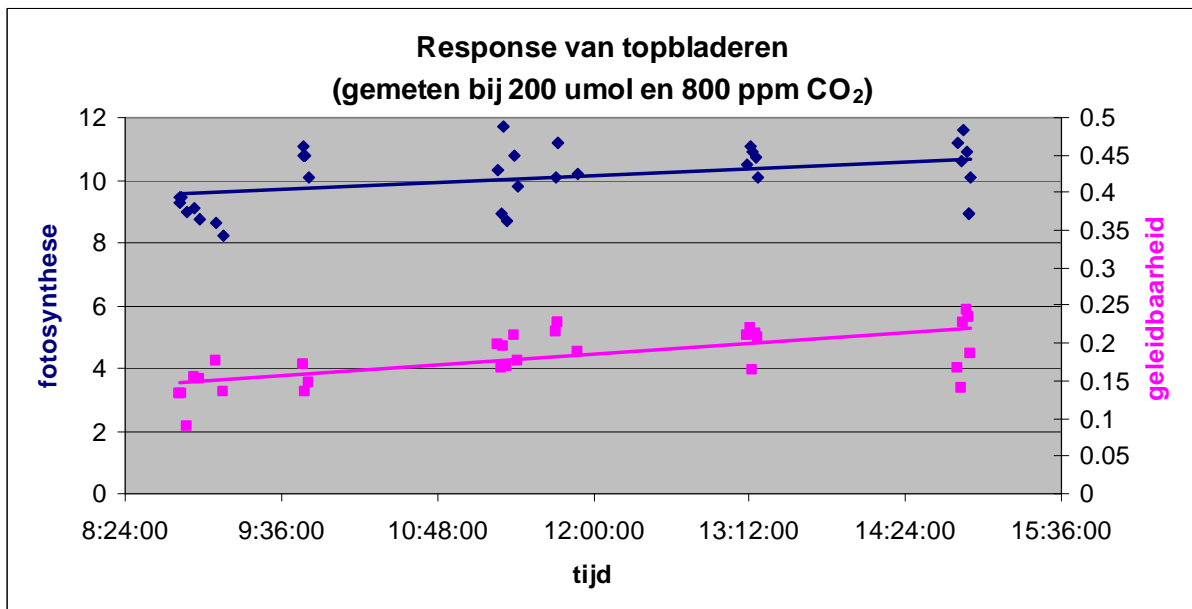
Voorlopige conclusies:

Klimaat is goed stuurbaar.

Mogelijkheid om 's nachts rustiger te stoken met scherm dicht (hoeft geen warmte te vernietigen).

Geen negatief effect op scheutuitloop.

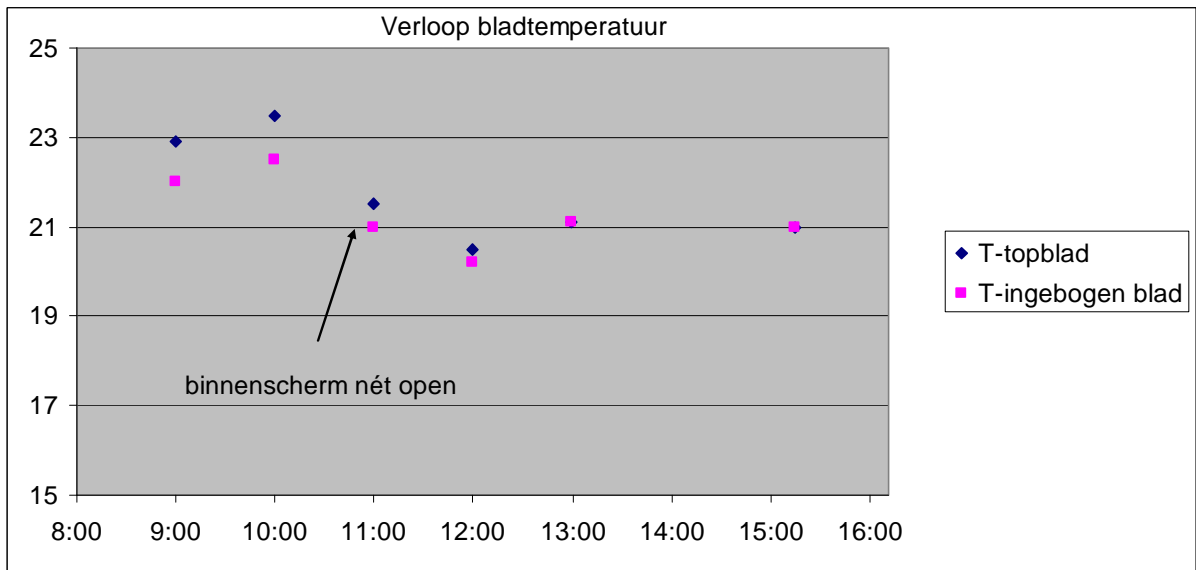
Vd Weijden is overtuigd van energiebesparing.



