

Onderdoor en bovendoor koelen en verwarmen met luchtunits in roos

DLV Plant
Postbus 7001
6700 CA Wageningen

Agro Business Park 65
6708 PV Wageningen

T 0317 49 15 78
F 0317 46 04 00
E info@dlvplant.nl
www.dlvplant.nl

Gefinancierd door

Productschap Tuinbouw (PT)
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)
Directie Landbouw Bedrijfsvoering en Organisatieontwikkeling
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Uitgevoerd door

DLV Plant: Jan-Paul van der Kolk, Edwin van der Knaap en Helma Verberkt
DLV Glas en Energie: Ronald-Jan Post
Plant Dynamics: Ad Schapendonk en Sander Pot
Lek/Habo-groep: Jan Franssen

PT - Projectnummer: 13232
LNV – Projectnummer: 1802344

Dit document is auteursrechtelijk beschermd. Niets uit deze uitgave mag derhalve worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLV Plant. De merkrechten op de benaming DLV komen toe aan DLV Plant B.V.. Alle rechten dienaangaande worden voorbehouden. DLV Plant B.V. is niet aansprakelijk voor schade bij toepassing of gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



Inhoudsopgave

Samenvatting	6
1 Inleiding en doel	8
1.1 Inleiding	8
1.2 Doelstelling onderzoek onderdoor of bovendoor koelen met luchtunits	9
1.3 Doelstelling onderzoek onderdoor of bovendoor verwarmen met luchtunits	10
2 Materiaal en methode koelen en verwarmen met luchtunits	11
2.1 Proefopzet koelen met luchtunits	11
2.2 Proefopzet verwarmen met luchtunits	12
2.3 Accommodatie en teeltgegevens Van den Berg Roses	13
2.4 Accommodatie en teeltgegevens GJ van der Weijden	13
2.5 Accommodatie en teeltgegevens Boonekamp Roses	14
2.6 Accommodatie en teeltgegevens Porta Nova	16
2.7 Waarnemingen en verwerking koelen	18
2.8 Waarnemingen en verwerking verwarmen	19
3 Klimaatmetingen	21
3.1 Temperatuurloggers	21
3.2 Pilot akoestische metingen 2008	22
3.2.1 Inleiding	22
3.2.2 Quick scan	23
3.2.3 Betrouwbaarheid metingen	24
3.3 Interpretatie grafieken	24
4 Resultaten bovendoor koelen van den Berg Roses	26
4.1 Gegevens 2008	26
4.1.1 Klimaatmetingen koelen 2008	26
4.1.2 Productiegegevens 2008	28
4.1.3 Kwaliteitsgegevens 2008	30

4.1.4	Planttemperatuurmetingen	32
4.2	Gegevens 2009	33
4.2.1	Klimaatmetingen koelen 2009	33
4.2.2	Productiegegevens 2009	35
4.2.3	Kwaliteitsgegevens 2009	37
4.3	Conclusies bovendoor koelen van den Berg Roses	39
5	Resultaten bovendoor koelen en verwarmen G.J. van der Weijden	40
5.1	Klimaatmetingen bovendoor koelen 2008	40
5.2	Klimaatmetingen bovendoor verwarmen 2008 – 2009	41
5.2.1	Opzet	41
5.2.2	Horizontale temperatuurverdeling	43
5.2.3	Verticale temperatuur- en vochtverdeling	46
5.2.4	Planttemperatuur metingen	51
5.2.5	Luchtstromen	53
5.3	Conclusies bovendoor verwarmen en koelen G.J. van der Weijden	59
6	Resultaten bovendoor koelen en verwarmen Boonekamp Roses	60
6.1	Resultaten klimaatmetingen bovendoor koelen 2009	60
6.1.1	Algemene klimaatgegevens	60
6.1.2	Horizontale temperatuur en vochtverdeling	62
6.1.3	Verticale temperatuursgradiënt, vochtgradiënt en luchtstromen	66
6.2	Productie en kwaliteitsgegevens 2009	76
6.3	Resultaten klimaatmetingen bovendoor verwarmen 2008-2009	76
6.3.1	Opzet	76
6.3.2	Horizontale Temperatuurverdeling	78
6.3.3	Verticale temperatuur- en vocht verdeling	81
6.3.4	Luchtstromen	87
6.4	Conclusies bovendoor koelen en verwarmen Boonekamp Roses	96
7	Resultaten onderdoor koelen en verwarmen Porta Nova	97
7.1	Resultaten onderdoor koelen 2008	97
7.1.1	Klimaatmetingen onderdoor koelen 2008	97
7.1.2	Productiegegevens 2008	99
7.1.3	Kwaliteitsgegevens 2008	101
7.1.4	Planttemperatuurmetingen	102
7.2	Resultaten onderdoor koelen 2009	105
7.2.1	Klimaatmetingen onderdoor koelen 2009	105

7.2.1.1	Algemene klimaatgegevens	105
7.2.1.2	Horizontale temperatuur- en vochtverdeling	107
7.2.1.3	Verticale temperatuursgradiënt, vochtgradiënt en luchtstromen	112
7.2.1.4	Omgevings- en planttemperatuurmeting	121
7.2.2	Productiegegevens 2009	123
7.2.3	Kwaliteitsgegevens 2009	125
7.3	Resultaten onderdoor verwarmen 2008 - 2009	127
7.3.1	Klimaatmetingen onderdoor verwarmen 2008 – 2009	127
7.3.1.1	Opzet	127
7.3.1.2	Horizontale temperatuurverdeling	128
7.3.1.3	Verticale temperatuur- en vochtverdeling	131
7.3.1.4	Planttemperatuurmetingen	137
7.3.1.5	Luchtstromen	138
7.4	Conclusies onderdoor koelen en verwarmen Porta Nova	147
8	Energieberekeningen onder- en bovendoor koelen	148
8.1	Vraagstelling	148
8.2	Uitwerking	148
8.3	Resultaten	149
8.3.1	Porta Nova	149
8.3.2	Boonekamp Roses	150
8.3.3	Efficiëntie onder- of bovendoor koelen	152
8.4	Conclusies energieberekening onder- en bovendoor koelen	154
9	Energieberekeningen onder- en bovendoor verwarmen	155
9.1	Vraagstelling	155
9.2	Uitwerking	155
9.3	Resultaten	156
9.3.1	Porta Nova	156
9.3.2	Van der Weijden	158
9.3.3	Verwarmen met bronwater zonder warmtepomp	160
9.3.4	Gebruik dagbuffer	160
9.3.5	Vergelijking kosten verwarmingsbuizen en fiwihex	160
10	Elektriciteitsverbruik	162
10.1	Inleiding	162
10.2	Porta Nova	162
10.3	Boonekamp Roses	162

10.4	Conclusie elektriciteitsverbruik	162
11	CO₂ besparing onder- en bovendoor koelen	164
11.1	Vraagstelling	164
11.2	Uitwerking	164
11.3	Resultaten	164
11.3.1	Model en werkelijkheid	164
11.3.2	Boonekamp Roses	165
11.3.3	Porta Nova	166
11.4	Conclusies	168
12	Economische evaluatie	170
12.1	Inleiding	170
12.2	Opties	172
12.3	Resultaat	173
13	Toetsing CFD model	175
13.1	Inleiding	175
13.2	Resultaten en conclusies	176
14	Conclusies en aanbevelingen	178
14.1	Conclusies	178
14.2	Aanbevelingen	182
Bijlage 1	Energiekosten kaskoeling	184
Bijlage 2	Luchttemperatuur-gradiënt bij Roos	185

Samenvatting

Het afgelopen jaar is op diverse rozenbedrijven die onderdoor of bovendoor koelen en/of verwarmen onderzoek verricht met als doel antwoorden te vinden op vragen als: wat zijn de temperatuurverschillen, vochtverschillen en dynamiek daarbinnen gedurende het koeling-, verwarmings- en ontvochtigingsproces, wat is de juiste positie koelers/verwarmingsunits en wat zijn de korte en lange termijn plantreacties hierop. Dit moet leiden tot haalbaarheid sterkte en zwakte analyse van de diverse wijzen van koeling en verwarmen met Fiwihexen in de teelt van rozen.

Verwarmen

Onderdoor verwarmen met de Fiwihex is goed mogelijk en is energetisch zelfs erg efficiënt. De temperatuurverschillen zijn iets groter ten opzichte van bovendoor verwarmen, indien het gewas zelf relatief veel weerstand veroorzaakt. Bij onderdoor verwarmen, wanneer de luchtaanzuiging op gewasniveau plaatsvindt, in combinatie met gewassen die gevoelig zijn voor hoog vocht, kunnen kritisch hoge vochtwaarden sneller worden bereikt. In dergelijke omstandigheden draagt luchtbeweging niet per definitie bij aan het vergroten van de verdampingsruimte. Bovendoor verwarmen met de Fiwihex gaat beter ten aanzien van de temperatuur en vochtverdeling dan van te voren gedacht werd, er is immers minder weerstand boven het gewas. Voor een optimale sturing bij bovendoor verwarmen dienen de luchtunits wel gecombineerd te worden met een “actief”ondernet. Het ondernet kan al bij lage temperaturen bijdragen aan een optimale temperatuur- en vochtverdeling. De hoogte van de benodigde buistemperatuur is afhankelijk van de warmtevraag. Dankzij deze lage temperaturen blijft, indien gebruik gemaakt wordt van een warmtepomp, een hoge “coëfficiënt of performance” gewaarborgd. Luchtunits bovenin de kas doen geen noemenswaardige afbreuk aan de “coëfficiënt of performance”. In de kas zelf wordt de warmte, minder effectief ingezet, maar de werkelijke verschillen waren in dit onderzoek niet betrouwbaar te kwantificeren, vanwege het ontbreken van een zuivere referentie.

De energiebesparing die potentieel gerealiseerd kan worden bij onderdoor verwarmen is fors. Bij bovendoor verwarmen is er geen besparing aan te tonen ten opzichte van traditioneel verwarmen. Ervaring zal moeten leren hoeveel energie er uiteindelijk bespaard kan worden zonder dat dit nadelige effecten heeft op het gewas.

De nieuwe manier van verwarmen vraagt een andere manier van klimaatsturing. Er zal nu veel gericht op bijvoorbeeld vocht gestuurd moeten gaan worden. De resultaten laten zien wat de meest kritische plekken in het gewas zijn. Bij onderdoor verwarmen is dit op bloemhoogte en bij bovendoor verwarmen op het ingebogen blad.

Modelberekening via het Explorer model laten zien dat er met onderdoor verwarmen een kwantitatief voordeel behaald kan worden en bovendoor een meer kwalitatief voordeel behaald wordt. Dit is een algemene conclusie waarbij de nuance gemaakt moet worden dat de resultaten cultivarafhankelijk zijn. De verschillen op de biomassa productie zijn echter gering. Het effect van luchtverwarming op de productie in vergelijking met de conventionele verwarmingssituatie is klein. Effecten die kunnen optreden zoals, meer- of minder uitloop kunnen overbrugd worden door het gewasmanagement aan te passen.

Koelen

Klimatologisch blijkt bovendoor koelen een stabiel klimaat te geven met kleine horizontale en verticale temperatuur- en vochtgradiënten. Onderdoor koelen laat grotere horizontale en verticale gradiënten zien en geeft een minder stabiel klimaat dan bovendoor koelen. Bij beide manieren van koelen is de variatie van temperatuur ter hoogte van het ingebogen blad het grootst. Ook planttemperatuur metingen laten bij bovendoor koelen een kleinere gradiënt zien dan bij onderdoor koelen. Fotosynthese metingen laten zien dat het effect op de plant klein of afwezig is. Voor een optimaal kasklimaat heeft bovendoor koelen de voorkeur.

De energiebesparing die gehaald kan worden door onderdoor te koelen i.p.v. bovendoor koelen is gering maar wel aanwezig. Het blijkt dat het energieverbruik het meest afhankelijk is van de koelstrategie. Voorbeelden hiervan zijn tijdstip van schermen en de raamstanden tijdens het koelen.

Productie- en kwaliteitsgegevens laten zien dat vergelijkingen die gemaakt zijn met de referentie bedrijven aantonen dat er iets meer kwaliteit geproduceerd wordt door te koelen. De verschillen zijn gemiddeld echter gering maar kunnen in bepaalde periode van het jaar wel significant zijn. De eerder aangetoonde meerproductie van 19% bij Van den Berg Roses is niet behaald in dit onderzoek omdat de referentiebedrijven nauwelijks of geen lagere CO₂ dagwaarden registreerde. Dit houdt impliciet in dat temperatuur en vocht, binnen extreme grenzen weinig van invloed zijn op de biomassa-productie.

Berekeningen met betrekking tot de CO₂ behoefte laten zien dat er een forse besparing te behalen valt bij zowel onderdoor als bovendoor koelen. Dit lijkt dan ook de meest belangrijke reden om te gaan koelen. Of het uiteindelijk rendabel is om hiervoor een koel-c.q. verwarmingsinstallatie aan te schaffen is o.a. sterk afhankelijk van de verhouding tussen de gas- en de elektriciteitsprijs. De CO₂ bron is ook erg bepalend voor de mate van besparing die behaald kan worden. Afhankelijkheid van relatief dure vloeibare CO₂ zal koelen sneller interessant maken dan wanneer er CO₂ van de WKK (met teruglever mogelijkheid) gebruikt wordt. De variabele koelkosten kunnen concurreren met aanvullend vloeibare CO₂ of zelf met het doseren van relatief goedkope OCAP CO₂. Alle doorgerekende opties, met een hoge CO₂ doseercapaciteit of koeling, leiden tot vergelijkbare variabele kosten. Echter, de terugverdientijd ten gevolge van de meerinvestering is bij koeling een langdurige aangelegenheid. Wanneer de CO₂ emissierechten in de toekomst verhandelbaar worden dan is dit een belangrijk voordeel voor gekoelde kassen omdat er dan, afhankelijk van de situatie, 45 tot 80% minder CO₂ uitstoot op het bedrijf zelf plaatsvindt.

Fiwihex onder- of bovendoor?

Uitgaande van het kasklimaat geniet de plaatsing van de Fiwihexen bovenin de voorkeur. Ten aanzien van energiebesparing heeft de plaatsing van de Fiwihexen onderin de voorkeur. De besparing bij een rozenkwekerij bij onderdoor koelen leidt tot nog meer warmteoverschot. De keuze zal sterk afhangen van eisen aan de kwaliteit van het gewas, energiemanagement en bedrijfssituatie van de teler.

1 Inleiding en doel

1.1 Inleiding

Al jarenlang werkt de glastuinbouw gestaag toe naar een compleet gesloten en beheersbaar teeltsysteem. Het ideaal is dan bij de inzet van koeling dat er zo min mogelijk koude en zonne-energie weglekt, en dat alles wat niet meer nodig is gecontroleerd de kas verlaat. Bij gietwater gebeurt dat al veelvuldig, vooral in de vruchtgroenteteelt. Tegelijk is daarmee het verlies aan meststoffen minimaal. Warmteverlies is nog niet te voorkomen, omdat een kas overtollig verdampingsvocht kwijt moet door te luchten. Ontvochtiging via een koelsysteem is technisch gezien ook mogelijk en onder sommige omstandigheden haalbaar. Er zijn verschillende koelconcepten beschikbaar, voor zowel bovenin als onderin de kas, centraal als decentraal en met en zonder verdeelslurven. Vanwege het kleine aantal geïnstalleerde systemen leven er nog veel vragen over de toepassing van koelsystemen, zoals over de beste locatie in de kas en hoe de schermen te gebruiken bij koeling.

Optimalisatie van de teelt in combinatie met efficiënte energiebenutting is de drijvende kracht voor innovatie in de Nederlandse glastuinbouw. In de rozenteelt komt het toepassen van kas/gewas koeling steeds meer in de belangstelling te staan. Het doel van deze ontwikkelingen is een betere klimaatbeheersing afgestemd op de teelt (vooral in de zomer) en slimmer omgaan met energie. Gebruik van warmte/koude buffers, warmtepompen en efficiënte warmtewisselaars staan hierbij centraal. Op dit moment worden verschillende koelsystemen aangeboden. Naast technische verschillen is de *manier* waarop de koele lucht wordt ingebracht, namelijk van boven of van onder het gewas, van cruciaal belang voor het effect op de teelt. Dit onderzoek zal het effect van de positie van de koelunits in kaart brengen, zowel qua richting en snelheid van de luchtstroom als qua temperatuur gradiënt. De temperatuur gradiënt en de daarmee samenhangende gradiënt in RV in het gewas en de plant respons hierop staan centraal.

De ontbrekende schakel bij de ontwikkeling van een gekoelde kas is de response van het gewas. Zo zou koude inbrengen van boven het gewas beter zijn voor de gewasgroei en koelen/verwarmen van onderaf juist energetisch erg interessant zijn. Verwarmen beneden het gewas met de warmtewisselaars met gebruik van warmte uit de dagbuffer kan de inzet van een warmtepomp sterk verminderen. Koude inbrengen van onderuit zou de verliezen van koude via de luchtramen wellicht verder kunnen verminderen. De temperatuur en vocht gradiënt in het gewas is voor beide systemen totaal verschillend. Een fysiologische onderbouwing van de invloed op het gewas (CO_2 opname) ontbreekt of is op zijn minst ontoereikend voor een weloverwogen keuze voor een koelsysteem. Bovendien is weinig bekend welke range in temperatuur en vocht, in combinatie met luchtbeweging door het gewas, toelaatbaar is met behoud van goede plantresponse op de fotosynthese (CO_2 opname) en huidmondjesgedrag. Dit maakt het lastig criteria aan te geven waar een koelsysteem aan zou moeten voldoen. Een bijkomend aspect is dat verschillen in raseigenschappen (bijvoorbeeld temperatuur en VPD gevoeligheid) van invloed kunnen zijn op de response en dus op de criteria voor een koelsysteem. Vanuit de techniek geredeneerd is plaatsing van warmtewisselaars en het effect op de efficiëntie en temperatuursverdeling nog niet uitgekristalliseerd.

De sector heeft ingezet op verduurzaming en verwacht dit voor een groot deel te kunnen realiseren door (semi-) gesloten te gaan telen. Binnen een paar jaar zal in Nederland een paar honderd hectare met (semi-) gesloten kassen vol staan. Op een aantal bedrijven worden al aanpassingen gemaakt of vindt zelfs nieuwbouw plaats. Er zijn echter veel vragen hieromtrent. Met name de keuze van scherm en koelerpositie staan nog niet vast en is onduidelijk op basis waarvan gekozen moet worden.

Bij het bovendoor koelen van een kas wordt b.v. vaak gebruik gemaakt van het klefeffect aan het scherm om de “luchtworp” te verlengen. De kans bestaat dat door de langs geblazen lucht en het klefeffect (via de open stroken in het scherm) gekoelde lucht boven het scherm terecht komt. Er gaat mogelijk hierdoor gekoelde lucht en koelvermogen verloren aan het door de zon opgewarmde scherm. Als voorbeeld zou bij bovendoor koelen naar schatting 20% koelvermogen verloren gaan via “open” schermen. Uitgaande van 100 ha semi-gesloten teelt dreigt bij 375 MWh/ha koudwaterproductie met een warmtepomp ($COP = 8 \text{ kW}_e/\text{kW}_{th}$) en een kostprijs van 100 €/MWe een schade van ca. € 500.000,- per jaar. Om aan het ambitieniveau van de sector te voldoen moet de kennis omtrent keuze van het scherm en koelerpositie verder ontwikkeld worden.

Om meer inzicht te krijgen in de effecten op onderdoor en bovendoor koelen is in 2008 een project gestart ‘Onderzoek naar toepassing verschillende wijze van koeling op de groei en ontwikkeling van Roos’. Een belangrijke vraag hierbij is op welke wijze kunnen de luchtunits ook ingezet worden voor het verwarmen c.q. ontvochtigen van kassen en welke effecten heeft dit op het kasklimaat in relatie tot de gewasgroei en gewasontwikkeling en op het energieverbruik.

Temperatuurinstellingen zijn het belangrijkste stuur bij de teelt van kasgewassen en de ruimtelijke temperatuurverdeling in de kas bepaalt of die sturing al dan niet effectief werkt. We willen immers 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. Om deze reden is halverwege 2008 een aanvullend project gestart ‘Verwarming met luchtunits bij Roos i.c.m. dynamische simulatie van temperatuur gradiënten en de consequenties voor productiviteit bij Roos’.

1.2 Doelstelling onderzoek onderdoor of bovendoor koelen met luchtunits

Doelstelling is onderzoek naar toepassing verschillende wijze van koeling (onderdoor of bovendoor) in relatie tot schermen op de groei en ontwikkeling van Roos om te komen tot een economisch bruikbare toepassing in de praktijk.

Het koelonderzoek bestaat uit een drietal componenten:

- Toetsing/validatie van een (Computational Fluid Dynamics (CFD)) als bruikbaar instrument om gedegen keuzes te maken voor de juiste wijze van koeling en schermen.

- Onderzoek naar de korte termijn effecten (fotosynthese karakteristieken en huidmondjesgedrag) van onderdoor en bovendoor koelen in relatie tot gebruik schermen.
- Onderzoek naar de lange termijn effecten (productie en kwaliteit) van onderdoor en bovendoor koelen in relatie tot gebruik schermen.

1.3 Doelstelling onderzoek onderdoor of bovendoor verwarmen met luchtunits

Het toepassen van luchtunits voor verwarmen en ontvochtiging kan naast koelen extra voordelen opleveren. Om deze voordelen te kwantificeren is dit onderzoek opgezet.

Het verwarmingsonderzoek bestaat uit:

- In kaart brengen van de temperatuurverschillen en dynamiek daarin gedurende het verwarmings- en ontvochtigingsproces bij toepassing van luchtunits onderdoor en bovendoor.
- Onderzoek naar de korte termijn effecten (fotosynthese karakteristieken en huidmondjesgedrag) en de lange termijn effecten (productie en kwaliteit) van onderdoor en bovendoor verwarmen/ontvochtigen met luchtunits in relatie tot gebruik schermen.
- Kwantificeren van de mate van energiebesparing en economische evaluatie van toepassing van luchtunits om te verwarmen en te ontvochtigen.

Technische doelstelling:

- Uitbreiding CFD model voor toepassing van luchtunits om te verwarmen en te ontvochtigen.
- Model van de gewasinvloed op het microklimaat en koppeling aan het CFD model.

Doel van deze projecten is antwoorden te vinden op vragen als: wat zijn de temperatuurverschillen, vochtverschillen en dynamiek daarbinnen gedurende het koeling-, verwarmings- en ontvochtigingsproces, wat is waarde van toepassingen van CFD, wat is de juiste positie koelers/verwarmingsunits en wat zijn de korte en lange termijn plantreacties hierop. Dit moet leiden tot haalbaarheid sterkte en zwakte analyse van de diverse wijzen van koeling en verwarmen met FiwiHexen in de teelt van rozen. De onderzoeken hebben plaatsgevonden op diverse rozenbedrijven. In dit verslag worden de resultaten van beide projecten weergegeven.

Beide projecten zijn gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (PT) en Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Uitvoerders in dit project zijn Plant Dynamics, Lek/Habo, FlowMotion en DLV Plant en de deelnemende tuinbouwbedrijven. De deelnemende tuinbouwbedrijven zijn Porta Nova, G.J. van der Weijden, Boonekamp Roses BV en Van den Berg Roses. Het project is in nauwe samenwerking uitgevoerd met de leden van de BCO van de landelijke Rozencommissie van LTO Groeiservice.

2 Materiaal en methode koelen en verwarmen met luchtunits

2.1 Proefopzet koelen met luchtunits

Het onderzoek is uitgevoerd op een viertal praktijkbedrijven waar op verschillende wijzen wordt gekoeld in de teelt van rozen.

Bij Gert-Jan van der Weijden is gedurende de koelperiode van 2 tot 12 juni 2008 de temperatuursverdeling gemeten d.m.v. 160 temperatuurloggers. Op dit bedrijf wordt bovendoor gekoeld.

Bij Porta Nova (PN) wordt gemodelleerd en gemeten vanaf zomer 2008 in de onderdoor gekoelde kas (PN2) met jonge aanplant 'Red Naomi' onder $165 \mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ assimilatiebelichting. Er is een vergelijk gemaakt met een bestaande controle afdeling (PN1) waar 'Red Naomi' wordt geteeld (geplant in aug. 2006) onder $200 \mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ assimilatiebelichting. In zowel de gekoelde en de conventionele kas zijn temperatuurmetingen uitgevoerd in de periode van 1 juli t/m 15 juli 2008, met 80 temperatuurloggers per kas. In de zomer van 2009 is er op het gekoelde bedrijf gemeten met akoestische meetapparatuur. In kaart zijn gebracht de horizontale en verticale temperatuur- en vochtverdeling, luchtstroming in richting en snelheid. De productie- en kwaliteitsgegevens van zowel onderdoor koelen als conventioneel zijn bijgehouden. Tevens zijn steellengte, steeldikte en versproductie gemeten en/of berekend. Een vergelijking tussen de referentie afdeling en de gekoelde afdeling is in 2008 niet gemaakt in verband met de leeftijd van het gewas. In 2009 is dit vergelijk wel gemaakt.

De gegevens van 2008 van de diverse metingen bij G.J. van der Weijden en PN zijn vervolgens gebruikt voor toetsing van het CFD-model van FlowMotion.

Bij Boonekamp roses wordt gemodelleerd en gemeten vanaf zomer 2009 met een jonge aanplant 'Grande Amore' onder $190 \mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ assimilatiebelichting. Er is gemeten met akoestische meetapparatuur. In kaart zijn gebracht de horizontale en verticale temperatuur- en vochtverdeling, luchtstroming in richting en snelheid. De productie- en kwaliteitsgegevens zijn bijgehouden. Tevens zijn de steellengte, steeldikte en versproductie gemeten en/of berekend.

Bij Van den Berg Roses zijn de productie en kwaliteitsgegevens van bovendoor koelen en conventioneel (referentieafdeling) bijgehouden in 2008 en 2009. Tussen beide afdelingen is een vergelijking gemaakt van knopgrootte, steellengte, steeldikte en versproductie. Nadere gegevens m.b.t. kassituatie, teelt en fotosynthese waarnemingen op dit bedrijf zijn reeds in voorgaand onderzoek uitgevoerd. Dit bedrijf heeft met name als referentiebedrijf meegelopen, om gegevens van de proefjaren te vergelijken met voorgaande jaren.

Op bovengenoemde vier bedrijven heeft Plant Dynamics door middel van fotosynthese metingen met de licor 6400 de huidmondjes reactie in afhankelijkheid van de lichtintensiteit, VPD en CO_2 concentratie in kaart gebracht. 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.

2.2 Proefopzet verwarmen met luchtunits

Bij Gert-Jan van der Weijden is gedurende de verwarmingperiode van 17 tot 28 november 2008 de temperatuursverdeling gemeten d.m.v 160 temperatuurloggers en met akoestische meetapparatuur.

Bij Porta Nova is gedurende de verwarmingperiode van 5 tot 18 december 2008 de temperatuursverdeling gemeten d.m.v 160 temperatuurloggers en met akoestische meetapparatuur.

Bij Boonekamp Roses is gedurende de verwarmingperiode van 4 tot 17 maart 2009 de temperatuursverdeling gemeten d.m.v 160 temperatuurloggers en met akoestische meetapparatuur.

Bij alle drie de bedrijven is getracht onder de volgende proefomstandigheden te meten:

- Conventioneel verwarmen met het ondernet.
- Conventioneel verwarmen met het ondernet zonder minimumbuis en de ventilator van de FiwiHex in verschillende standen.
- Verwarmen met de FiwiHex, afhankelijk van de bedrijfssituatie onderdoor of bovendoor.

Bij Gert-Jan van der Weijden en Porta Nova is er tijdens het verwarmen met de FiwiHex door Plant Dynamics gemeten. Door middel van fotosynthese metingen met de Licor 6400 is de huidmondjesreactie in afhankelijkheid van de lichtintensiteit, VPD en CO₂ concentratie in kaart gebracht. Daarnaast werd het effect van verwarming op de verandering van gewas temperatuur 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 productie en kwaliteitsgegevens zijn bij Porta Nova in de winterperiode, tijdens het verwarmen vastgelegd.

2.3 Accommodatie en teeltgegevens Van den Berg Roses

Het bedrijf bestaat uit een Venlo kastype van 5 meter pothoogte en tweeruitsluchting. Type schermen zijn XLS 14 F zomer doek en het energie c.q. lichtdoek is een 95 obscura.

Het aantal lampen in de gekoelde en niet gekoelde afdeling is 2550 à 1000 watt. Dit is een PAR-licht intensiteit van $165 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. De grootte van de gekoelde en niet gekoelde afdeling is 23.000 m^2 . De koeling bestaat uit een koelunit met 2 ventilatoren per 380 m^2 . De koelunits zijn boven het gewas geplaatst. Er hangt 1 koelunit per 365 m^2 . Gedurende de winter wordt er duurzaam koude gewonnen via koeltorens.

De kas bestaat uit twee afdelingen, in beide afdelingen wordt het ras 'Avalanche' geteeld. De plantdatum van de niet gekoelde afdeling is maart 2004 en de gekoelde afdeling is geplant in oktober 2001.



Foto 1 Opstelling koelunits van der Berg Roses

2.4 Accommodatie en teeltgegevens GJ van der Weijden

De onderzoeken bij Gert-Jan van der Weijden zijn uitgevoerd in Venlo kastype met de pothoogte van 4,25 meter, vakmaat 4 meter en tralie van 9,60 meter. De kas wordt bovendoor gekoeld met behulp van de Fiwihex. Het ras dat geteeld wordt is 'Finess'. De koelafdelingen hebben een totale oppervlakte van 14.400 m^2 . Het totaal aantal fiwihexen is 180. En het totaal aantal assimilatielampen is 2072 à 600 watt. Dit geeft een PAR licht intensiteit van $116 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. Dit is gemeten met een PAR-sensor in de donkerperiode. Er is een scherm geïnstalleerd, te weten: energie/licht doek LS obscura.

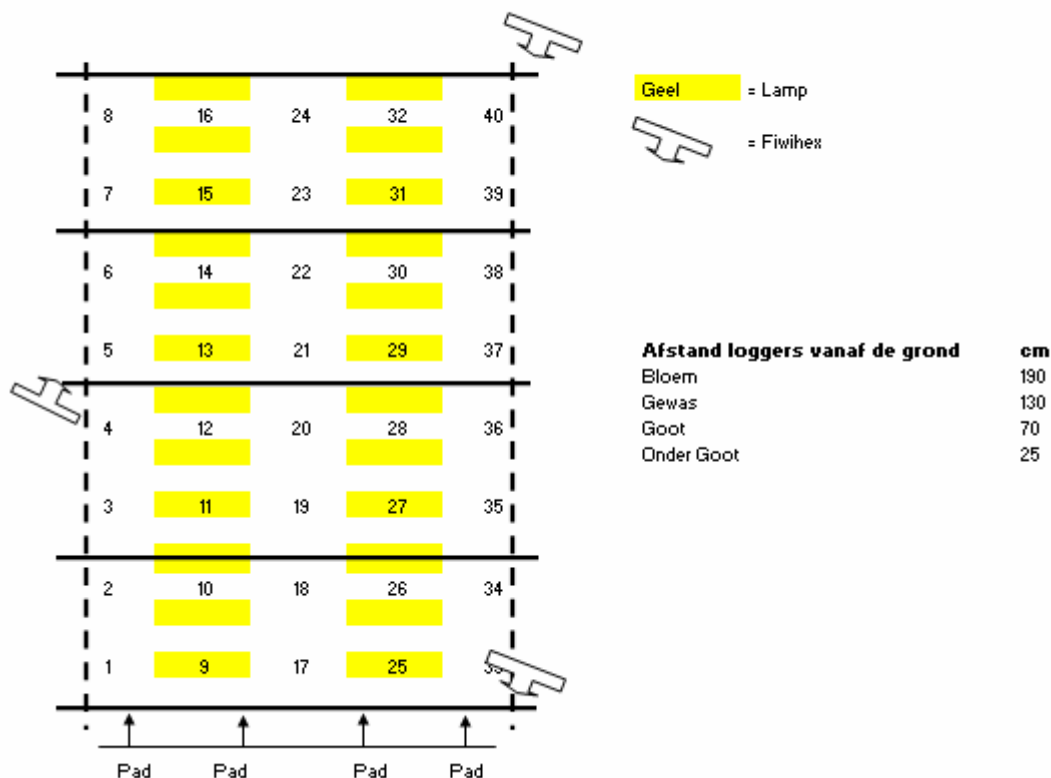


Foto 2 Opstelling koelunits G.J. van der Weijden

De opstelling van de Fiwihex is schematisch weergegeven in de volgende figuur. Er zijn 4 paden per tralie. De nummering geeft aan waar de temperatuurloggers hebben gehangen tijdens de meetperiode gedurende de verwarmingsproef.

Verdeling van de stokken over het meetveld.

Alle stokken staan in het midden van een bed. Een bed bestaat uit twee goten.
De verdeling van de stokken is als onderstaand



Figuur 1 Opstelling temperatuurloggers verwarmingsproef G.J. van der Weijden

Figuur 1 laat de opstelling zien van de temperatuurloggers tijdens de verwarmingsproef. Er is voor gekozen om de temperatuurloggers ditmaal niet af te dekken tegen instraling (in tegenstelling tot de koelproef). De invloed die de straling en/of de belichting op de meting heeft is dan evenredig over alle loggers. Hoofdstuk 3.1 gaat verder in op de invloed van straling op de loggers.

2.5 Accommodatie en teeltgegevens Boonekamp Roses

De onderzoeken bij Boonekamp Roses zijn uitgevoerd in een Venlo kastype met een poothoogte van 6 meter, vakmaat 5 meter en een tralie van 16 meter. De kas wordt bovendoor gekoeld met behulp van de FiwiHex. Het ras dat geteeld wordt is 'Grande Amore'. Het bedrijf heeft een oppervlakte van 43.200 m². Het totaal aantal fiwihexen is 504. En het totaal aantal assimilatie lampen is 4536 à 1000 watt. De PAR licht intensiteit is 190 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$. Het zomerdoek is een 13 F ultra en het energie/lichtdoek is een Obscura 99 LS.

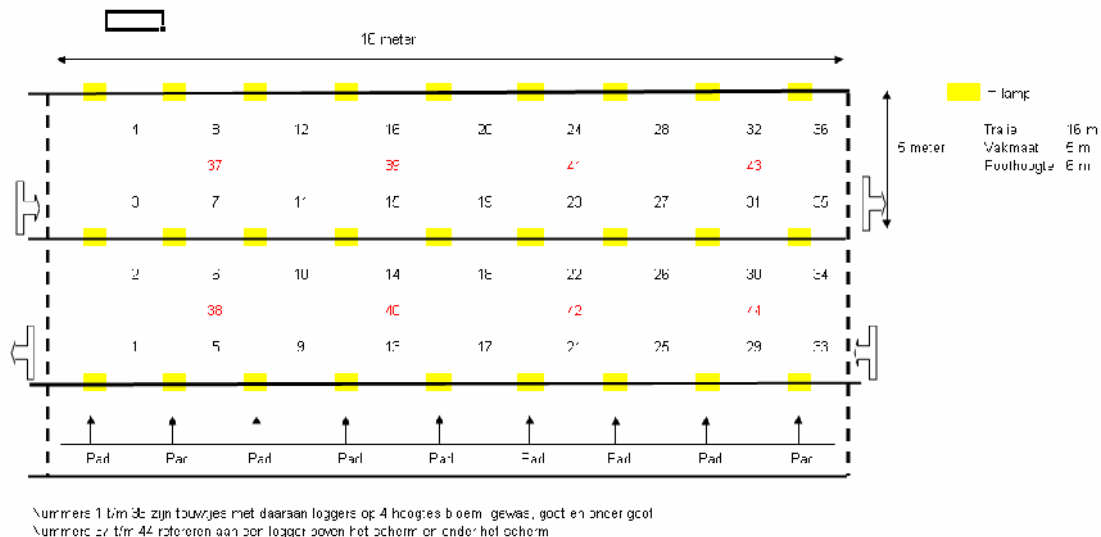
De opstelling van de fiwihex is schematisch weergegeven in de volgende figuur. Er zijn 9 paden per tralie. De nummering geeft aan waar de temperatuurloggers hebben gehangen tijdens de



Foto 3 Opstelling koelunits Boonekamp Roses

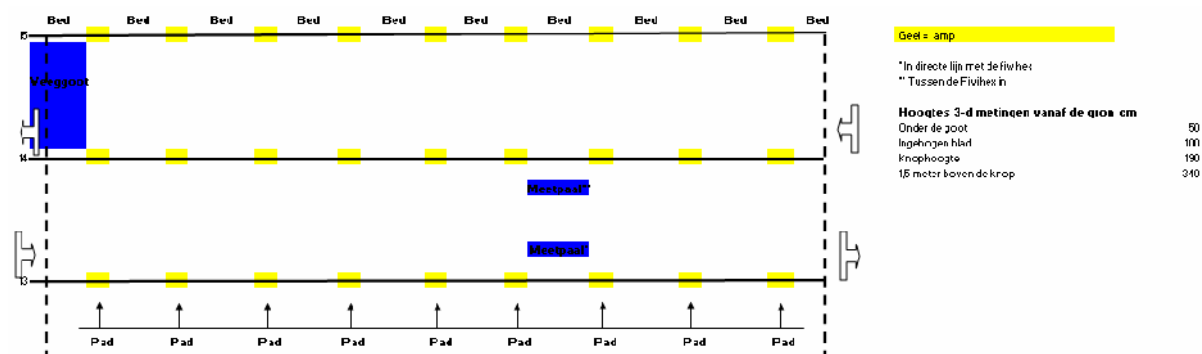
meetperiode gedurende de verwarmingsproef.

Verdeling van de touwtjes over het meetveld.



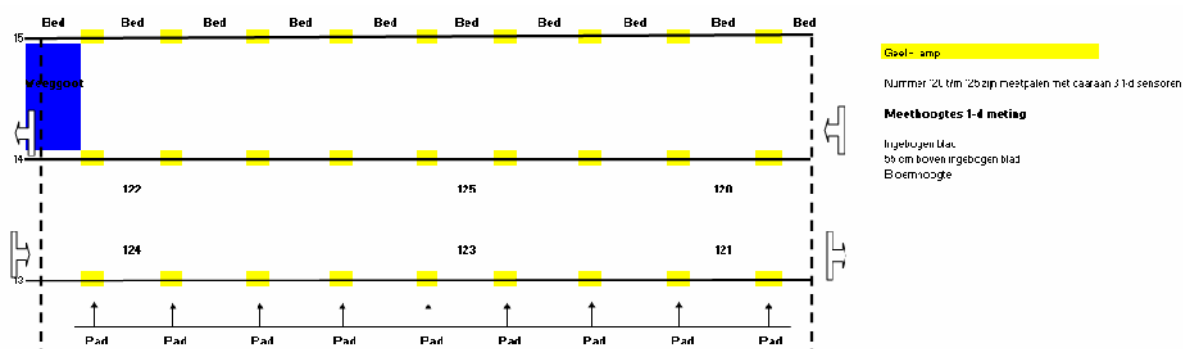
Figuur 2 Meetopstelling verwarmingsproef Boonekamp Roses

Tijdens de koelperiode zijn er twee verschillende meetopstellingen geweest. Als 1^e zijn er 3-d metingen uitgevoerd waarbij op vier hoogtes onder de goot, ingebogen blad, bloem en 150 cm boven de bloem gemeten is. Er zijn twee meetpalen neergezet in het 6^{de} bed van de tralie, één in directe lijn met de Fiwihex en één tussen de fiwihex in. Dit laatste is gedaan om te kijken wat er met het klimaat gebeurt als de planten in directe uitblaas staan of niet. De 3-d metingen meten op de genoemde hoogtes windsnelheid, windrichting, temperatuur en vocht.



Figuur 3 Meetopstelling 3-d metingen koelen Boonekamp roses

Als 2^e zijn er 1-d metingen uitgevoerd om de horizontale temperatuur en vochtgradiënt in kaart te brengen. Per meetpaal is er op 3 hoogtes gemeten namelijk ingebogen blad, 55 cm boven ingebogen blad en bloemhoogte. Deze meting brengt geen luchtstromen in kaart. In Figuur 3 en Figuur 4 zijn de meetopstellingen schematisch weergegeven.



Figuur 4 Meetopstelling 1-d metingen koelen Boonekamp roses

2.6 Accommodatie en teeltgegevens Porta Nova

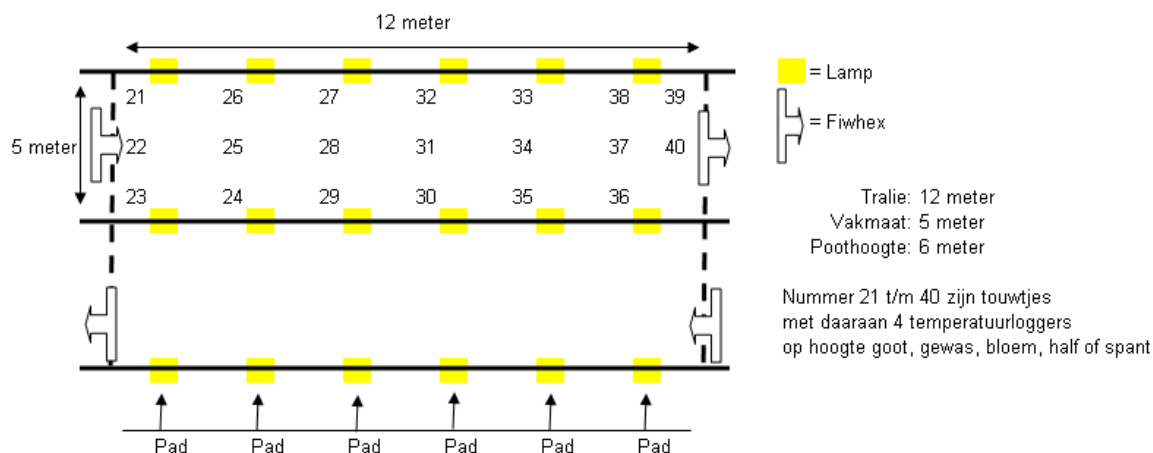
Het onderzoek bij Porta Nova te Waddinxveen is uitgevoerd op twee locaties. Porta Nova 1 heeft een pothoogte van 5 meter, traliemaat van 8 meter. Het totaal aantal assimilatielampen is 8436 à 600 watt/m² en wordt in 3 niveaus geschakeld. De PAR licht intensiteit is 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. De totale oppervlakte is 43.200 m². Porta Nova 2 heeft een pothoogte van 6 meter en een traliemaat van 12 meter. De kas wordt onderdoor gekoeld en verwarmd met Fiwihexen. Het aantal Fiwihexen is 800 en het totaal aantal assimilatielampen is 6372 à 1000 Watt. De PAR lichtintensiteit is 164 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. De totale oppervlakte is 64.200 m². Op beide bedrijven ligt een zomerdoek XLS13F en een energiedoek Obscura 99 LS bij Porta Nova 2 en een Obscura 95 LS bij Porta Nova 1.



Foto 4 Opstelling koelunits Porta Nova

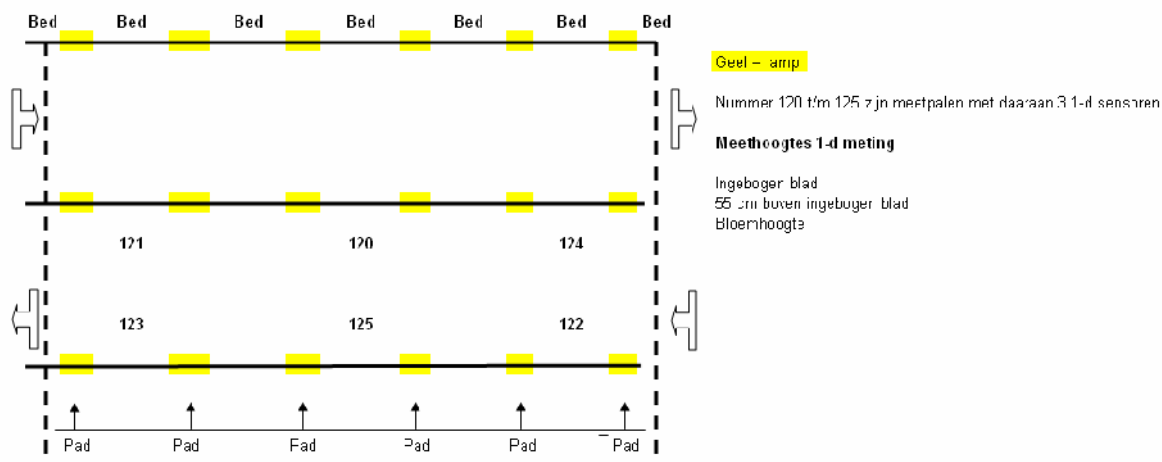
Op beide bedrijven wordt het ras 'Red Naomi' geteeld. Bij Porta Nova 1 is geplant in augustus 2006, bij Porta Nova 2 is geplant in het voorjaar 2008.

De opstelling van de Fiwihex bij Porta Nova 2 is schematisch weergegeven in de volgende figuur. Er zijn 6 paden per tralie. De nummering geeft aan waar de temperatuurloggers hebben gehangen tijdens de meetperiode gedurende de verwarmingsproef.



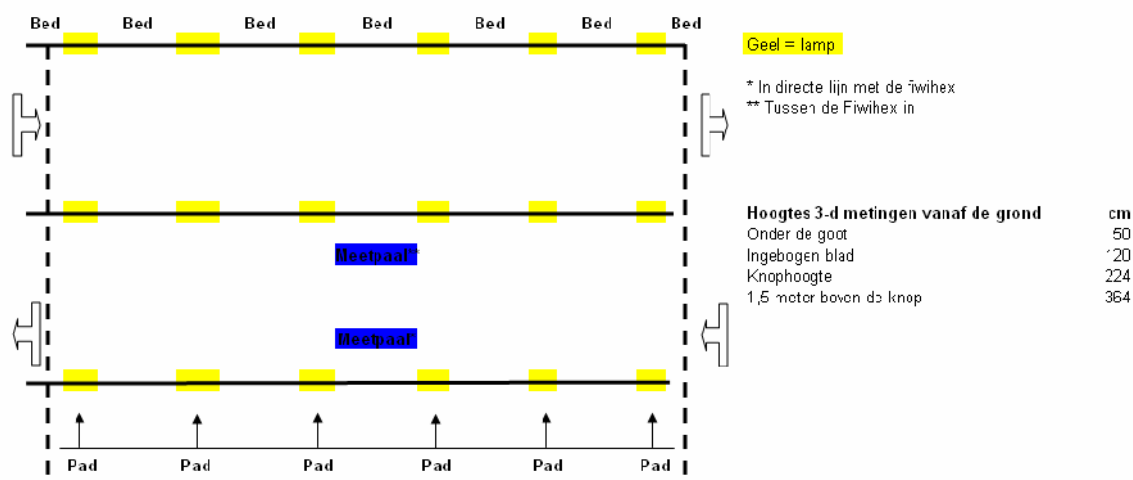
Figuur 5 Meetopstelling verwarming proef Porta Nova

Tijdens de koelperiode zijn er twee verschillende meetopstellingen geweest. Als 1^e zijn er 1-d metingen uitgevoerd om de horizontale temperatuur en vochtgradiënt in kaart te brengen. Per meetpaal is er op 3 hoogtes gemeten namelijk ingebogen blad, 55 cm boven ingebogen blad en bloemhoogte. Deze meting brengt geen luchtstromen in kaart.



Figuur 6 Meetopstelling 1-d metingen koelen Porta Nova

Als 2^e zijn er 3-d metingen uitgevoerd waarbij op vier hoogtes onder de goot, ingebogen blad, bloem en 150 cm boven de bloem gemeten is. Er zijn twee meetpalen neergezet in het 6^{de} bed van de tralie, één in directe lijn met de Fiwhex en één tussen de Fiwhex in. Dit laatste is gedaan om te kijken wat er met het klimaat gebeurt als de planten in directe uitblaas staan of niet. De 3-d metingen meten op de genoemde hoogtes windsnelheid, windrichting, temperatuur en vocht. In Figuur 6 en Figuur 7 zijn de meetopstellingen schematisch weergegeven



Figuur 7 Meetopstelling 3-d metingen koelen Porta Nova

2.7 Waarnemingen en verwerking koelen

Bij de koelproef in 2008 is de temperatuur verdeling bepaald door temperatuurdataloggers op verschillende hoogtes bloem, gewas, teeltgoot en onder de teeltgoot in een meetvlak op te hangen. De loggers zijn tijdens de meetperiode afgedekt door een afdekfolie om de stralingsinvloed op de temperatuurmeting zoveel mogelijk weg te nemen. Bij de koelproef in 2009 zijn luchtstromen, horizontale en verticale temperatuur en vochtverdeling in kaart gebracht. Resultaten moeten weergeven wat de verdeling is en of de resultaten binnen gestelde grenzen blijven.