Geen teruggang van huidmondjesgeleidbaarheid en fotosynthese over de dag.

Slechts geringe verschillen in gewastemperatuur boven en onder.

tijd	T-topblad	T-ingebogen blad	opmerkingen
9:00	22.9	22	
10:00	23.5	22.5	binnenscherm dicht
11:00	21.5	21	scherm nét open
12:00	20.5	20.2	scherm open
13:00	21.1	21.1	scherm open
15:15	21	21	scherm open



Hogere bladtemperaturen in de top van het gewas dan bij Porta Nova.

Algemene zeer voorlopige conclusie: Het effect van bovenverwarmen lijkt veel minder negatief dan verwacht. In tegenstelling tot de temperatuurprofielen bij koelen zijn de profielen bij onder of boven verwarmen veel geringer.

BIJLAGE 4

1 Metingen Bovenkoeling vd Berg Roses

Het korte onderzoek van 1 dag was bedoeld om een eerste indruk te verkrijgen van de effecten van koeling bij de roos Avalanche. In dit onderzoek werd het effect op fysiologische processen in kaart gebracht, met bijzondere aandacht voor de fotosynthese parameters en de huidmondjes reactie op diverse factoren van het kasklimaat zoals, lichtintensiteit (zie bijlage 1), VPD (zie bijlage 2) en CO₂ concentratie. Daarnaast werd een eerste aanzet gegeven om het effect van koeling op de gewastemperatuur en de huidmondjesgeleidbaarheid inzichtelijk te maken met een bolometer (IR-160 Thermal Imager).

De resultaten van het onderzoek dienen als hulp bij keuzes van teeltmaatregelen, zoals de manier van koelen, effect van schermen, optimale lichttoelating, grenzen van temperatuurverloop over de dag, CO₂ of buitenlucht koeling etc. Plant Dynamics probeert met gerichte metingen op locatie, gebaseerd op een gefundeerde wetenschappelijke basis, de belangrijkste zaken die daarbij een rol spelen snel in kaart te brengen.

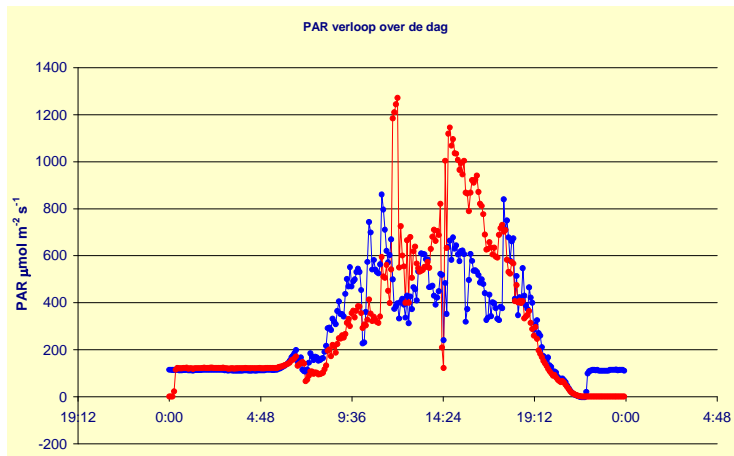
1.1 Materiaal en Methodes

1.1.1 Temperatuurmetingen

Temperatuur metingen werden verricht met een handheld infrarood thermometer en een bolometer (IR-320) met een gevoeligheid van 0,08 °C, speciaal ontwikkeld voor het langgolvlige gebied waardoor er geen hinder werd ondervonden van kortgolvlige infrarood reflecties.
Samenvatting van klimaatsomstandigheden tijdens metingen