In 2008 is als pilotproef voor vervolg onderzoek akoestische meetapparatuur uitgetest. Deze meetapparatuur maakt door middel van geluidsmeting lucht- en temperatuurstromen op een bepaalde plek of over een groter oppervlak inzichtelijk. In de vervolgproef in 2009 is deze apparatuur veelvuldig ingezet. De meetgegevens afkomstig uit de akoestische meetapparatuur zijn gekoppeld aan de klimaatdata van de klimaatcomputer om zo verbanden in kaart te brengen van bijvoorbeeld de ventilatorstand op de luchtstroom langs de plant. Vervolgens zijn de akoestische meetdata en klimaatdata van de klimaatcomputer aan het explorer-model van Plant Dynamics gekoppeld.

Klimaatgegevens zijn geregistreerd op Letsgrow.com bij Porta Nova en Van den Berg Roses. Bij Van der Weijden en Boonekamp zijn de gegevens op de klimaatcomputer zelf bewaard. Daarbij zijn o.a. de schermstand, temperatuur, RV, CO₂ en PAR licht bijgehouden.

Van het gewas is de gewichtsproductie (in gram/m²), het aantal stuks per week per m² en de kwaliteit (takgewicht, taklengte, knopgrootte en gram per cm²) geregistreerd. De productiegegevens zijn geregistreerd in Letsgrow.com. Bij Van den Berg roses is hierbij ook een vergelijking gemaakt tussen de conventionele en gekoelde afdeling. Door de verschillende gewasstadia bij Porta Nova in 2008 was het hier niet mogelijk om een goede vergelijking te maken. De gegevens van 2009 zullen een veel betrouwbaarder beeld geven.

De productiegegevens van zowel Porta Nova als Van den Berg zijn verwerkt in grafieken per periode en kwaliteitsgegevens in tabellen per jaar. Waar mogelijk is er een vergelijk gemaakt tussen de verschillende wijzen van koelen en conventioneel.

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 van het blad op deze verandering bepaald worden. Waarnemingen die tijdens de fotosynthesemetingen gedaan zijn, zijn o.a. de assimilatie capaciteit in afwezigheid van de huidmondjesbeperking. In deze situatie is gevarieerd in lichtintensiteit, CO₂ concentratie en bladtemperatuur. Naast de fotosynthese metingen zijn er ook metingen verricht op het gebied van temperatuurgradiënten en gewastemperatuur tijdens het koelen met scherm en zonder scherm.

Tijdens de fotosynthese metingen op de verschillende bedrijven zijn o.a. de klimaatomstandigheden, huidmondjesgeleidbaarheid en fotosynthese capaciteit bepaald. De uitkomsten van deze metingen zijn weer gerelateerd aan de verschillende wijzen van koelen.

De temperatuurverdeling bij koelen en conventioneel is in 2008 in kaart gebracht en vergeleken met het CFD-model van FlowMotion. Daarbij is voor elke situatie de afwijking bepaald tussen de echte en de berekende situatie. Ook zijn de temperatuurgradiënten in het gewas tijdens het boven- en onderdoor koelen in kaart gebracht.

FlowMotion heeft met behulp van numerieke stromingsleer Computational Fluid Dynamics (CFD) luchtstromingen in de kas gesimuleerd met behulp van een computermodel. De uitkomsten afkomstig uit het computermodel van FlowMotion zijn verwerkt tot temperatuurplaatjes waarin de temperatuurverdeling in het meetvlak te zien zijn. Ook zijn er temperatuurplaatjes gemaakt van de metingen afkomstig van de temperatuurloggers. Het verschil tussen de berekende en de gemeten situaties zijn inzichtelijk gemaakt en vergeleken. Hierin is onderscheid gemaakt tussen metingen en/of berekening op een vast tijdstip en een gemiddelde over een langere periode.

Na tegenvallende resultaten van het model van Flow-Motion o.a. omdat de gewasspecificaties niet in het model meegenomen worden, zijn de activiteiten van Flow Motion in 2009 stopgezet. Plant Dynamics heeft hun eigen model verder verfijnd en deze lijkt een grotere betrouwbaarheid te hebben.

Van het koelseizoen 2009 is een energieberekening gemaakt voor Porta Nova en Boonekamp Roses. Uit deze berekening moet blijken wat het koelen extra aan energie kost in vergelijking tot traditioneel telen.

2.8 Waarnemingen en verwerking verwarmen

De horizontale temperatuur verdeling is bepaald door temperatuurdataloggers op verschillende hoogtes in een meetvlak op te hangen. De loggers zijn tijdens de meetperiode niet afgedekt omdat de stralingsinvloed in de winterperiode minimaal is en de

horizontale verdeling beter in kaart te brengen is door de invloeden van de afdekking uit te sluiten.

De verticale temperatuur verdeling is in kaart gebracht door de akoestische metingen op een vast punt. Tevens zijn er zogenaamde Quick scans gemaakt om de luchtstromen in een proefvlak in kaart te brengen.

Klimaat gegevens zijn geregistreerd op Letsgrow.com bij Porta Nova. Bij Van der Weijden en Boonekamp zijn de gegevens op de klimaatcomputer zelf bewaard. Daarbij zijn o.a. de schermstand, temperatuur, RV, CO₂ bijgehouden. PAR licht is bij Boonekamp op de klimaatcomputer bijgehouden, bij Van der Weijden is het PAR licht geregistreerd door middel van een datalogger.

De fotosynthesemetingen 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 van het blad op deze verandering bepaald worden. Waarnemingen die tijdens de fotosynthesemetingen gedaan zijn, zijn o.a. de assimilatie capaciteit in afwezigheid van de huidmondjesbeperking. In deze situatie is gevarieerd in lichtintensiteit, CO₂ concentratie en bladtemperatuur. Buiten de fotosynthese metingen om zijn er ook metingen verricht op gebied van temperatuurgradiënten en gewastemperatuur tijdens het verwarmen met scherm en zonder scherm.

Tijdens de fotosynthese metingen op de verschillende bedrijven zijn o.a. de klimaatomstandigheden, huidmondjesgeleidbaarheid en fotosynthese capaciteit bepaald. De uitkomsten van deze metingen zijn weer gerelateerd aan de verschillende wijzen van verwarmen.

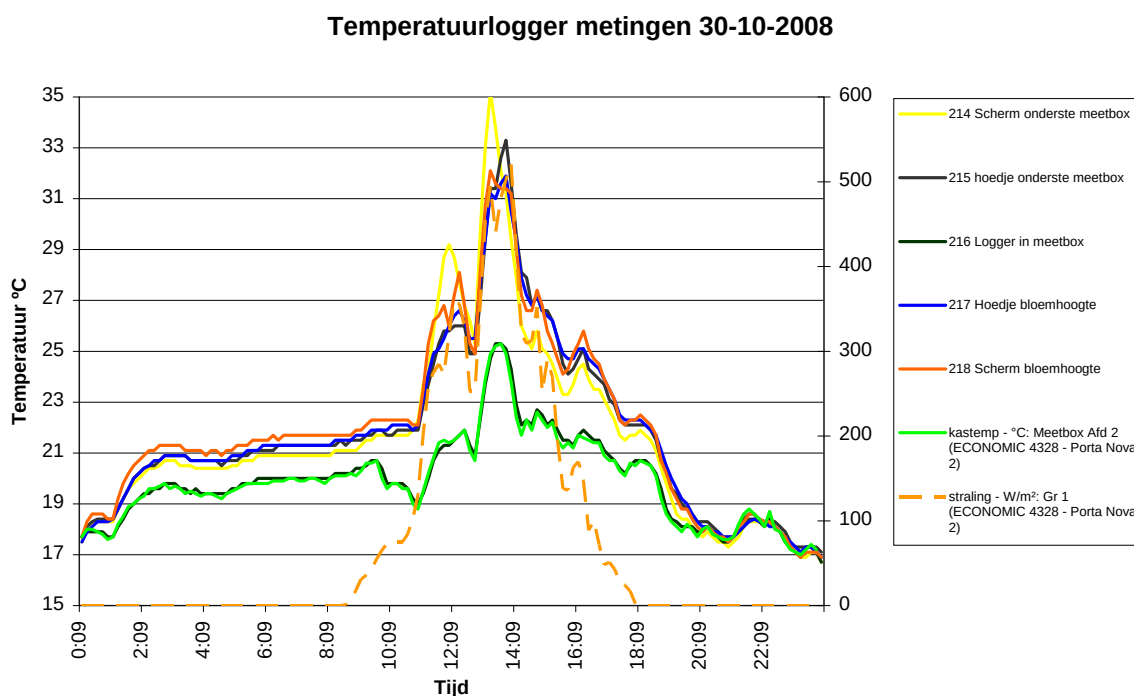
De meetgegevens afkomstig uit de akoestische meetapparatuur is gebruikt in het Explorer-Model van Plant Dynamics. Het model moet na toetsing met de praktijkmetingen gewas responses zoals uitloop, aantal stelen en kwaliteit van onder en boven verwarmen met Fiwihexen in kaart brengen.

3 Klimaatmetingen

3.1 Temperatuurloggers

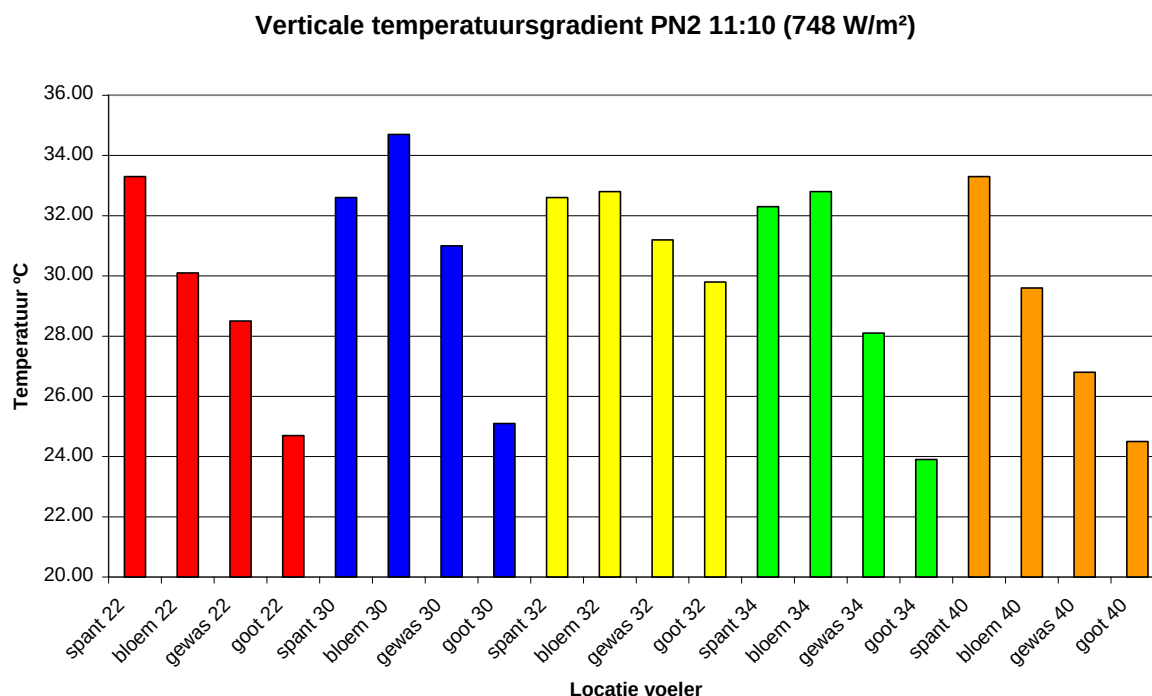
Tijdens de koelproeven in 2008 zijn er verschillende temperatuurmetingen met temperatuurloggers uitgevoerd. Tijdens het verwerken bleek al snel dat de loggers naarmate de straling toeneemt een grote afwijking gaan geven. Zelfs als de assimilatiebelichting aan staat is er al een waarneembaar verschil te zien. Om te zien hoeveel effect de straling op de temperatuurloggers heeft, zijn er een aantal proeven uitgevoerd met verschillende afschermingen.

Als proefopstelling is gekozen om een temperatuurlogger in de meetbox te leggen, om uit te kunnen sluiten of de temperatuurloggers standaard afwijken. Vervolgens zijn er rond de meetbox loggers opgehangen met verschillende afdekkingen, zoals gebruikt in de koelproeven in 2008. De afdekking wordt omschreven als een hoedje en een scherm in de legenda van onderstaande grafiek.



Figuur 8 Resultaten proef afscherming temperatuurloggers bij Porta Nova

Figuur 8 laat de resultaten zien van de temperatuurloggersproef. De temperatuurlogger (216) die in de meetbox zit volgt bijna naadloos de lijn van de meetbox. Dit geeft aan dat er geen standaard afwijking tussen de meetbox en logger zitten. Meting 214 en 215 zijn op dezelfde hoogte gehangen als de meetbox. Ondanks de afscherming is er in de nacht, met belichting aan, al een afwijking met de meetbox te zien. Naarmate de straling buiten toeneemt, wordt het verschil tussen meetbox en loggers alleen maar groter. De metingen 217 en 218 op bloemhoogte laten een nog grotere afwijking zien.



Figuur 9 Temperatuurlogger metingen tijdens koelen Porta Nova

Figuur 9 laat een aantal metingen op 5 meetpunten in het horizontale vlak zien. Op elke horizontaal meetpunt is op 4 hoogtes gemeten. De weergegeven metingen zijn om 11:10 vastgelegd op de desbetreffende dag waarbij de koeling aan stond. De vaste meetboxen die op de klimaatcomputer binnenkomen op gewas hoogte en boven de bloem laten een verschil zien van $\pm 1,5$ °C. Terwijl de loggers verschillen laten zien tot 6°C.

Aan de hand van bovenstaande is dan ook besloten dat de uitkomsten van de temperatuurloggers niet betrouwbaar genoeg zijn om de temperatuurverdeling overdag in kaart te brengen. Om deze gradiënten wel betrouwbaar vast te leggen is in september 2008 een pilot-meting met akoestische meetapparatuur uitgevoerd. De volgende paragraaf geeft hier uitleg over.

3.2 Pilot akoestische metingen 2008

3.2.1 Inleiding

Tijdens de koelperiode is er een pilotproef akoestische metingen uitgevoerd. Doel van deze proef was om te bepalen of akoestische meetapparatuur waardevol kan zijn voor verder onderzoek aan koelen c.q. verwarmen.

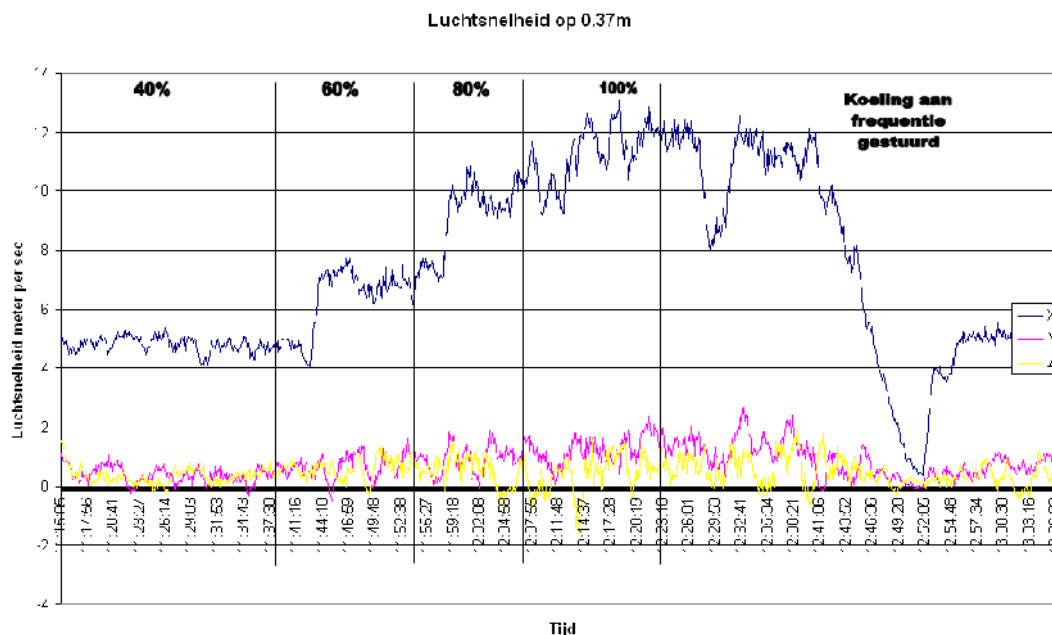
De akoestische meetapparatuur meet windrichting, windsnelheid, temperatuur en luchtvochtigheid (referentiemeter). De metingen worden gedaan d.m.v. de snelheid van het geluid te meten tussen de verschillende sensoren (transmitters). Aan de hand van de snelheid van het geluid kunnen vervolgens de bovengenoemde parameters bepaald worden. Op de foto is een zogenaamde 3-d



Foto 5 3-d meetunit

meter weergegeven. Dit houdt in dat de temperatuur en luchtstroming in 3 verschillende richtingen namelijk x, y en z bepaald worden.

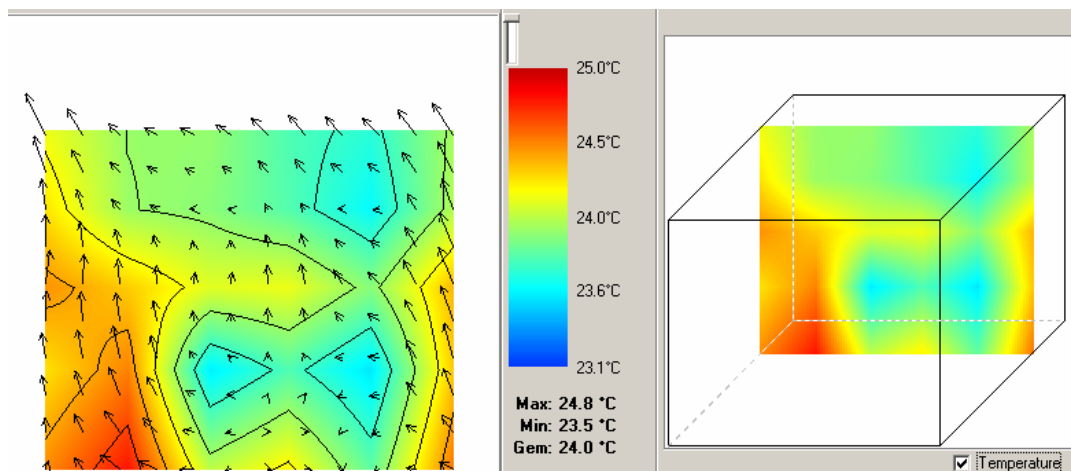
In de onderstaande grafiek is te zien wat het effect is van het verhogen van de ventilatorsnelheid op de windsnelheid bij onderdoor koeling met Fiwihexen bij Porta Nova. De meting is gedaan op een hoogte van 37 cm recht tegenover de Fiwihex op een afstand van ± 3 meter. De percentages die weergegeven worden geven aan op hoeveel procent de ventilator staat te draaien.



Figuur 10 Effect van het verhogen van de ventilatorsnelheid op de windsnelheid

3.2.2 Quick scan

De meetapparatuur biedt ook de mogelijkheid om een zogenaamde Quick scan te maken. Bij deze scan wordt binnen een korte periode een aantal metingen verricht op verschillende plekken in een meetvlak. De programmatuur voegt deze metingen uiteindelijk samen tot een plaatje en vervolgens tot een film. Hierin is te zien wat de luchtstromen, temperatuur en luchtvochtigheid zijn in het meetvlak. De volgende figuur geeft hier een voorbeeld van. De kleuren geven de temperatuur weer, de pijlen (vectoren) de richting en de lengte van de pijl de windsnelheid.



Figuur 11 Voorbeeld uitkomst Quick scan

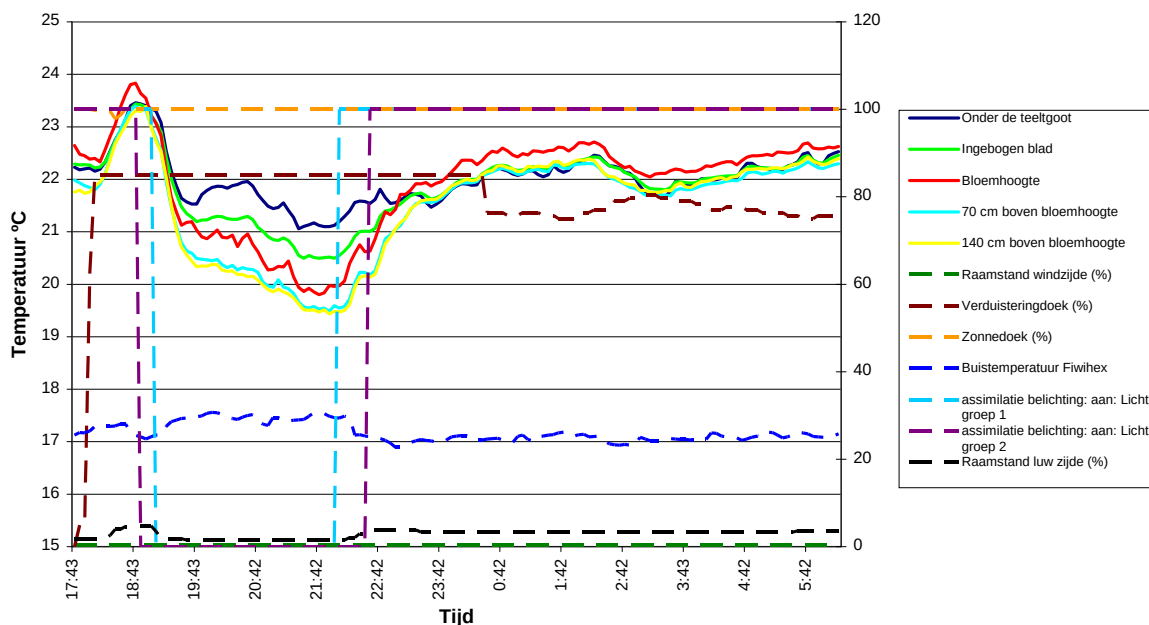
3.2.3 Betrouwbaarheid metingen

De pilotmeting heeft uitgewezen dat de meetapparatuur een goed instrument is om te bepalen welke effecten de koeling c.q. verwarmen met Fiwihexen heeft op de luchtstromen, temperatuur en luchtvochtigheid in de kas. Een groot voordeel van de meting is dat deze stralingsongevoelig is, doordat deze meting de toestand van de lucht meet. Uniek aan de meetapparatuur is dat deze de luchtstromen in kaart kan brengen.

3.3 Interpretatie grafieken

In dit verslag worden veel grafieken getoond. Iedere grafiek heeft zoveel mogelijk dezelfde opmaak.

Verticale temperatuurgradient 16-17 december



Figuur 12 Voorbeeld interpretatie grafieken

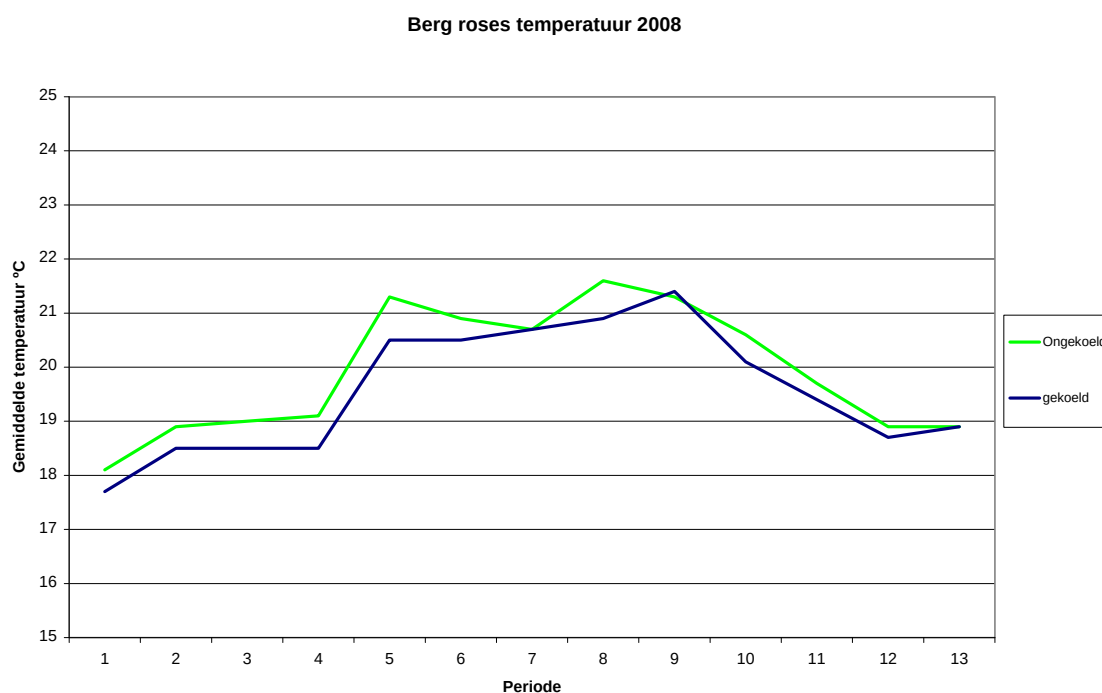
De waarden op de linker Y-as geven altijd de waarde van de doorgetrokken lijnen. De rechter y-as geeft de waarden aan van de onderbroken stippellijnen. Wanneer de eenheid van de waarden niet staat vermeldt op de y-as dan wordt dat weergegeven in de legenda aan de rechter kant. In sommige gevallen wordt er gebruik gemaakt van een verkleiningsfactor om de grafiek overzichtelijk te maken. Achter de beschrijving bij de legenda staat dan bijvoorbeeld "factor 0.1".

4 Resultaten bovendoor koelen van den Berg Roses

4.1 Gegevens 2008

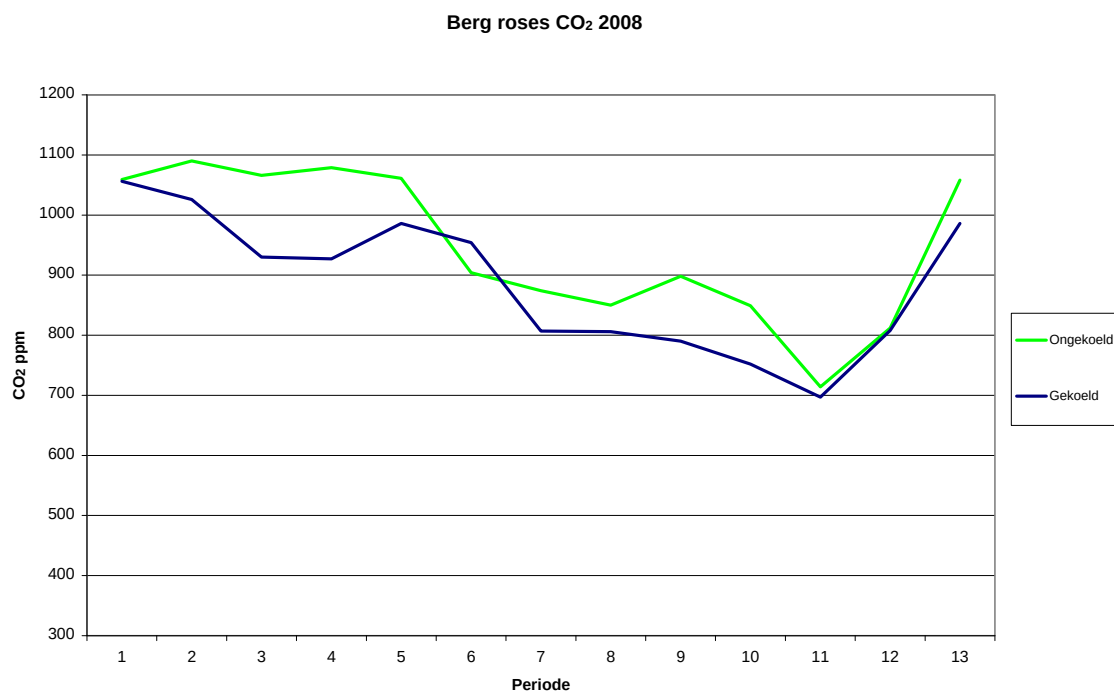
4.1.1 Klimaatmetingen koelen 2008

Het verloop van het klimaat bij Berg Roses in 2008 wordt in deze paragraaf besproken. Als eerste worden de gemiddelde waarden over het hele jaar getoond. Daarna wordt er specifieke op een koeldag ingegaan waarbij ook planttemperatuurmetingen zijn verricht.



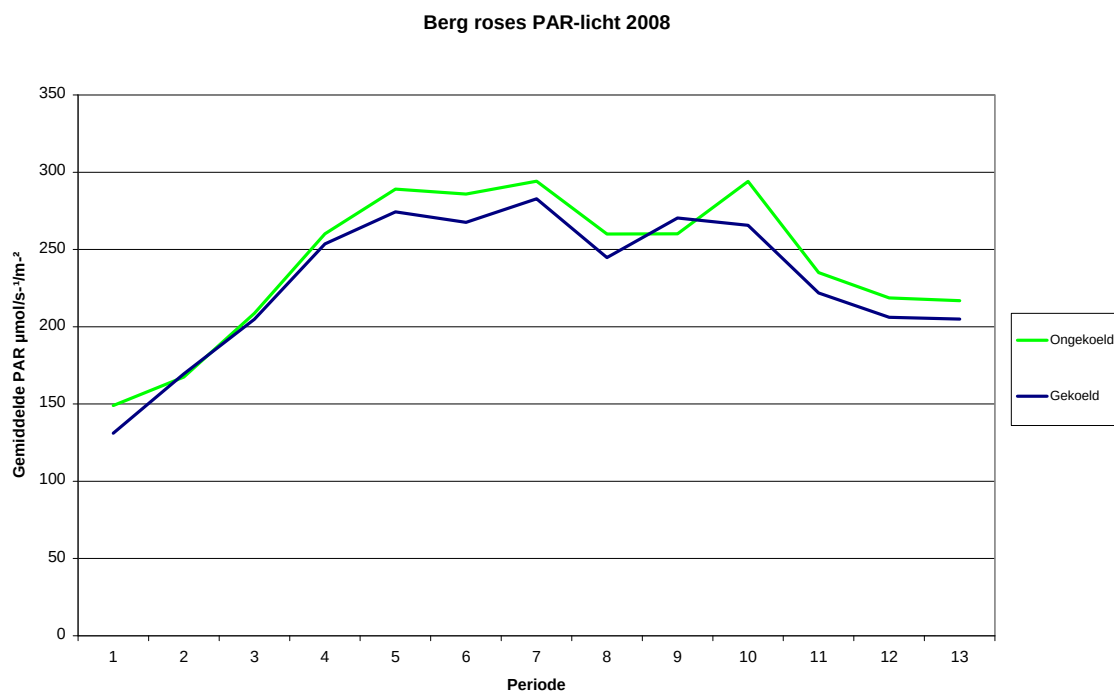
Figuur 13 Gemiddelde temperatuur Berg Roses 2008

Figuur 13 laat de gemiddelde temperatuur per periode zien. Duidelijk is te zien dat in de ongekoelde afdeling een hoger gemiddelde temperatuur is gerealiseerd. De gemiddelde temperatuur in de gekoelde afdeling is 19,6°C geweest en in de ongekoelde afdeling 19,9°C. Dit maakt een verschil van 0,3°C



Figuur 14 Gemiddelde CO₂ gehalte Berg Roses 2008

Figuur 14 laat het gemiddelde CO₂ gehalte zien per periode van 4 weken. Het gemiddelde CO₂ gehalte in de ongekoelde afdeling is op periode 6 na hoger geweest dan in de gekoelde afdeling. De gekoelde en ongekoelde afdeling zitten aangesloten op 1 stuurgroep. Een regelklep zorgt ervoor dat de afdeling met het laagste CO₂ gehalte het meeste CO₂ gedoseerd krijgt. Gemiddeld is het CO₂ gehalte in de gekoelde kas 887 ppm geweest en in de ongekoelde kas 947 ppm. Dit maakt een verschil van 60 ppm.



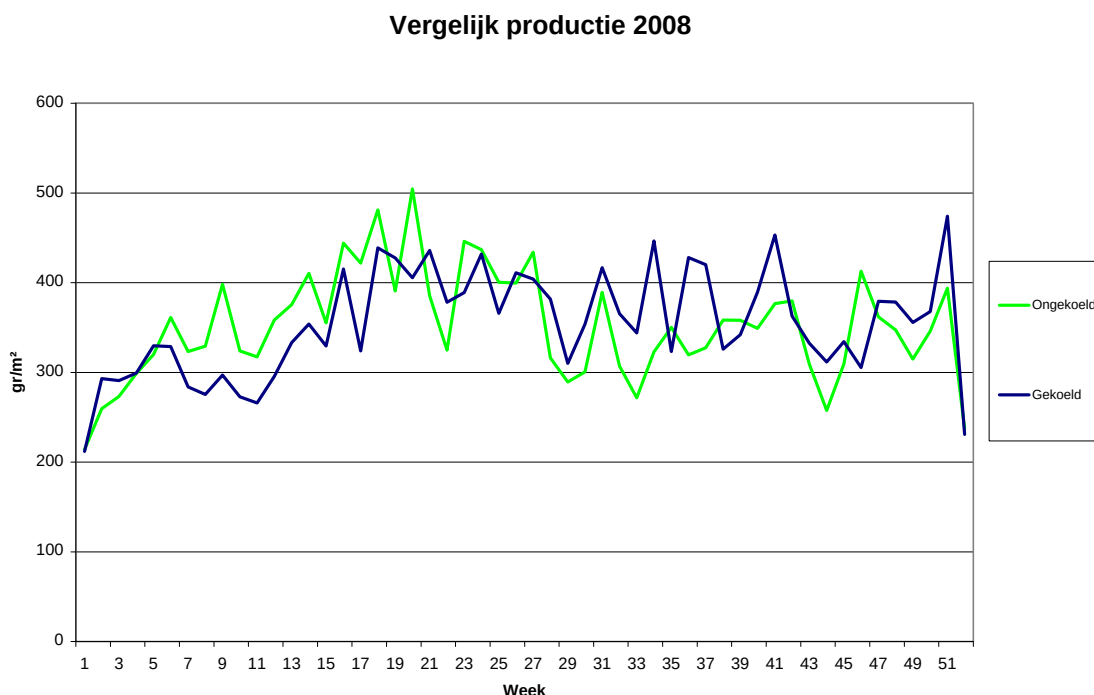
Figuur 15 Gemiddeld PAR-licht Berg Roses 2008

Figuur 15 laat het gemiddelde PAR licht per periode zien. Er is in de ongekoelde afdeling gemiddeld meer licht toegelaten dan in de gekoelde afdeling. In de gekoelde afdeling is er gemiddeld $231 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ PAR-licht geweest en in de ongekoelde afdeling $241 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ PAR-licht.

In hoofdstuk 4.1.2 worden de consequenties van de getoonde klimaatgegevens op de productie getoond.

4.1.2 Productiegegevens 2008

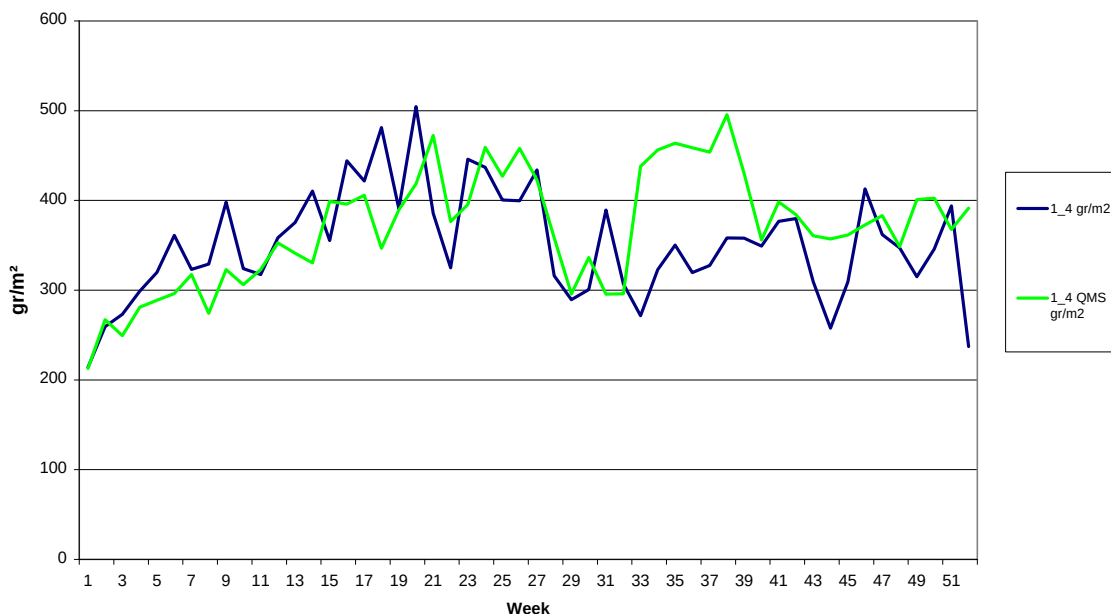
De totale productie (= oogst) gegevens van de gekoelde als de niet gekoelde afdeling bij Berg Roses is bijgehouden.



Figuur 16 Productiecijfers per week 2008 Berg Roses

Figuur 16 laat de productie cijfers zien van de gekoelde en ongekoelde afdeling bij Berg Roses in 2008. In het begin van het jaar is te zien dat de gekoelde afdeling iets voorloopt op de ongekoelde afdeling. Vanaf week 29 is in het merendeel van de gevallen de productie in de gekoelde afdeling hoger. De totale productie in de ongekoelde afdeling is 18,29 kg en in de gekoelde afdeling 18,42 kg. Het absolute verschil tussen de gekoelde en niet gekoelde afdeling is $126 \text{ gr}/\text{m}^2$. Dit is 1% meer dan in de ongekoelde afdeling.

Productie ongekoeld 2008

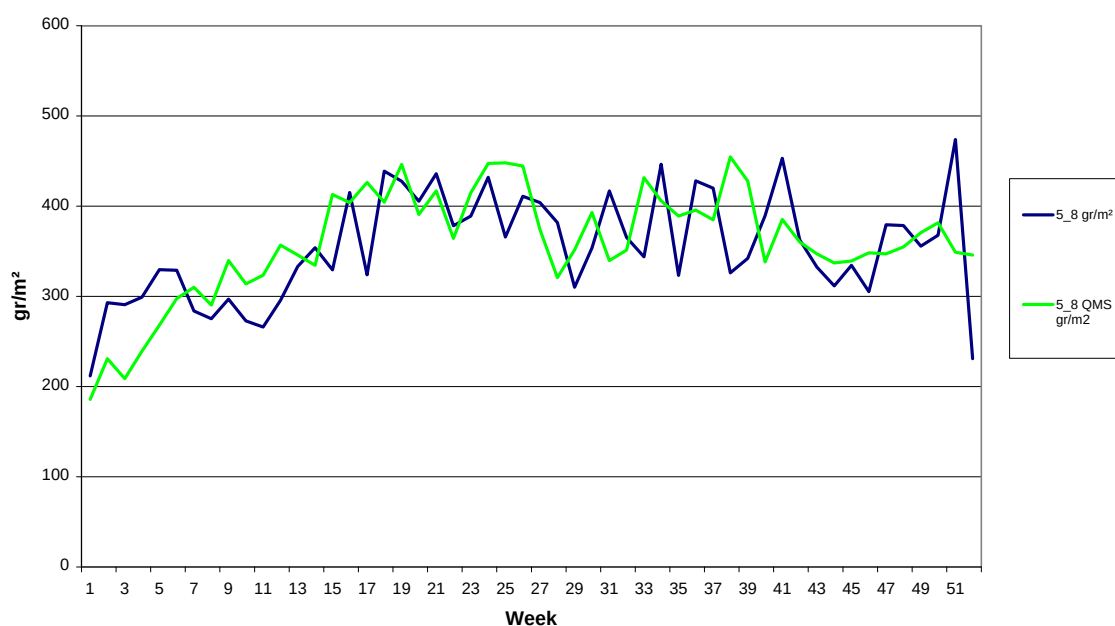


Figuur 17 Productiecijfers t.o.v. QMS ongekoeld 2008 Berg Roses

Figuur 17 laat de productie zien van de ongekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS (Quality Monitoring system). QMS berekent de productie aan de hand van verschillende klimaatparameters. Door de daadwerkelijk gerealiseerde productie met de berekende waarde te vergelijken, wordt bepaald hoe de plant 'gefunctioneerd' heeft.

Opvallend in Figuur 17 is de hoge piek in de berekening van week 33 t/m 39 waarbij de gerealiseerde productie achterblijft op de berekende productie. De reden hiervan is dat de belichtingsarmaturen daar vervangen zijn en QMS met een verhoogd PAR-cijfer is gaan meten. Het verschil is een lagere gerealiseerde productie van 899 gr/m^2 (5%) ten opzichte van de berekening.

Productie gekoeld 2008



Figuur 18 Productiecijfers t.o.v. QMS gekoeld 2008 Berg Roses

Figuur 18 laat de productie zien van de gekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS. Beide lijnen volgen elkaar goed. Het verschil is een lagere gerealiseerde productie van 270 gr/m² (1%) ten opzichte van de berekening. De planten hebben blijkbaar geen last gehad van stress. Van een extra meerproductie is geen sprake.

4.1.3 Kwaliteitsgegevens 2008

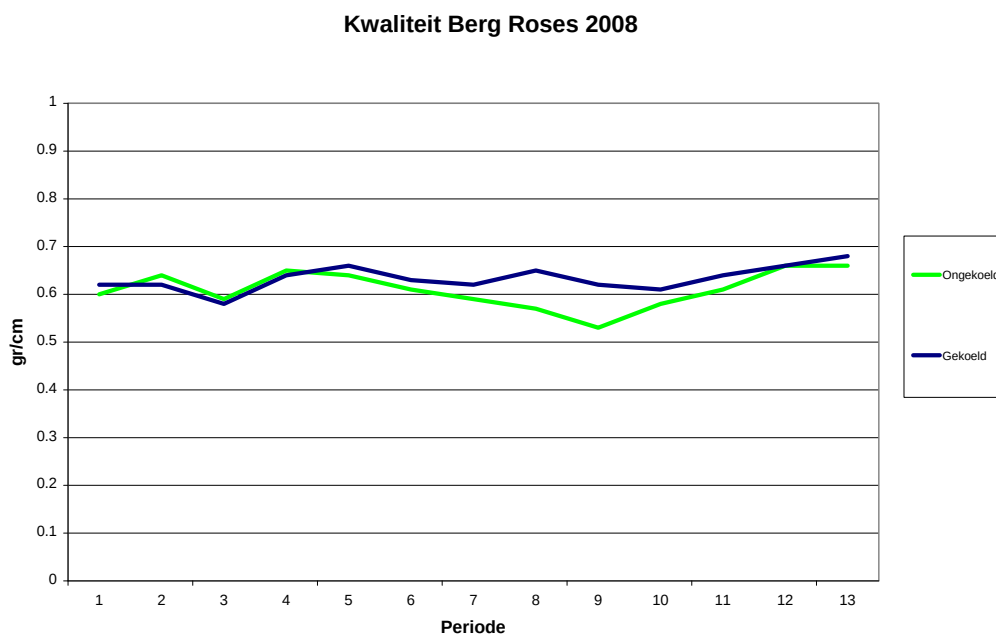
Om het effect van koelen op de kwaliteit van het geoogste product in kaart te brengen zijn in Tabel 1 de gemiddelde taklengte en gewicht, kwaliteit en het aantal takken weergegeven. De waardes zijn gemiddelden van 13 periodes van 4 weken in 2008.

Tabel 1 Kwaliteitsgegevens gemiddeld per periode (4 weken) Berg Roses 2008

	Ongekoeld 2008	Gekoeld 2008	Vershil
S: Aant takken * (#/m ²)	36.8	35.2	-1.6
S: Gem, lengte * (cm)	63.0	63.7	0.7
S: Gem, takgewicht * (gr)	38.4	40.3	1.9
S: Kwaliteit * (gr/cm)	0.61	0.63	0.02

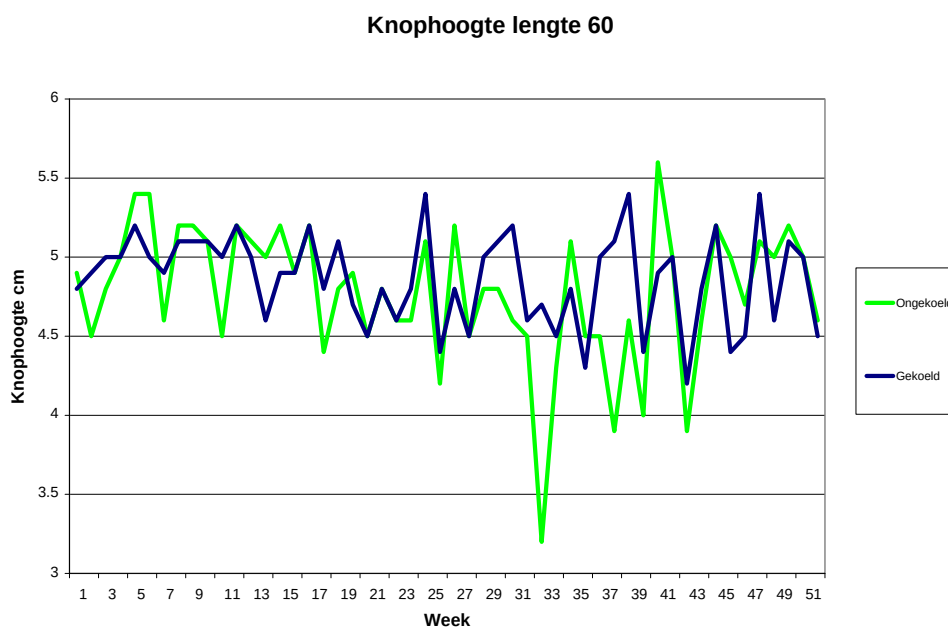
De gekoelde kas heeft gemiddeld 0,7 cm meer taklengte en 1,9 gr meer gewicht per tak. De kwaliteit van de takken zijn in de gekoelde afdeling beter met 0,02 gr/cm meer ten opzicht van de niet gekoelde kas. Het aantal takken is in de ongekoelde afdeling echter met gemiddeld 1,6 takken hoger per periode/m². Gekoeld heeft dus een iets hogere kwaliteit en ongekoeld een hogere kwantiteit.

Figuur 19 geeft het kwaliteitsverloop in gr/cm per periode van 2008 weer. De kwaliteit van de ongekoelde en gekoelde kas lopen aan het begin en eind van het jaar redelijk overeen. Periode 8 en 9 laat in de gekoelde afdeling een hogere kwaliteit zien



Figuur 19 Kwaliteitsverloop gekoelde en ongekoelde kas Berg Roses 2008

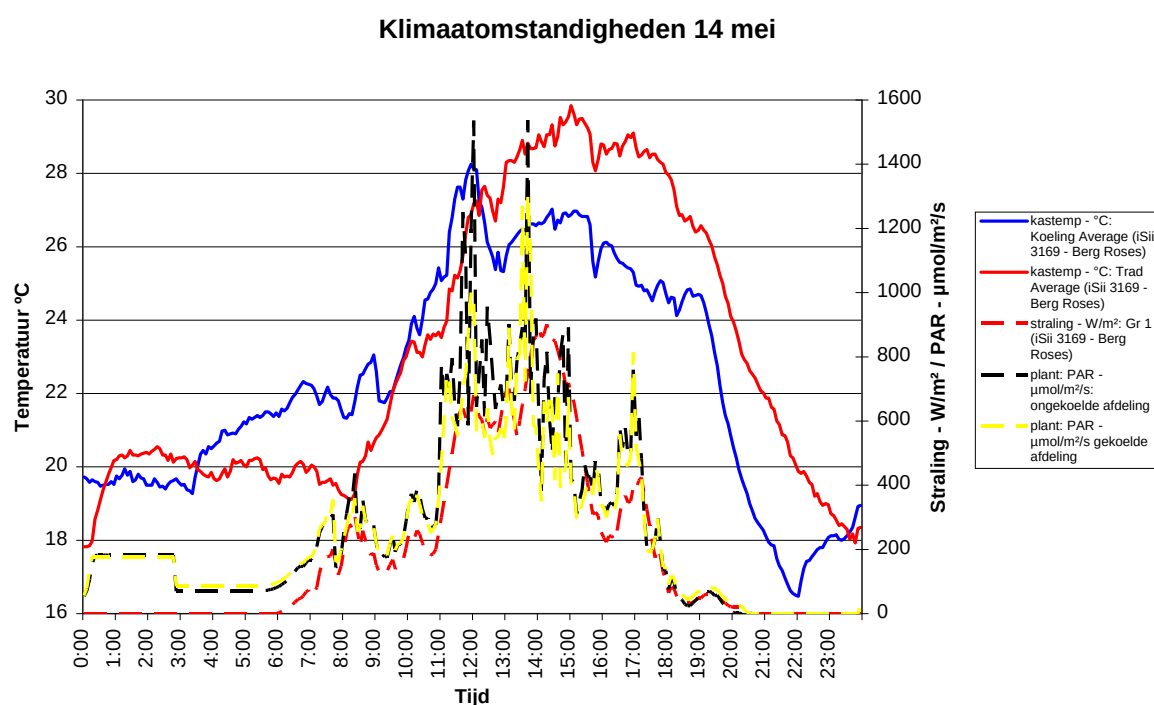
De knophoogte is gemiddeld over het jaar in de ongekoelde afdeling 4,78 cm en in de gekoelde afdeling 4,87 cm geweest. Dit maakt een verschil van 0,11 cm. Figuur 20 laat de knophoogte metingen van de gekoelde en ongekoelde afdeling per week zien.



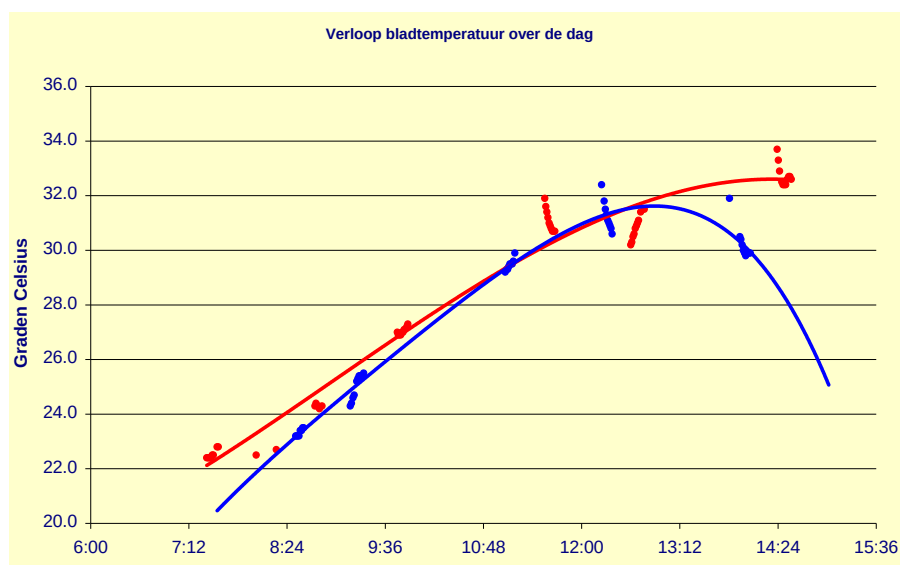
Figuur 20 Knophoogte lengte 60 Berg Roses

4.1.4 Planttemperatuurmetingen

Op 14 mei 2008 zijn er planttemperatuur metingen uitgevoerd en zijn er klimaatdata geregistreerd. Het was een zonnige dag. De assimilatiebelichting bedroeg $140 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ in de gekoelde kas en $110 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ in de ongekoelde kas en werd om 7:00 uur uitgeschakeld. Het scherm in de gekoelde kas werd om 12:24 dichtgetrokken. Figuur 21 geeft de omgevingstemperatuur, straling buiten en PAR licht binnen van de gekoelde en ongekoelde afdeling weer



Figuur 21 Klimaat omstandigheden 14 mei 2008 Berg Roses



Figuur 22 Planttemperatuurmetingen 14 mei 2008 Berg Roses

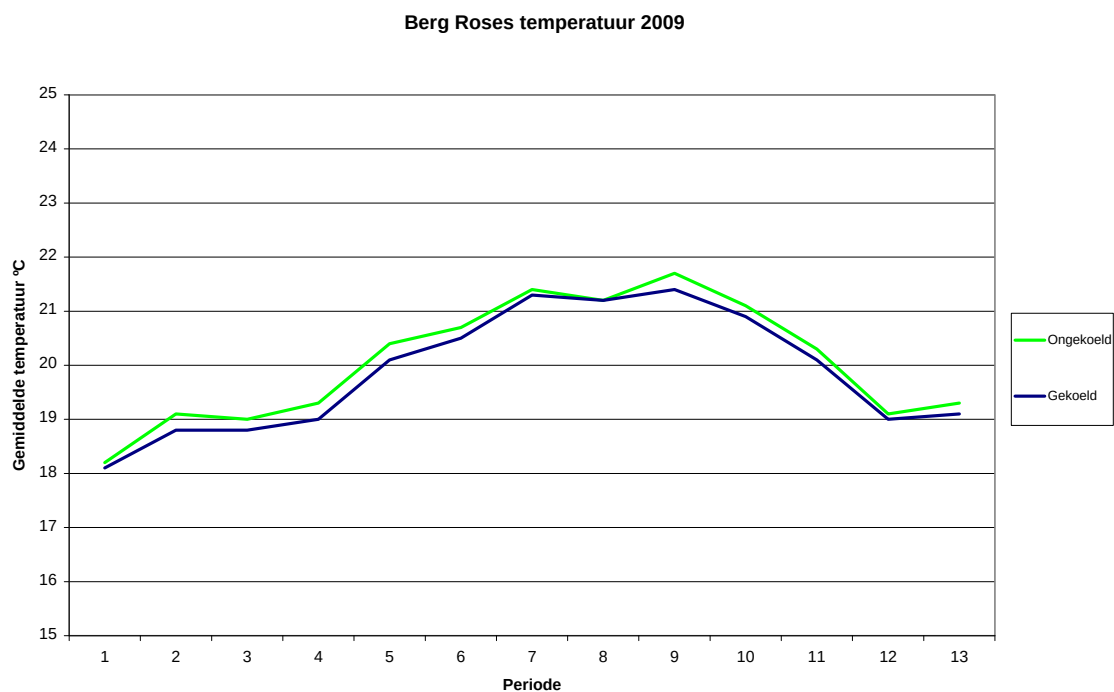
Voorgaande figuur laat de planttemperatuurmetingen zien die uitgevoerd zijn in de gekoelde en ongekoelede afdeling. In de ongekoelede kas was de gradiënt van de temperatuur in het gewas, (van top via midden naar ingebogen blad) door het gebruik van Reduheat betrekkelijk gering, namelijk minder dan 1 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 ongekoelede kas. Daarna liep het verschil snel op en om 9:00 uur werd in de "gekoelde kas" al een gradiënt van 1,2°C gemeten. De koeling was toen echter nog uit. Om 10:45 uur 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 om: boven 25,8°C onder 26,3°C. Het verschil tussen de top en het ingebogen blad is bij hoge instraling ongeveer 3,8°C in de ongekoelede kas en 1,2°C in de gekoelde kas.

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 had een 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 gevolgen heeft voor de teelt.

4.2 Gegevens 2009

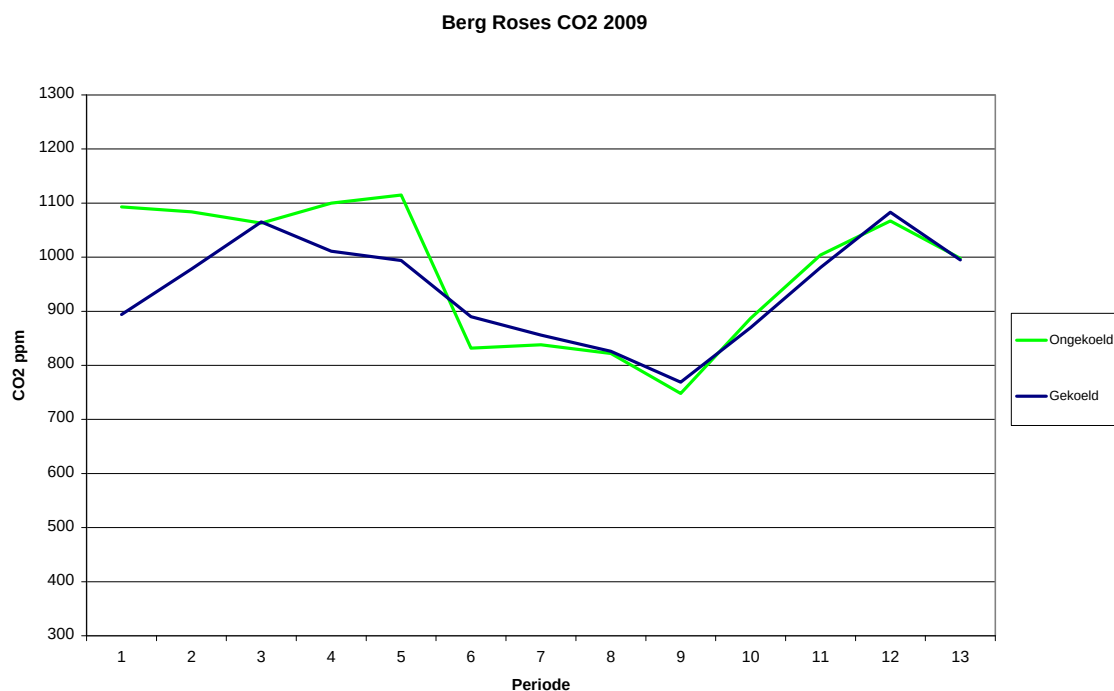
4.2.1 Klimaatmetingen koelen 2009

Het verloop van het klimaat bij Berg Roses in 2009 wordt in deze paragraaf besproken. Als eerste worden de gemiddelde waarden over het hele jaar getoond. Daarna wordt er specifiek op een koeldag ingegaan waarbij ook planttemperatuur metingen zijn gedaan.



Figuur 23 Gemiddelde temperatuur Berg Roses 2009

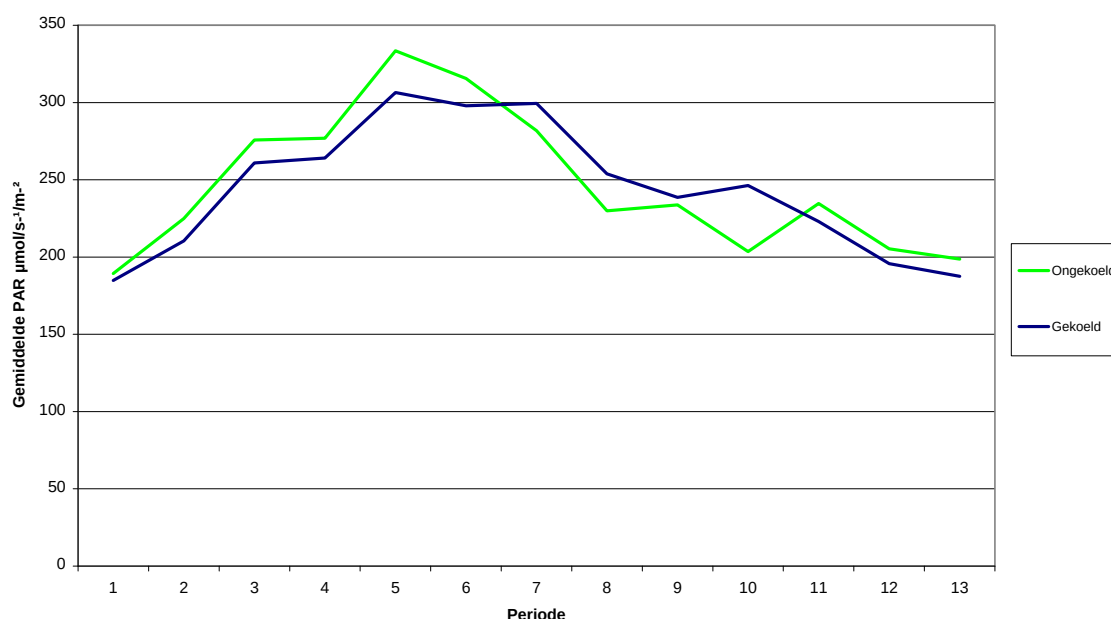
Figuur 23 laat de gemiddelde temperatuur per periode zien. Duidelijk is te zien dat in de ongekoelde afdeling een hoger gemiddelde temperatuur is gerealiseerd. De gemiddelde temperatuur in de gekoelde afdeling is 19,9°C geweest en in de ongekoelde afdeling 20,1°C. Dit maakt een verschil van 0,2°C.



Figuur 24 Gemiddelde CO₂ gehalte Berg Roses 2009

Figuur 24 laat het gemiddelde CO₂ gehalte zien per periode van 4 weken. Het gemiddelde CO₂ gehalte in de ongekoelde afdeling is t/m periode 5 duidelijk hoger geweest, daarna wordt het verschil kleiner. De gekoelde en ongekoelde afdeling zitten aangesloten op 1 stuurgroep. Een regelklep zorgt ervoor dat de afdeling met het laagste CO₂ gehalte het meeste CO₂ gedoseerd krijgt. Gemiddeld is het CO₂ gehalte in de gekoelde kas 939 ppm geweest en in de ongekoelde 973 ppm. Dit maakt een verschil van 34 ppm.

Berg Roses PAR-licht 2009



Figuur 25 Gemiddeld PAR-licht Berg Roses 2009

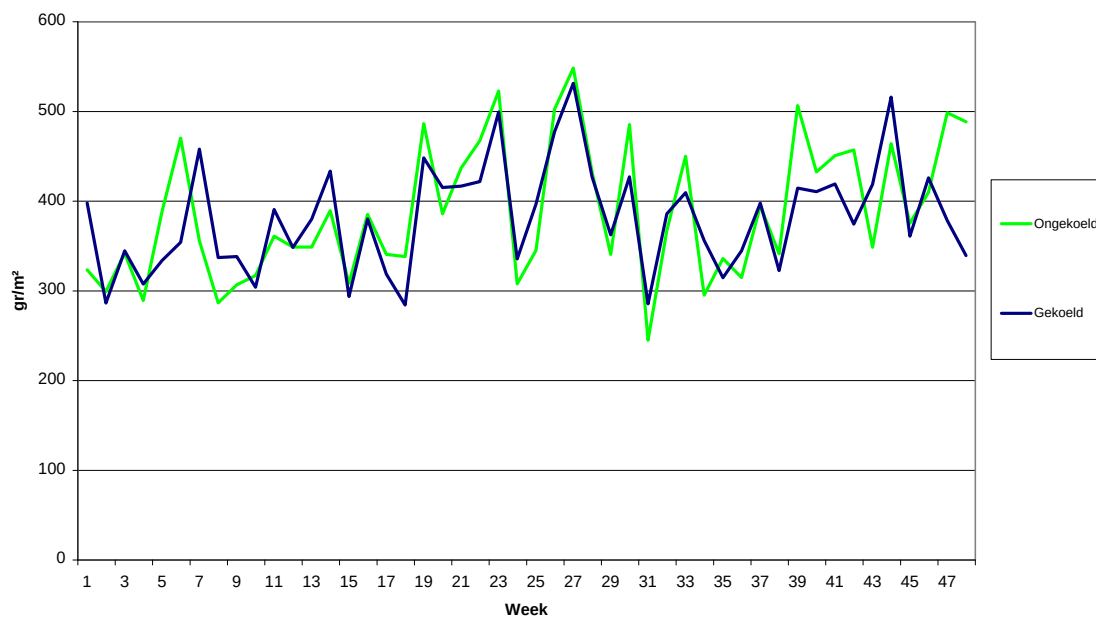
Figuur 25 laat het gemiddelde PAR licht per periode zien. Er is in de ongekoelde afdeling t/m periode 6 gemiddeld meer licht toegelaten dan in de gekoelde afdeling. Daarna is in gekoelde afdeling t/m periode 10 de PAR-licht waarde in de gekoelde afdeling hoger. In de gekoelde afdeling is er gemiddeld 244 μmol/m².s PAR-licht geweest en in de ongekoelde afdeling 246 μmol/m².s PAR-licht. In de ongekoelde kas is de gemiddeld PAR gedurende de eerste helft van het jaar hoger door minder schermdoekgebruik. Er was Reduheat aangebracht (18 emmers/ha). De gekoelde kas was niet gecoat.

In hoofdstuk 4.2.2 worden de consequenties van de getoonde klimaatgegevens op de productie getoond.

4.2.2 Productiegegevens 2009

De totale productiegegevens van de gekoelde en de niet gekoelde afdeling bij Berg Roses zijn bijgehouden.

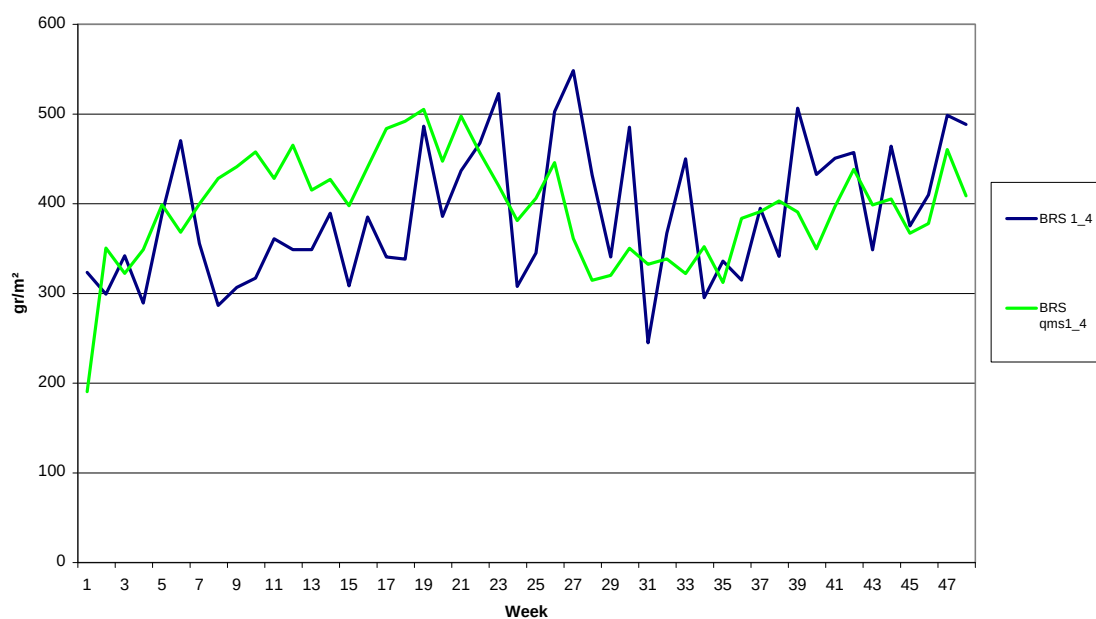
Vergelijk productie 2009



Figuur 26 Productiecijfers per week 2009 Berg Roses

Figuur 26 laat de productie cijfers zien van de gekoelde en ongekoelde afdeling bij Berg Roses in 2009. De productie hoeveelheid loopt gedurende het jaar redelijk gelijk. De totale productie in de ongekoelde afdeling is 18,63 kg en in de gekoelde afdeling 18,33 kg. Het absolute verschil tussen de gekoelde en niet gekoelde afdeling is 312 gr/m². Dit is 2% minder ten opzichte van de ongekoelde afdeling.

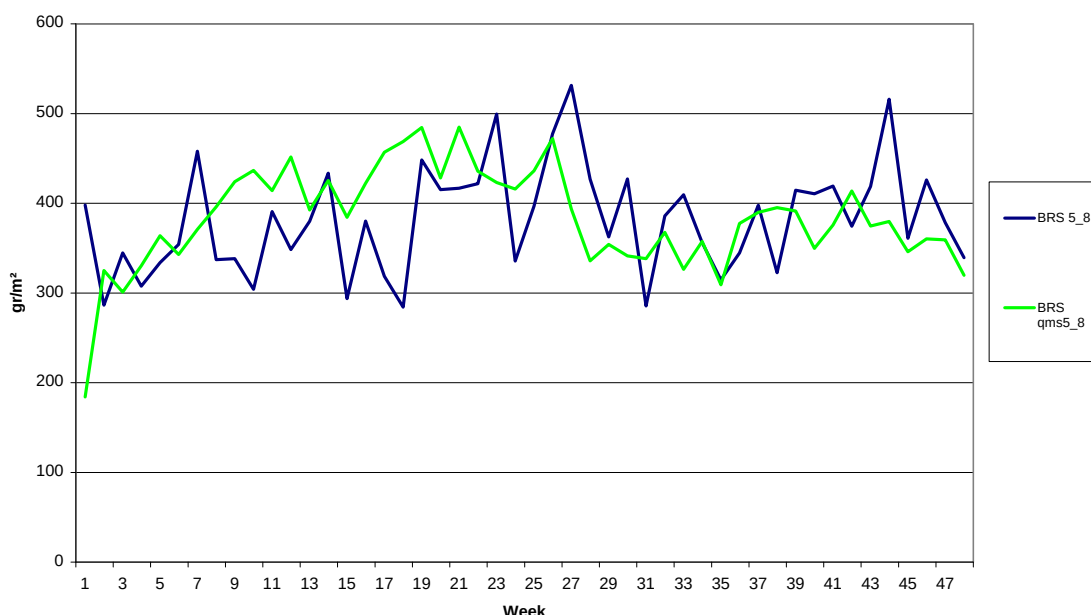
Productie ongekoeld 2009



Figuur 27 Productiecijfers t.o.v. QMS ongekoeld 2009 Berg Roses

Figuur 27 laat de productie zien van de ongekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS. Opvallend is dat aan het begin van het jaar t/m week 17 de berekende productie hoger is dan de gerealiseerde productie. In de ongekoelde kas is er veel corrigerend snoeiwerk d.m.v. onderdoor knippen verricht om de steelkwaliteit te verbeteren. Hierdoor heeft de productie tijdelijk in moeten boeten. Daarna zijn wat hogere pieken in de gerealiseerde productie te zien ten opzichte van de berekende. Uiteindelijk is een lagere gerealiseerde productie van 355 gr/m^2 (2%) ten opzichte van de berekening gerealiseerd.

Productie gekoeld 2009



Figuur 28 Productiecijfers t.o.v. QMS gekoeld 2009 Berg Roses

Figuur 28 laat de productie zien van de gekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS. Van week 9 t/m week 18 loopt de berekende productie iets voor. De reden hiervan is dat er net zoals in ongekoelde kas corrigerend snoeiwerk d.m.v. onderdoor knippen is verricht. In de gekoelde kas is dit in mindere mate nodig geweest dan de ongekoelde kas. Daarna lopen de lijnen redelijk gelijk met wat pieken daar gelaten. Het verloop ten opzichte van de ongekoelde afdeling is wat rustiger met een minder grillig verloop. Uiteindelijk is een lagere gerealiseerde productie van 102 gr/m^2 (1%) ten opzichte van de berekening gerealiseerd.

4.2.3 Kwaliteitsgegevens 2009

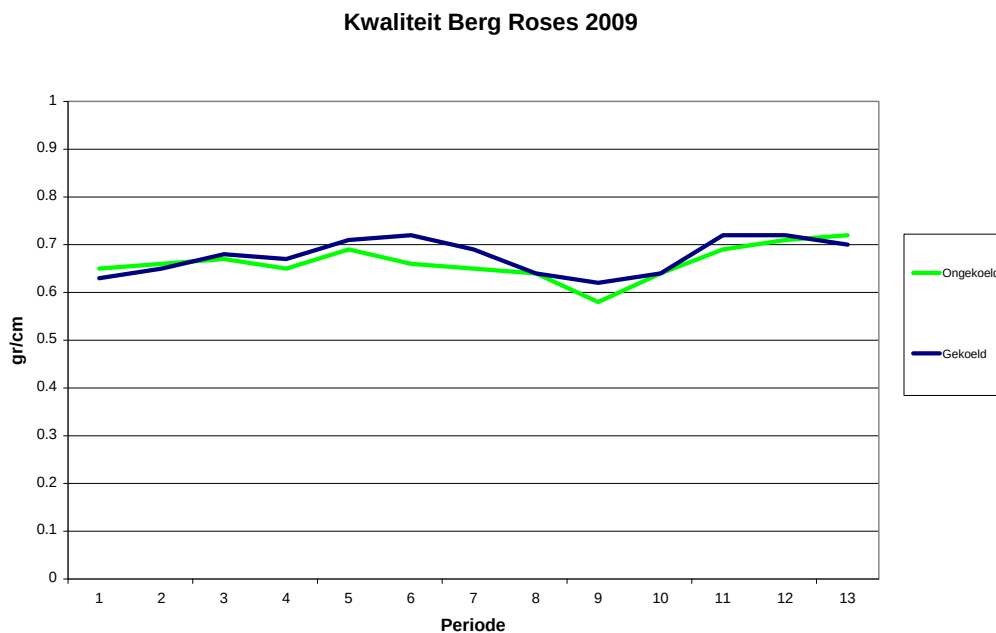
Om het effect van koelen op de kwaliteit van het geoogste product in kaart te brengen zijn in Tabel 2 de gemiddelde taklengte, het takgewicht, kwaliteit en het aantal takken weergegeven. De waardes zijn gemiddelden van 13 periodes van 4 weken in 2009.

Tabel 2 Kwaliteitsgegevens gemiddeld per periode (4 weken) Berg Roses 2009

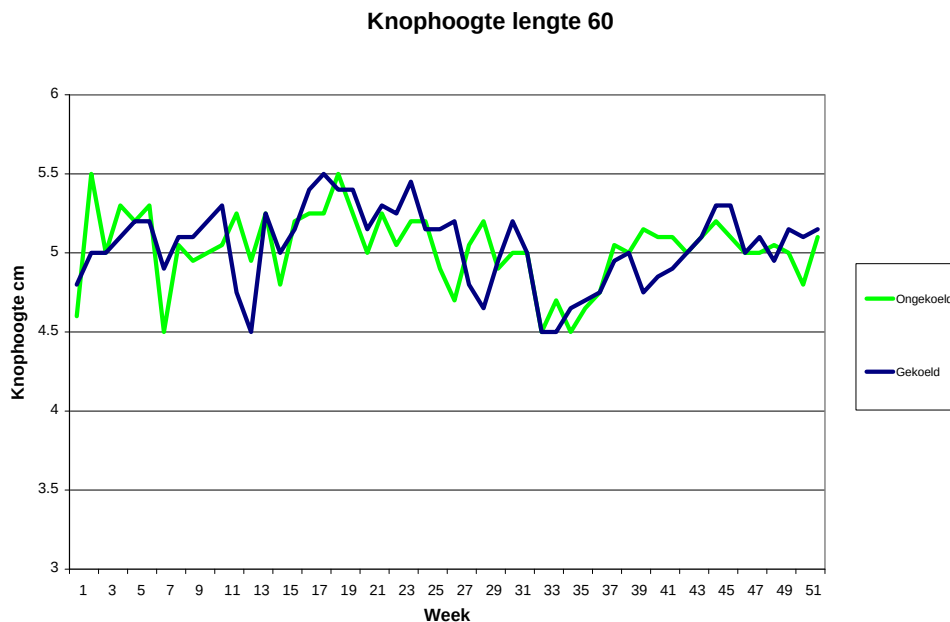
	Ongekoeld 2009	Gekoeld 2009	Vershil
S: Aant takken * ($\#/m^2$)	35.8	34.3	-1.5
S: Gem, lengte * (cm)	63.5	63.9	0.4
S: Gem, takgewicht * (gr)	42.1	43.3	1.2
S: Kwaliteit * (gr/cm)	0.66	0.68	0.02

De gekoelde kas heeft gemiddeld 0,4 cm meer taklengte en 1,2 gr meer gewicht per tak. De kwaliteit van de takken zijn in de gekoelde afdeling beter met 0,02 gr/cm meer ten opzicht van de niet gekoelde kas. Het aantal takken is in de ongekoelde afdeling met gemiddeld 1,5 takken hoger per m^2 . Gekoeld heeft dus een iets hogere kwaliteit en ongekoeld een hogere kwantiteit. De verschillend zijn echter gering.

Figuur 29 geeft het kwaliteitsverloop in gr/cm per periode van 2009 weer. De kwaliteit van de gekoelde kas loopt over het algemeen iets voor op de kwaliteit van ongekoelde kas.

**Figuur 29 Kwaliteitsverloop gekoelde en ongekoelde kas Berg Roses 2009**

De knophoogte is gemiddeld over het jaar in de ongekoelde afdeling 5,03 cm en in de gekoelde afdeling 5,04 cm geweest. Dit maakt een verschil van 0,01 cm. Figuur 30 laat de knophoogte metingen van de gekoelde en ongekoelde afdeling per week zien.



Figuur 30 Knophoogte lengte 60 2009 Berg Roses

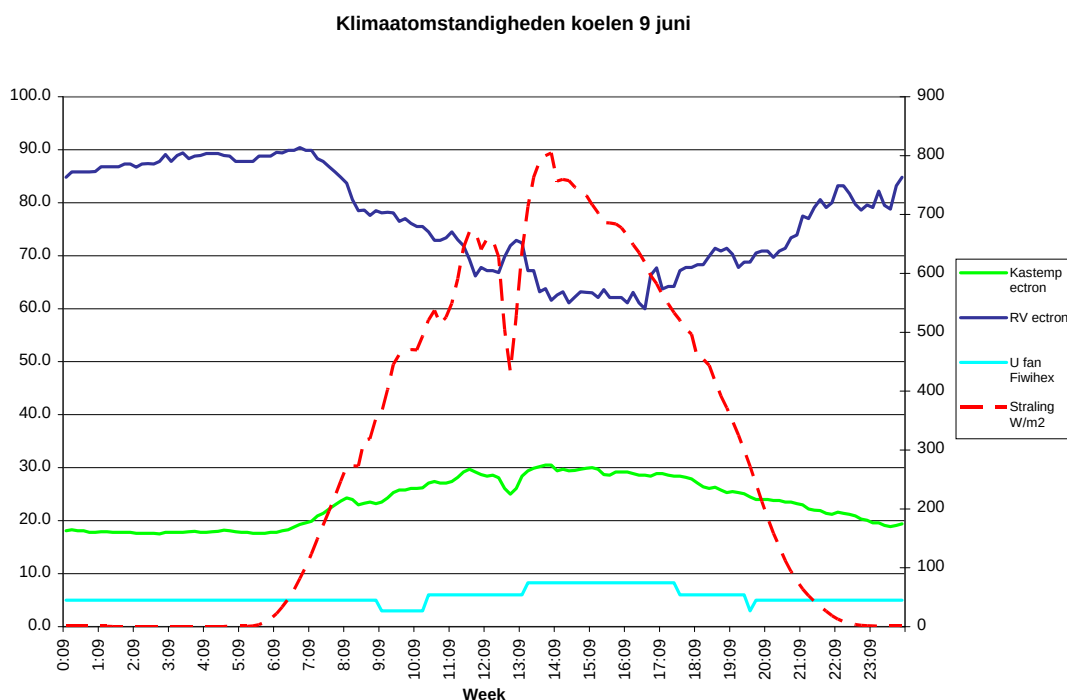
4.3 Conclusies bovendoor koelen van den Berg Roses

- De planttemperatuurgradiënt wordt kleiner als er (bovendoor) gekoeld wordt in vergelijking met de niet gekoelde afdeling.
- In 2008 is de knop in de gekoelde afdeling iets groter dan in de ongekoelde afdeling. In 2009 is er nagenoeg geen verschil.
- De ongekoelde afdeling heeft een lagere gerealiseerde productie (5% in 2008 en 2% in 2009) dan de berekende productie. De gekoelde afdeling heeft een lager gerealiseerde productie van (1% 2008 en 2009) dan de berekende productie.
- De gekoelde afdeling heeft meer kwaliteit en de ongekoelde afdeling heeft meer kwantiteit. De verschillen zijn echter erg klein.

5 Resultaten bovendoor koelen en verwarmen G.J. van der Weijden

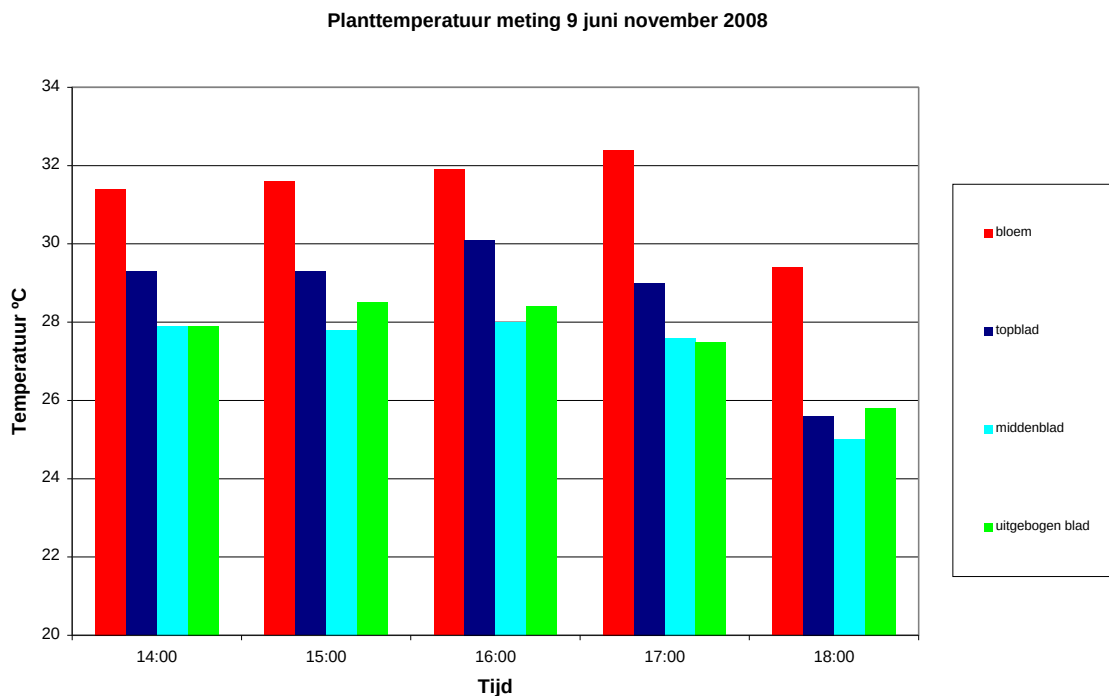
5.1 Klimaatmetingen bovendoor koelen 2008

In 2008 hebben er verschillende metingen plaatsgevonden om het effect van bovendoor koelen in kaart te brengen. De volgende 2 figuren laten de klimaat- en planttemperatuur metingen zien tijdens een koeldag op 9 juni 2008.



Figuur 31 Klimaatomstandigheden koelen 9 juni G.J. van der Weijden

Figuur 31 laat de klimaatomstandigheden zien op 9 juni. Het was een overwegend zonnige dag waarbij de straling opliep tot boven de 800 watt/m². Het scherm (LS obscura) stond half dicht tijdens de koelperiode. Rond 18:00 uur liep deze open. Ramen stonden ver open en de dakberegening aan. De koeling draait voortdurend. De aanvoer temperatuur is gemiddeld 16°C en de retour 21°C. De koelcapaciteit was te klein op deze dag.



Figuur 32 Planttemperatuurmeting 9 juni G.J. van der Weijden

Figuur 32 laat de planttemperatuurmetingen zien die op 9 juni uitgevoerd zijn. Opvallend is te zien dat de bloemtemperatuur vanaf twee uur nog stijgt terwijl de straling zijn hoogtepunt bereikt heeft rond 14:00 uur en daarna langzaam afneemt. Op bladniveau is de gradiënt altijd kleiner dan 2°C. In deze periode zijn ook fotosynthesemetingen verricht. De resultaten hiervan staan in bijlage 2.

Doel van de planttemperatuur metingen was om de effecten van bovendoor koelen met de Fiwihex in kaart te brengen. Ondanks de beperkte koelcapaciteit verschilt de bladtemperatuur op alle gemeten hoogtes niet veel met de omgevingstemperatuur. De knoptemperatuur geeft wel een groter verschil aan met de omgevingstemperatuur. Metingen gedaan in 2009 bij Boonekamp Roses geven een kleinere gradiënt aan bij bovendoor koelen. Dit wil zeggen dat door de beperkte koelcapaciteit de bloemtemperatuur ver opgelopen is. Deze is echter wel af te koelen door bovendoor te koelen, indien er genoeg koelcapaciteit is.

5.2 Klimaatmetingen bovendoor verwarmen 2008 – 2009

5.2.1 Opzet

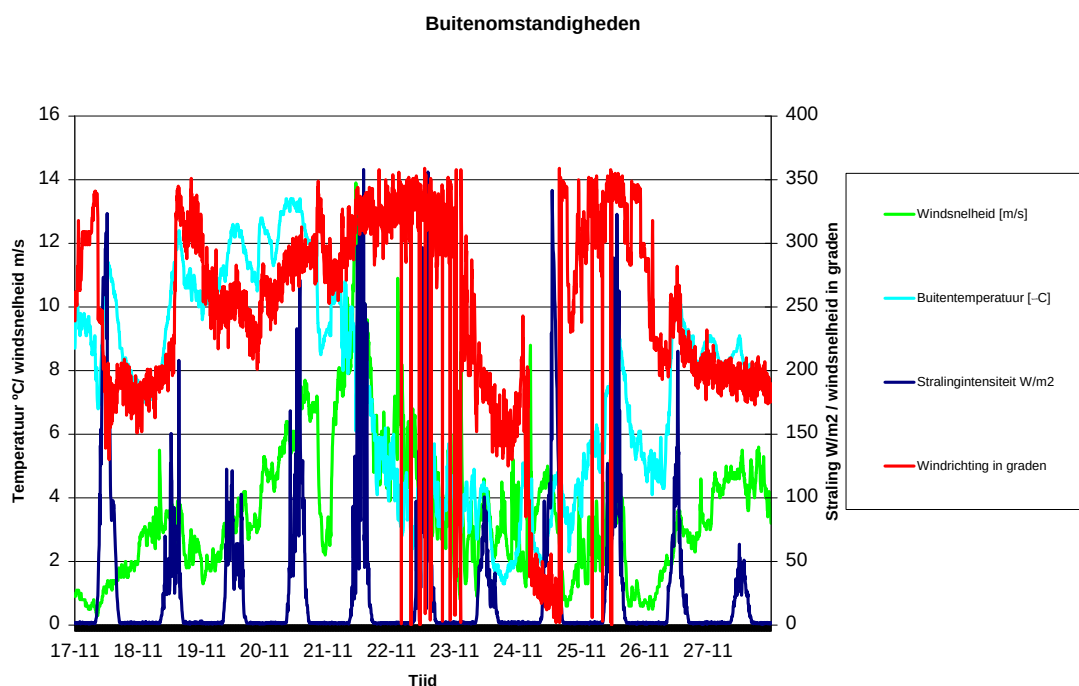
Tijdens een intensieve meetperiode van 17 t/m 28 november 2008 zijn er verschillende proeffactoren onderzocht wbt het verwarmen met de Fiwihex, ondernet met minimumbuis, ondernet zonder minimum buis en de Fiwihex ventilatorstand aan en een combinatie van deze twee. In Tabel 3 staat het tijdschema van de proefperiode weergegeven.

Tabel 3 Tijdschema proeffactoren verwarmen G.J. van der Weijden

Tijdschema proeffactoren verwarmen G.J. van der Weijden		
Datum	Tijd	
17-11	15:00	Conventioneel verwarmen ondernet met een minimum buis
19-11	14:00	Conventioneel verwarmen ondernet en ventilator aan op 58% gedeeltelijk zonder minimum buis, waarbij de buistemperatuur verhoogd werd bij een te laag vochtdeficit.
21-11	8:30	Conventioneel verwarmen ondernet en ventilator aan 40% gedeeltelijk zonder minimum buis, waarbij de buistemperatuur verhoogd werd bij een te laag vochtdeficit.
21-11	12:30	Verwarmen met de Fiwihex ventilatorregeling op een range van 40-70%.
24-11	5:30	Verwarming met de Fiwihex op 58% ingesteld.
25-11	7:30	Verwarming met de Fiwihex op 80% gezet.
25-11	13:00	Verwarming met de Fiwihex ventilator regeling op een range van 40 - 58%.
14-02	Nacht meting	Extra meting waarbij het ondernet uit heeft gestaan, om het netto effect van het verwarmen met de Fiwihex in kaart te brengen.

Om de effecten van deze proefsituaties in kaart te brengen zijn er verschillende klimaatmetingen verricht. De horizontale temperatuurverdeling is in kaart gebracht door 160 dataloggers op verschillende hoogtes op te hangen. In de paragraaf Horizontale temperatuurverdeling worden de resultaten hiervan besproken. Bij deze metingen zijn alleen de nachtperiodes relevant. Overdag hebben de loggers te veel last van stralingsinvloed. De verticale temperatuursverdeling en de verticale vochtverdeling is bepaald door te meten met akoestische meetapparatuur. De resultaten hiervan zijn beschreven in paragraaf Verticale temperatuur- en vochtverdeling. In de laatste paragraaf worden de luchtstromen die gecreëerd worden door de Fiwihex ventilator, ondernet, klimaatregeling en buiteninvloeden beschreven.

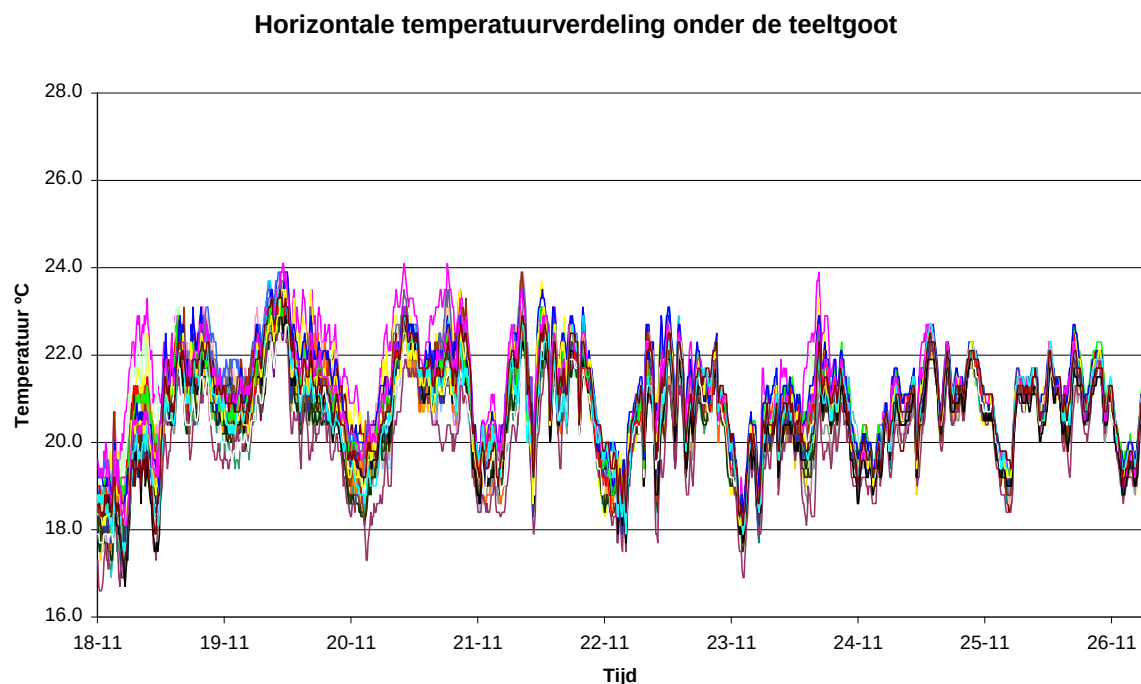
In de volgende figuur zijn de buitenomstandigheden tijdens de hele proefperiode weergegeven.



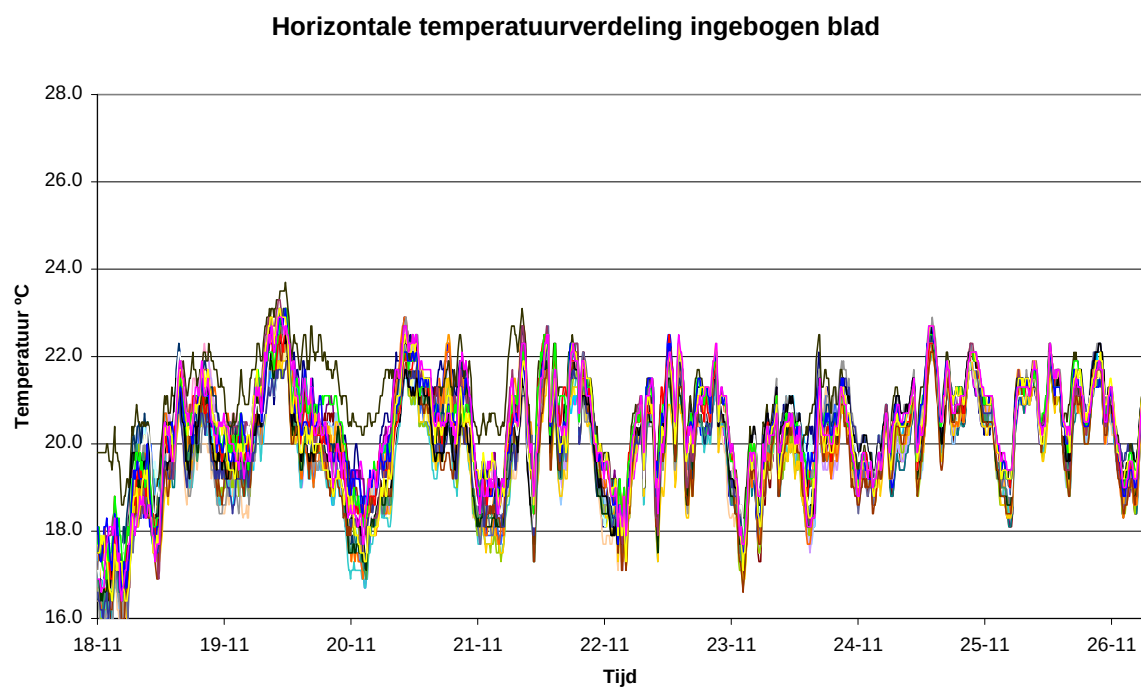
Figuur 33. Buitenomstandigheden tijdens proefperiode

5.2.2 Horizontale temperatuurverdeling

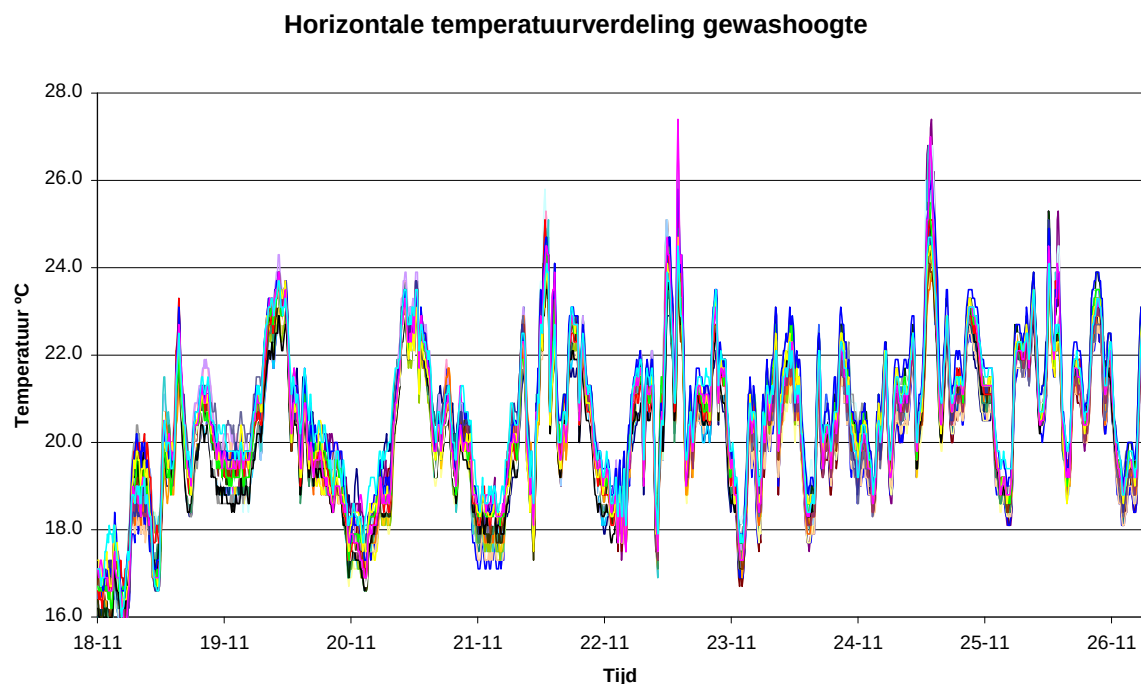
Om de horizontale temperatuurverdeling in het proefvak te bepalen zijn op 20 verschillende posities in de kas temperatuurloggers opgehangen op vier verschillende hoogtes, namelijk onder de teeltgoot, ingebogen blad, gewas en bloemhoogte. De resultaten van de metingen zijn in de volgende figuren weergegeven.