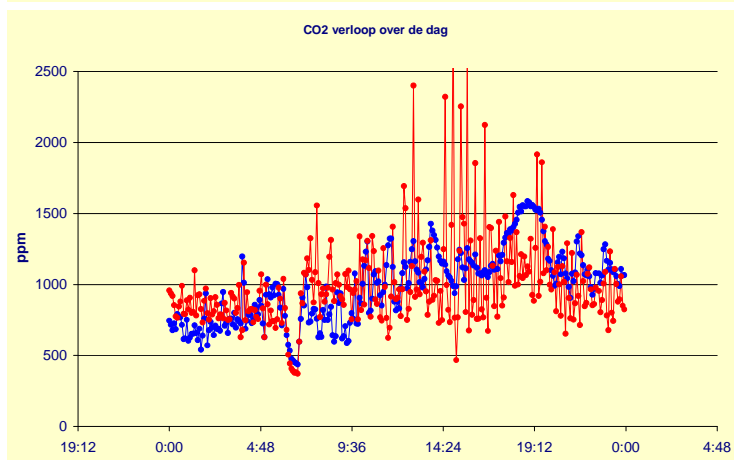
1.1.2 Kasklimaat

De metingen werden verricht op 14 mei 2008. Het was een zonnige dag. De assimilatiebelichting (140 μmol in gekoelde kas en 110 mol in ongekoelde kas werd om 7:00 uitgeschakeld. Het dek van de ongekoelde kas was gecoat met Reduheat. In de gekoelde kas werd om 12:24 het scherm dichtgetrokken.



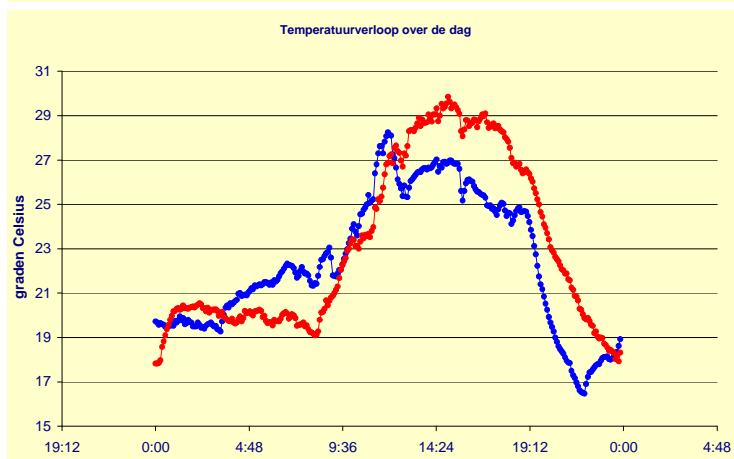
PAR over de dag

PAR in ongekoelde kas (rode lijn) en gekoelde kas (blauwe lijn). Door toepassing van Reduheat was de temperatuur in de ongekoelde kas in de ochtend lager dan in de gekoelde kas. In de middag draaide de situatie door schermen in de gekoelde kas.



CO₂ over de dag

Hoge optimale CO₂ concentraties. In de gekoelde kas is ook ruim voldoende CO₂ aanwezig.



Temperatuurverloop

De ongekoelde kas (rode lijn) is 's ochtends koeler vanwege de Reduheat coating. In de loop van de dag wordt het koeler in de gekoelde kas vanwege het aanschakelen van de koeling om 10:45 u en sluiten van het scherm om 11:45 u.

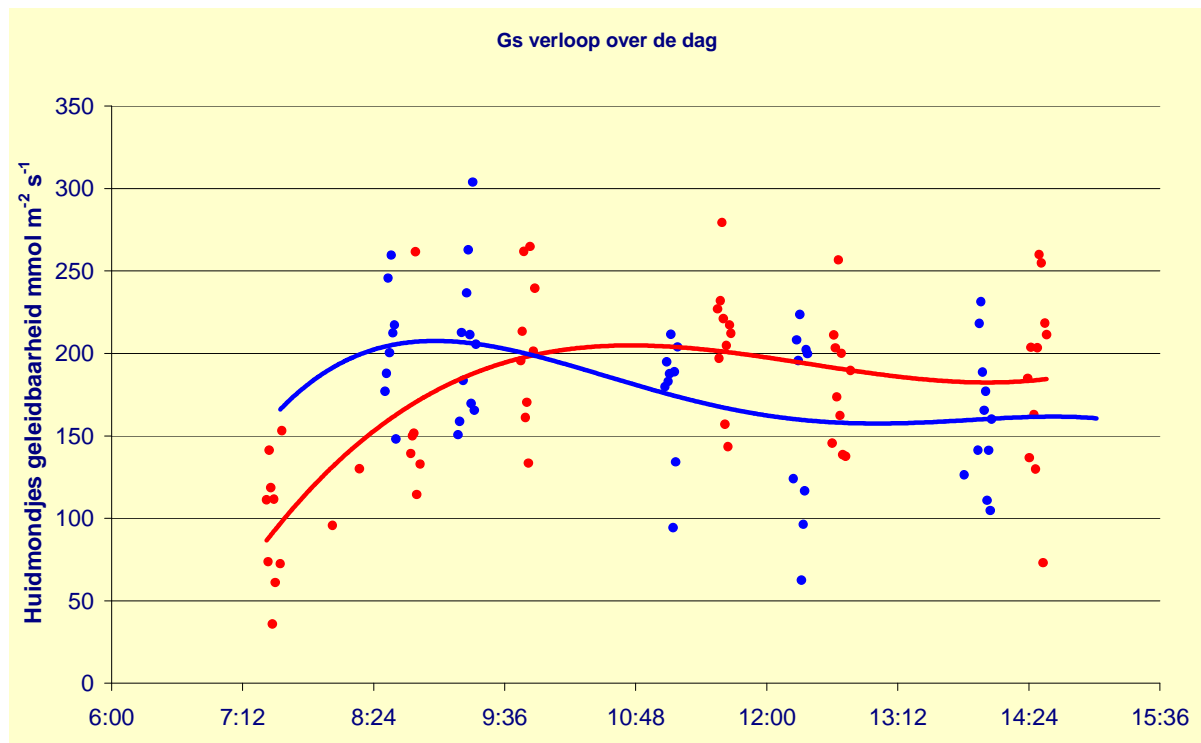
1.2 Experimentele resultaten

1.2.1 Fotosynthese en huidmondjes

1.2.2 Verloop van de huidmondjes geleidbaarheid over de dag

Uit de metingen met de porometer bleek dat bij Avalanche de huidmondjes geleidbaarheid in de