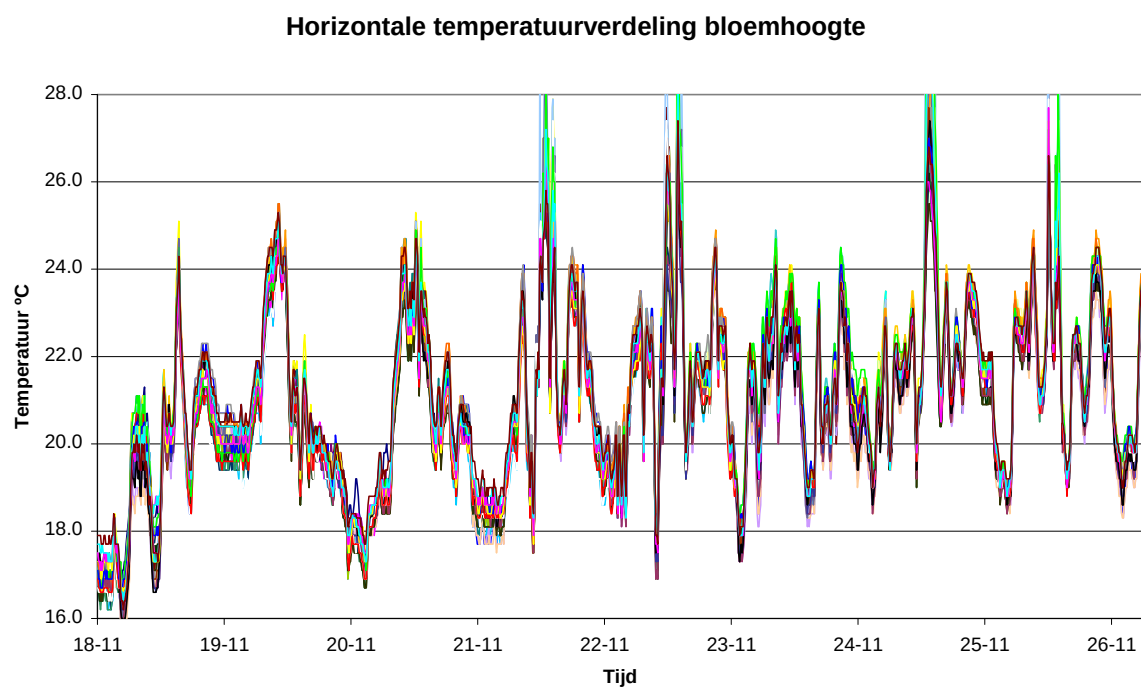
Figuur 34 Horizontale temperatuurverdeling onder de teeltgoot G.J. van der Weijden



Figuur 35 Horizontale temperatuurverdeling ingebogen bladhoogte G.J. van der Weijden



Figuur 36 Horizontale temperatuurverdeling gewashoogte G.J. van der Weijden



Figuur 37 Horizontale temperatuurverdeling bloemhoogte G.J. van der Weijden

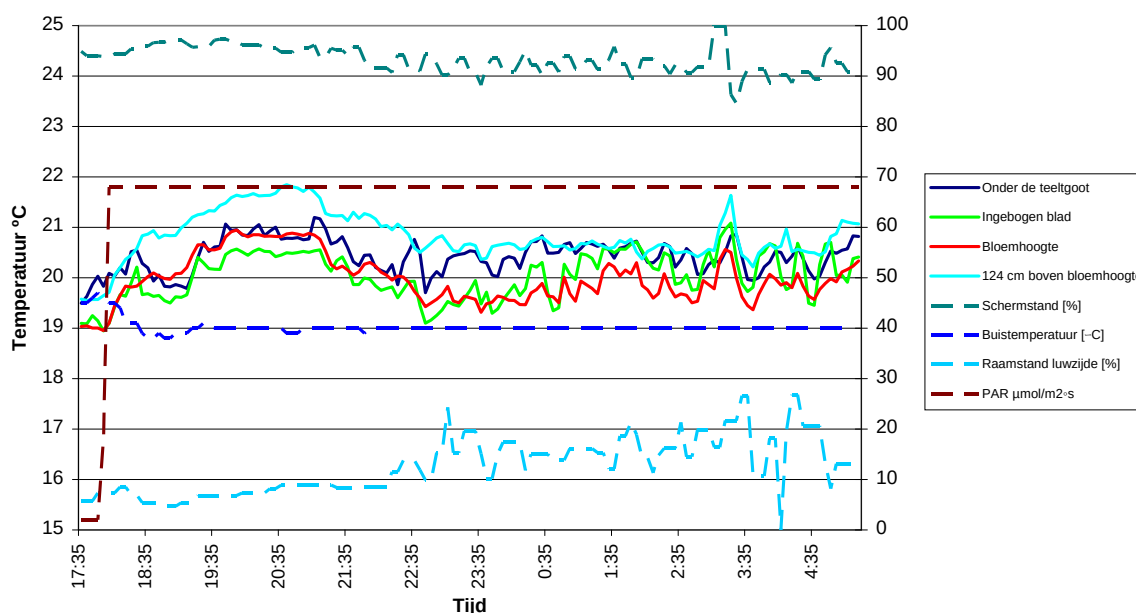
In alle voorgaande figuren is te zien dat in het begin van de proefperiode de temperatuursvariatie op de verschillende hoogtes in de nachtperiodes tussen de 2 en 3°C ligt. Als op 19 november de Fiwihex ventilator aangaat is er geen verbetering te zien van de temperatuursvariatie. Pas als er daadwerkelijk met de Fiwihex verwarmd gaat worden (vanaf 21 november) wordt op alle hoogtes de verdeling beter. Een nuance die

aangebracht moet worden is dat de buitenomstandigheden tijdens de proefperiode sterk variëren. Deze kunnen ook nog effect gehad hebben op de temperatuurverdeling. Dit neemt niet weg dat de verdeling met verwarming met de Fiwihex van 21 t/m 26 november constant beter is geweest dan conventioneel verwarmen van 18 t/m 21 november.

5.2.3 Verticale temperatuur- en vochtverdeling

Er zijn bij verschillende proefsituaties een aantal vaste metingen uitgevoerd om de verticale temperatuur- en vocht gradiënt in kaart te brengen. De resultaten daarvan worden in deze paragraaf besproken.

Verticale temperatuurverdeling 18-19 november

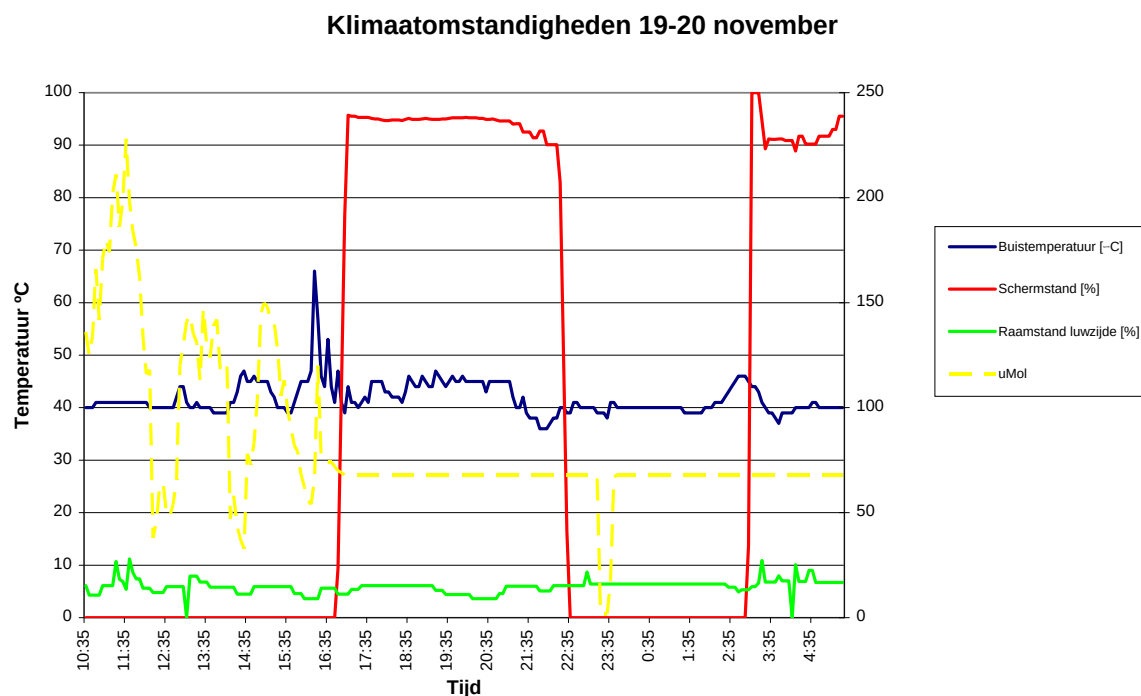


Figuur 38 Verticale temperatuurverdeling conventioneel verwarmen met minimum buis G.J. van der Weijden

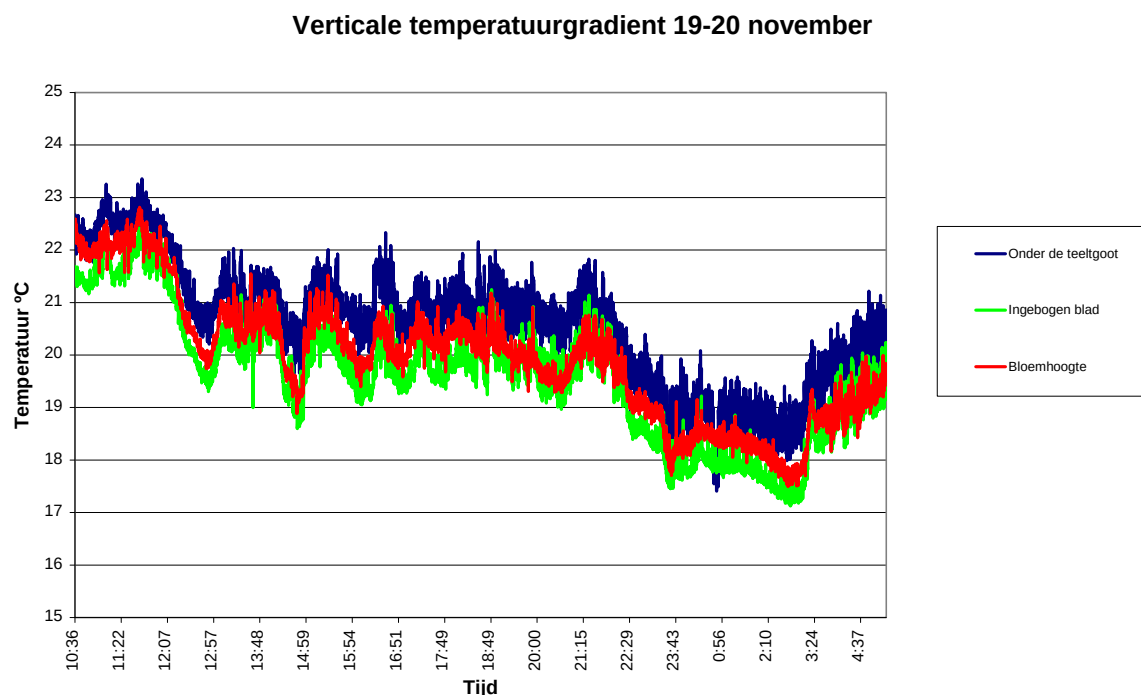
Figuur 38 laat de verticale temperatuurgradiënt zien waarin er conventioneel met het ondernet verwarmd wordt. Het ondernet heeft voor het grootste gedeelte op 40°C gelegen. De Fiwihex stond uit. De temperatuurgradiënt is redelijk constant en laat geen grote verschillen zien. De meting toont aan dat de traditionele manier van verwarmen een goede verticale verdeling van de temperatuur geeft.

De vochtmetingen gaven tijdens deze meting geen betrouwbaar beeld. Aangenomen mag worden dat deze eenzelfde soort beeld geven als de temperatuur metingen. Wat wil zeggen een kleine gradiënt.

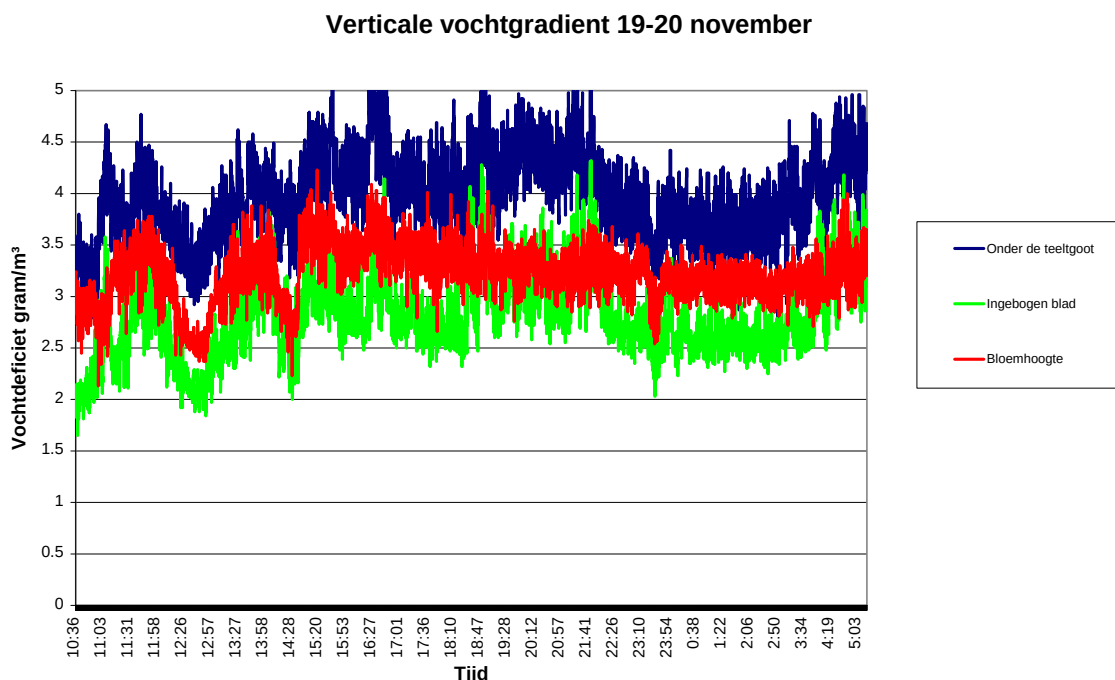
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, verticale temperatuur- en vochtgradiënt zien wanneer er verwarmd wordt met het ondernet en de Fiwihex ventilator aan.



Figuur 39 Klimaatomstandigheden conventioneel verwarmen zonder minimumbuis en ventilatorstand op 58% G.J. van der Weijden



Figuur 40 Verticale temperatuurverdeling conventioneel verwarmen gedeeltelijk zonder minimum buis en Fiwhex ventilator op 58% G.J. van der Weijden



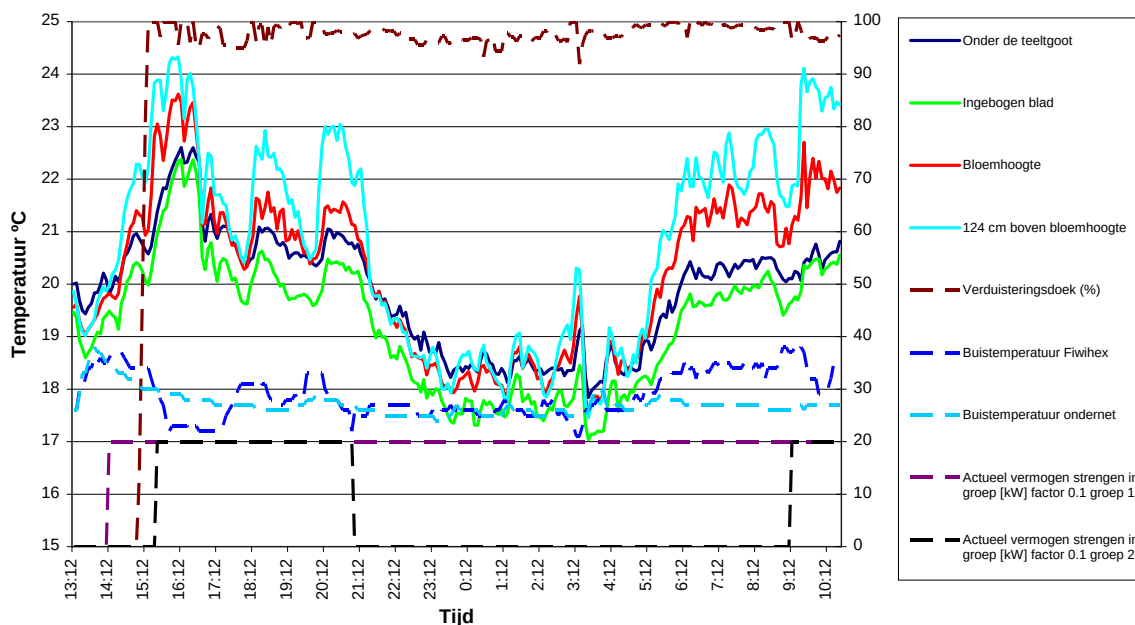
Figuur 41 Verticale vochtverdeling conventioneel verwarmen gedeeltelijk zonder minimum buis en Fiwhex ventilator op 58% G.J. van der Weijden

Figuur 40 laat over de gehele periode eenzelfde temperatuursgradiënt zien. In de meting is de belichting constant aan geweest met uitzondering van een kort moment om 23:30 uur. Op dat punt is een kleine daling te zien van de temperatuur. Kijken we naar de vochtgradiënt in Figuur 41 dan zien we hetzelfde beeld als bij de temperatuur.

Doel van de meting was om aan te tonen hoeveel effect de Fiwhex ventilator heeft op de temperatuur- en vochtverdeling en daarmee de mogelijkheid om de minimum buistemperatuur lager in te stellen. Het verschil met de meting zonder Fiwhex ventilator aan op 18-19 november, is dat de temperatuur tijdens de meting met de ventilator aan op bloemhoogte bijna altijd hoger ligt dan op ingebogen bladhoogte. Bij de meting zonder Fiwhex ventilator aan, weergegeven in Figuur 38, is de temperatuur op bloemhoogte vaak wat lager dan temperatuur op ingebogen blad. Dat dit verschil vrijwel niet optreedt bij de meting met ventilator aan zou kunnen wijzen op het efficiënt benutten van lampwarmte door luchtcirculatie. Andere effecten die een lagere temperatuur op bloemhoogte kunnen bewerkstelligen zijn de raam- en schermstand. Wanneer deze verder open gaan is in verhouding ook een versnelde daling van de temperatuur op bloemhoogte te zien.

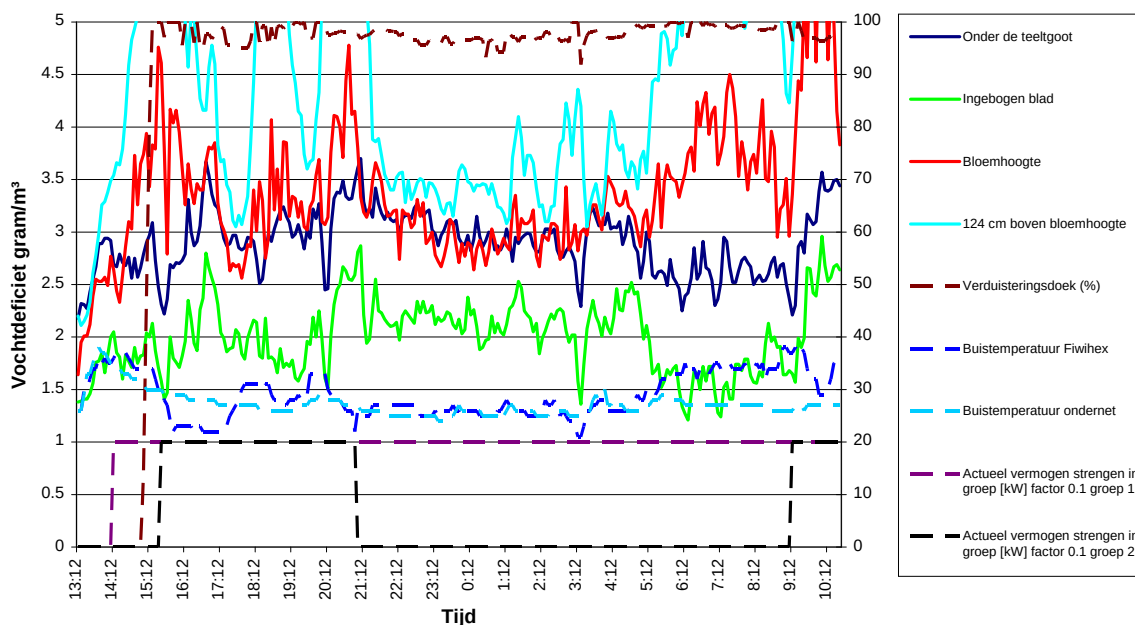
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, verticale temperatuur- en vochtgradiënt zien wanneer er verwarmd wordt met de Fiwhex.

Verticale temperatuurgradient 26-27 november



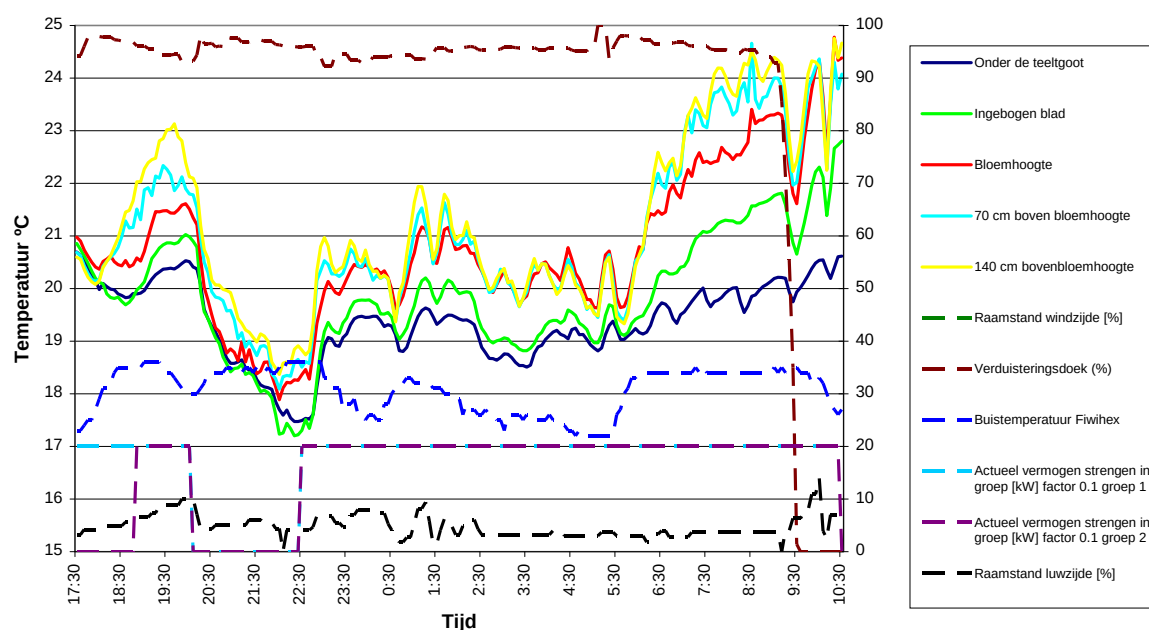
Figuur 42 Verticale temperatuurverdeling verwarming met fiwhex 40-58% G.J. van der Weijden

Verticale vochtgradient 26-27 november



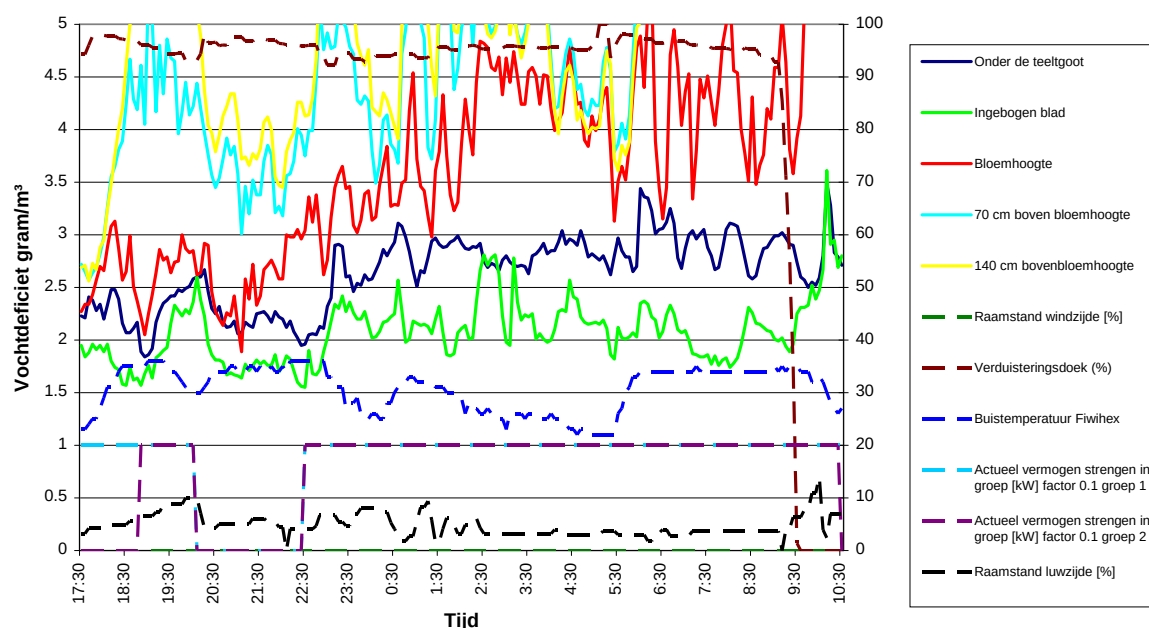
Figuur 43 Verticale vochtverdeling verwarming met fiwhex 40-58% G.J. van der Weijden

Verticale temperatuurgradient 14 februari



Figuur 44 Verticale temperatuurverdeling verwarming met fiwihex 40-58% G.J. van der Weijden

Verticale vochtgradient 14 februari



Figuur 45 Verticale vochtverdeling verwarming met fiwihex 40-58% G.J. van der Weijden

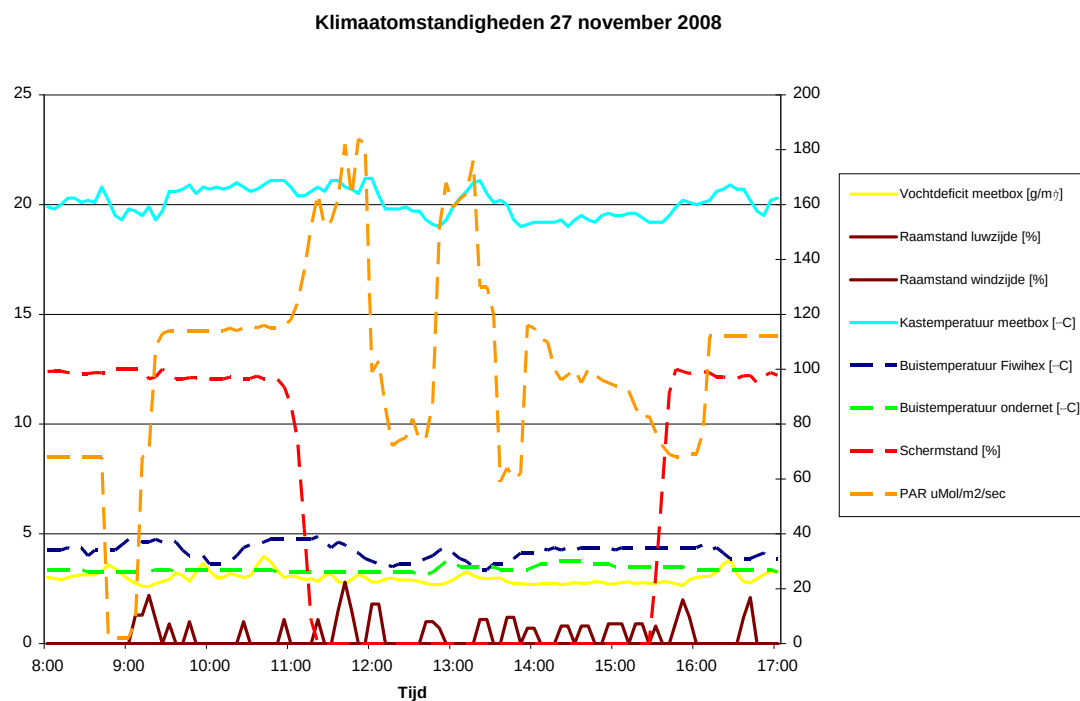
In Figuur 42 en Figuur 43 is er verwarmd met de FiwiHex en een lauw ondernet met een temperatuur tussen de 25 en 30°C. In Figuur 44 en Figuur 45 is verwarmd met de FiwiHex zonder dat het ondernet mee verwarmd. Kijkend naar Figuur 44 zien we dat wanneer er meer warmte naar de kas gestuurd wordt, hoe groter de verticale gradiënt wordt. Van 2:30 tot 5:30 uur is er minder warmtevraag. Het is hier ook duidelijk te zien dat de temperatuur naar elkaar toe trekt. Na 5:30 uur gaat de verwarmingstemperatuur omhoog en loopt de aanvoer temperatuur FiwiHex op naar 35°C. Hierbij loopt het verschil tussen ingebogen blad en bloemhoogte op tot $\pm 1,5^\circ\text{C}$. De temperatuur onder de goot blijft het laagst. Dus wanneer er veel warmtevraag is, wordt de verticale gradiënt groter.

Als we Figuur 42 en Figuur 44 met elkaar vergelijken zien we dat het ondernet bij de eerste meting maar voor een klein deel effect heeft gehad op de temperatuurgradiënt. Beide meetdagen laat een gradiënt zien tussen de bloem en het ingebogen blad. Het vochtgehalte is op beide meetdagen op ingebogen bladhoogte het laagst, en is daarmee ook de meest kritische plek voor wat betreft het nat slaan van het gewas.

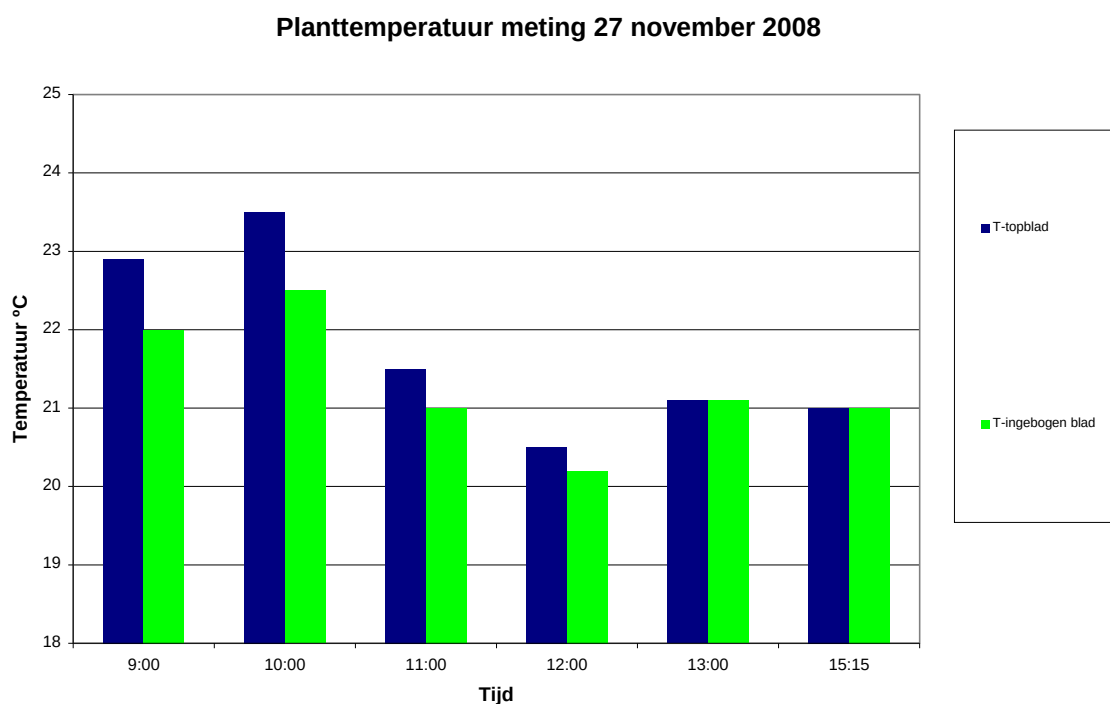
Doel van de metingen was om aan te tonen of het mogelijk is om met de FiwiHex te verwarmen. Uit de metingen blijkt dat de temperatuur- en vochtgradiënt een stuk groter worden dan bij de conventionele situatie. In de praktijk zal het dan ook noodzakelijk zijn om met het ondernet bij te stoken om de temperatuur- en vochtverschillen kleiner te maken.

5.2.4 Planttemperatuur metingen

Om een goed beeld te krijgen van het effect van bovendoor verwarmen op de plant zijn er op een dag op november fotosynthese- en planttemperatuurmetingen uitgevoerd. De planttemperatuurmetingen zijn weergegeven in Figuur 47 de klimaatomstandigheden tijdens die dag zijn weergegeven in Figuur 46.



Figuur 46 Klimaatomstandigheden bovendoor verwarmen G.J. van der Weijden



Figuur 47 Planttemperatuur meting tijdens bovendoor verwarmen G.J. van der Weijden

Kijkend naar Figuur 46 zien we dat het een bewolkte dag was waarbij de belichting de hele dag heeft aangestaan. Een uitzondering daarop is rond 13:00 uur waarbij de belichting tijdelijk uitviel door een storing. Dit is te zien aan de PAR-waardes.

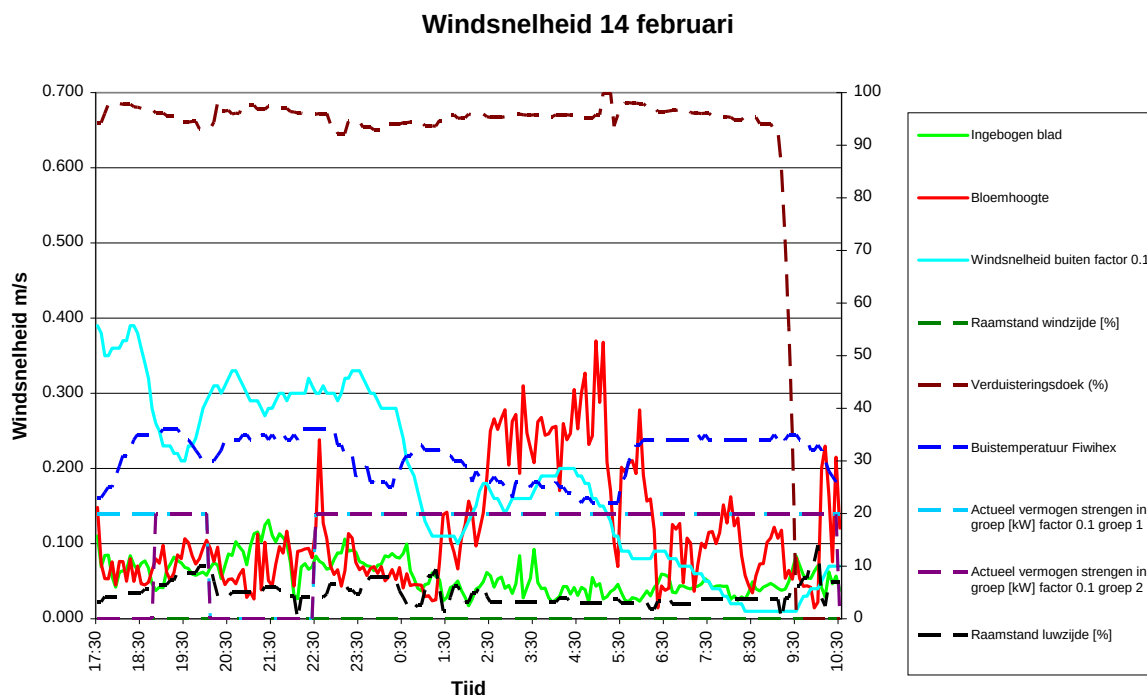
Het grootste verschil in planttemperatuurgradiënt is te zien aan het begin van de ochtend. Dit komt goed overeen met de omgevingstemperatuurmetingen waarin bij het opwarmen van de kaslucht de gradiënt groter wordt. Naarmate de temperatuur stabiliseert trekken de temperaturen naar elkaar toe.

De planttemperatuur metingen laten geen grote verticale gradiënt zien tussen ingebogen blad en top blad. Gezien deze metingen lijkt het goed mogelijk om bovendoor te verwarmen.

5.2.5 Luchtstromen

Om de luchtstromen in kaart te brengen is op vaste punten bij verschillende situaties gemeten. Naast de vaste puntsmetingen zijn er zogenaamde Quick scans gemaakt zoals beschreven in Hoofdstuk 3.2.2 Quick scan. In deze paragraaf worden de resultaten hiervan besproken.

In onderstaande grafiek is de windsnelheid op ingebogen blad en bloemhoogte weergegeven op 13-14 februari 2009. De meting is verricht in het midden van een tralie.



Figuur 48 Windsnelheden ingebogen blad en bloemhoogte verwarmen met de Fiiwex met een ventilatorstand van 40% G.J. van der Weijden

Figuur 48 laat zien dat er een minimale luchtbeweging is op ingebogen bladhoogte. Op bloemhoogte varieert de snelheid erg sterk terwijl de ventilatorstand constant op dezelfde

waarde heeft staan draaien. De windsnelheid buiten begint met ongeveer 4 m/s. Rond 0:30 uur daalt deze naar ongeveer 1 m/s en dat is tevens het moment dat de luchtstroming op bloemhoogte hoger wordt. Verklaring zou kunnen zijn dat de luchtstroom van de fiwihex in tegengesteld richting waaide als de natuurlijke stroom in de kas.

Doel van deze meting is geweest in hoeverre het circuleren van de kaslucht met de Fiwihex effect heeft op de luchtbeweging in de kas. Uit de meting blijkt dat klimaat omstandigheden buiten en binnen de kas een sterke invloed hebben op de luchtbeweging in de kas. Het is dan ook de vraag in hoeverre de Fiwihex ventilator bijdraagt aan bijvoorbeeld een verhoogde vochtafvoer op ingebogen bladhoogte.

Quick scans

Van verschillende situaties zijn Quick scans gemaakt. Er is steeds gemeten op vier hoogtes. De hoogtes zijn weergegeven in Figuur 49 en zijn vanaf de grond gemeten. Het betrof de volgende hoogtes:

- 45 cm onder de teeltgoot,
- 103 cm net boven het ingebogen blad,
- 180 cm is ter hoogte van de bloem en
- 304 cm is ongeveer 50 cm onder de Fiwihex uitblaas.

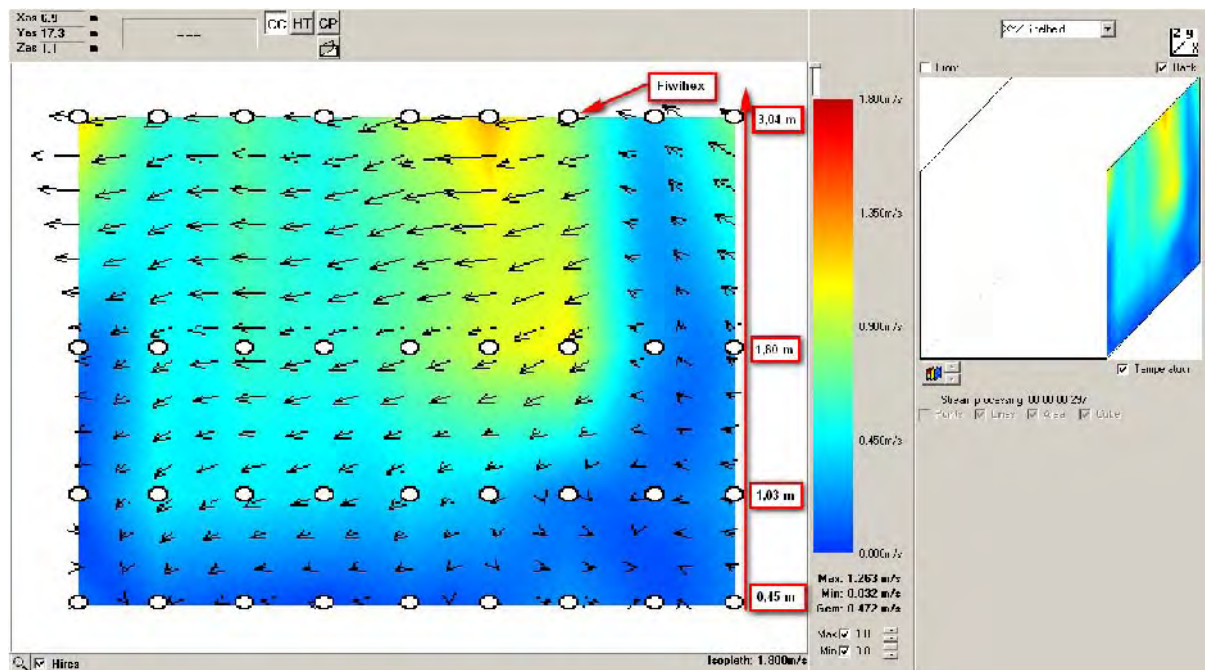
De sensoren hebben gemeten boven het pad.

Van iedere situatie zijn twee plaatjes weergegeven. Een bovenaanzicht op bloemhoogte en een zijaanzicht in lijn met de Fiwihex.

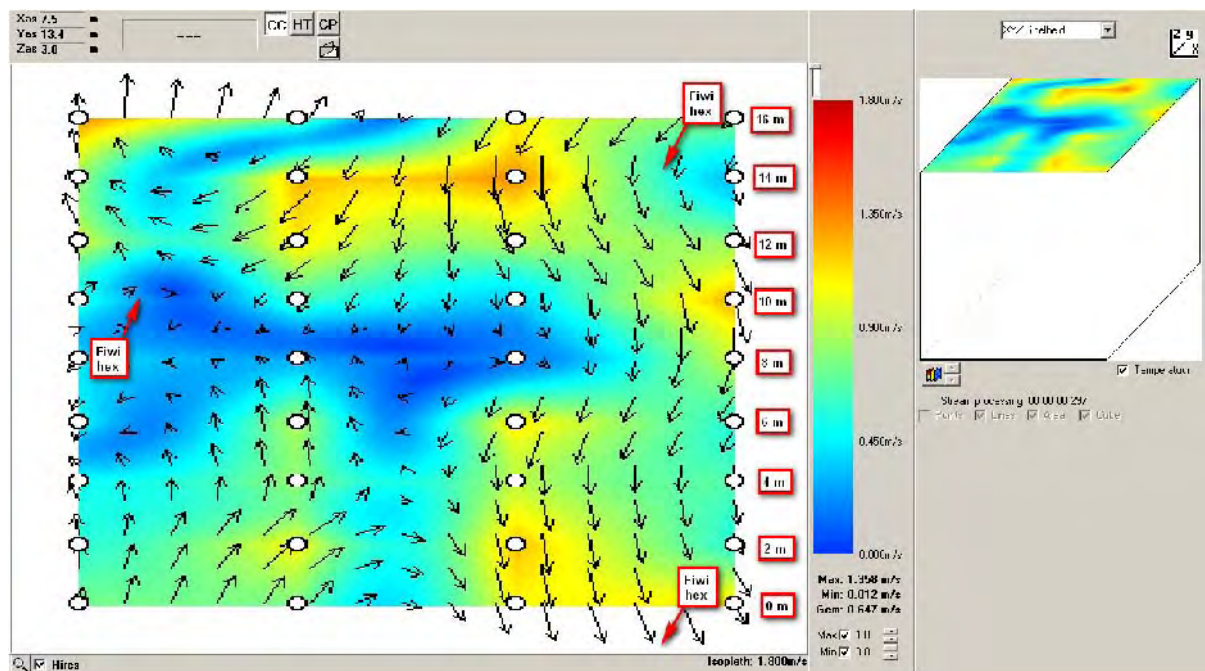
De klimaat en buitenomstandigheden tijdens de getoonde quick scans zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Klimaat en buitenomstandigheden tijdens Quick scans G.J. van der Weijden

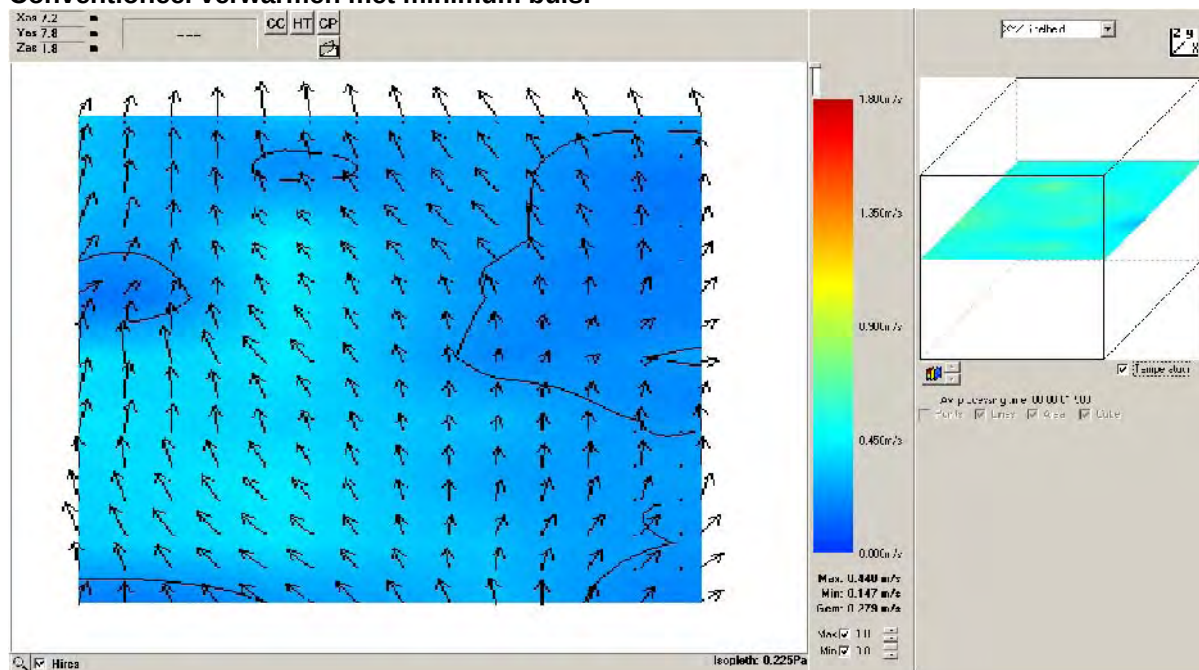
Omstandigheden tijdens Quick scan				
	Buitemtemperatuur (°C)	Scherf	Windsnelheid buiten (m/s)	Windrichting in graden buiten
Conventioneel verwarmen 19 november	10,7	95%	2,2	261
Conventioneel verwarmen Fiwihex ventilator op 58% 21 november	9,1	98%	7,7	297
Verwarmen Fiwihex 58% 25 november	4,8	98%	1,8	298



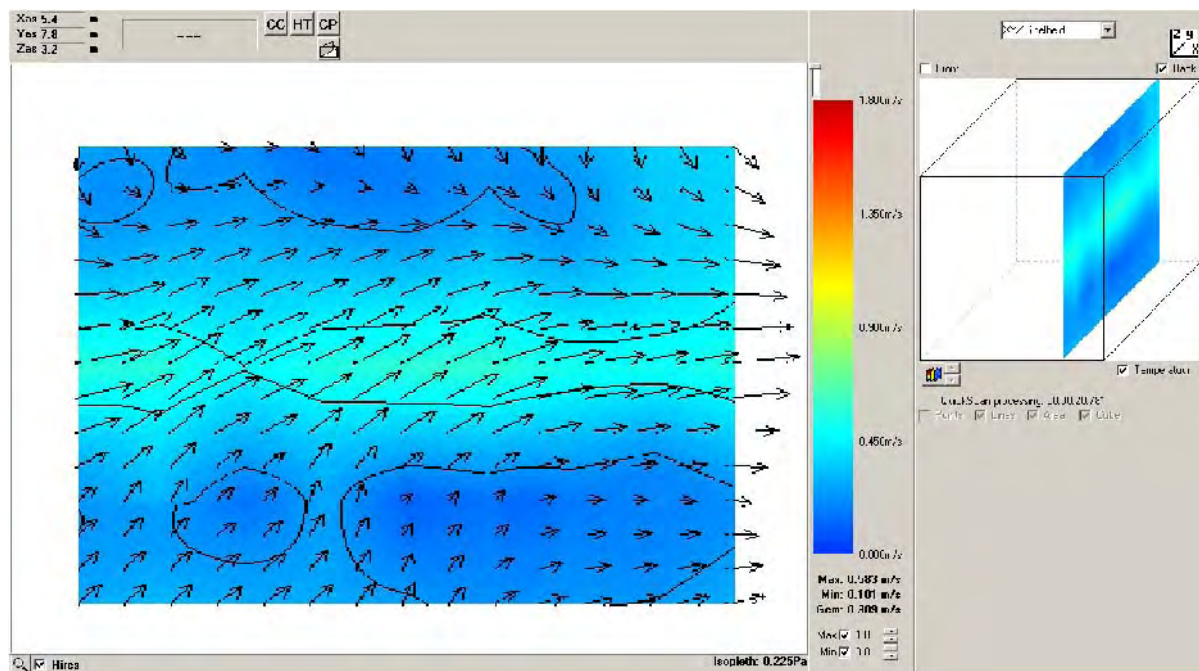
Figuur 49 Omschrijving verticale meetpunten Quick scan G.J. van der Weijden



Figuur 50 Omschrijving horizontale meetpunten Quick scan G.J. van der Weijden

Conventioneel verwarmen met minimum buis.