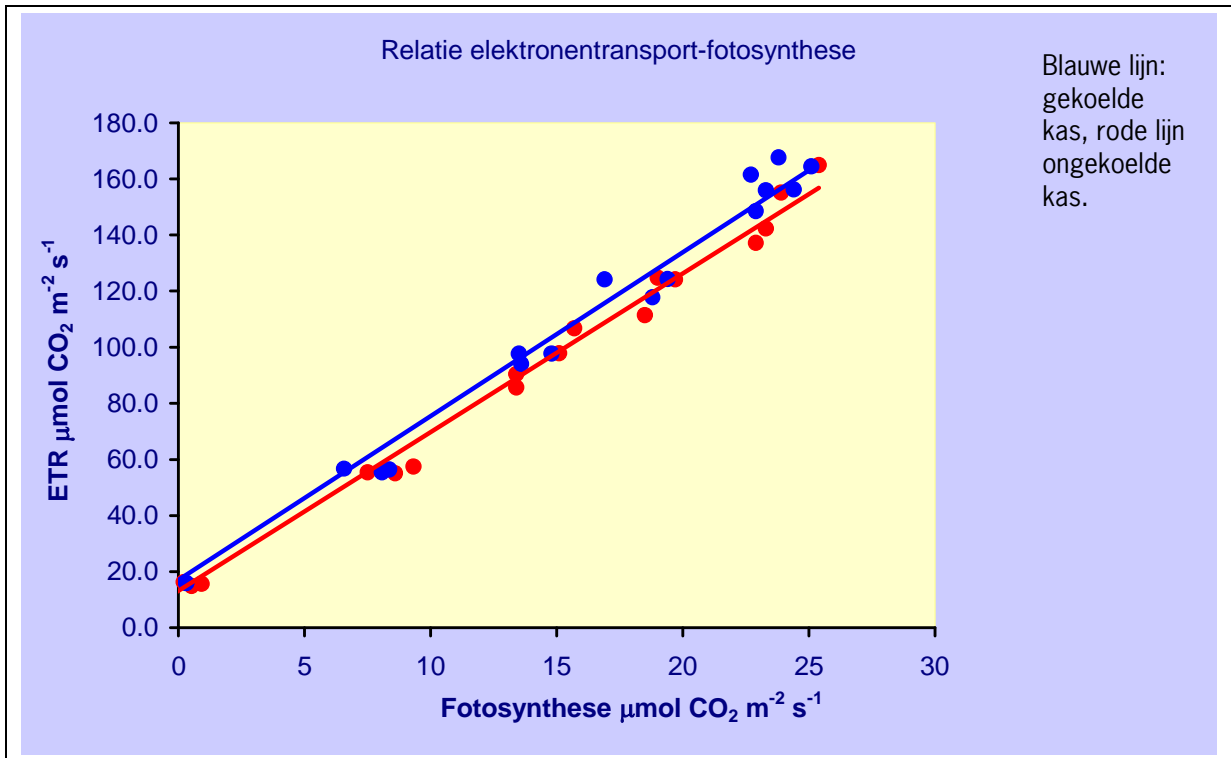
ochtend toeneemt vanaf het moment dat de belichting is aangegaan) blauwe lijn+ongekoelde kas, rode lijn ongekoelde kas. De opening van de huidmondjes gaat traag en kan een half uur tot een uur in beslag nemen. De snelheid is gekoppeld aan lichtintensiteit en bladtemperatuur. Het is een uitdaging om ervoor te zorgen dat de afname in lichtbenutting aan het eind van de dag, door sluiting van de huidmondjes wordt voorkomen. Belangrijke indicaties zijn daarbij het voorkomen van bladtemperaturen boven 28 °C en het aanhouden van een hoge RV, voor zover dit geen problemen oplevert met schimmel en bacterie ziekten.



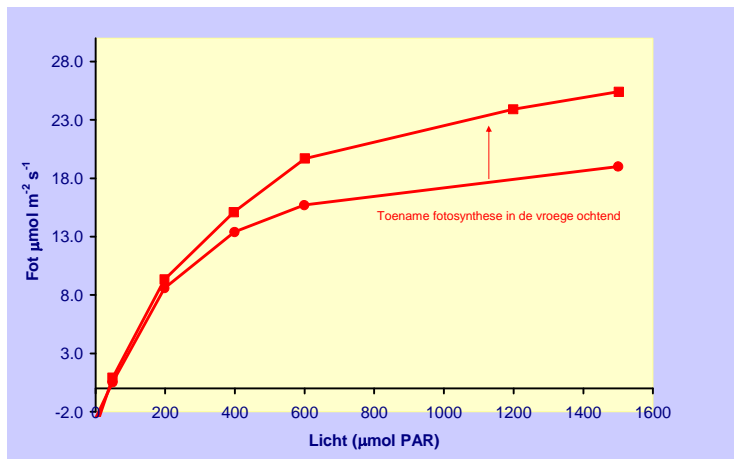
In de ochtend loopt de geleidbaarheid van de huidmondjes (Gs) op. De gemiddelde Gs over de dag was voor de ongekoelde kas 172 mmol m⁻² s⁻¹ en voor de gekoelde kas 180 mmol m⁻² s⁻¹. Er is dus nauwelijks verschil tussen de behandelingen maar het verloop volgt de trend van het temperatuurverloop in beide kassen.

1.2.3 Fotosynthese capaciteit

Met behulp van fluorescentiemetingen, die simultaan worden verricht met de assimilatiemeting, is de assimilatie capaciteit in afwezigheid van huidmondjesbeperking bepaald (ETR). De relatie tussen de simultaan gemeten fotosynthese en ETR voor alle metingen is in de figuur hieronder weergegeven voor de gekoelde (blauw) en de ongekoelde kas (rood). Uit de vergelijking tussen beide lijnen blijkt dat er geen verschil is in fotosynthese-efficiëntie in de gekoelde en ongekoelde kas. De parallelle verschuiving wordt veroorzaakt door de iets lager ademhaling in de gekoelde kas. Het is opmerkelijk dat huidmondjes geleidbaarheid op geen enkel moment beperkend geweest, kenmerkend voor een zeer productief gewas.

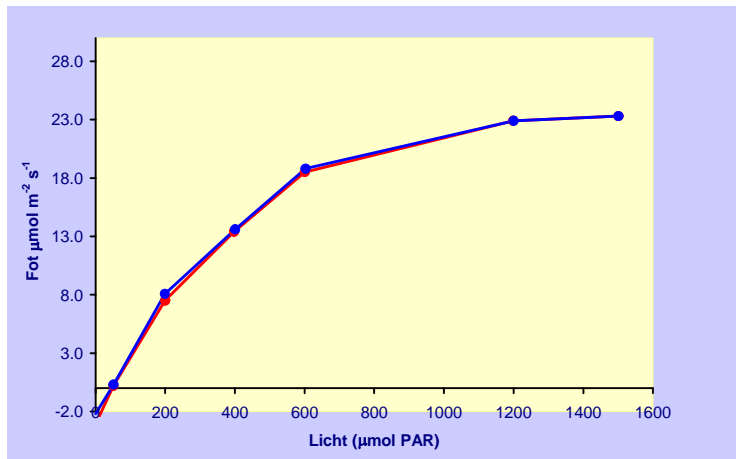


1.2.4 Fotosynthese licht response



Ongekoelde kas

Van 7:00 's ochtends (rondjes) naar 8:30 u nam de fotosynthese bij hogere lichtintensiteiten nog toe. Dit werd niet veroorzaakt door de huidmondjesgeleidbaarheid maar door een langzame toename van ETR. De huidmondjesgeleidbaarheid nam overigens ook toe maar was nooit beperkend. Na 8:30 bleef de relatie tussen fotosynthese en lichtintensiteit vrijwel constant.



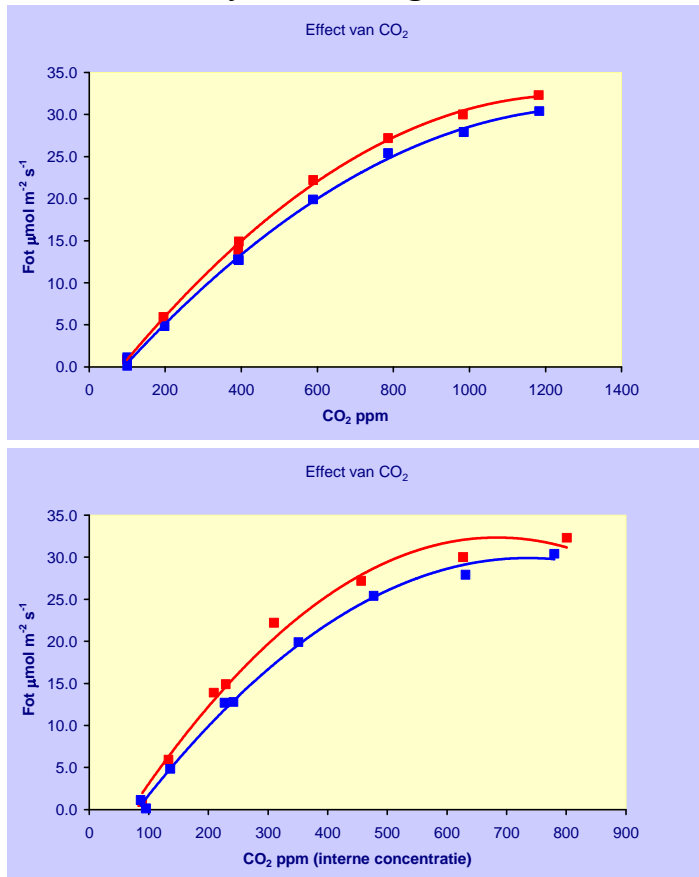
Vergelijking van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit in de gekoelde en ongekoelde kas.