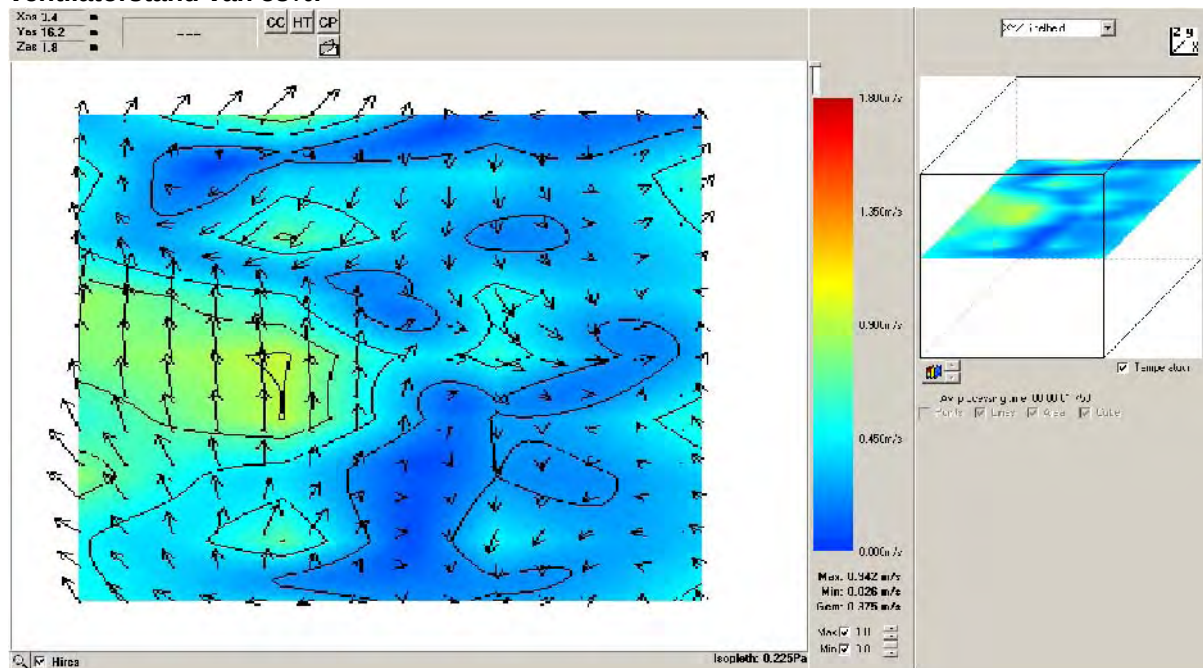
**Figuur 51 Bovenaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen met minimum buis
G.J. van der Weijden**



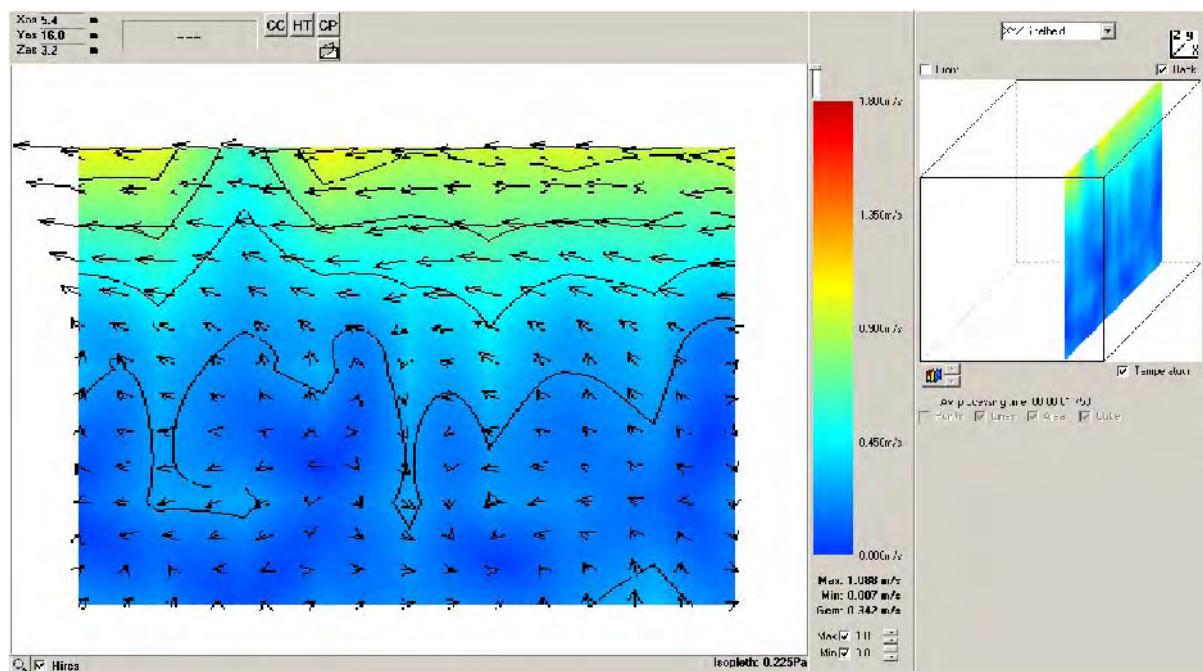
**Figuur 52 Zijaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen met minimum buis G.J.
van der Weijden**

De bovenstaande figuren laten een dominantie luchtstroom zien. Opvallend is dat deze luchtstroom zich laat zien op bloemhoogte en iets daarboven. Van een opwaartse stroom ten gevolge van de minimum buis is niet altijd sprake in deze situatie. De opwaartse luchtstroom kan veroorzaakt worden door de dominante luchtstroom die op bloemhoogte te zien is.

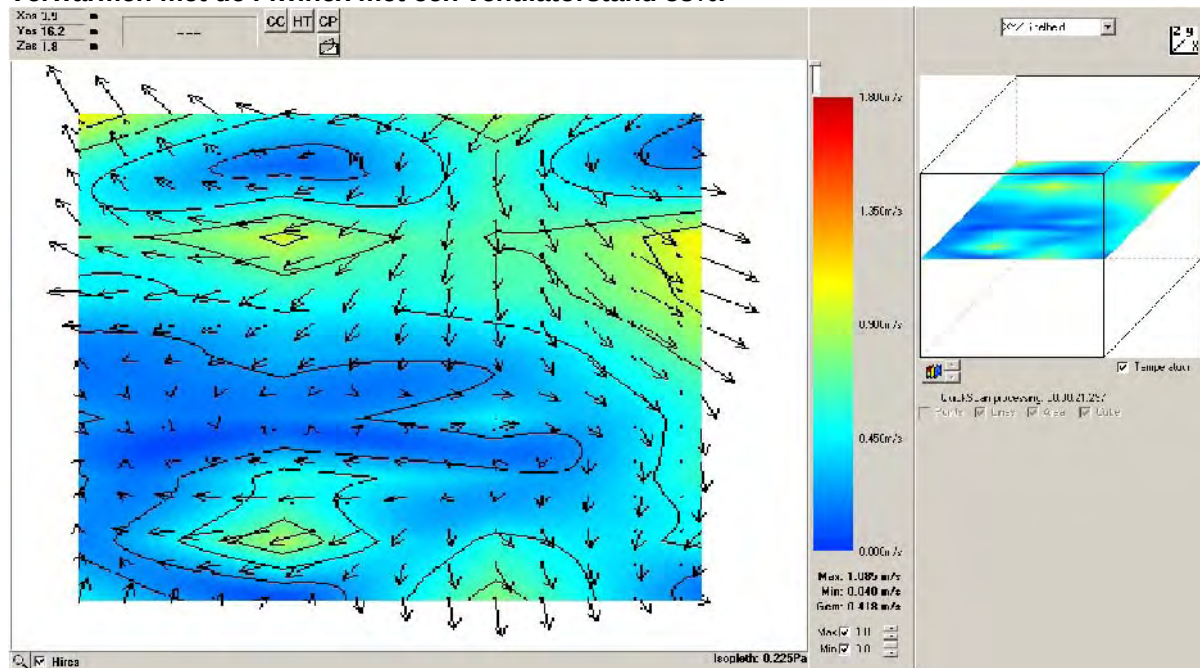
Conventioneel verwarmen met de Fiwihex zonder minimum buis op een ventilatorstand van 58%.



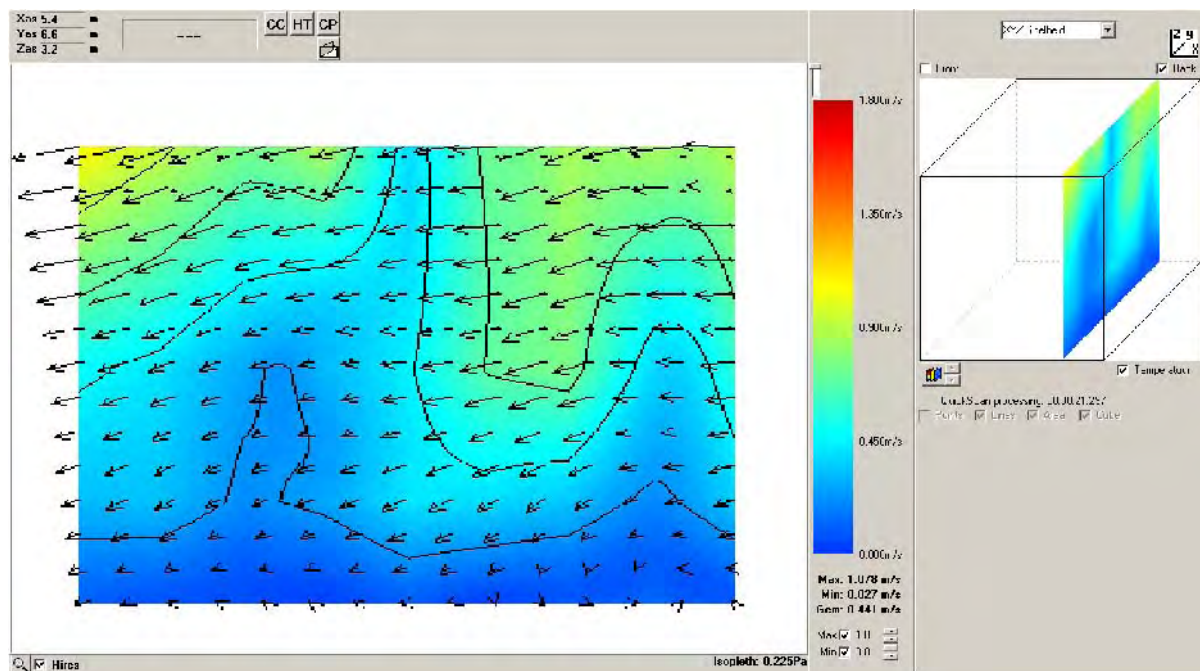
Figuur 53 Bovenaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen zonder inzet van een minimum buis temperatuur en Fiwihex ventilator op 58% G.J. van der Weijden



Figuur 54 Zijaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen zonder minimum buis en Fiwihex ventilator op 58% G.J. van der Weijden

Verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand 58%.

Figuur 55 Bovenaanzicht Quick scan verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand van 58% G.J. van der Weijden



Figuur 56 Zijaanzicht Quick scan verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand van 58% G.J. van der Weijden

Figuur 53 t/m Figuur 56 laten duidelijk het effect zien op de luchtstromen gecreëerd door de Fiwihex. Toch geven twee verschillende meetdagen met dezelfde ventilatorstand een ander beeld van de luchtstromen. Dit geeft aan dat klimaat factoren binnen en buiten de luchtstromen sterk beïnvloeden.

5.3 Conclusies bovendoor verwarmen en koelen G.J. van der Weijden

Verwarmen

- Er is geen aantoonbaar effect op de horizontale en verticale temperatuurverdeling te zien door te verwarmen met het ondernet zonder minimum buis en de FiwiHex ventilator aan te zetten.
- De horizontale temperatuursverdeling in het proefvak wordt beter naarmate er verwarmd wordt met de FiwiHex.
- De verticale temperatuur- en vochtgradiënt worden groter en omgekeerd als er verwarmd wordt met de FiwiHex in vergelijking met conventioneel verwarmen met het ondernet.
- Planttemperatuurmetingen overdag laten geen grote gradiënten zien wanneer er verwarmd wordt met de FiwiHex.
- Alleen verwarmen met de FiwiHex zonder dat er een ondernet aanwezig is lijkt te risicovol. Vooral op ingebogen bladhoogte wordt de kans op nat slaan van het gewas groter. Een combinatie van beiden lijkt het meest optimaal. Hiermee is het dus voor een deel mogelijk om met laagwaardige warmte te verwarmen.
- Er is een duidelijk effect van de FiwiHex ventilator op de luchtbeweging in de kas. Dit effect is te zien op bloemhoogte en daarboven. Op ingebogen bladhoogte is dit effect niet te zien.
- De metingen van de luchtstromen d.m.v Quick scans tijdens het conventioneel verwarmen laat op ingebogen blad meer luchtbeweging zien in vergelijking met de metingen als de FiwiHex ventilator aan staat.
- Buitenomstandigheden en klimaatregeling hebben een sterke invloed op de luchtbeweging in de kas. Deze lijken in bepaalde omstandigheden meer effect te hebben dan geforceerd de lucht te circuleren met de FiwiHex ventilator.

Koelen

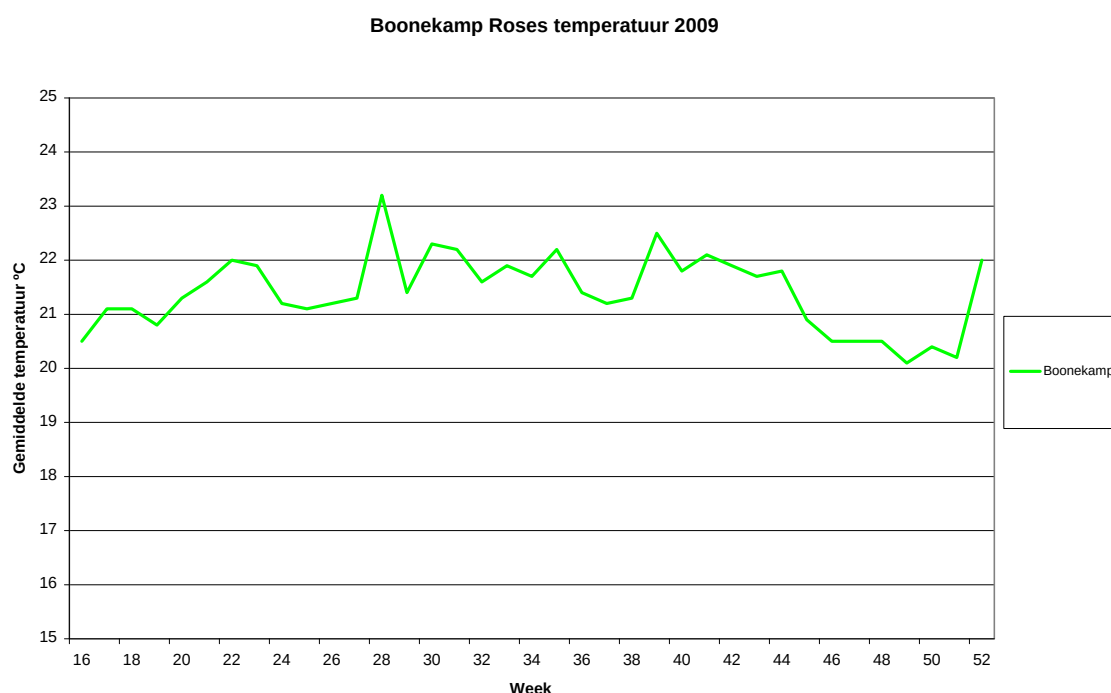
- Planttemperatuur metingen laten op bladniveau geen grote verschillen met de omgevingstemperatuur zien.
- De bloemtemperatuur loopt in verhouding met de bladtemperatuur wel ver op. Een reden hiervan kan de beperkte koelcapaciteit zijn tijdens de meetdag. Verdere metingen bij bovendoor koelen (Boonekamp Roses) zullen meer duidelijkheid over het effect op de bloemtemperatuur geven.

6 Resultaten bovendoor koelen en verwarmen Boonekamp Roses

6.1 Resultaten klimaatmetingen bovendoor koelen 2009

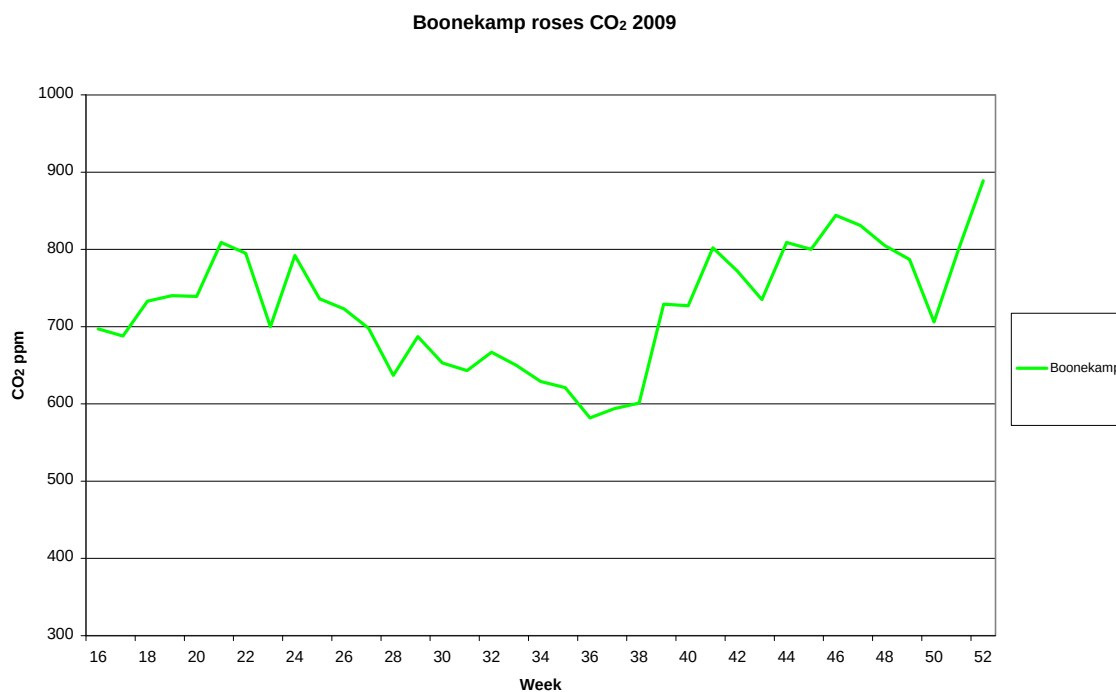
6.1.1 Algemene klimaatgegevens

Tijdens het voorjaar en de zomer zijn er verschillende akoestische metingen gericht. De metingen zijn verricht met een vaste opstelling beschreven in hoofdstuk Proefopzet koelen met luchtunits. De volgende paragrafen laten de resultaten zien van de horizontale, verticale temperatuurgradiënten en de luchtstromen die gecreëerd worden door de ventilator, schermen, ramen etc.



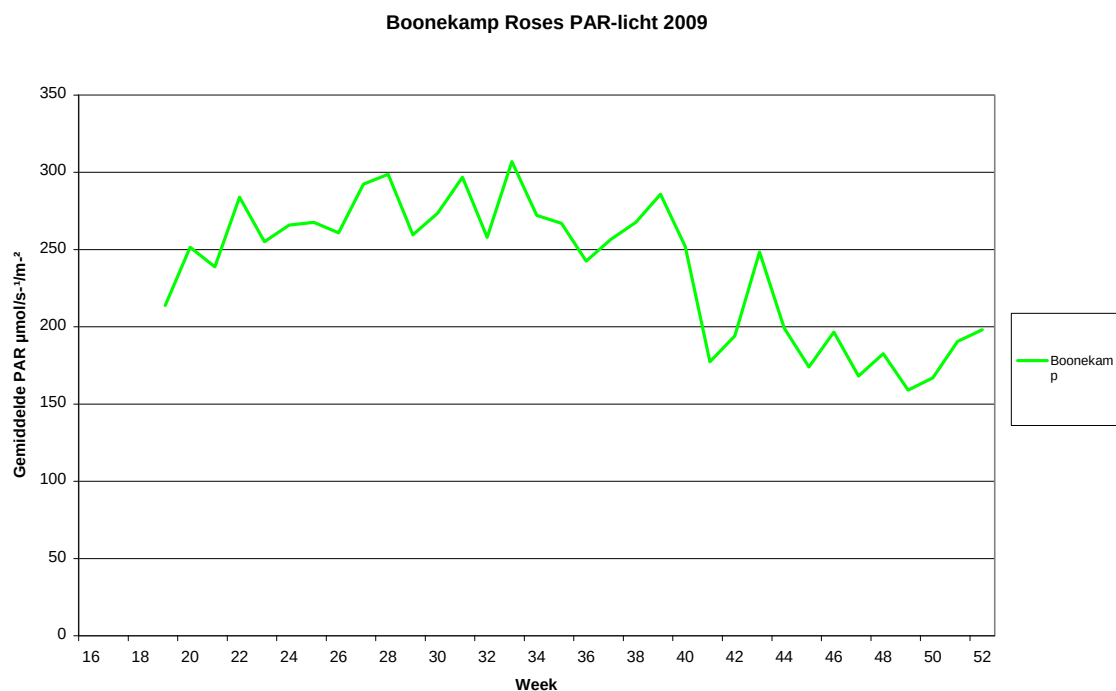
Figuur 57 Gemiddelde temperatuur Boonekamp Roses 2009

Figuur 57 laat de gemiddelde temperatuur vanaf week 16 zien. De gemiddelde waarde over de gemeten periode is 21,4°C. De meetbox heeft gemeten op gewashoogte.



Figuur 58 Gemiddeld CO₂ gehalte Boonekamp Roses 2009

Figuur 58 laat het gemiddelde CO₂ gehalte zien vanaf week 16. In vergelijking met Porta Nova en Berg Roses ligt het gehalte redelijk laag met soms gemiddelde waarden in een week onder de 600 ppm. Dit kan te maken hebben met een beperkte beschikbaarheid van CO₂ via OCAP en het aantal koeluren dat gerealiseerd is.



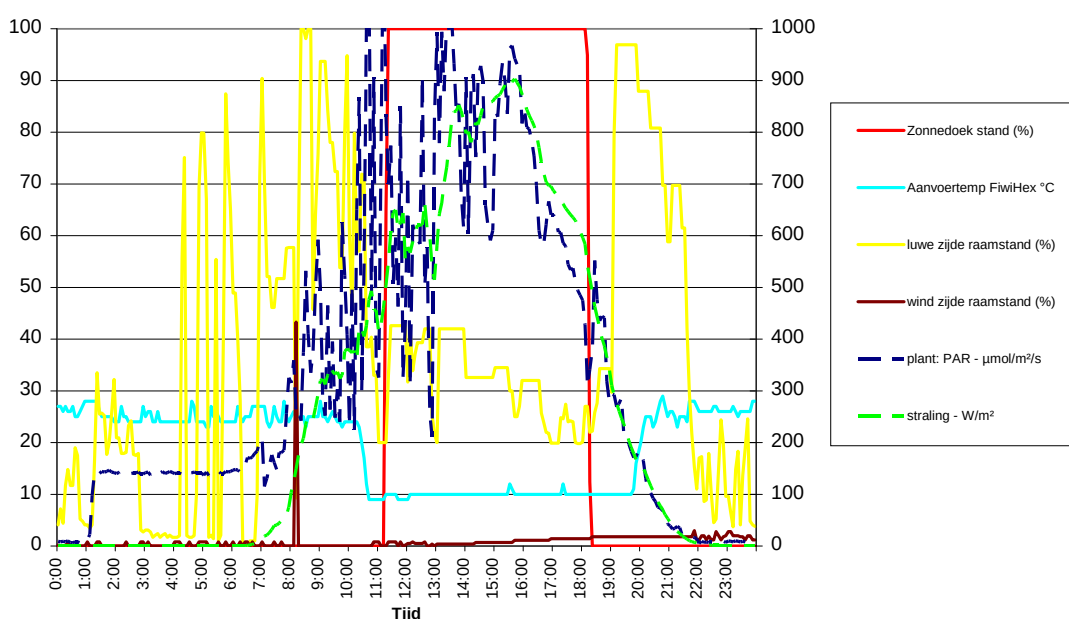
Figuur 59 Gemiddelde PAR waarde Boonekamp Roses 2009

Figuur 59 Laat de gemiddelde PAR waarde in $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ zien. Vanaf week 39 neemt de gemiddelde waarde behoorlijk af.

6.1.2 Horizontale temperatuur en vochtverdeling

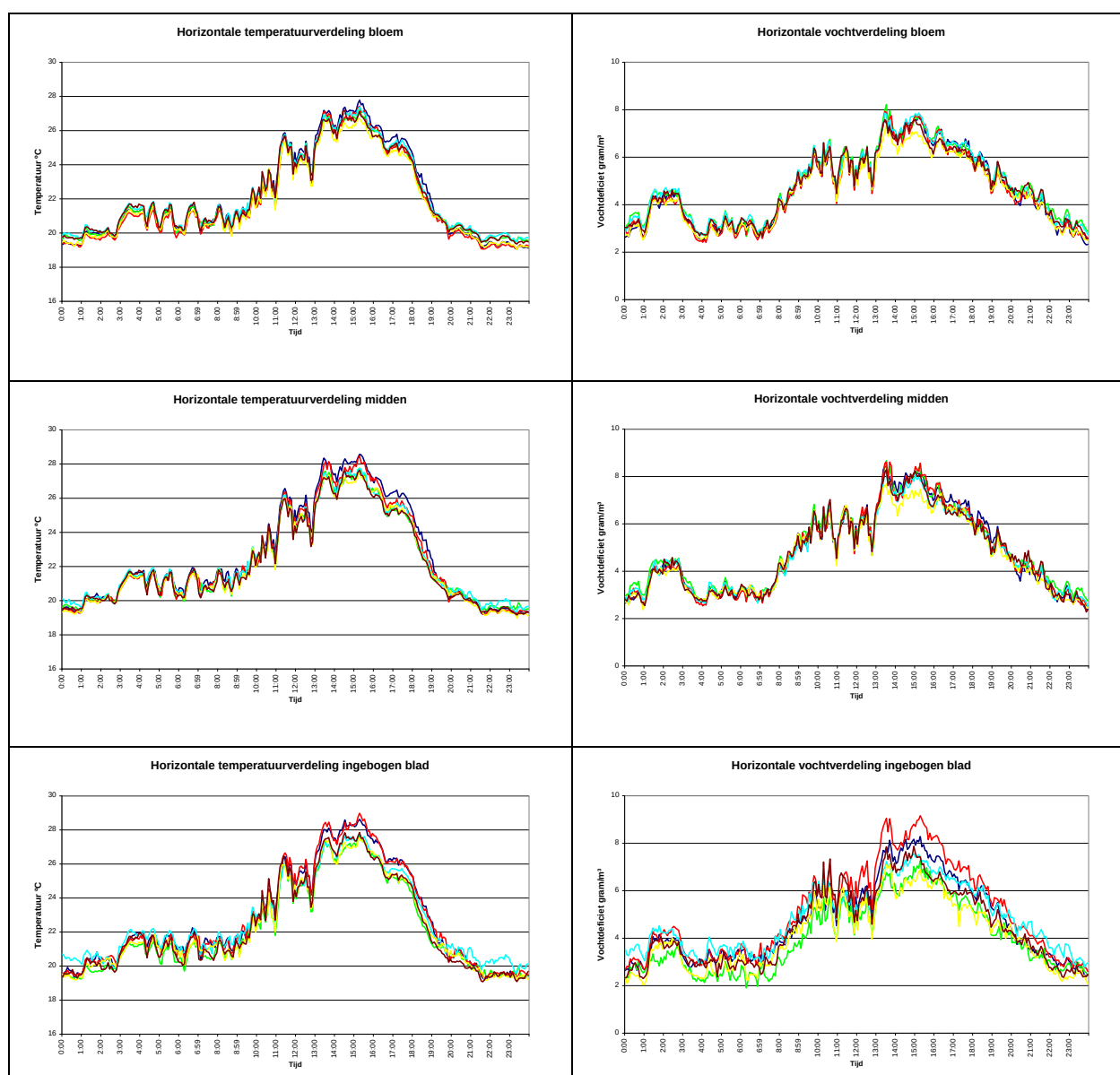
Om de horizontale temperatuurverdeling in kaart te brengen is er op 6 plaatsen in een proefvak op drie hoogtes gemeten, namelijk ingebogen blad, gewashoogte en bloemhoogte. Er is uitvoerig gemeten in de periode van 17 t/m 28 juli. Uit de reeks metingen zijn 2 dagen gekozen namelijk een zonnige en wisselvallige dag die een goed beeld geven van de koeling op de temperatuurverdeling.

Klimaatomstandigheden 20 juli 2009



Figuur 60 Klimaatomstandigheden koelen 20 juli Boonekamp Roses

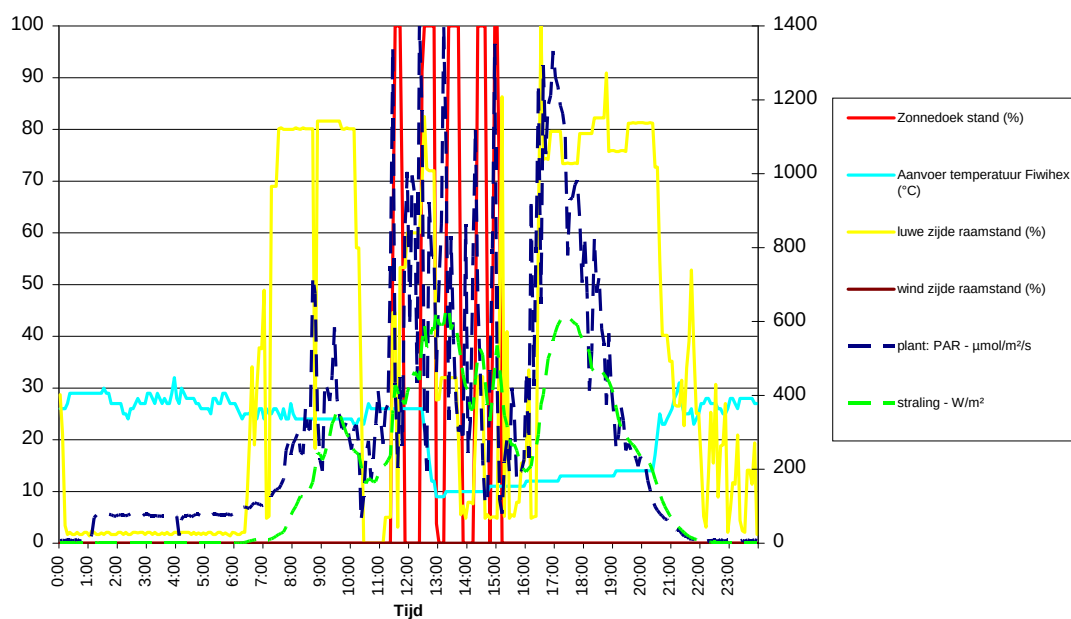
Figuur 60 laat de klimaatomstandigheden zien op 20 juli. Het was een overwegend zonnige dag waarbij de instraling opliep tot $900 \text{ W}/\text{m}^2$ en dat voor een aantal uur hoog bleef. Er is gekoeld van 11:00 t/m 19:30 uur. Om 11:15 uur is het scherm dicht gegaan.



Figuur 61 Horizontale temperatuur- en vochtgradiënt 20 juli Boonkamp Roses

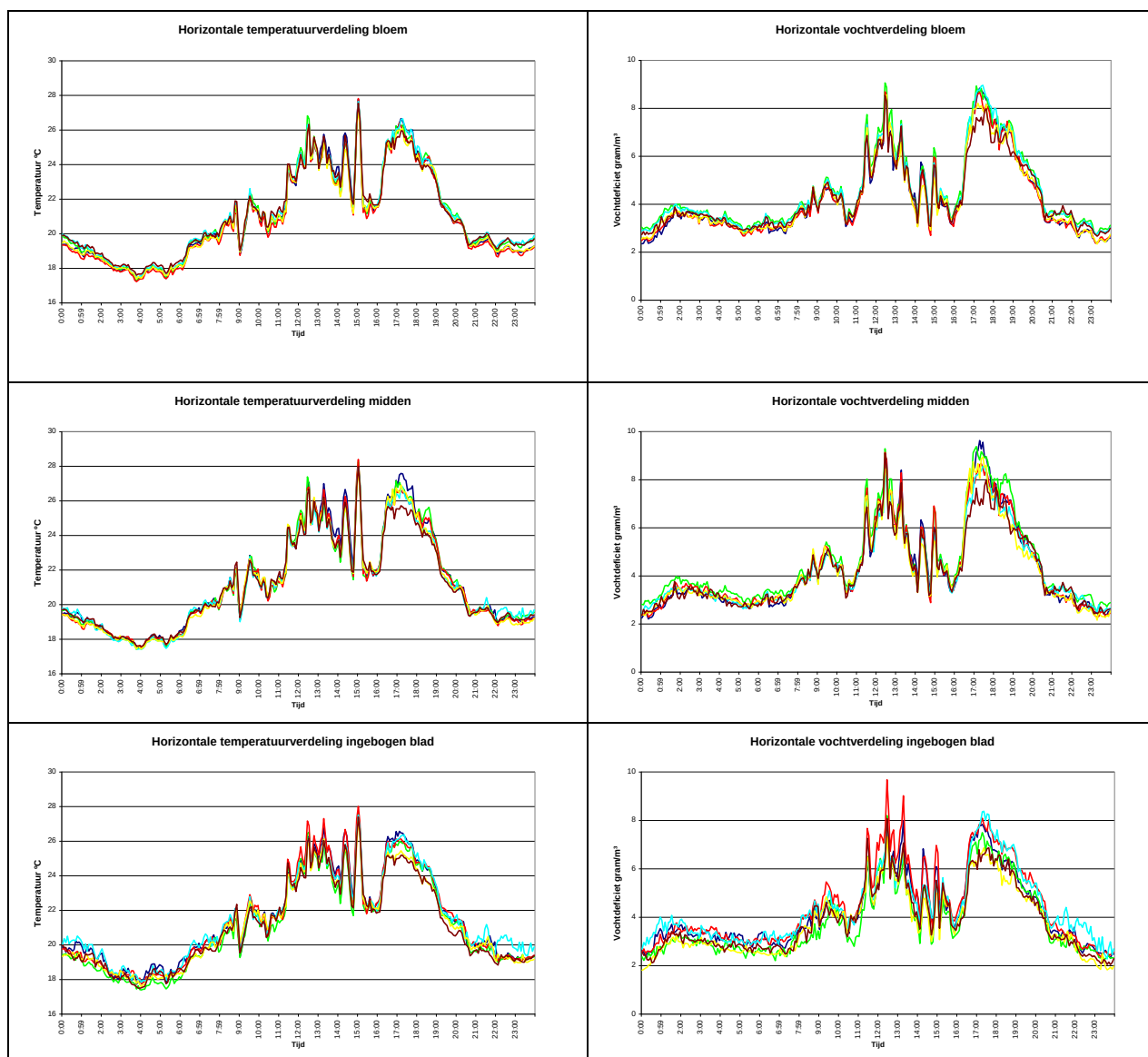
Figuur 61 laat 6 figuren zien wat betreft de horizontale verdeling van temperatuur en vocht. De verdeling van de temperatuur is op ingebogen bladhoogte het slechtst. Hoe hoger men komt des kleiner de gradiënt wordt. Op ingebogen bladhoogte ligt de maximale gradiënt rond de $1,5^{\circ}\text{C}$. Wanneer we naar de horizontale vochtgradiënt kijken is dat op ingebogen het slechtst, op gewas- en op bloemhoogte liggen deze lijnen nagenoeg op elkaar. Het maximaal verschil wat we zien op ingebogen bladhoogte ligt rond de $2,5 \text{ gr/m}^3$. De kans op nat slaan van het gewas is het grootst in de nachtperiode. Het verschil is dan veel kleiner en ligt dan rond de 1 gr/m^3 . De verticale temperatuur- en vochtgradiënt is erg klein.

Klimaatomstandigheden 24 juli 2009



Figuur 62 Klimaatomstandigheden koelen 24 juli Boonekamp Roses

Figuur 62 laat de klimaatomstandigheden zien op 24 juli. Het was een erg wisselvallige dag waarbij de instraling opliep tot $600 \text{ W}/\text{m}^2$ met veel pieken en dalen. Er is gekoeld van 12:30 t/m 14:45 uur. In deze periode is het scherm een aantal maal open en dicht gegaan.



Figuur 63 Horizontale temperatuur- en vochtverdeling 24 juli Boonkamp roses

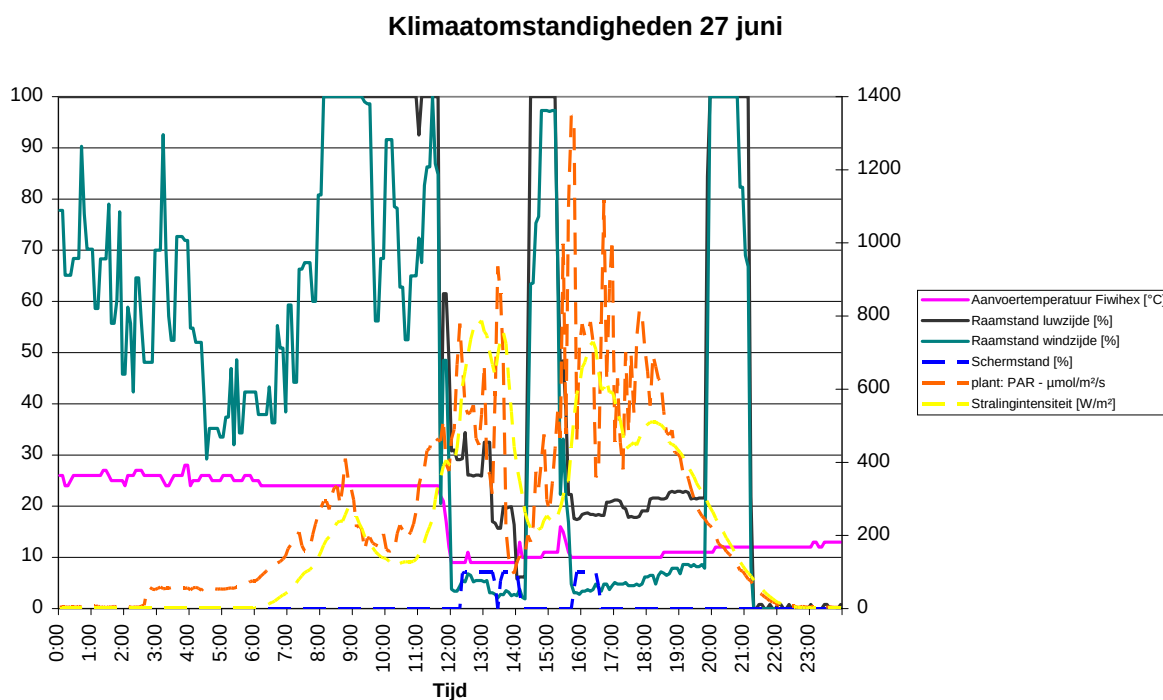
Figuur 63 laat 6 figuren zien wat betreft de horizontale verdeling van temperatuur en vocht. De verdeling van de temperatuur is op ingebogen bladhoogte het slechtst. Hoe hoger in het gewas, des te kleiner de gradiënt wordt. Tijdens de koelperiode van 12:30 tot 14:45 uur is de horizontale gradiënt op alle hoogtes veel kleiner dan wanneer men kijkt naar de periode daarop wanneer de koeling uit gestaan heeft (na 15:00). Tijdens de niet gekoelde periode is de straling nagenoeg gelijk geweest als tijdens de gekoelde periode. Tijdens de niet gekoelde periode heeft de raamstand van de luwe-zijde rond de 80% gelegen en het scherm open terwijl tijdens de gekoelde periode de raamstand tussen de 10 en 20% heeft het gelegen en het scherm een aantal keren open en dicht is gegaan. Blijkbaar heeft een grote raamstand een negatief effect op de temperatuur- en vochtverdeling in het proefvak. De verticale temperatuur- en vochtverdeling is zeer gering te noemen. Logischerwijs zal de verticale gradiënt per meetpunt verschillen als de horizontale gradiënt op een hoogte toeneemt.

Tussen de zonnige en wisselvallige dag is een klein verschil te zien in gradiënt. Bij de zonnige dag is de gradiënt op de getoonde dagen iets groter. Blijkbaar is bij bovendoor koelen de gradiënt voor een klein deel stralingsafhankelijk. Andere factoren zoals de raamstand hebben ook duidelijk invloed op de temperatuurverdeling.

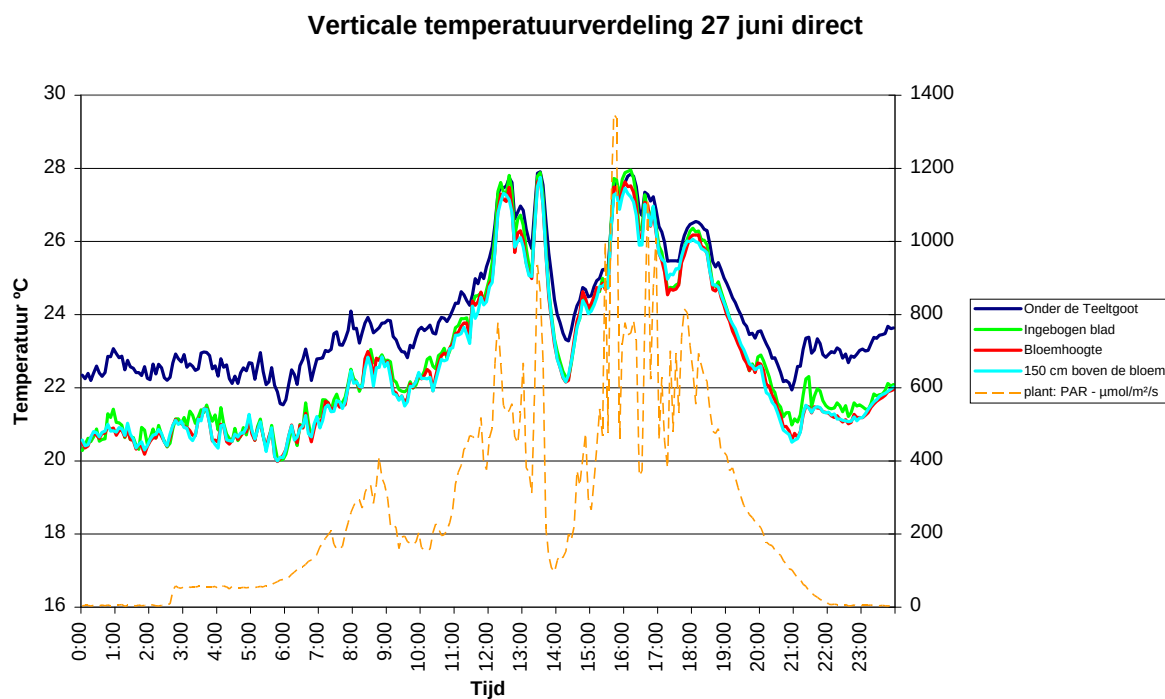
6.1.3 Verticale temperatuursgradiënt, vochtgradiënt en luchtstromen

Om de effecten van bovendoor koelen op de verticale temperatuur- en vochtverdeling te bepalen zijn er gedurende een intensieve meetperiode van 21 mei t/m 2 juli metingen verricht. Uit deze meetperiode is een zonnige dag en wisselvallige dag gekozen die een goed beeld van het effect van bovendoor koelen geven. Naast de temperatuur- en vochtverdeling zijn de luchtstromen in kaart gebracht. De proefopzet is gedetailleerd beschreven in hoofdstuk 2.7.

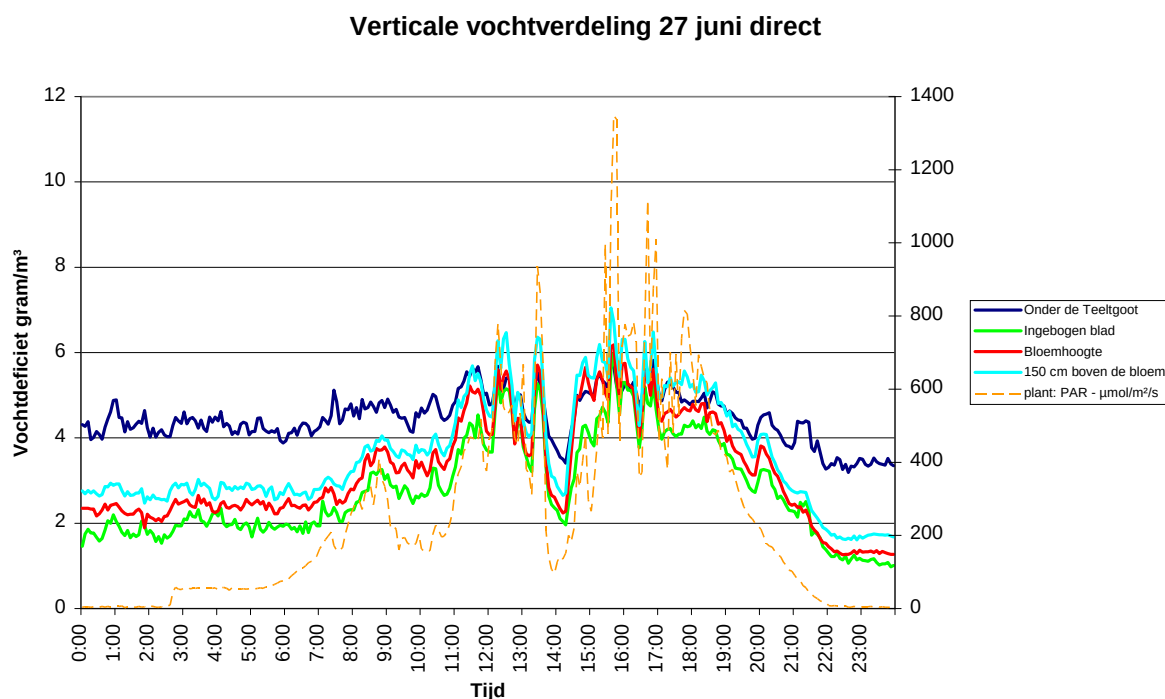
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, verticale temperatuur- en vochtgradiënt en luchtstromen zien wanneer er gekoeld wordt op 27 juni tijdens een wisselvallige dag.



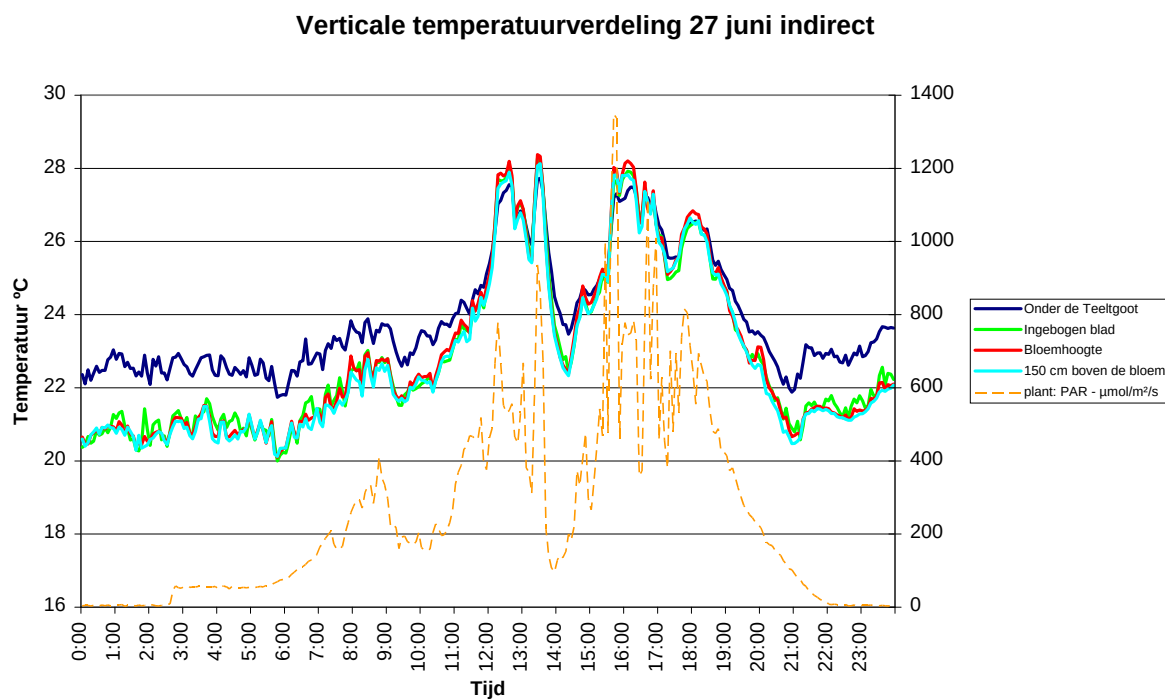
Figuur 64 Klimaatomstandigheden koelen 27 juni Boonekamp roses



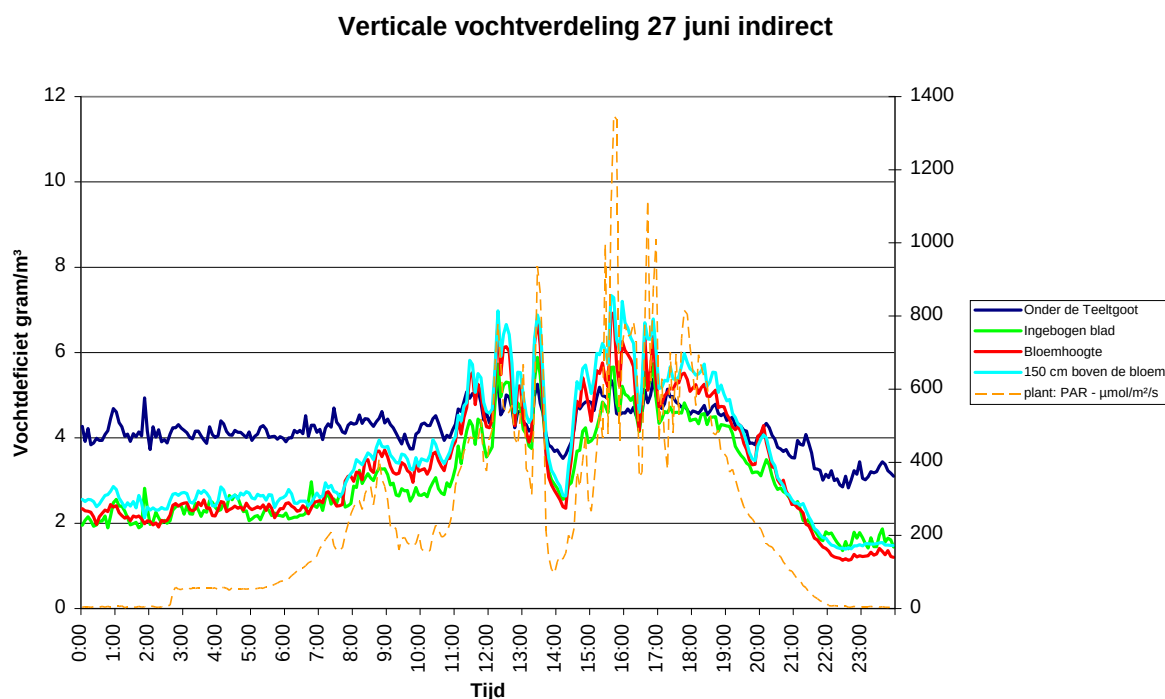
Figuur 65 Verticale temperatuurgradiënt 27 juni in de directe lijn met de FiwiHex Boonekamp roses



Figuur 66 Verticale vochtgradiënt 27 juni in de directe lijn met de FiwiHex Boonekamp roses



Figuur 67 Verticale temperatuurgradiënt 27 juni tussen de Fiwihexen in Boonekamp roses



Figuur 68 Verticale vochtgradiënt 27 juni tussen de Fiwihexen in Boonekamp roses

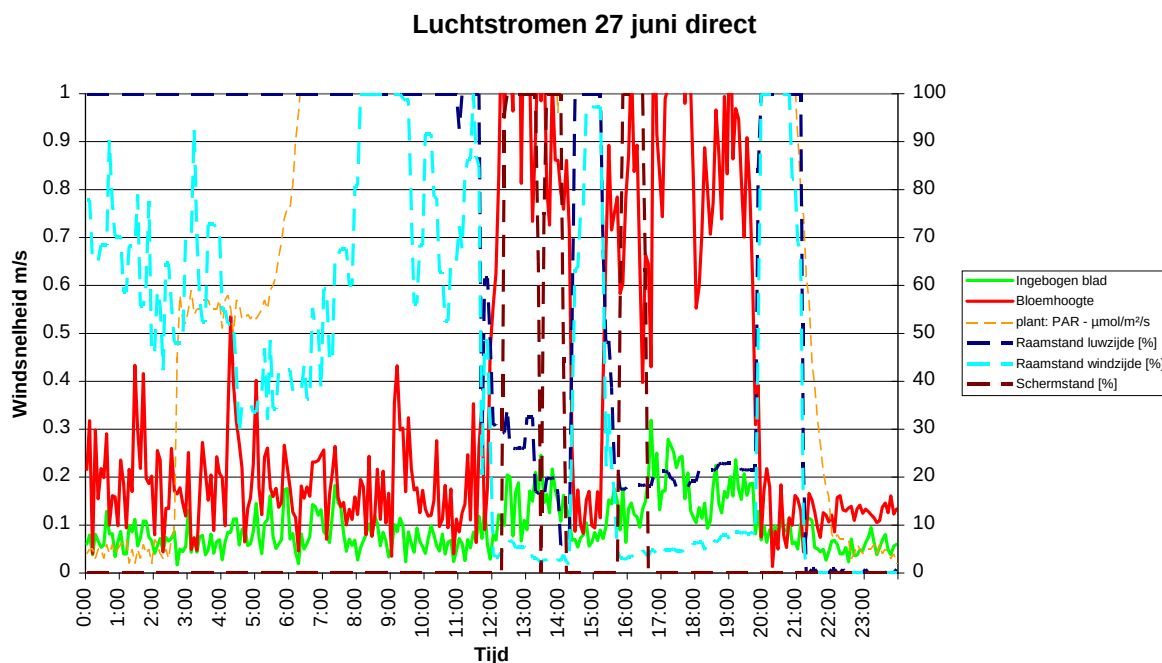
Figuur 64 laat de klimaatomstandigheden zien op 27 juni. Het was een wisselvallige dag waarbij de instraling opliep tot boven de 800 W/m^2 . Er is gekoeld van 11:30 t/m 14:30 uur en van 15:20 t/m 20:00 uur. Het scherm is een aantal keren open en dicht gegaan tijdens het koelen.

Figuur 65 en Figuur 67 laten het verloop zien van de temperatuur op vier hoogtes onder de teeltgoot, ingebogen blad, bloem en 150 cm boven de bloem. Nadat de koeling aangaat (11:30 uur) en de straling toeneemt, is op alle hoogtes een zeer gering verschil in temperatuur te zien. Als we de metingen in directe en indirecte lijn vergelijken dan zien we dat in indirecte lijn op bloemhoogte de hoogste temperaturen gemeten worden en in directe lijn op ingebogen bladhoogte de temperatuur het hoogst is. We praten hier echter over verschillen in decimalen.

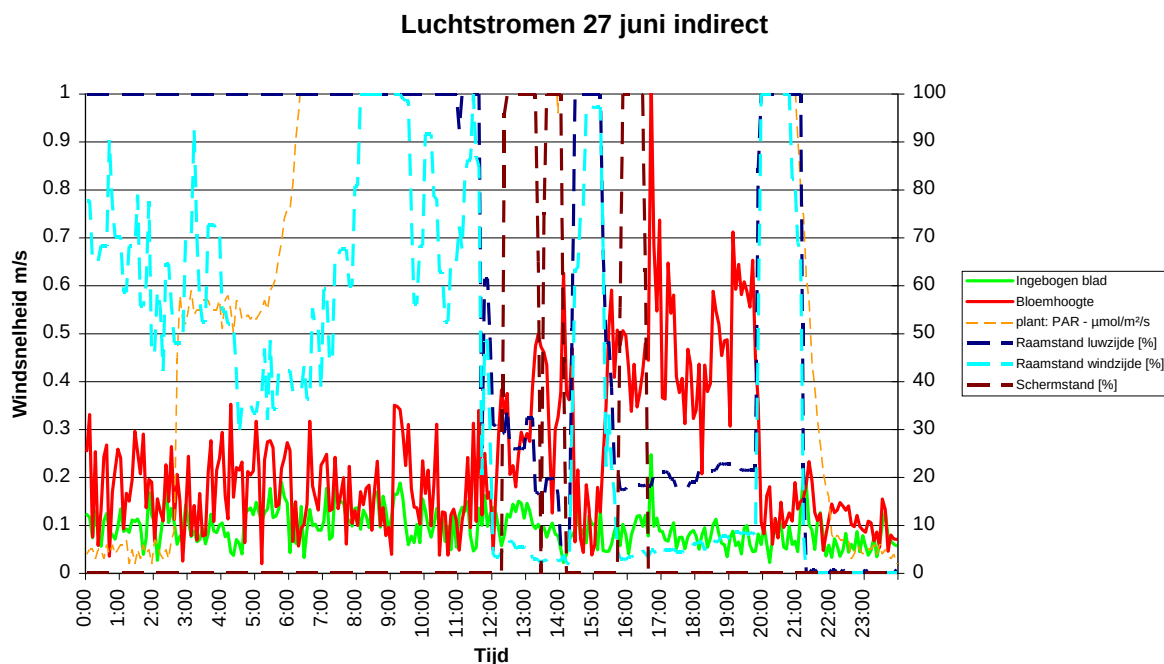
Figuur 66 en Figuur 68 laten het verloop zien van het vochtdeficit. Op het moment dat de koeling aangaat (11:30 uur) en de straling toeneemt, is te zien dat het vochtdeficit op ingebogen blad lager ligt dan de hoger gelegen metingen. Dit is zowel te zien in de directe als indirecte lijn. Er zijn geen grote effecten te zien op de verdeling door de wisselende klimaatomstandigheden. Er is duidelijk een verband te zien met de straling en vochtdeficit. Hoe meer straling hoe hoger het vochtdeficit wordt.

Er zijn geen heftige effecten te zien van de wisselende klimaatomstandigheden. De koeling is twee keer aan en uit geweest, het scherm is een paar keer open en dicht gegaan. Dit is echter niet te zien in de temperatuurgradiënt, alleen in een evenredige daling van de temperatuur op alle hoogtes.

De volgende 2 figuren laten de luchtstromen op 27 juni zien op ingebogen blad en bloemhoogte in directe en indirecte lijn met de FiwiHex.



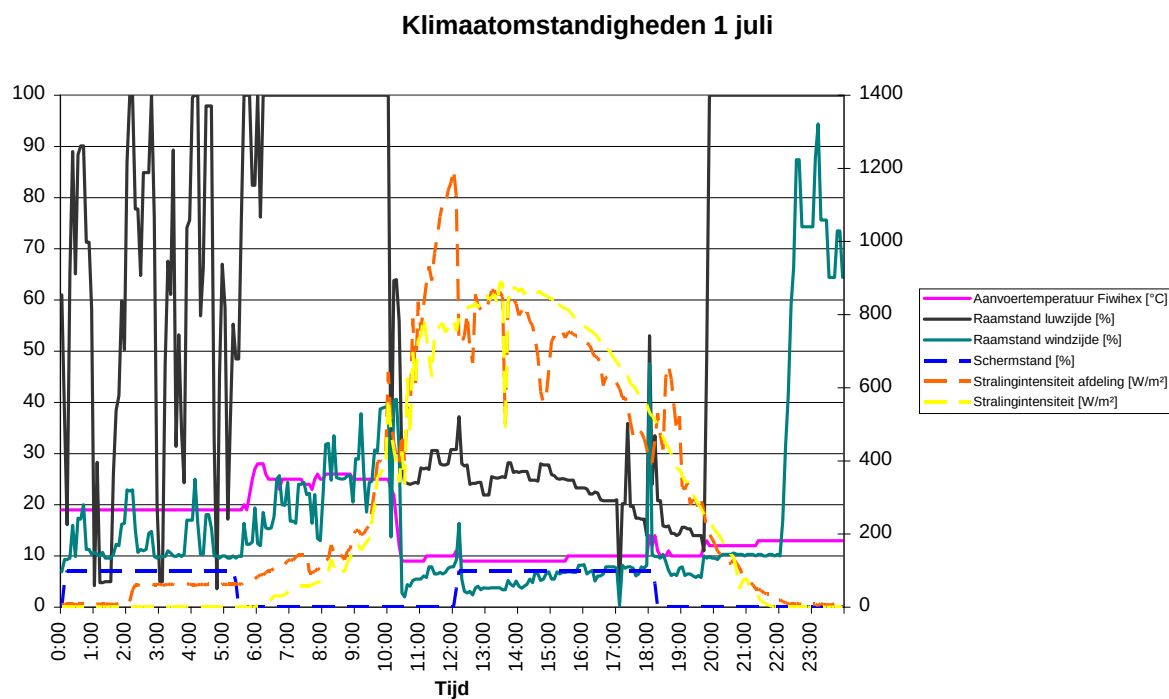
Figuur 69 Luchtstromen 27 juni in de directe lijn met de FiwiHex Boonekamp roses



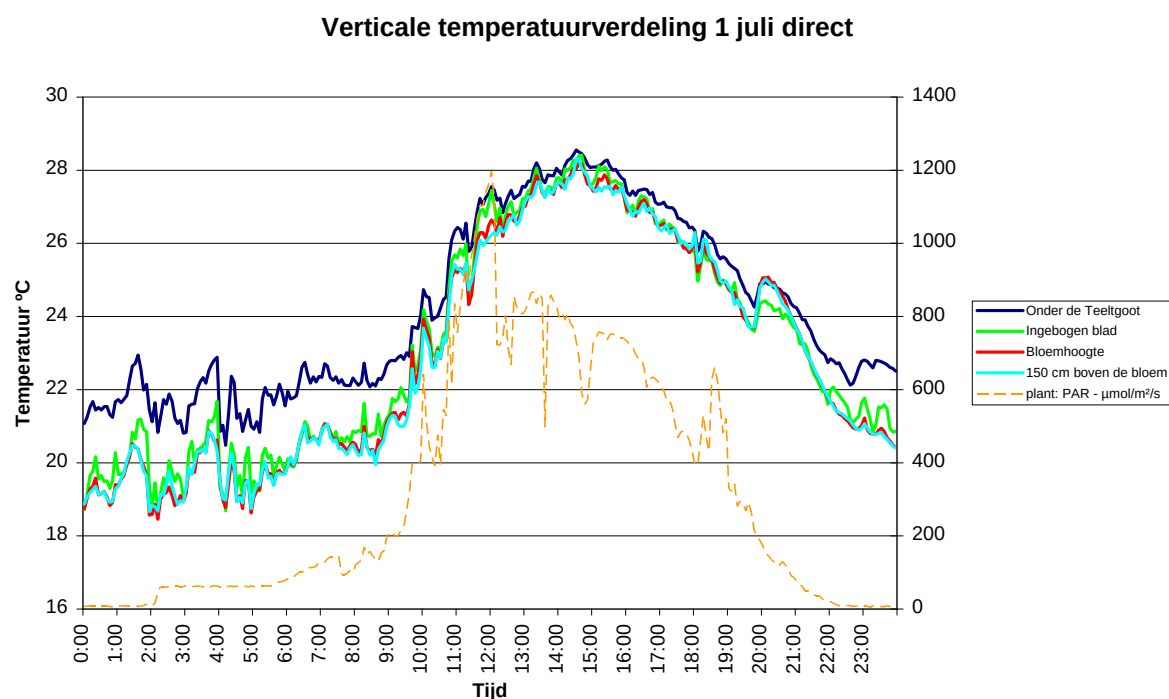
Figuur 70 Luchtstromen 27 juni tussen de Fiwihexen in Boonekamp roses

Figuur 69 en Figuur 70 laten de windsnelheid zien op ingebogen blad- en bloemhoogte. Het effect van het aangaan van de ventilator op de windsnelheid is duidelijk te zien in directe lijn met de Fiwihex. Zowel de snelheid op bloem als ingebogen bladhoogte blijken hierdoor toe nemen. Kijken we naar de meting welke niet in directe lijn staat met de Fiwihex dan zien we alleen een verhoging op bloemhoogte maar neemt de windsnelheid op ingebogen bladhoogte niet toe. Een beoogde verhoging van de luchtstromen is dus pleksgewijs realiseerbaar, maar geen totale verhoging op alle plekken in het proefvak.

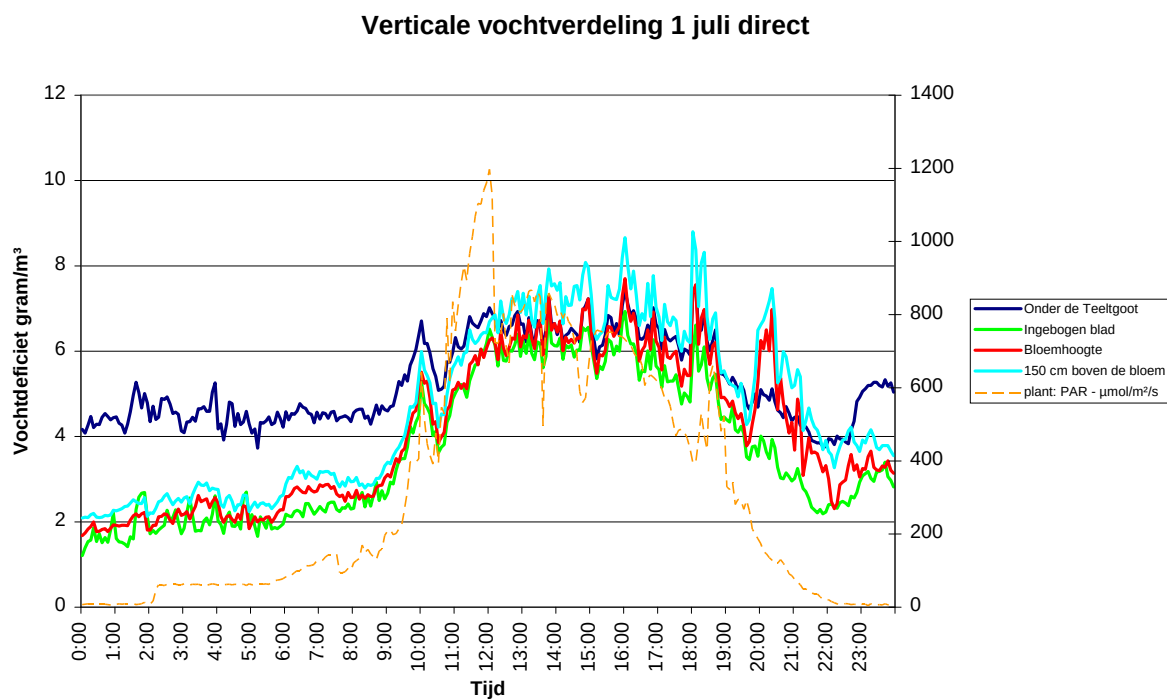
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, verticale temperatuur- en vochtgradiënt en luchtstromen zien wanneer er gekoeld wordt op 1 juli tijdens een zonnige dag.



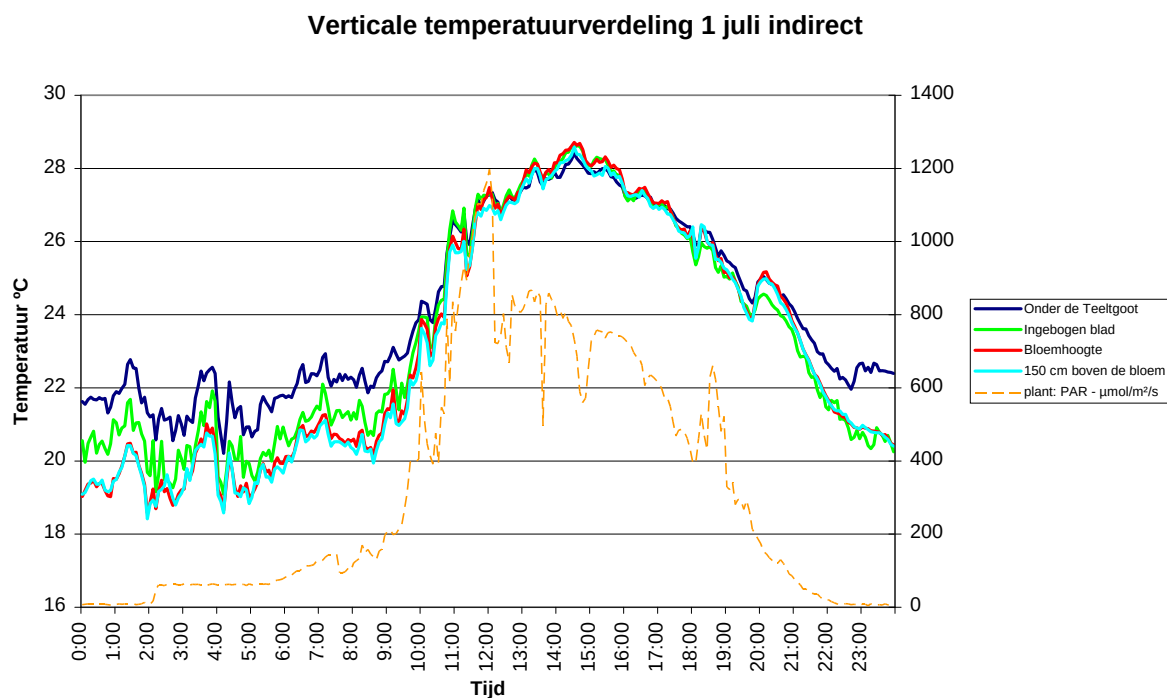
Figuur 71 Klimaatomstandigheden koelen 1 juli Boonekamp roses



Figuur 72 Verticale temperatuurgradiënt 1 juli in directe lijn met de Fiwhex Boonekamp Roses

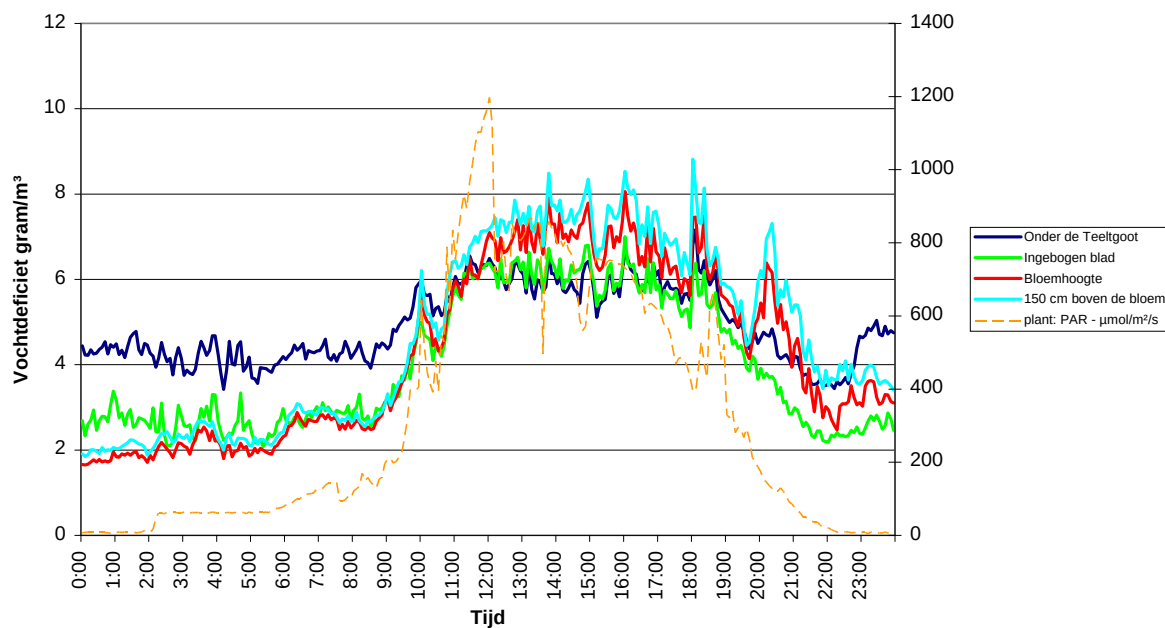


Figuur 73 Verticale vochtgradiënt 1 juli in directe lijn met de Fiwihex Boonekamp roses



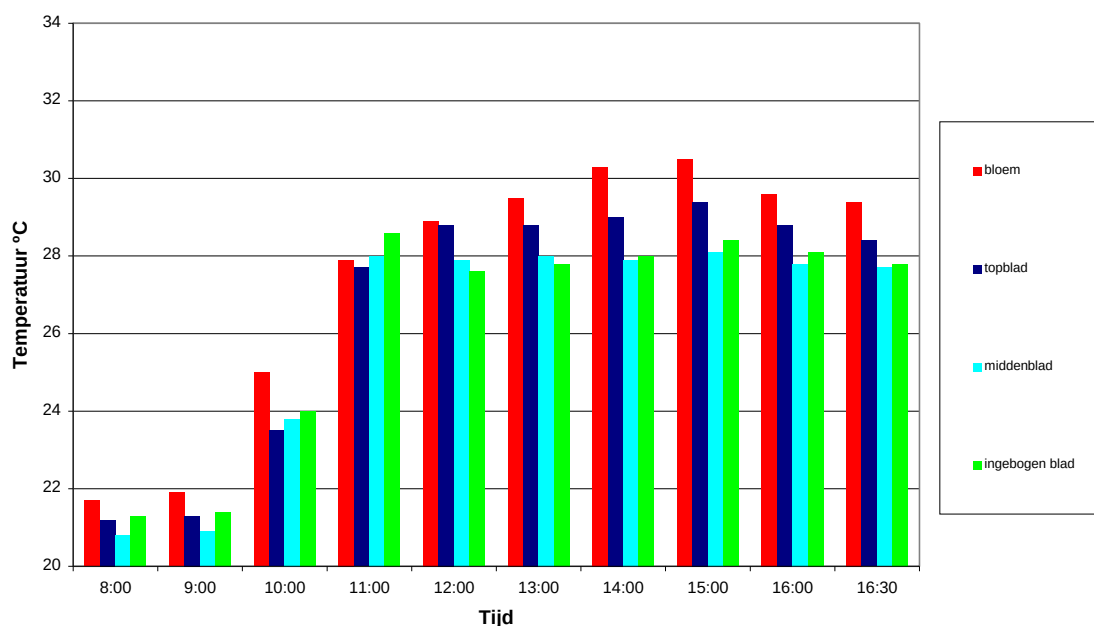
Figuur 74 Verticale temperatuurgradiënt 1 juli tussen de Fiwihexen in Boonekamp Roses

Verticale vochtverdeling 1 juli indirect



Figuur 75 Verticale vochtgradiënt 1 juli tussen de Fiwihexen in Boonekamp roses

Planttemperatuur meting 1 juli 2009



Figuur 76 Planttemperatuur meting 1 juli Boonekamp Roses

Figuur 71 laat de klimaatomstandigheden zien op 1 juli. Het was een zonnige dag waarbij de instraling opliep tot bijna 900 W/m². Er is gekoeld van 10:15 t/m 19:40 uur. Het scherm heeft dicht gelegen van 12:00 tot 18:00 uur.

Figuur 72 en Figuur 74 laten het verloop zien van de temperatuur op vier hoogtes, namelijk onder de teeltgoot, ingebogen blad, bloem en 150 cm boven de bloem. De omgevingtemperatuurgradiënt is zeer gering tijdens het koelen. Er is wel een verschil te zien tussen de meting in directe lijn en indirecte lijn met de FiwiHex. De directe meting laat een iets hogere temperatuur zien op ingebogen bladhoogte. De verschillen waar we over praten zijn echter gering. De afkoeling van de kaslucht is erg gelijkmatig.

Figuur 73 en Figuur 75 laten het verloop zien van het vochtdeficit. Het vochtdeficit is op ingebogen bladhoogte tijdens het koelen gemiddeld het laagst. Het vochtdeficit onder de teeltgoot is bij de meting tussen de FiwiHex in soms iets lager dan op ingebogen bladhoogte. Het verschil tussen ingebogen blad en bloemhoogte is in indirecte lijn groter dan in directe lijn. De verschillen zijn dusdanig klein dat er geen sprake is van een slechte verdeling en daarmee een instabiel klimaat.

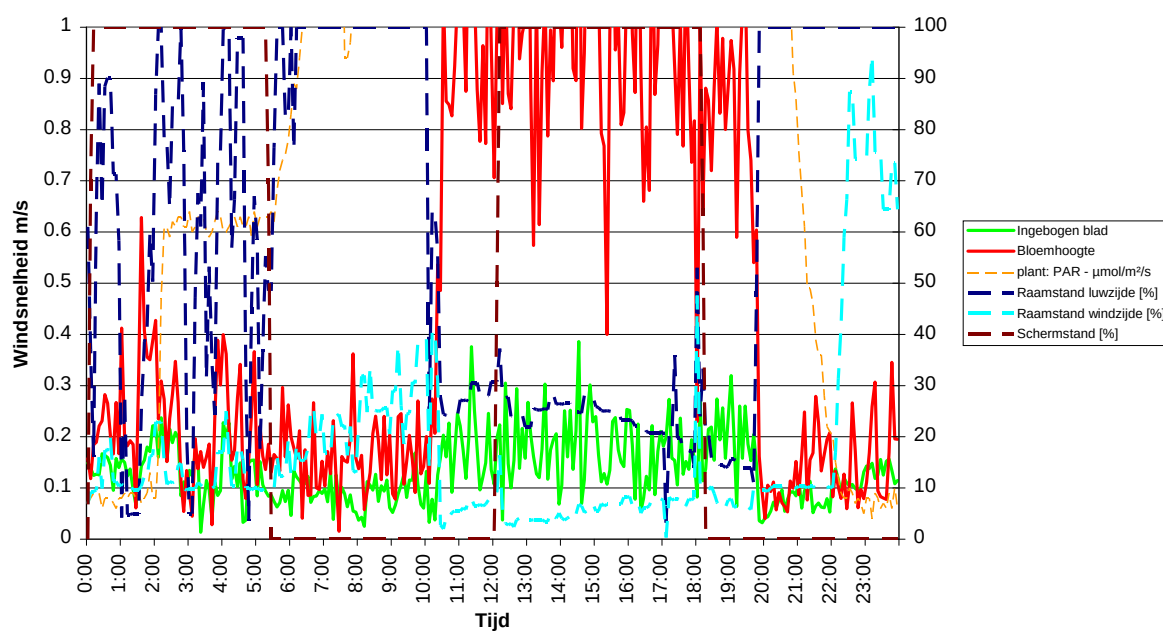
Figuur 76 laat de planttemperatuur metingen zien die tijdens dezelfde dag zijn verricht. De planttemperatuurmetingen die in Figuur 76 gepresenteerd worden zijn gemiddelde waarden van een aantal meetplanten in directe en in niet directe lijn met de FiwiHex. De metingen laten zien dat de bloem continu het hoogst is door de beperkte verdampingscapaciteit. Het ingebogen blad en het middenblad zijn het laagst.

Aan de hand van de getoonde temperatuur- en vochtmetingen kan geconcludeerd worden dat bovendoor koelen een zeer stabiel klimaat geeft.

Figuur 77 en Figuur 78 laten de windsnelheid zien op ingebogen blad en bloemhoogte. Het effect van het aangaan van de ventilator op de windsnelheid is duidelijk te zien in direct lijn met de FiwiHex, waar zowel de windsnelheid op bloem- als ingebogen bladhoogte toenemen. Kijken we naar de meting welke niet in directe lijn staat met de FiwiHex dan zien we alleen een verhoging op bloemhoogte. De windsnelheid op ingebogen bladhoogte neemt niet toe en lijkt eerder af te nemen. Een beoogde verhoging van de luchtstromen is dus pleksgewijs realiseerbaar, maar geen totale verhoging op alle plekken in het proefvak.

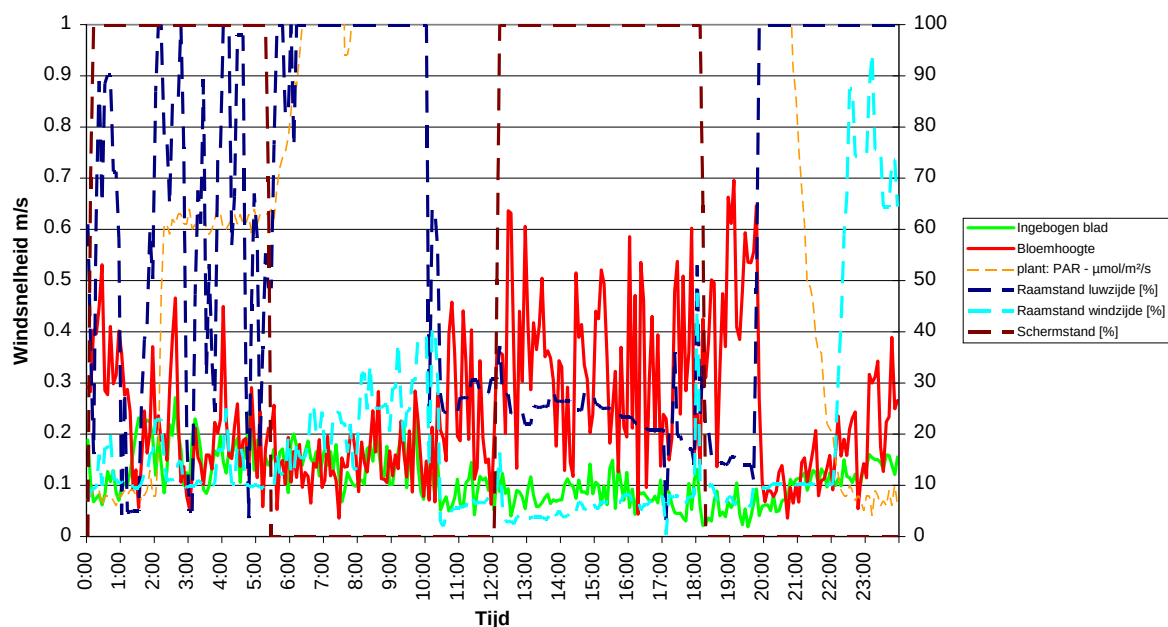
De luchtstroming metingen laten zien dat de lucht in beweging komt door het aanzetten van de FiwiHex ventilator. Factoren als grootte van het bladpakket c.q. gewasdichtheid en plaats van het gewas t.o.v. de ventilator zijn bepalend of er een verhoging van de luchtbeweging optreedt. Gezien de egale temperatuur- en vochtmetingen wordt er wel voldoende menging van de kaslucht gecreëerd.

Luchtstromen 1 juli direct



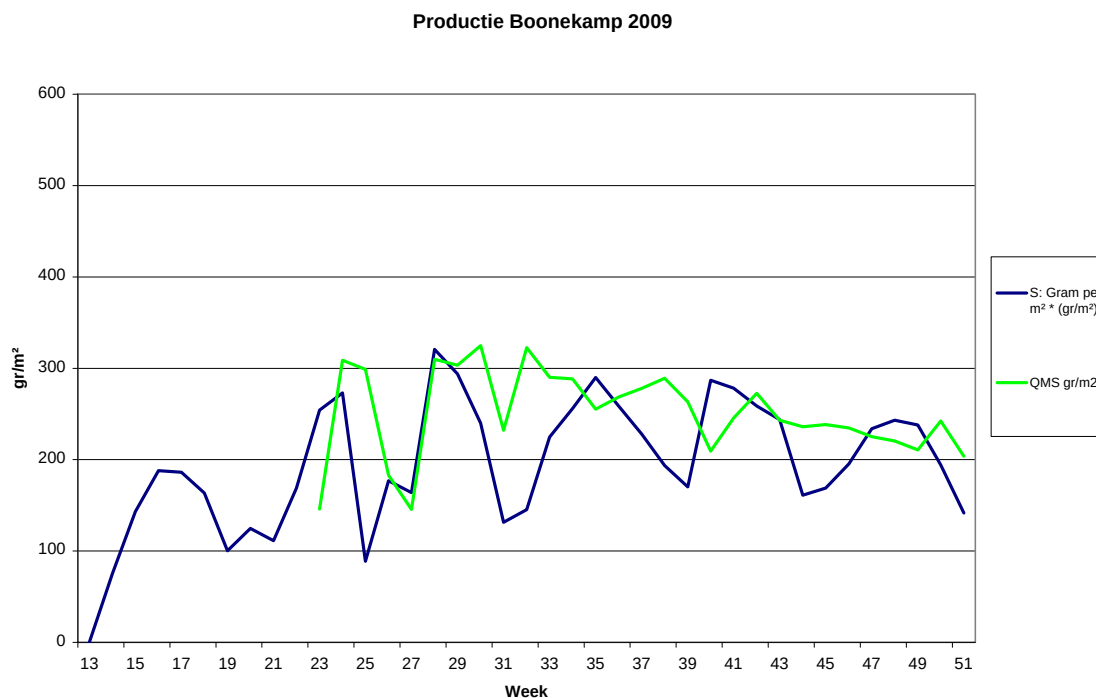
Figuur 77 Luchtstromen 1 juli in directe lijn met de Fiwihex Boonekamp Roses

Luchtstromen 1 juli indirect



Figuur 78 Luchtstromen 1 juli tussen de Fiwihexen in Boonekamp Roses

6.2 Productie en kwaliteitsgegevens 2009



Figuur 79 Productiecijfers tov QMS ongekoeld 2009 Boonekamp Roses

Figuur 79 laat de productie zien bij Boonekamp Roses ten opzichte van de berekende productie met QMS. De gerealiseerde productie volgt op sommige momenten de berekende productie goed en op sommige momenten ligt de gerealiseerde ver achter op de berekende. Er is nog een duidelijk snee-effect te zien. Het verschil vanaf week 23 is een lagere gerealiseerde productie van 936 gr/m² ten opzichte van de berekening, dit is 87%. Dit lage percentage kan verklaard worden omdat er relatief veel gewasafval is geweest.

Kijken we naar de kwaliteitsgegevens dan zien wij dat er vanaf week 25 gemiddelde 3,8 takken per week/m² zijn geknipt. De gemiddelde lengte van de takken was 66,4 cm. De kwaliteit van de takken was 0,84 gr/cm. Of deze waarden gunstig zijn ten opzicht van de conventionele situatie van telen is moeilijk te zeggen omdat er geen goede referentie is.

6.3 Resultaten klimaatmetingen bovendoor verwarmen 2008-2009

6.3.1 Opzet

Tijdens een intensieve meetperiode van 2 t/m 16 maart 2009 zijn er verschillende situaties onderzocht. In Tabel 5 staat het tijdschema van de situaties weergegeven.

In hoofdlijnen zijn er 3 situaties onderzocht namelijk:

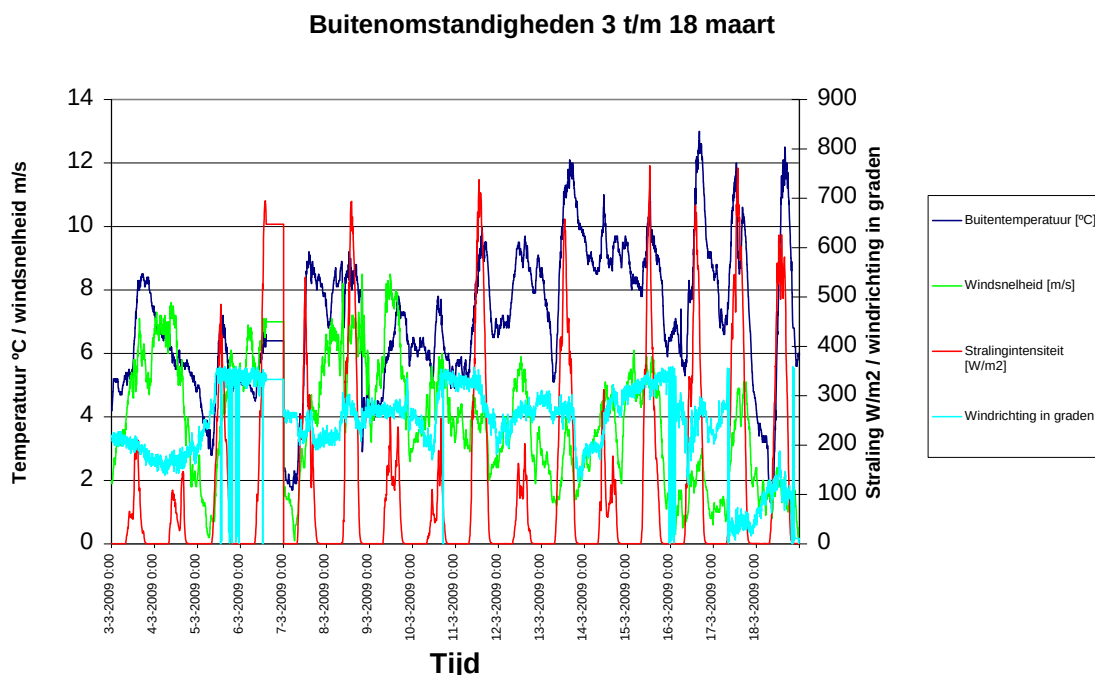
- Conventioneel verwarmen met minimum buis,
- Verwarmen met het ondernet zonder minimum buis en de ventilator van de FiwiHex aan en
- Verwarmen met de FiwiHex.

Tabel 5 Tijdschema situaties verwarmen Boonekamp Roses

Tijdschema proefsituaties verwarmen Boonekamp Roses		
Datum	Tijd	Proefsituatie
2-3		Conventioneel met minimum buis.
4-3	10:00	Conventioneel ventilator 58% zonder minimum buis.
5-3	6:30	Conventioneel ventilator 40% zonder minimum buis.
6-3	9:00	Verwarmen met FiwiHex 58% (op 7-3 is de ventilatorstand handmatig om 58% gezet).
10-3	10:30	Verwarmen met FiwiHex 40%.
11-3	20:00	Ventilatorstand naar 58% gezet.
12-3	8:30	Ventilator regelt naar beneden.
13-3	13:00	Verwarmen FiwiHex 40%.
14-3	16:30	Conventioneel verwarmen met minimum buis.
16-3		Ophalen temperatuurloggers.

Om de effecten van deze situaties in kaart te brengen zijn er verschillende klimaatmetingen verricht. De horizontale temperatuurverdeling is in kaart gebracht door 160 dataloggers op verschillende hoogtes op te hangen. Bij deze horizontale metingen zijn alleen de nachtperiodes relevant. Overdag hebben de loggers te veel last van stralingsinvloed. De verticale temperatuursverdeling en de verticale vochtverdeling is bepaald door te meten met akoestische meetapparatuur.

In Figuur 80 zijn de buitenomstandigheden tijdens de meetsessie weergegeven.

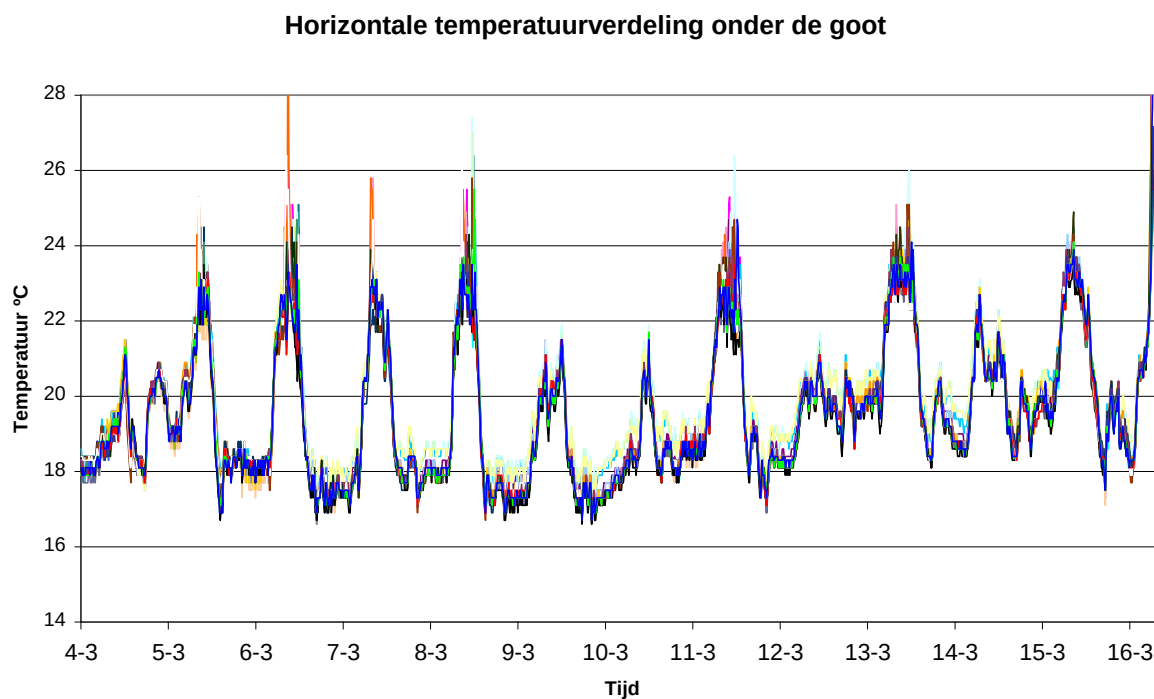


Figuur 80 Buitenomstandigheden verwarmingsproef 3 t/m 18 maart Boonekamp Roses

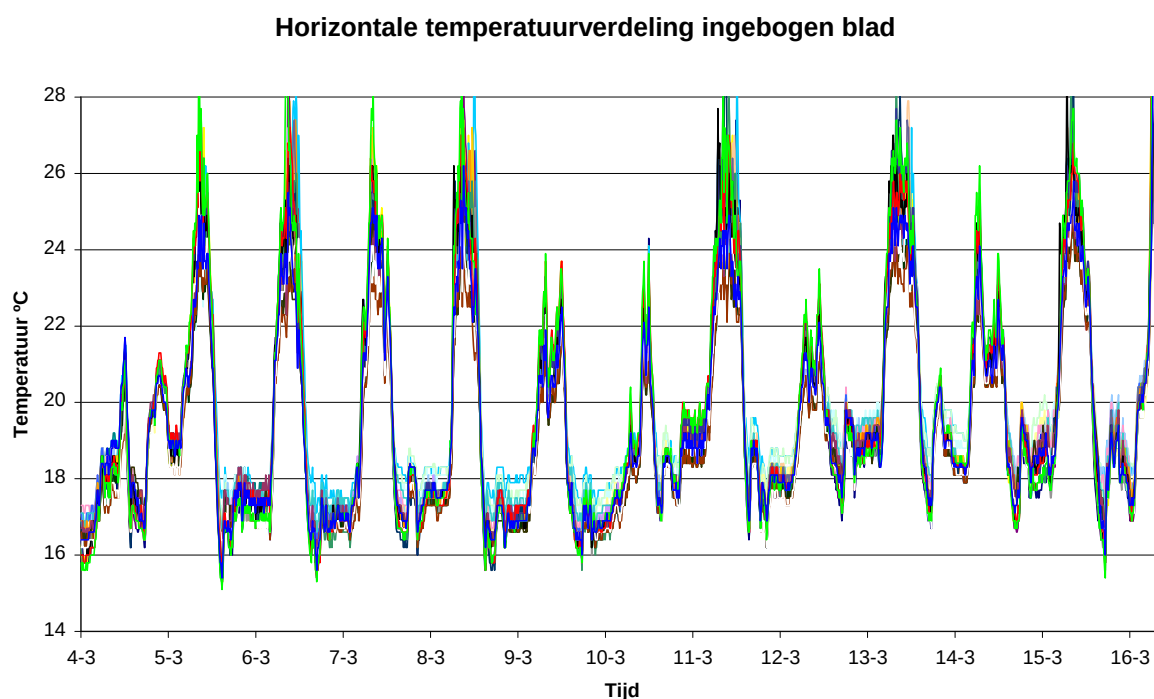
6.3.2 Horizontale Temperatuurverdeling

Om de horizontale temperatuurverdeling in het proefvak te bepalen zijn op 20 verschillende posities in de kas temperatuurloggers opgehangen op vier verschillende hoogtes, namelijk onder de teeltgoot, ingebogen blad, gewas en bloemhoogte. De resultaten van de metingen zijn in de volgende figuren weergegeven. De maatstreepjes op de X-as zijn weergegeven om 4:00 uur 's ochtend op de desbetreffende dag.

In Figuur 81 is er een geringe temperatuurvariatie te zien. Het verschil wordt over de gehele periode maximaal 1,5°C. Wanneer op 14 maart om 16:30 uur de verwarming omgezet wordt van verwarming met de Fiwihex naar conventioneel verwarmen lijkt het erop dat de verdeling iets beter wordt.