De fotosynthese is gemeten om 10:30 in de ongekoelde kas en om 11:30 in de gekoelde kas. De curven zijn identiek. De gemiddelde geleidbaarheid was 0.18 in de ongekoelde kas en 0.16 in de gekoelde kas. De meting voor plantbelasting (Npq) was 0.5 in de ongekoelde kas en 0.6 in de gekoelde kas bij lichtverzadiging. Dit betekent dat de planten geen enkele stress ondervonden.



Overzichtsituatie van meetplot in gekoelde kas.

1.2.5 Fotosynthesemetingen: invloed CO₂



Door de CO₂ concentratie in het meetcuvet te variëren werd het effect van CO₂ op de fotosynthese snelheid bepaald. De initiële startconcentratie was 200 ppm. In het meetcuvet werd de concentratie stapsgewijs opgevoerd tot 1200 ppm. De lichtintensiteit werd constant gehouden op 1500 $\mu\text{mol PAR}$. De reactie op een toename van de CO₂ concentratie is in de gekoeld en ongekoelde kas vrijwel gelijk.

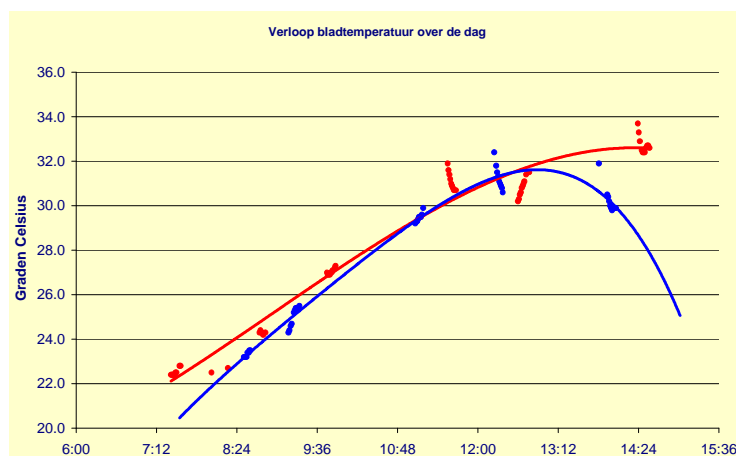
In deze figuur is de fotosynthese uitgezet tegen de gemeten CO₂ concentratie in het blad. De patronen zijn vergelijkbaar omdat we al eerder geconstateerd hadden dat de huidmondjes geen limiterende factor waren. De CO₂ opname capaciteit is in de ongekoelde kas iets hoger dan in de gekoelde kas. Mogelijk heeft de leeftijd van het gewas hier mee te maken of het feit dat de ongekoelde kas minder lichtstress hebben ondergaan.

1.2.6 Bladtemperatuur



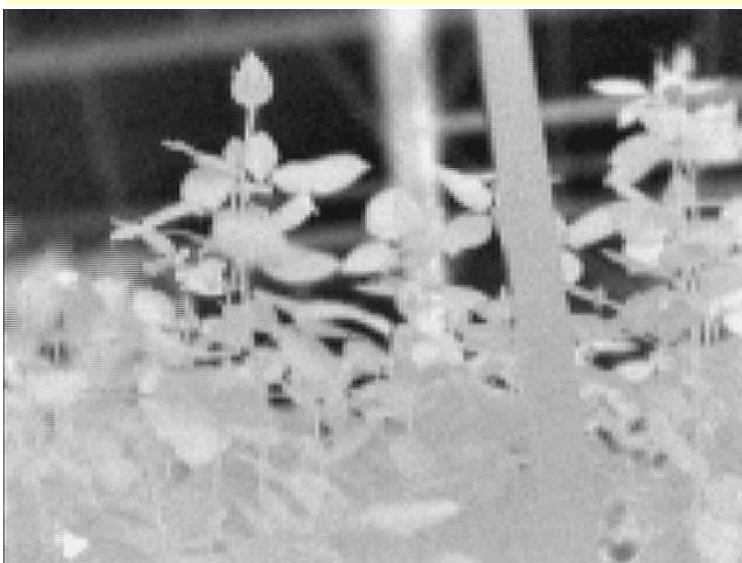
Bolometer image van kas met koeling (donkere delen), gewas en warme constructiedelen (lichte delen). Het scherm is dicht.