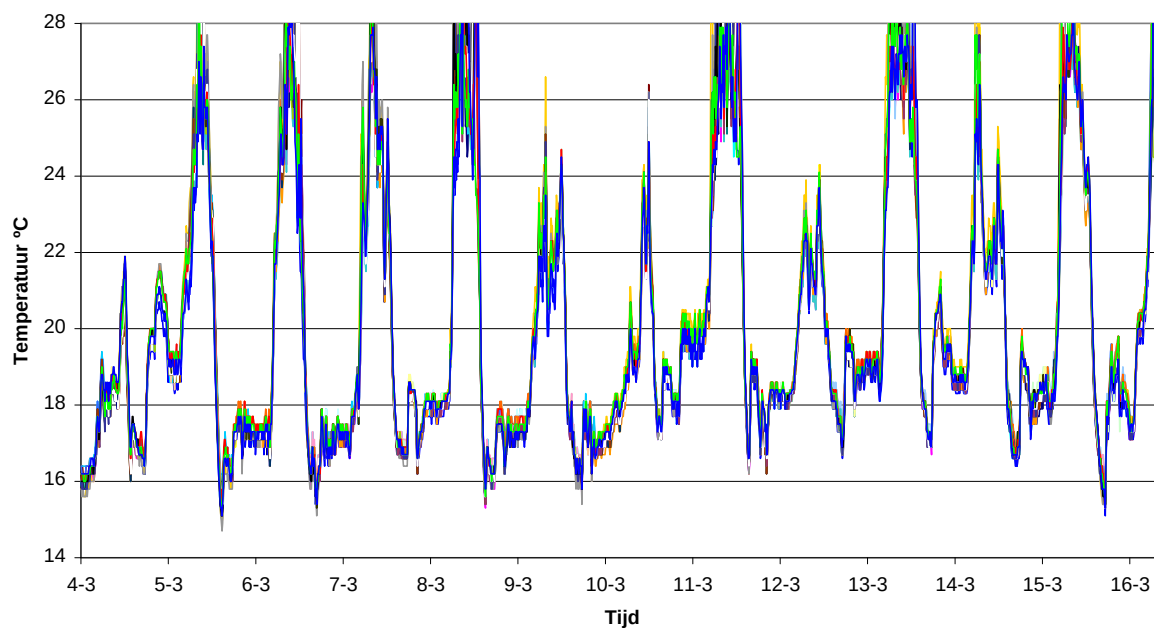


Figuur 81 Horizontale verdeling onder de teeltgoot Boonekamp Roses

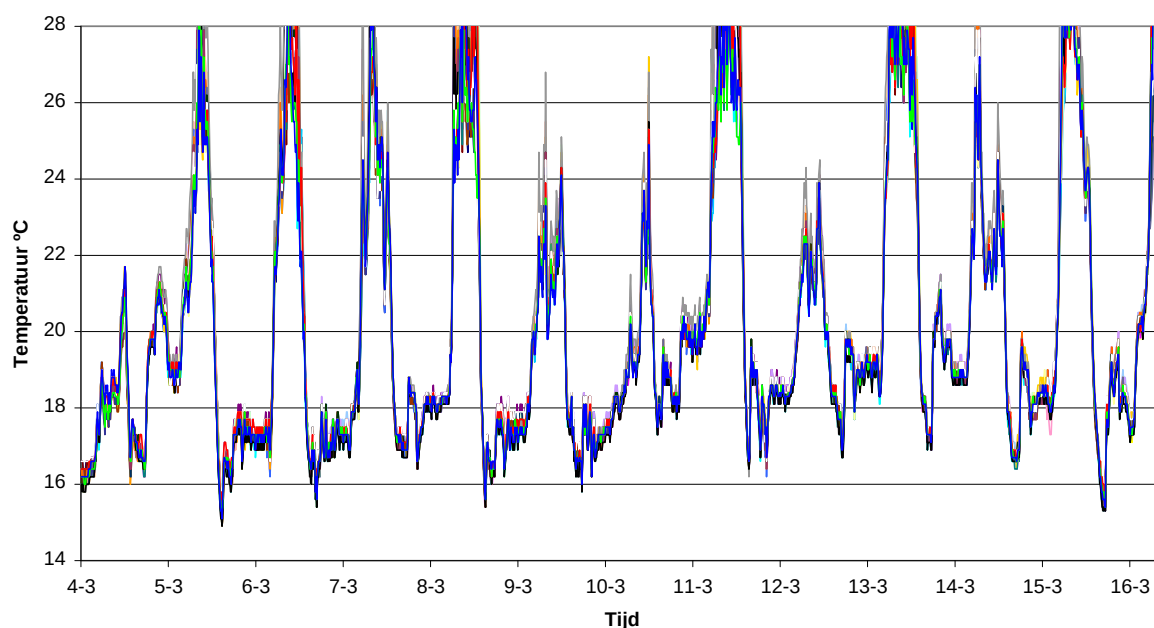


Figuur 82 Horizontale verdeling ingebogen blad Boonekamp Roses

In Figuur 82 is bij alle proefsituaties een temperatuurvariatie te zien. Het verschil wordt over de gehele periode maximaal 2,0°C als we kijken naar de nachtperiodes. Op deze hoogte is geen duidelijke verbetering of verslechtering van de temperatuursverdeling te zien bij de ingestelde proefsituaties.

Horizontale temperatuurverdeling gewas**Figuur 83 Horizontale verdeling gewas Boonekamp Roses**

In Figuur 83 is bij alle proefsituaties een temperatuurvariatie te zien. Het verschil wordt over de gehele periode maximaal 1,0°C als we kijken naar de nachtperiodes. Op deze hoogte is geen duidelijke verbetering of verslechtering van de temperatuursverdeling te zien bij de ingestelde proefsituaties.

Horizontale temperatuurverdeling bloem**Figuur 84 Horizontale verdeling bloem Boonekamp Roses**

In Figuur 84 is bij alle proefsituaties een kleine temperatuurvariatie te zien. Het verschil wordt over de gehele periode maximaal 1,0°C als we kijken naar de nachtperiodes. Op deze hoogte is geen duidelijke verbetering of verslechtering van de temperatuursverdeling te zien bij de ingestelde proefsituaties.

Kijkend naar de figuren is er geen duidelijke verandering op ingebogen blad, gewas- en bloemhoogte op de horizontale temperatuurverdeling te zien tussen de verschillende proefsituaties. Opvallend is te zien dat de verdeling steeds beter wordt naarmate men op een hogere hoogte meet. Een rede daarvoor kan zijn, dat de gewasweerstand (dikte van het gewas) steeds meer afneemt in de hoogte waardoor de lucht zich beter kan mengen. De gewasweerstand van het gewas was in vergelijking met een volgroeid rozen-gewas klein, zoals vermeldt in hoofdstuk Accommodatie en teeltgegevens Boonekamp Roses. Er is hier gemeten bij een jonge aanplant 'Grande Amore'.

6.3.3 Verticale temperatuur- en vocht verdeling

Om het effect van verwarmen met het ondernet en FiwiHex in kaart te brengen is er op een vast punt op 6 hoogtes temperatuur- en vocht gemeten. In deze paragraaf worden de resultaten van deze metingen onder verschillende situaties getoond. Naast de temperatuur- en vochtmetingen zijn tevens de luchtstromen op de gemeten hoogtes in kaart gebracht.

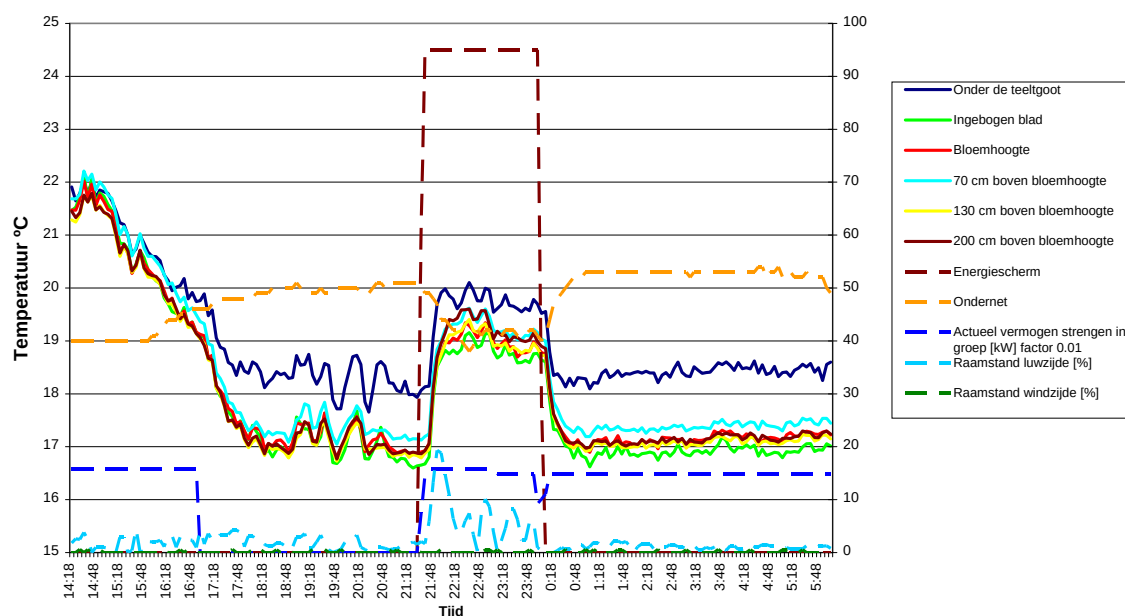
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, temperatuur- en vochtgradiënt zien bij conventioneel verwarmen met een minimumbuis. De klimaatgegevens uit de klimaatcomputer zijn weergegeven als een stippellijn en hebben de waarden op de rechter Y-as staan. De akoestische temperatuurmetingen zijn een vloeiende lijn en hebben de waarden op de linker Y-as staan. Deze indeling geldt voor alle figuren in deze paragraaf.

Figuur 85 en Figuur 86 laten de verticale temperatuur- en vocht verdeling zien wanneer er conventioneel met het ondernet en minimum buis wordt verwarmd. Te zien is dat de verticale temperatuurverdeling heel dicht bij elkaar zit. De grootste variatie zien we als het energiescherm dicht gaat. Bij het dicht gaan van het energiescherm volgt direct een verlaging van de buistemperatuur. Op hetzelfde moment gaat de belichting aan met een capaciteit van ongeveer $63 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

Het vochtdeficit blijft op alle hoogtes boven de $2 \text{ gr}/\text{m}^3$. Op ingebogen bladhoogte is het vochtgehalte het laagst. Tijdens de donkerperiode ligt het energiescherm helemaal open, dit vergemakkelijkt de vochtafvoer naar buiten toe. Bij een dicht scherm zou het vochtdeficit lager kunnen liggen.

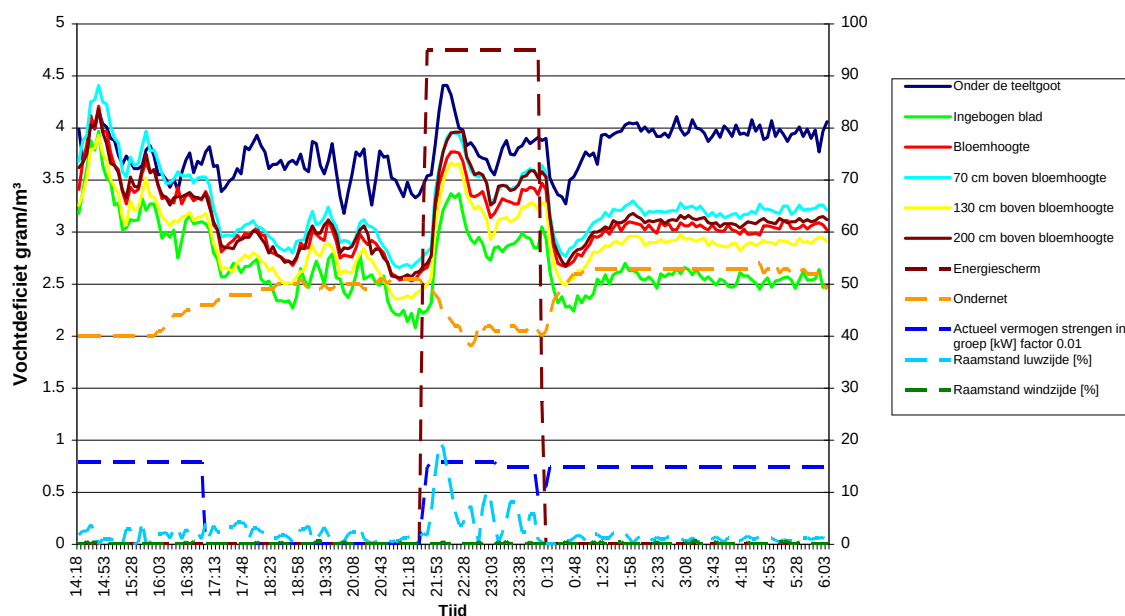
Doel van deze meting was om in kaart te brengen wat de verticale temperatuur- en vochtgradiënt is tijdens traditioneel verwarmen. De meting dient als basis en daarmee vergelijk voor de verdere metingen besproken in het volgende deel van dit hoofdstuk.

Verticale temperatuurgradient 3-4 maart

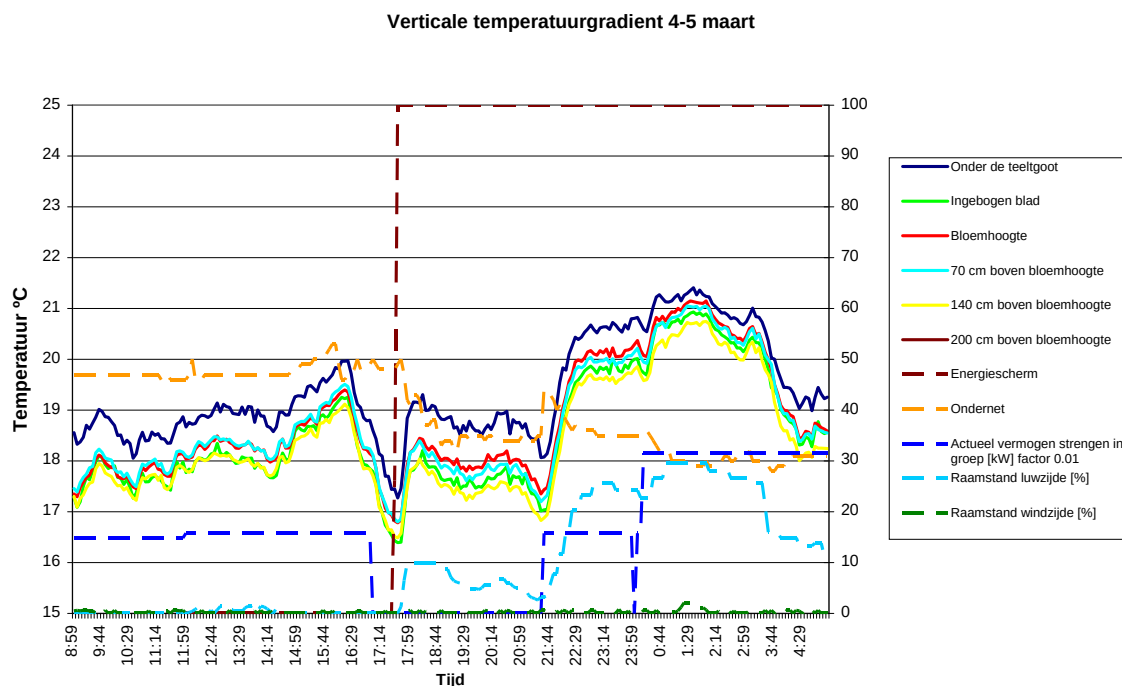


Figuur 85 Verticale temperatuurgradient conventioneel verwarmen met minimum buis Boonekamp Roses

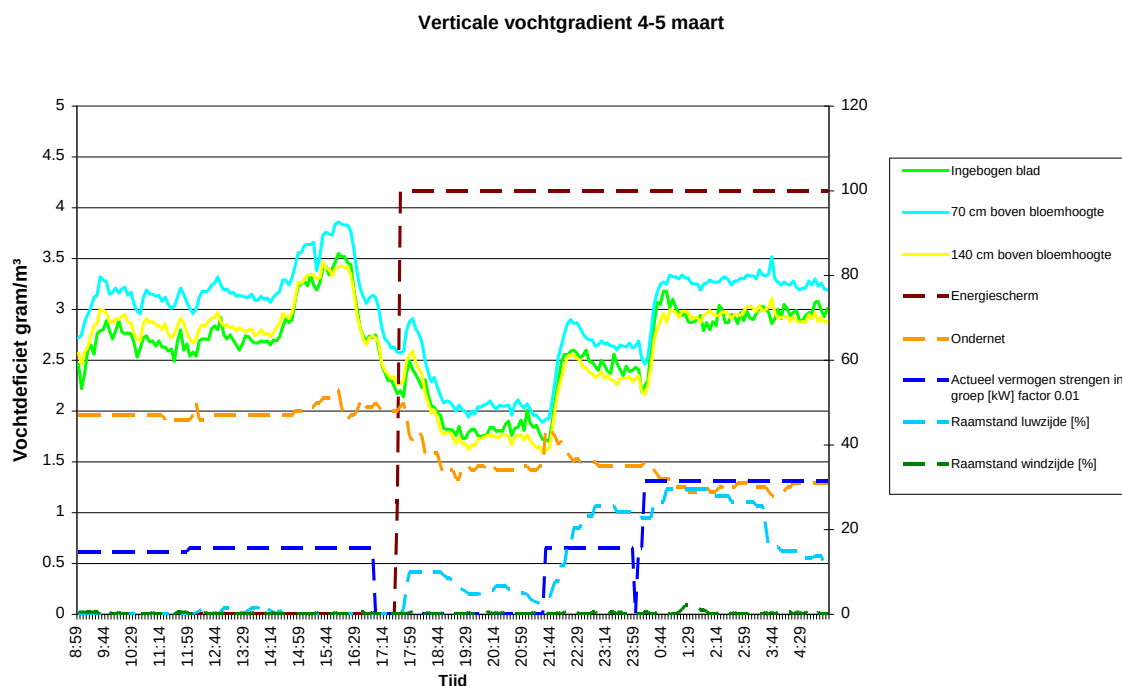
Verticale vochtgradient 3-4 maart



Figuur 86 Verticale vochtgradient conventioneel verwarmen met minimum buis Boonekamp Roses



Figuur 87 Verticale temperatuurgradiënt conventioneel verwarmen met fiwihex ventilator op 58% Boonekamp Roses



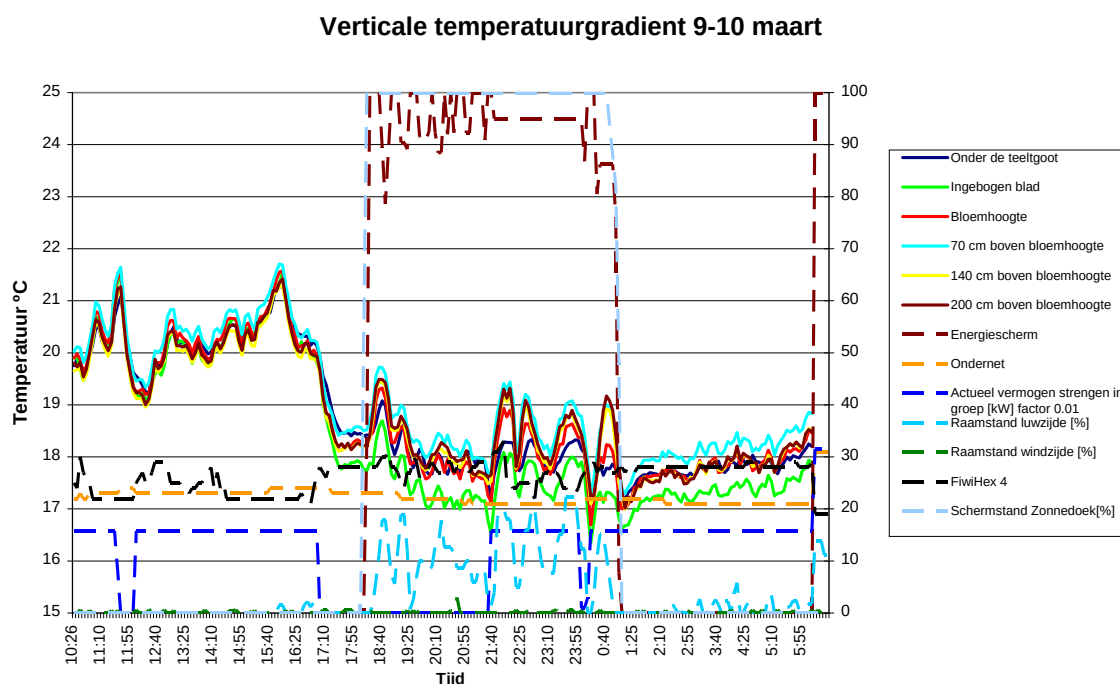
Figuur 88 Verticale vochtgradiënt conventioneel verwarmen met fiwihex ventilator op 58% Boonekamp Roses

Figuur 89 en Figuur 91 laten de verticale temperatuur- en vochtverdeling zien wanneer er verwarmd wordt met het ondernet zonder minimum buis en de Fiwihex ventilator op 58%.

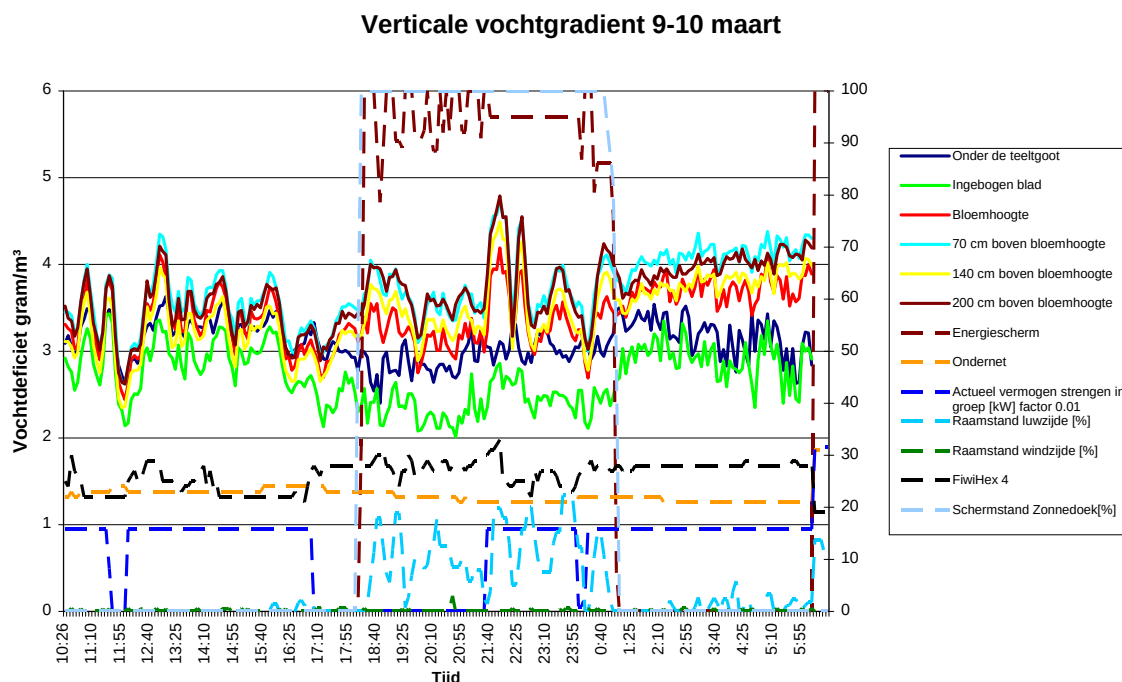
Het weglaten van een ingestelde minimum buis temperatuur heeft effect op de verticale temperatuurverdeling. Om 17:30 uur ging het doek dicht en is de belichting uit gegaan waardoor de buistemperatuur zakt. Door de verlaging van de buistemperatuur wordt de verticale temperatuurgradiënt groter maar blijft gering. Wanneer de belichting aan staat is de verticale temperatuurgradiënt kleiner dan wanneer deze uit staat.

Het vochtdeficit komt in de meest kritische periode, de donkerperiode, onder de 2 gr/m³. In die periode is het energiescherm dicht en daalt de buistemperatuur naar $\pm 34^{\circ}\text{C}$. Wanneer de belichting aangaat is er een directe stijging van het vochtdeficit te zien. Het vochtdeficit komt op een lagere waarde dan de metingen die gedaan zijn op 3-4 maart met een minimumbuis. Verschil is dat tijdens de meting van 3-4 maart het energiescherm helemaal open heeft gelegen, terwijl bij deze meting het scherm juist helemaal dicht heeft gelegen.

Doel van de metingen was om aan te tonen de Fiwihex ventilator de functies van de minimumbuis kan overnemen. De temperatuurmetingen geven geen grote gradiënt weer. Het vochtgehalte zakt wel naar een lage waarde. Of de Fiwihex ventilator de functie van de minimumbuis kan overnemen is dan ook de vraag. Feit is wel dat zonder een ingestelde minimumbuis het klimaat geen extreme veranderingen laat zien. Zeker als de belichting aan staat lijkt er geen noodzaak te zijn voor een minimumbuis instelling.



Figuur 89 Verticale temperatuurgradiënt verwarmen met Fiwihex ventilator op 58% Boonekamp Roses



Figuur 90 Verticale vochtgradiënt verwarmen met fiwihex ventilator op 58% Boonekamp Roses

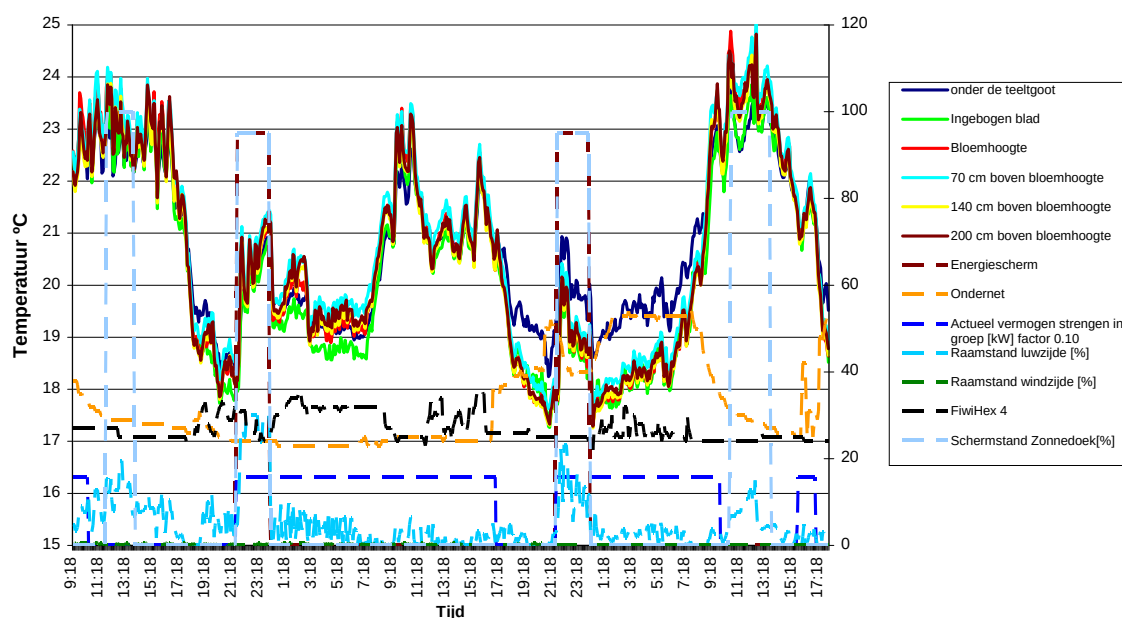
Figuur 89 en Figuur 90 laten de verticale temperatuur- en vochtverdeling zien wanneer er verwarmd wordt met de FiwiHex met een ventilatorstand van 58%. Zoals in de meting te zien is, is er tussen 18:00 en 01:00 uur geschermd. Het energiescherm heeft een aantal malen een kier getrokken. De opening die hierbij ontstond is gevuld met het zonnedoek. Oftewel 95% energiescherm en 100% Zonnedoek betekent dat er 95% energiescherm te zien was en 5% zonnedoek.

Bij het bovendoor verwarmen met de FiwiHex is duidelijk te zien dat de temperatuur bij het ingebogen blad het laagst is. Bij conventioneel verwarmen is het verschil tussen bloem en ingebogen bladhoogte kleiner. Het verschil tussen de meting op ingebogen blad en bloem hoogte wordt nooit hoger dan 1°C.

Het vochtdeficiet is bij deze meting op ingebogen bladhoogte het laagst. De meting blijft altijd boven de 2 gr/m³, ook in de donkerperiode waarbij er een deel geschermd en een deel niet geschermd wordt.

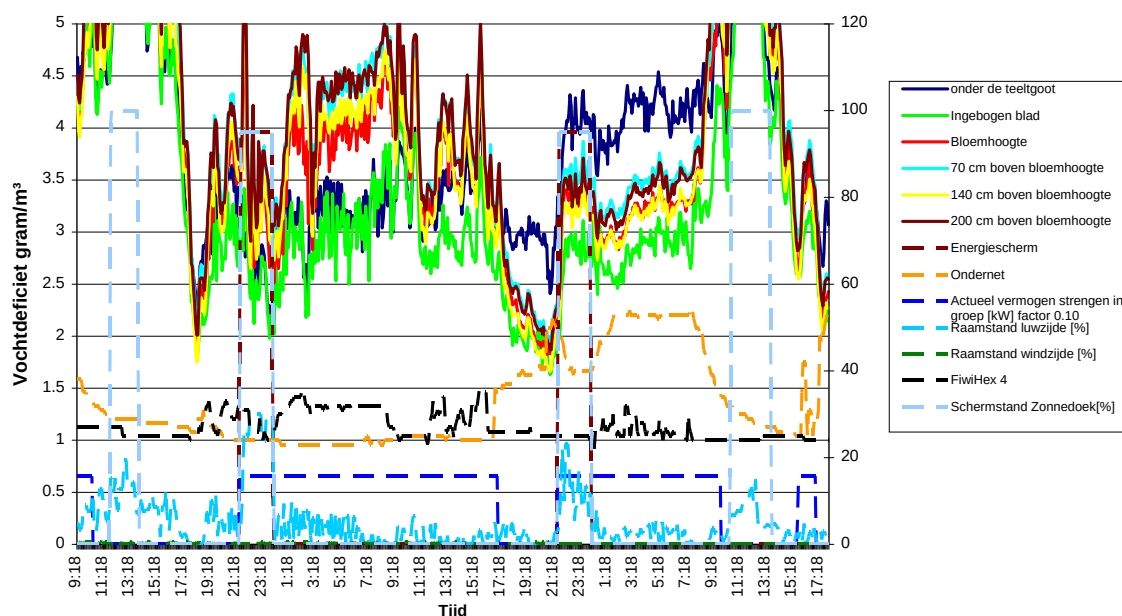
Doel van de meting was om aan te tonen of het mogelijk is om bovendoor met de FiwiHex te verwarmen. De temperatuur op ingebogen bladhoogte is in vergelijking met de andere gemeten hoogte altijd lager dan wanneer er conventioneel verwarmd wordt. Tijdens deze meetdag komt het vochtdeficiet nooit lager dan de gemeten waardes bij conventioneel verwarmen. Conclusie is dat tijdens deze meetdag het bovendoor verwarmen goed mogelijk is geweest.

Verticale temperatuurgradient 13-15 maart



Figuur 91 Verticale temperatuurgradiënt verwarmen met FiwiHex ventilator op 40% en conventioneel verwarmen Boonekamp Roses

Verticale vochtgradient 13-15 maart



Figuur 92 Verticale vochtgradiënt verwarmen met fiwihex ventilator op 40% en conventioneel verwarmen Boonekamp Roses

Figuur 91 en Figuur 92 laten de verticale temperatuur- en vochtverdeling van 2 dagen waarbij in de eerste helft van de meting verwarmd wordt met de FiwiHex met een ventilatorstand van 40% en in de tweede helft met het ondernet.

Figuur 91 geeft duidelijk het effect weer tussen bovendoor verwarmen met de Fiwihex en verwarmen met het ondernet. De temperatuurgradiënt bij verwarmen met de Fiwihex is iets groter dan bij het stoken met het ondernet. In vergelijking met de temperatuursmetingen op verschillende hoogtes is de temperatuur op ingebogen bladhoogte bij het verwarmen met de Fiwihex het laagst. Bij verwarmen met het ondernet is dit niet duidelijk aan te wijzen en liggen de temperaturen meer bij elkaar.

In Figuur 92 is te zien dat het vochtdeficit in de periode waarbij er verwarmd wordt met de Fiwihex het vochtdeficit het laagst is op ingebogen blad en onder de teeltgoot. Op bloemhoogte en de metingen daarboven is het vochtdeficit een stuk hoger. Wanneer er met het ondernet verwarmd wordt, is de gradiënt tussen het ingebogen blad en bloemhoogte kleiner.

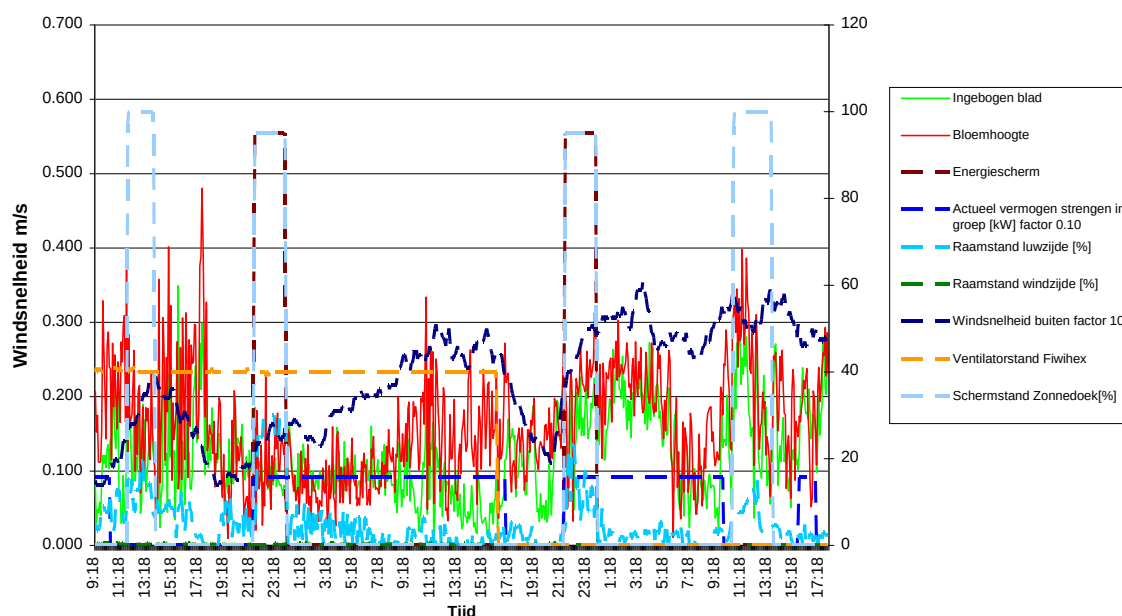
Doel van deze meting was om een goed vergelijk te kunnen maken tussen bovendoor verwarmen met de Fiwihex en verwarmen met het ondernet. Conclusie is dat verwarmen met de Fiwihex een grotere temperatuur- en vochtgradiënt geeft dan met het ondernet. Meest kritisch is op hoogte van het ingebogen blad waarbij zeker in de donkerperiode de kans op nat slaan van het gewas toeneemt. Gezien de resultaten kan een combinatie van het ondernet en de Fiwihex de hele gradiënt teniet doen en daarmee een zeer stabiel klimaat creëren. Hiermee ontstaat tevens de mogelijkheid om in ieder geval voor een deel met laagwaardige warmte te verwarmen.

6.3.4 Luchtstromen

Om de luchtstromen in kaart te brengen is op vaste punten bij verschillende proefsituaties gemeten. Naast de vaste puntsmetingen zijn er zogenaamde Quick scans gemaakt, zoals beschreven in hoofdstuk 3.2.2. In deze paragraaf worden de resultaten van metingen op een vaste punt en 4 Quickscans besproken.

In de volgende grafiek is de windsnelheid op ingebogen blad- en bloemhoogte weergegeven in de periode van 13 t/m 15 maart. Tot en met 14 maart 16:00 uur is de Fiwihex ventilator uitgegaan en is er verwarmd met het ondernet. De meting is verricht in het midden van een tralie en niet in rechte lijn met de ventilator.

Luchtbeweging 13-15 maart



Figuur 93 Luchtbeweging op ingebogen blad- en bloemhoogte 13 t/m 15 maart

Kijkend naar Figuur 93 is er geen verband te leggen tussen de windsnelheid en de Fiwihex ventilator. Het lijkt er veel meer op dat de windsnelheid buiten en raamopening meer invloed hebben. Welke invloed het scherm (wanneer gesloten op 95%) heeft op de luchtbeweging is deze figuur minder goed te zien. Het is wel duidelijk te zien dat de snelheid niet afneemt door het sluiten van het scherm. Oorzaak hiervan kan zijn dat de luw-zijde meer open gaat wanneer het scherm dicht gaat.

Doel van deze meting was om het effect van de Fiwihex ventilator op de luchtbeweging te bepalen. De metingen tonen aan dat de Fiwihex maar een marginaal effect heeft op de luchtbeweging op ingebogen blad en bloemhoogte. Invloeden door de klimaatregeling en buitenomstandigheden zijn vaak dominanter aanwezig dan de gecreëerde luchtbeweging van de Fiwihex. Kanttekening bij deze meting is wel dat de meetpaal met opzet niet in directe lijn met de Fiwihex is neergezet. In directe lijn zou er meer effect van de ventilator te zien zijn, maar geen representatief beeld geven voor het hele proefvak.

Quick scans verwarmen

Van verschillende situaties zijn Quick scans gemaakt. Er is steeds gemeten op zes hoogtes. De hoogtes zijn weergegeven in Figuur 94 en zijn vanaf de grond gemeten. Dit zijn:

- 45 cm onder de teeltgoot,
- 120 cm net boven het ingebogen blad,
- 190 cm is ter hoogte van de bloem,
- 260 cm,
- 330 cm en
- 390 cm ter hoogte van de Fiwihex.

De sensoren hebben gemeten boven het pad.

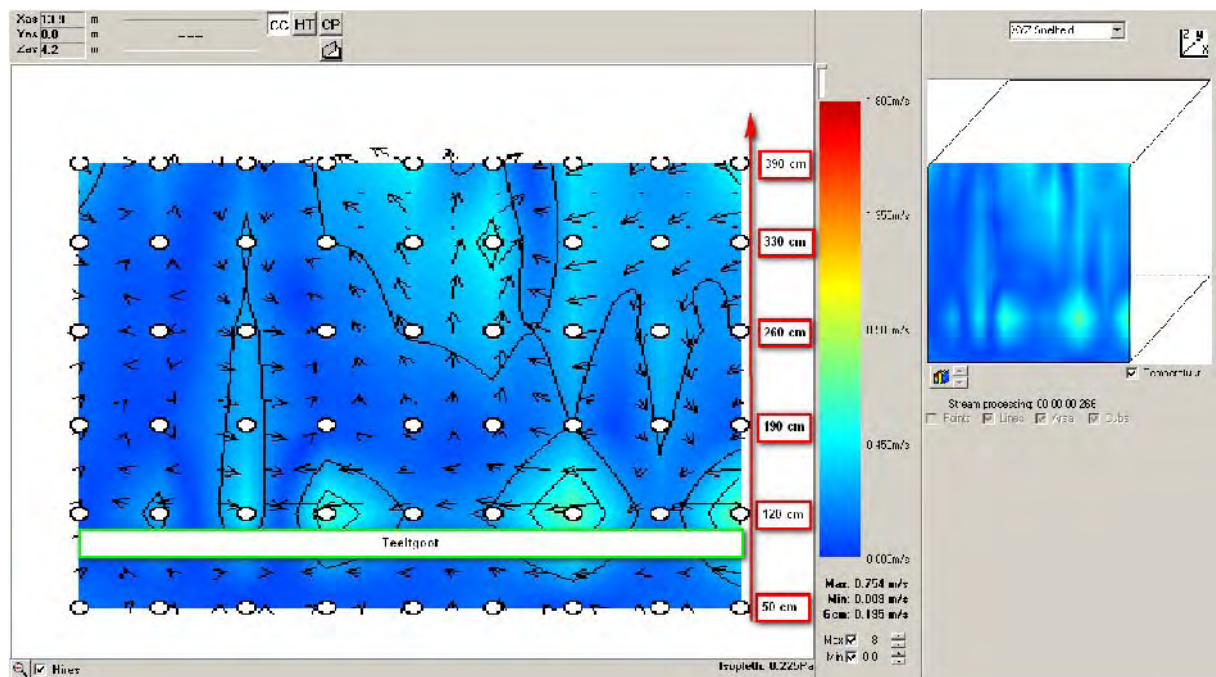
Van iedere situatie zijn twee plaatjes weergegeven. Een bovenaanzicht op bloemhoogte en een zijaanzicht in directe lijn met de Fiwihex.

De klimaat- en buitenomstandigheden tijdens de getoonde quick scans zijn weergegeven in Tabel 6 Klimaat en buitenomstandigheden tijdens Quick scans Boonekamp Roses.

Tabel 6 Klimaat- en buitenomstandigheden tijdens Quick scans Boonekamp Roses

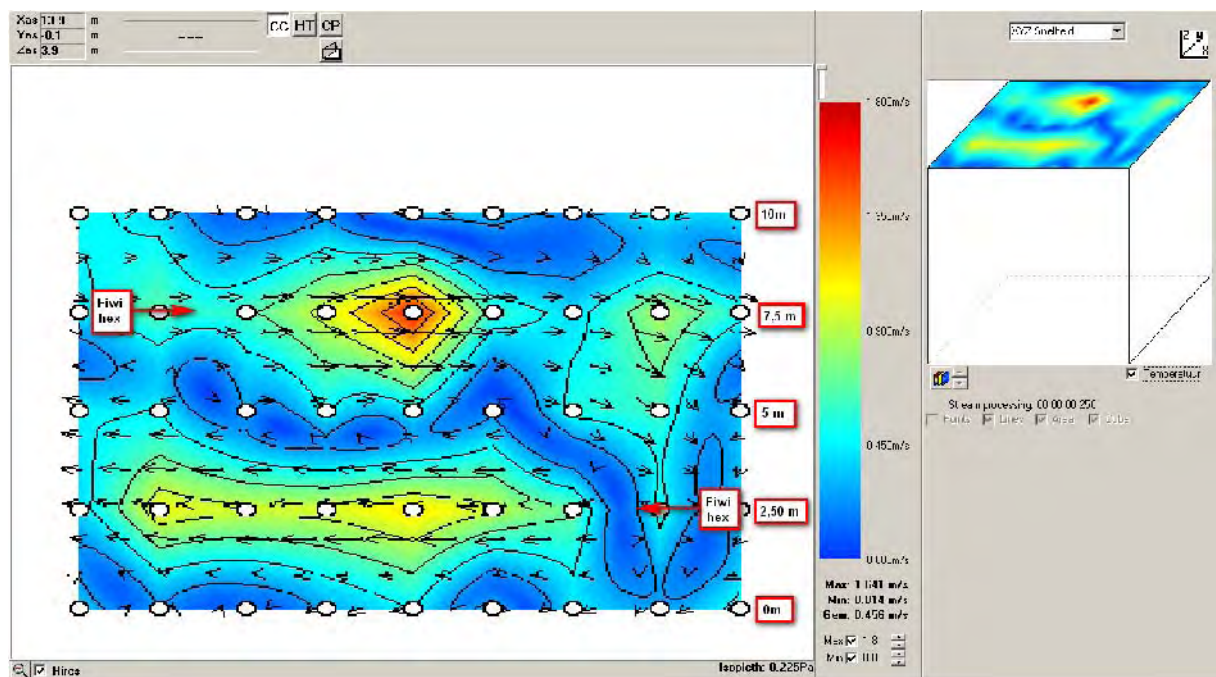
Omstandigheden tijdens Quick scans				
	Zonne- doek stand	Energiescherm stand	Windsnelheid buiten (m/s)	Windrichting buiten in graden
Conventioneel 3 mrt	100%	100%	3,6	180
Conventioneel ventilator 58% 5 mrt	100%	100%	0,3	234
Verwarmen Fiwihex 58% 9 mrt	100%	95%	5,2	280
Verwarmen Fiwihex 58% 10 mrt	0%	0%	4,0	336

Van iedere situatie zijn twee plaatjes weergegeven. Een bovenaanzicht op bloemhoogte en een zijaanzicht vanuit het middenpad gezien.



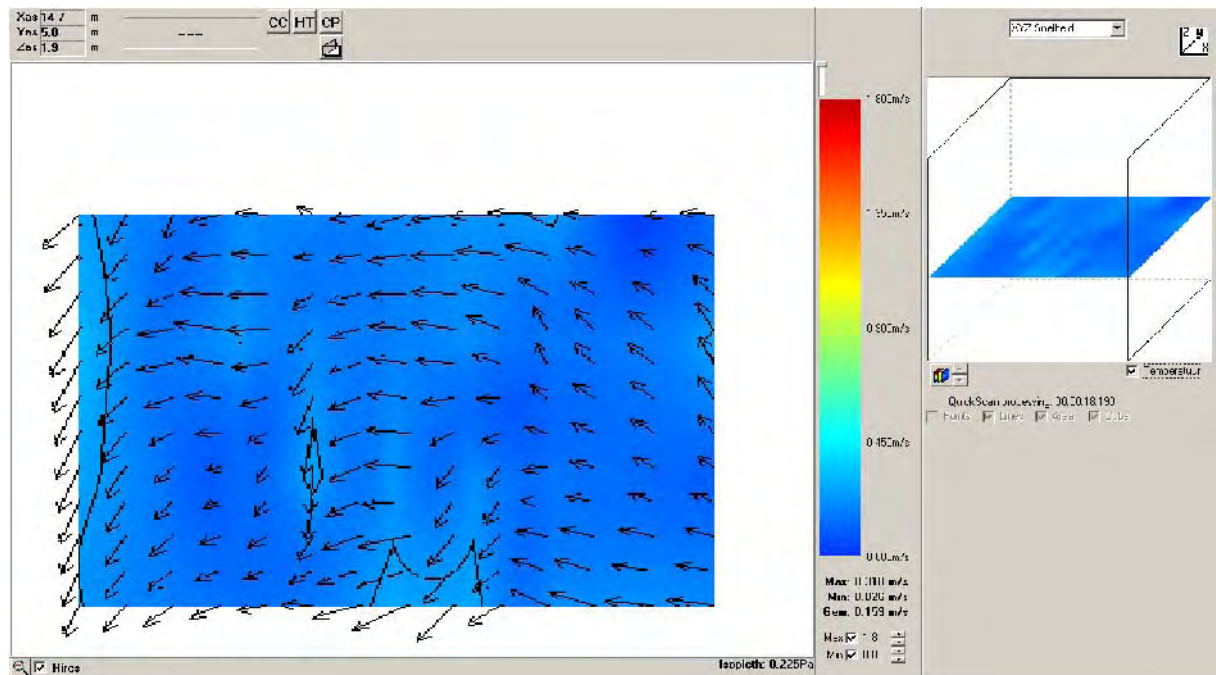
Figuur 94 Omschrijving verticale meetpunten Quickscan Boonekamp Roses

De volgende figuur geeft het bovenaanzicht van de meting weer. De pijl bij de Fiwi hex geeft de uitblaasrichting weer.

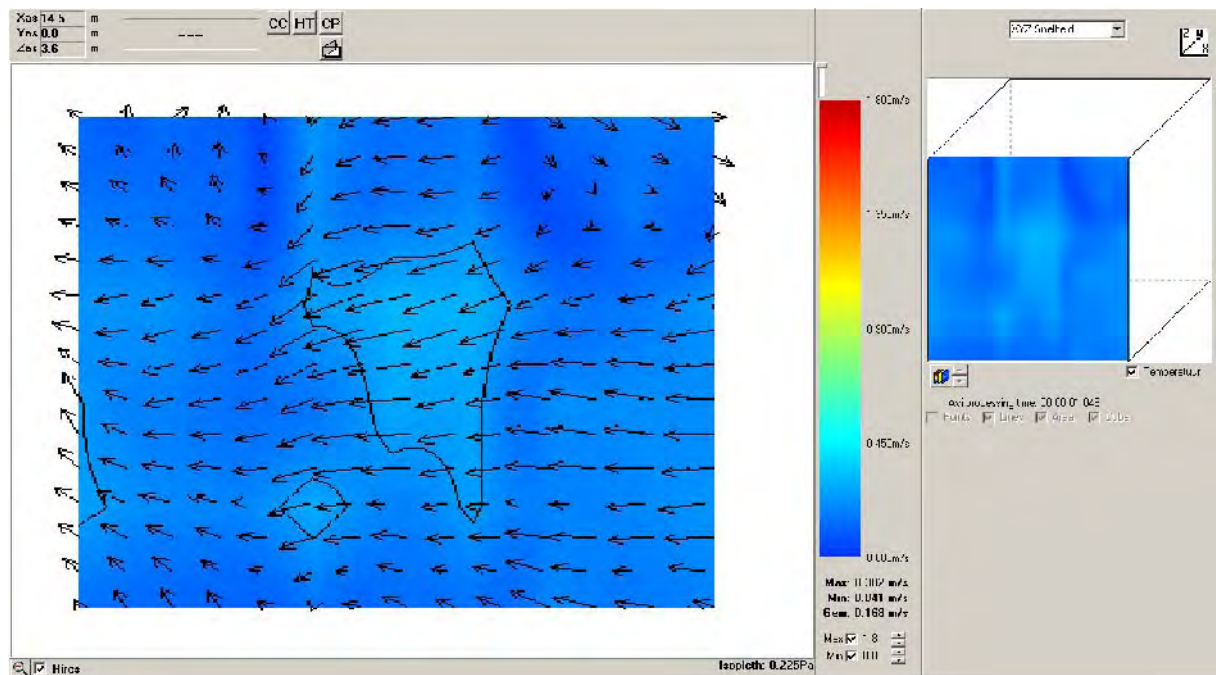


Figuur 95 Omschrijving horizontale meetpunten Quickscan Boonekamp Roses

Conventioneel verwarmen met minimum buis op 3 maart.