In de ongekoelde kas was de gradiënt van de temperatuur in het gewas, (van top via midden naar ingebogen blad) door het gebruik van Reduheat betrekkelijk gering: namelijk minder dan 1 graad in de ochtend, 1,1 °C rond het middaguur en 3,8 °C in de middag. In de gekoelde kas was de gradiënt 's ochtends vroeg gelijk aan de ongekoelde kas. Daarna liep het verschil snel op en om 9:00u werd in de "gekoelde kas" al een gradiënt van 1,2 °C gemeten. De koeling was toen echter nog uit. Om 10:45 was de bladtemperatuur in de "gekoelde kas" opgelopen tot 27,3 °C. Op dat moment schakelde de koeling in. De bladtemperatuur van het topblad daalde binnen 3,5 minuten van 27,3 naar 25,8 °C en de gradiënt keert op: boven 25,8°C onder 26,3°C. De situatie was uitermate stabiel over de dag. Er waren geen noemenswaardige temperatuurschokken gemeten en de gradiënten over het gewas waren klein en waarschijnlijk zijn ze fysiologisch verwaarloosbaar. Het gewas zelf was door de uitstekende conditie en reguleerde het klimaat voor een groot deel zelf. Het sluiten van het scherm heeft praktisch dezelfde koelende werking als de koelinstallatie zelf: een daling van de temperatuur met 1,5 °C. Het verschil met de koeling was een kleinere gradiënt tussen top en bodem maar dit is een marginaal effect dat geen gevolg heeft voor de teelt.



De verschillen in bladtemperatuur over de dag

Er is een duidelijk verschil in de trend waarmee de bladtemperatuur over de dag varieert. Vooral in de loop van de middag loopt de bladtemperatuur in de niet-gekoelde kas hoog op. Het verschil tussen de top en het ingebogen blad is bij hoge instraling ongeveer 3,8 °C graden in de ongekoelde kas en 1,2 °C in de gekoelde kas.



Zonder scherm, koeling uit.

Temperatuurverschil tussen de grijsvariëaties van de bladeren 1.8 °C.



Zonder scherm koeling aan.

Gelijkmatige afkoeling. Geen "hotspots", behalve de bloem die blijft langer warm door de hoge warmtecapaciteit.

Temperatuurverschil tussen de grijsvariëaties van de bladeren is ongeveer 1.0 °C.

2 Conclusies

- De fotosynthese en de huidmondjesgeleidbaarheid van het studieobject zijn optimaal te noemen.
- Enkele beperkingen: de ochtendtemperatuur was in de ongekoelde kas wat laag voor een optimale fotosynthese. Een snellere opwarming werd voorkomen door de aanwezigheid van Reduheat. Reduheat hield de temperatuur tot in de middag op optimale waarden. De temperatuur liep in de ongekoelde kas in de middag iets te hoog op.
- De huidmondjesgeleidbaarheid volgt over de dag exact het verloop van de bladtemperatuur. Voor Avalanche lijkt het optimum bij 25-27 °C te liggen. Overigens bleek een bladtemperatuur van 32 °C niet zodanig stressvol te zijn dat de huidmondjes dusdanig sloten dat de fotosynthese daardoor sterk afnam.
- Er waren geen negatieve effecten van het bewegen van bladeren door luchtstroming.
- De temperatuur gradiënt van de bladeren over het gewas, tijdens het koelen, is verwaarloosbaar klein ten aanzien van de verwachte fysiologische effecten.
- De traagheid van de koeling van de bloem is misschien nog een factor die aandacht verdient.
- Schermen heeft bij hoge instraling praktisch evenveel effect als koelen. Het nadeel van schermen is de sterke afname van PAR. Met name in situaties dat veel CO₂ beschikbaar is zou de weggeschermd straling nog tot productieverhoging hebben geleid.