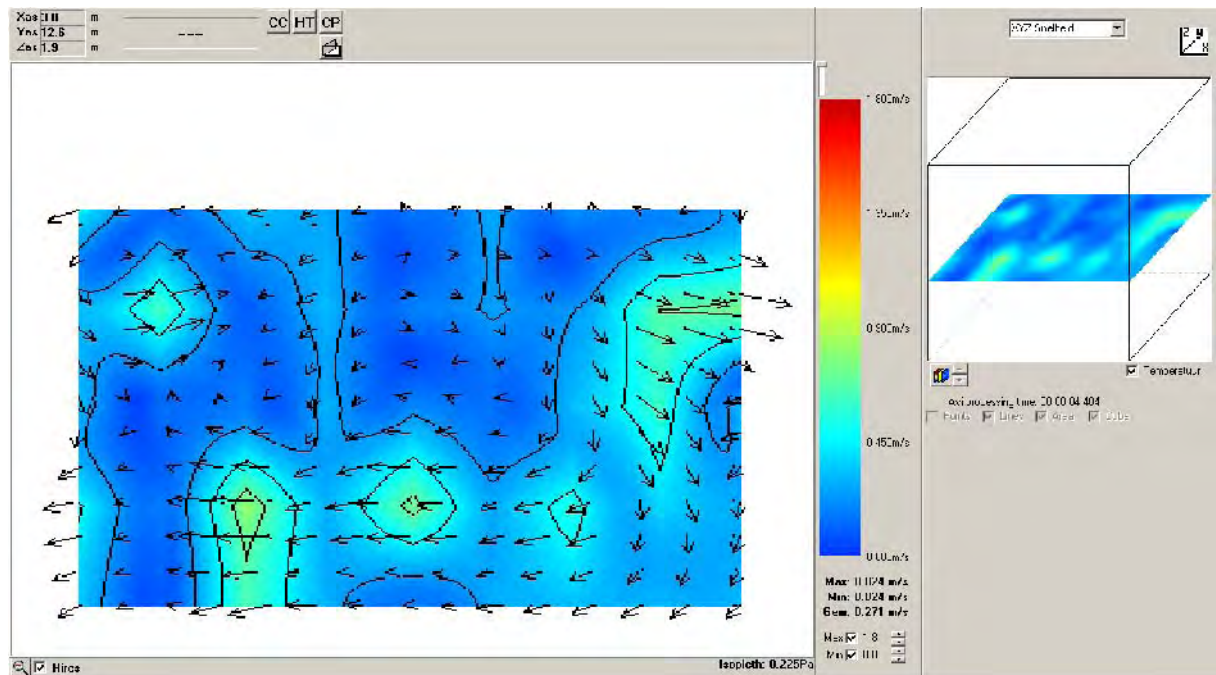


Figuur 96 Boveaanzicht Quickscan conventioneel verwarmen met minimum buis op bloemhoogte Boonekamp Roses

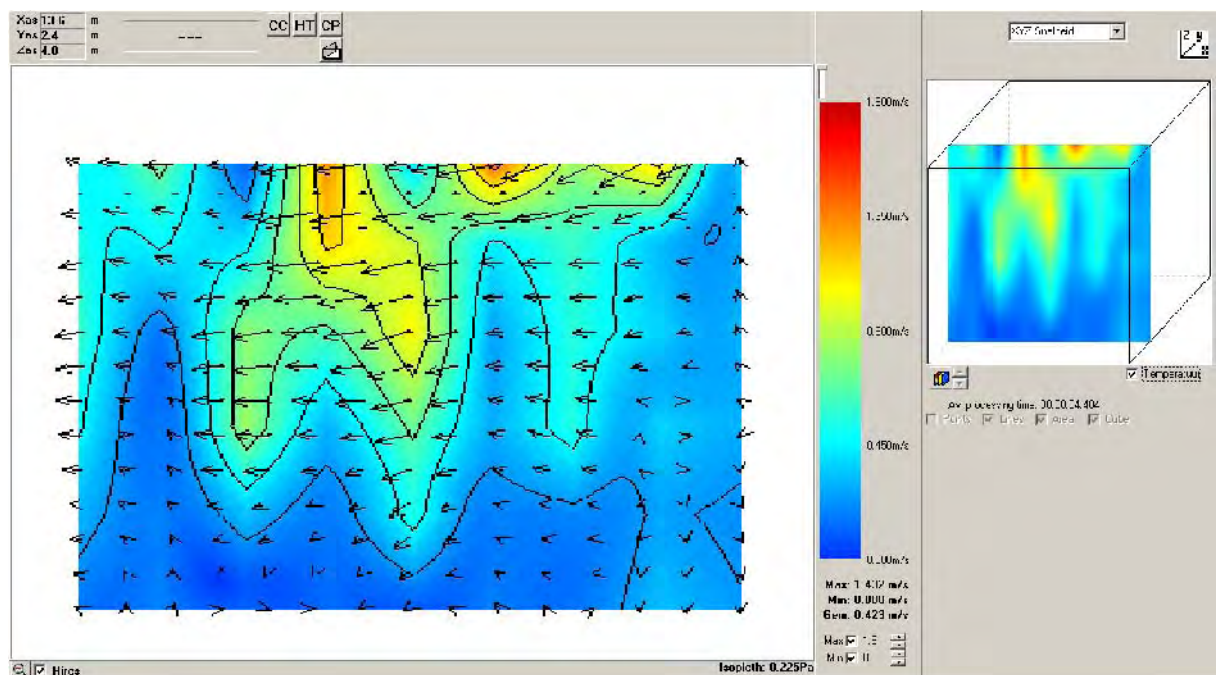


Figuur 97 zijaanzicht Quickscan conventioneel verwarmen met minimum buis Boonekamp Roses

Conventioneel verwarmen en Fiwihex ventilator op 58% op 5 maart.

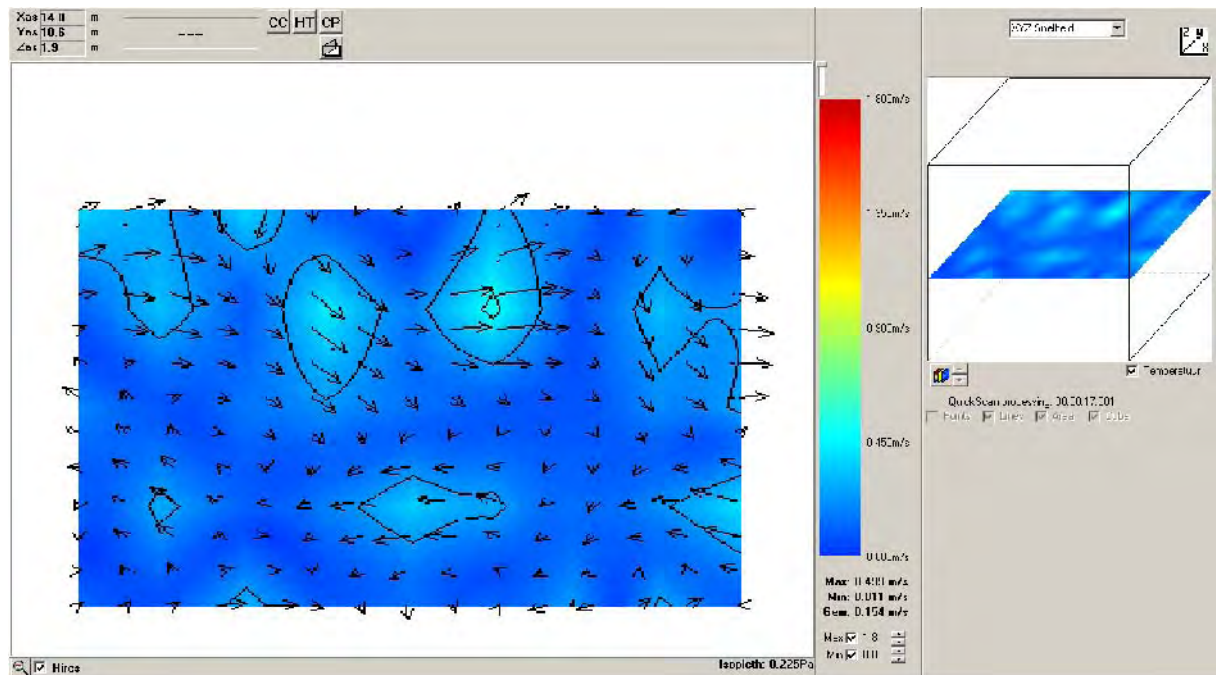


Figuur 98 Bovenaanzicht conventioneel verwarmen en Fiwihex ventilator op 58% bloemhoogte Boonekamp Roses

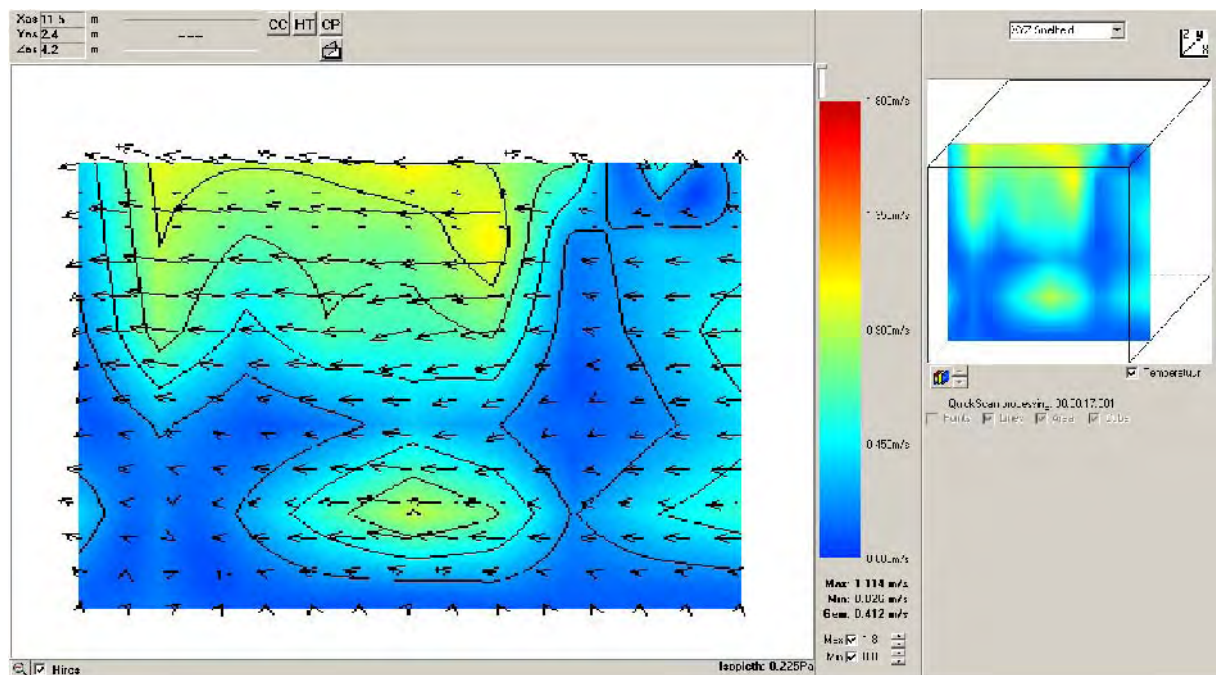


Figuur 99 zijnaanzicht conventioneel verwarmen en Fiwihex ventilator op 58% bloemhoogte Boonekamp Roses

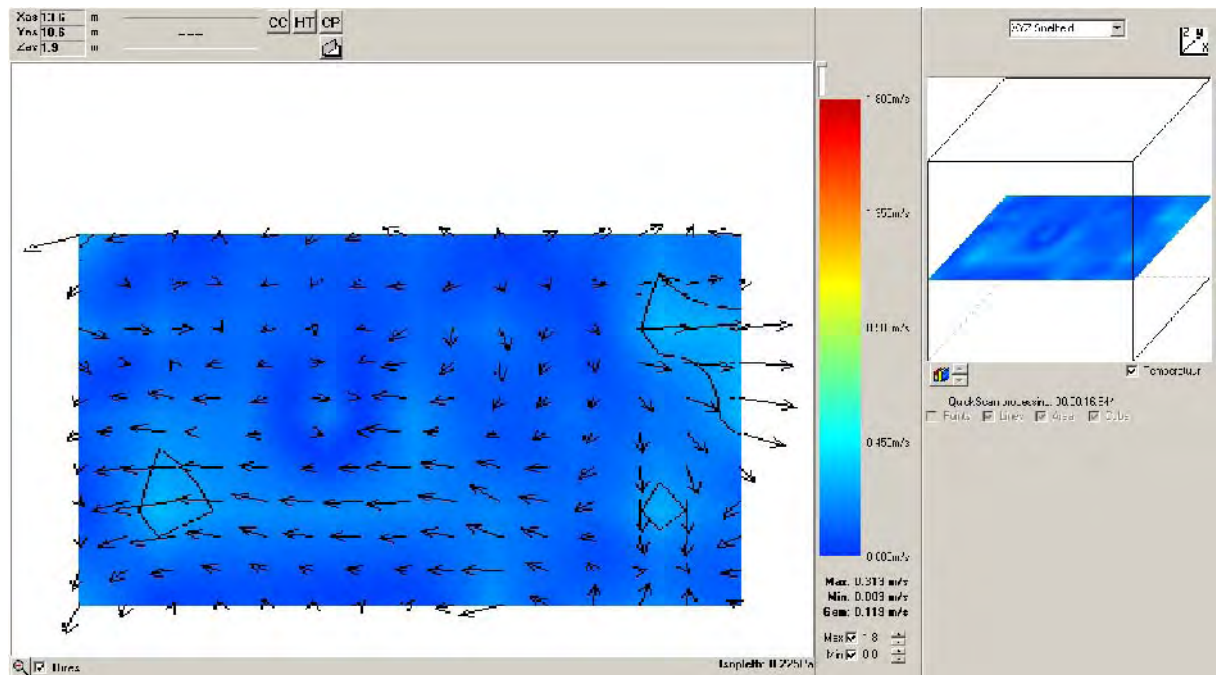
Verwarmen met de Fiwihex met een ventilator stand van 58% op 9 maart.



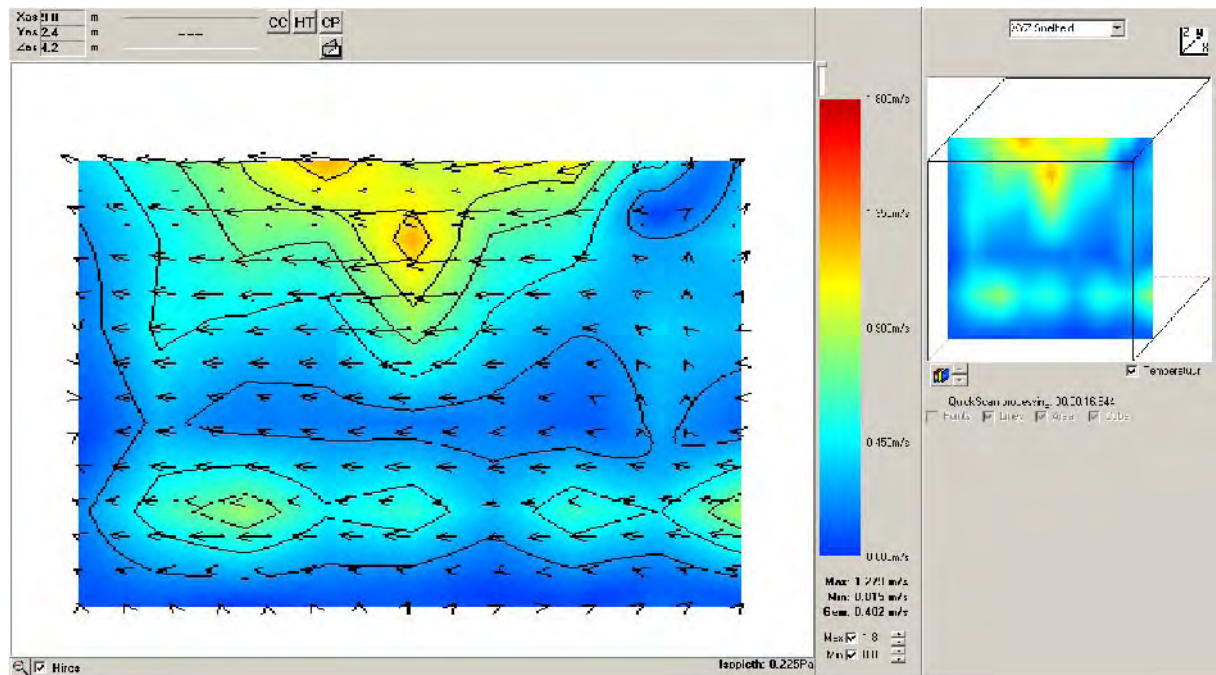
Figuur 100 Bovenaanzicht verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand op 58% bloemhoogte Boonekamp Roses



Figuur 101 Zijaanzicht verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand op 58% bloemhoogte Boonekamp Roses



Figuur 102 Bovenaanzicht verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand op 58% bloemhoogte 10 maart Boonekamp Roses



Figuur 103 Zijaanzicht verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand op 58% 10 maart Boonekamp Roses

In Figuur 96 en Figuur 97, waarbij conventioneel verwarmd wordt met het ondernet en minimum buis, is een duidelijk dominerende luchtstroom naar een richting te zien. Er is geen duidelijk effect te zien van de minimum buis op de luchtstroom.

In Figuur 98 en Figuur 99 wordt verwarmd met het ondernet zonder minimum buis en een ventilatorstand van 58%. In Figuur 99 is te zien dat de FiwiHex een duidelijk zijwaartse stroming teweeg brengt. De stroming verdwijnt echter snel als men in het gewas gaat meten. Op ingebogen bladhoogte is weinig terug te zien van de forse luchtbeweging boven bloemhoogte. In het bovenaanzicht is de luchtstroom van de eerste FiwiHex in het proefvak goed te zien. De luchtstroom van de tweede FiwiHex is in dit plaatje niet zo duidelijk te zien dan de luchtstroom van de eerste FiwiHex. Blijkbaar wordt de luchtstroom, gecreëerd door de FiwiHex, ook nog beïnvloed door de klimaatregeling en buitenomstandigheden.

In Figuur 100 en Figuur 101 wordt verwarmd met de FiwiHex met een ventilatorstand van 58%. In het bovenaanzicht is de luchtstroom van de eerste FiwiHex een stuk minder te zien dan de luchtstroom van de tweede FiwiHex. Externe luchtstromen hebben blijkbaar ook nog een dominant effect op de luchtbeweging. Op ingebogen bladhoogte is er pleksgewijs ook een hogere windsnelheid te zien.

In Figuur 102 en Figuur 103 wordt verwarmd met de FiwiHex met een ventilatorstand van 58%. Wat opvalt aan deze meting is de luchtstroom op ingebogen bladhoogte. Waarom dit op andere meetdagen niet het geval is, is niet goed te verklaren. Het grote verschil is wel dat tijdens deze meetdag het scherm niet dicht heeft gelegen. Waardoor externe factoren zoals windsnelheid meer invloed kunnen hebben op de interne luchtbeweging.

Doel van de metingen was om het effect op de luchtbeweging bij verschillende situaties in kaart te brengen. Van een sterk opwaartse stroming van een minimum buis is geen sprake. Het aanzetten van de FiwiHex ventilator heeft deels effect op de luchtbeweging in de kas. Op gewasniveau is het effect echter minimaal. Buitenomstandigheden als windsnelheid en richting hebben veel effect op de luchtbeweging in de kas. Klimaatregeling als raamstanden en schermstanden zijn ook sterk bepalend voor de luchtbeweging in de kas.

6.4 Conclusies bovendoor koelen en verwarmen Boonekamp Roses

Koeling

- Op ingebogen bladhoogte is de horizontale temperatuur- en vochtverdeling in vergelijk met gewas en bloemhoogte het slechtst. Deze hoogte is dan ook de meest kritische plek voor wat betreft ziektedruk.
- De verticale temperatuurgradiënt is zeer klein te noemen. Hierbij is de temperatuur op bloemhoogte in directe lijn vaak iets lager dan op ingebogen bladhoogte. En in indirecte lijn de temperatuur op bloem hoogte wat hoger kan liggen. Deze verschillen zijn echter zeer gering en er is dan ook sprake van een zeer gelijkmatig klimaat.
- Overall gezien is de temperatuur- en vocht verdeling zeer goed te noemen. Zowel bij zonnige dagen als bij wisselvallige dagen is tijdens het koelen de verdeling goed.
- De planttemperatuur metingen laten geen grote gradiënten over het gewas zien. De bloemknop wordt voldoende afgekoeld.
- Van extra luchtbeweging op ingebogen bladhoogte is haast geen sprake. Op bloemhoogte is dit effect wel te zien. Gezien de temperatuur en vochtmetingen is er wel voldoende menging van de lucht om een goede verdeling te creëren.
- De productie en kwaliteitcijfers missen een goede referentie. Het is aan de hand van de getoonde cijfers dan ook niet te zeggen welk direct effect de koeling op de productie en kwaliteit heeft gehad.

Verwarming

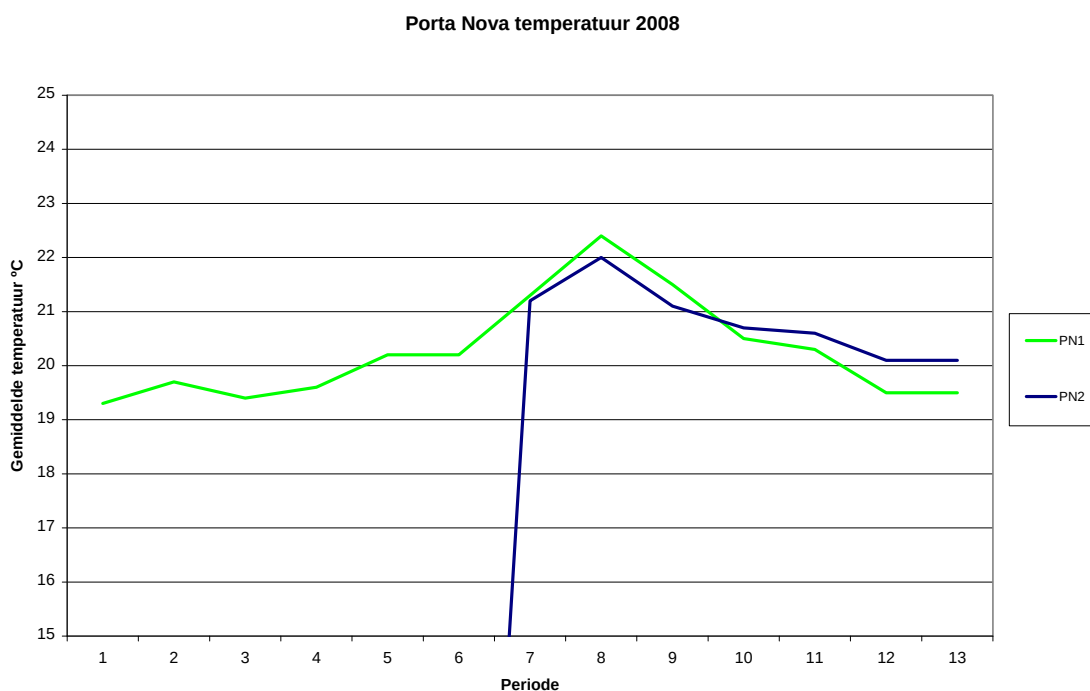
- De horizontale temperatuurverdeling in het proefvak geeft geen aantoonbare verschillen bij verschillende situaties. Doordat het een jonge aanplant betrof, is de gewasdichtheid nog niet belemmerend geweest voor de temperatuurverdeling.
- Conventioneel verwarmen geeft een zeer klein temperatuur- en vochtgradiënt.
- Bij het weglaten van de ingestelde minimum buis wordt de temperatuur- en vochtgradiënt iets groter maar blijft zeer gering. Meest kritisch periode is de donkerperiode. Als de belichting aangaat lijkt de functie van de minimum buis overbodig.
- Verwarmen met de Fiwihex geeft een grotere verticale temperatuur- en vochtgradiënt dan bij conventioneel verwarmen. Waarbij de laagste temperatuur en vochtdeficit op ingebogen bladhoogte gemeten worden.
- Een combinatie van het ondernet en Fiwihex lijkt een optimale combinatie. Het is op deze manier deels mogelijk om laagwaardige warmte te gebruiken.
- Het effect op de luchtbeweging door de Fiwihex ventilator is op gewasniveau klein. Op bloemhoogte is een verhoging te zien maar op ingebogen bladhoogte is deze alleen pleksgewijs te zien.
- Klimaatomstandigheden zoals schermen en raamstanden en buitenomstandigheden als windsnelheid en richting hebben in de meeste gevallen een sterker effect op de luchtbeweging dan de Fiwihex ventilator.

7 Resultaten onderdoor koelen en verwarmen Porta Nova

7.1 Resultaten onderdoor koelen 2008

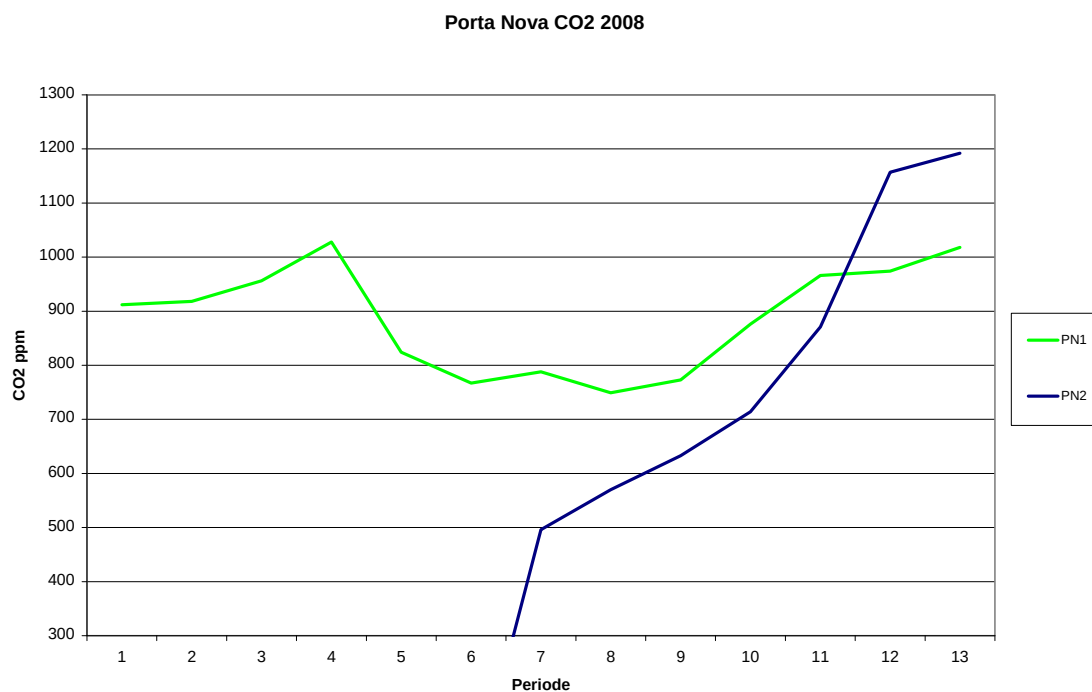
7.1.1 Klimaatmetingen onderdoor koelen 2008

Het verloop van het klimaat bij Porta Nova in 2008 wordt in deze paragraaf besproken. Als eerste worden de gemiddelde waarden over het hele jaar getoond.



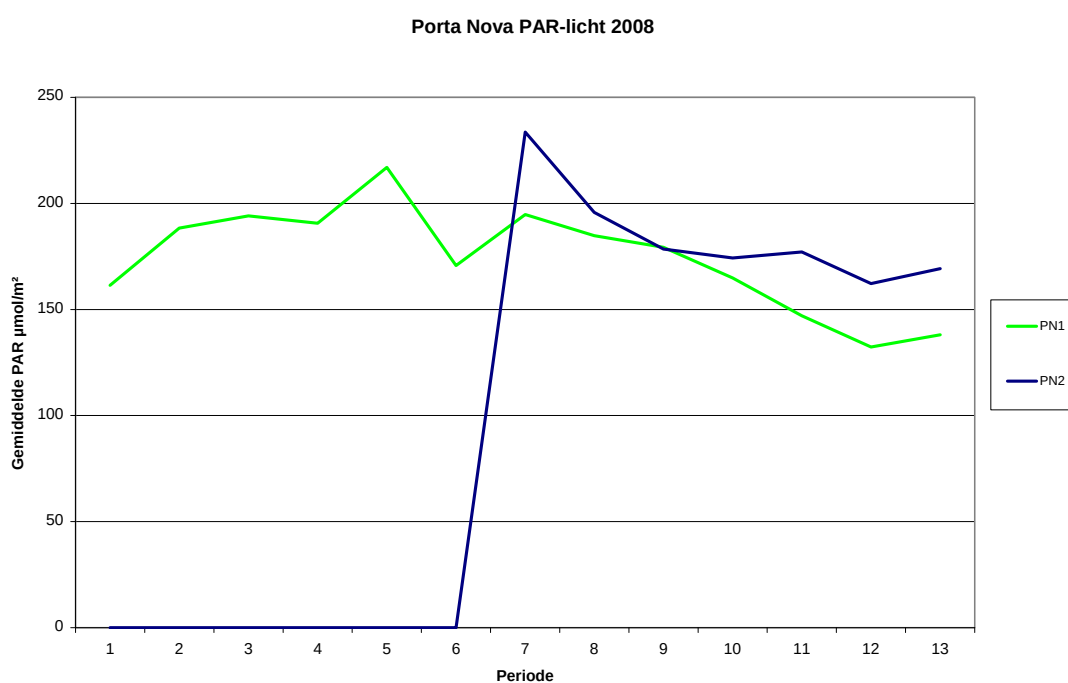
Figuur 104 Gemiddelde temperatuur Porta Nova 2008

Figuur 104 laat de gemiddelde temperatuur per periode zien. De gekoelde locatie (PN2) is geregistreerd vanaf periode 7. Duidelijk is te zien dat op de ongekoelde locatie (PN1) een hoger gemiddelde temperatuur is gerealiseerd van periode 7 t/m 9. De gemiddelde temperatuur vanaf periode 7 is in de gekoelde afdeling 20,8°C geweest en in de ongekoelde afdeling 20,9°C. Dit maakt een verschil van 0,1°C.



Figuur 105 Gemiddeld CO₂ gehalte Porta Nova 2008

Figuur 105 laat het gemiddelde CO₂ gehalte zien per periode. Het gemiddelde CO₂ gehalte is de ongekoelde afdeling (PN1) tot en met periode 11 het hoogst geweest. De CO₂ dosering vormde in die periode een beperking in de gekoelde afdeling. Gemiddeld is het CO₂ gehalte vanaf periode 7 in de gekoelde afdeling (PN2) 805 ppm geweest en in de ongekoelde 877 ppm. Dit maakt een verschil van 72 ppm.



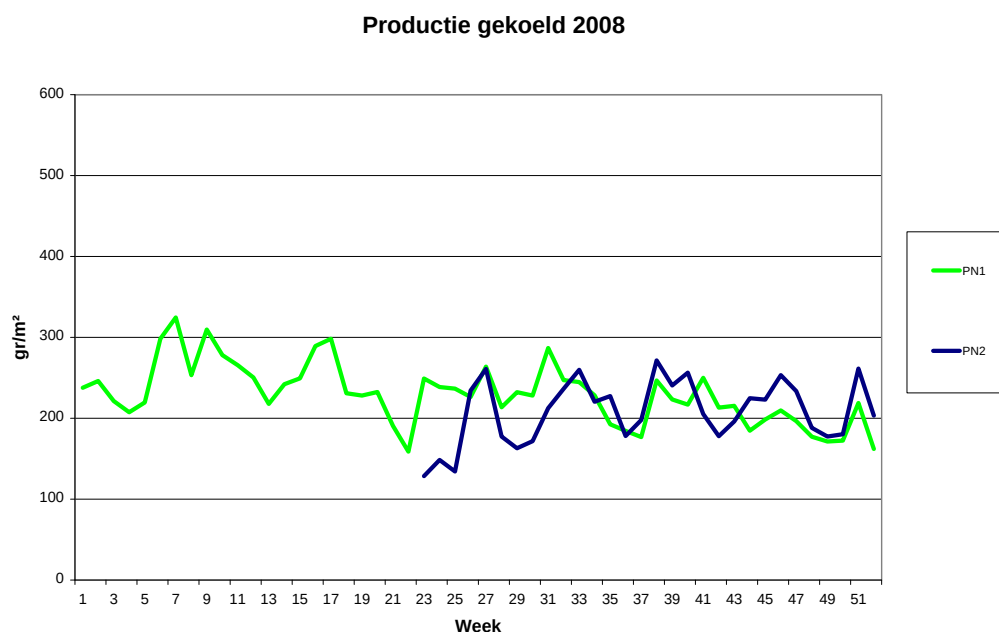
Figuur 106 Gemiddelde PAR waarde Porta Nova 2008

Figuur 106 laat het gemiddelde PAR licht in de kas op plantniveau per periode zien. Er is in de ongekoelde afdeling (PN1) gemiddeld minder licht toegelaten dan in de gekoelde afdeling (PN2). In de gekoelde afdeling is er gemiddeld $184 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR-licht geweest en in de ongekoelde afdeling $163 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PAR-licht.

In hoofdstuk 7.1.2 worden de consequenties van de getoonde klimaatgegevens op de productie getoond.

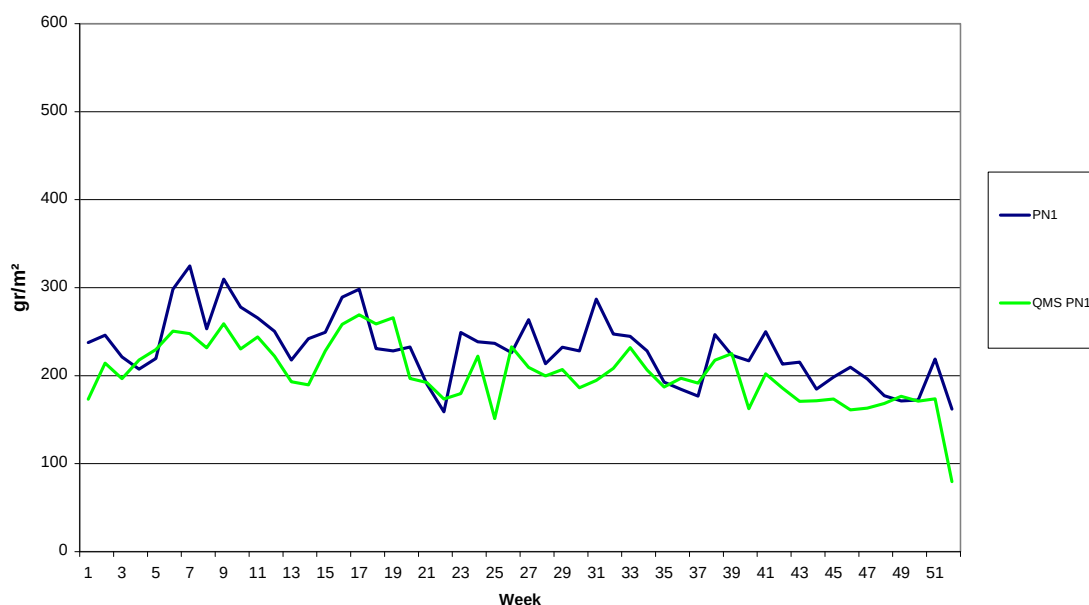
7.1.2 Productiegegevens 2008

De totale productie gegevens van de gekoelde en de niet gekoelde afdeling bij Porta Nova zijn apart bijgehouden.

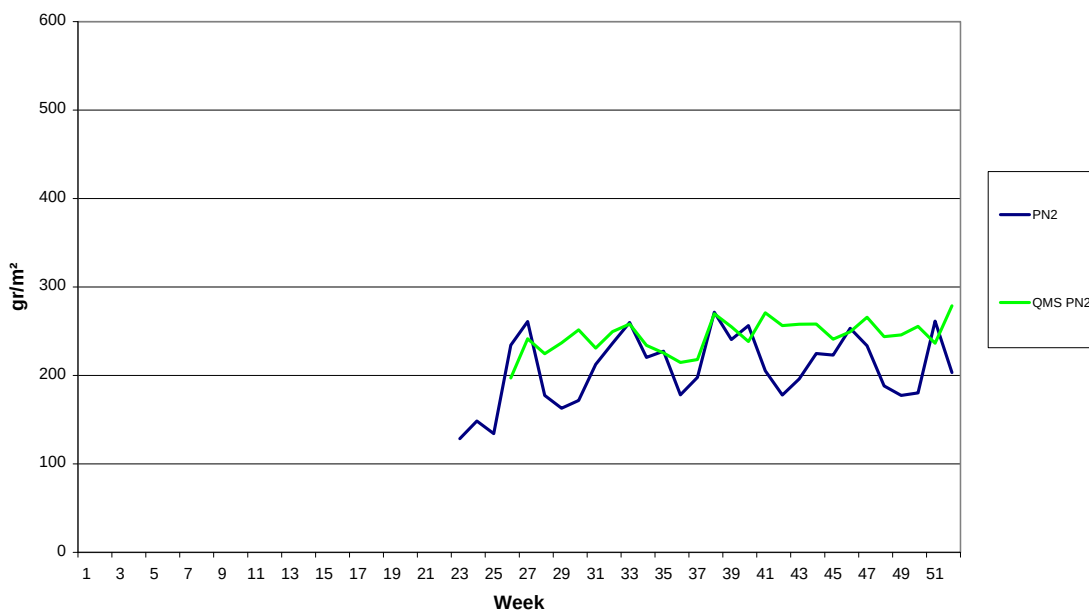


Figuur 107 Productiecijfers Porta Nova 2008

Figuur 107 laat de productie cijfers van de ongekoelde afdeling (PN1) van Porta Nova t/m week 52 zien en van de gekoelde afdeling (PN2) vanaf week 23. De totale productie vanaf week 26 in de ongekoelde afdeling is $5,78 \text{ kg}/\text{m}^2$ en voor de gekoelde afdeling $5,83 \text{ kg}/\text{m}^2$. Het absolute verschil tussen de gekoelde en niet gekoelde afdeling is $52 \text{ gr}/\text{m}^2$. Dit is 1% meer in de gekoelde afdeling.

Productie ongekoeld 2008

Figuur 108 Productiecijfers tov QMS ongekoeld 2008 Porta Nova 1

Figuur 108 laat de productie zien van de ongekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS. Over het algemeen loopt de productie voor op de berekende productie. Het verschil is een hoger gerealiseerde productie van 1405 gr/m² ten opzichte van de berekening. Dit is 13% meer dan de berekende waarde.

Productie gekoeld 2008

Figuur 109 Productiecijfers t.o.v. QMS gekoeld 2008 Porta Nova 2

Figuur 108 laat de productie vanaf week 26 van de gekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS zien. Opvallend is dat de gerealiseerde productie op een aantal pieken na structureel achter loopt op de berekende waarde. De reden hiervan is dat het een jong gewas betrof wat nog niet volledig in productie was. Het snee effect is ook duidelijk zichtbaar. Het verschil is een lagere gerealiseerde productie van 771 gr/m^2 ten opzichte van de berekening. Dit is 12% minder dan de berekende productie.

7.1.3 Kwaliteitsgegevens 2008

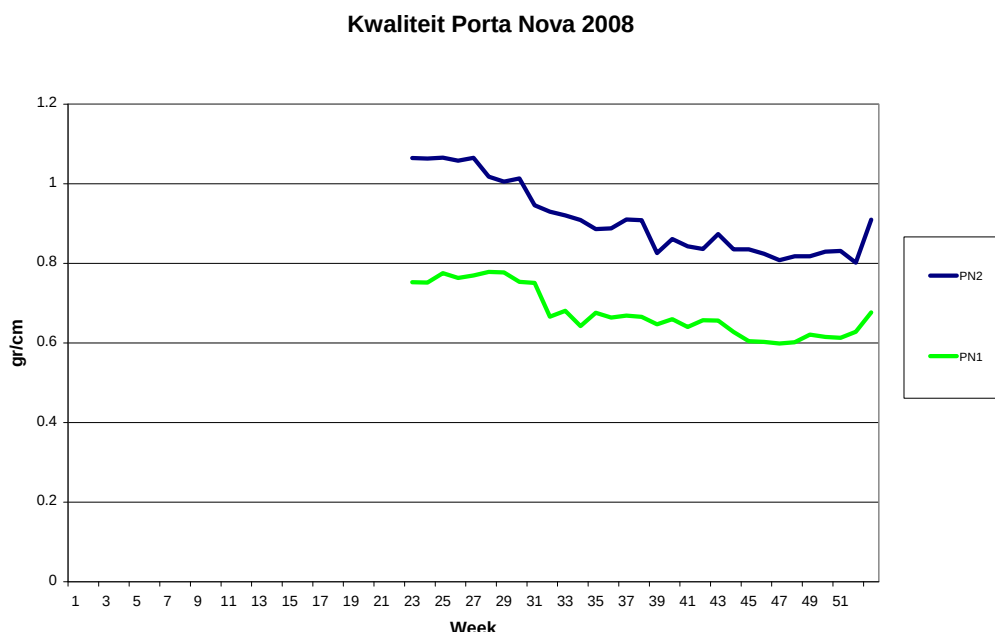
Om het effect van koelen op de kwaliteit van het geoogste product in kaart te brengen zijn in Tabel 7 de gemiddelde taklengte en gewicht, kwaliteit en het aantal takken weergegeven. Het betreft gemiddelde van weekcijfers.

Tabel 7 Kwaliteitsgegevens Porta Nova week 23 t/m 52 2008

Gemiddelde waardes per week
Periode week 23 t/m 52 2008

	Ongekoeld	Gekoeld	Vershil
S: Gem. lengte * (cm)	69.3	72.2	2.9
S: Gem. takgewicht * (gr)	47.0	65.9	18.9
S: Kwaliteit * (gr/cm)	0.68	0.91	0.23
S: Aant takken * (#/m ²)	4.6	3.2	-1.4

Figuur 110 geeft het verloop van de kwaliteit in gr/cm over 2008 weer. Duidelijk is te zien dat de kwaliteit van PN2 (gekoeld) een stuk hoger ligt dan PN1 (ongekoeld). De reden van de verhoogde kwaliteit in de 1^e helft van het jaar is o.a. te verklaren doordat PN2 een jong gewas (geplant vanaf week 16) heeft staan en PN1 in verhouding een ouder gewas.



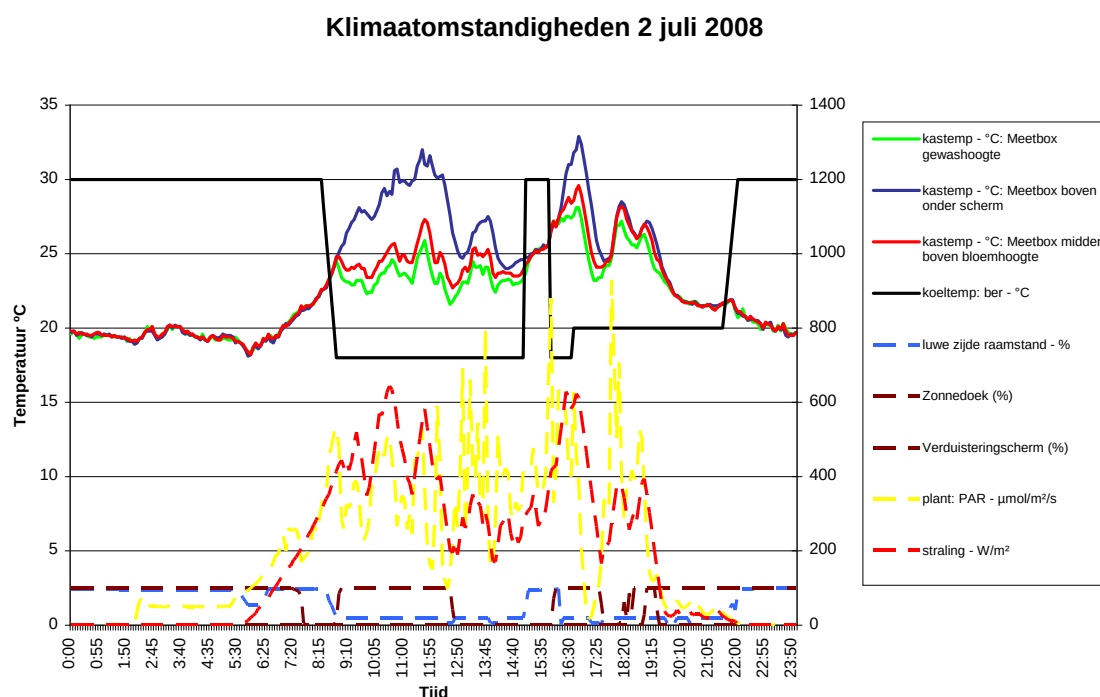
Figuur 110 Kwaliteitsverloop Porta Nova 1 (ongekoeld) en Porta Nova 2 (gekoeld) 2008

De gekoelde kas heeft gemiddeld 2,9 cm meer taklengte en 18,9 gr meer gewicht per tak. De kwaliteit van de takken zijn in de gekoelde afdeling beter met 0,23 gr/cm meer ten

opzicht van de niet gekoelde kas. Het aantal takken is in de ongekoelde afdeling hoger met gemiddeld 1,4 takken meer per week/m². Gekoeld heeft dus een hogere kwaliteit en ongekoeld een hogere kwantiteit. Het vergelijk gaat voor 2008 niet helemaal op omdat de gekoelde afdeling een jong gewas had staan. De kwaliteitsgegevens van 2009 geven een representatiever beeld.

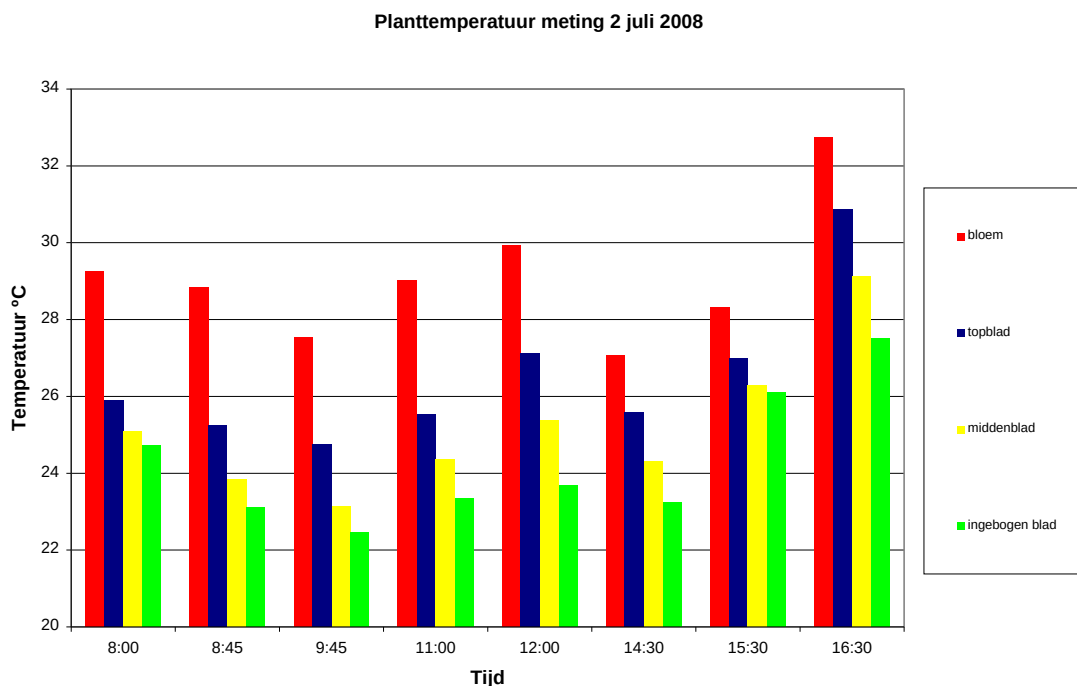
7.1.4 Planttemperatuurmetingen

Om het effect van koelen op de planttemperatuur in kaart te brengen hebben er bij Porta Nova op 2 dagen uitvoerige metingen plaatsgevonden. Deze vonden plaats op 2 juli en 30 augustus 2008.



Figuur 111 Klimaatomstandigheden 2 juli 2008

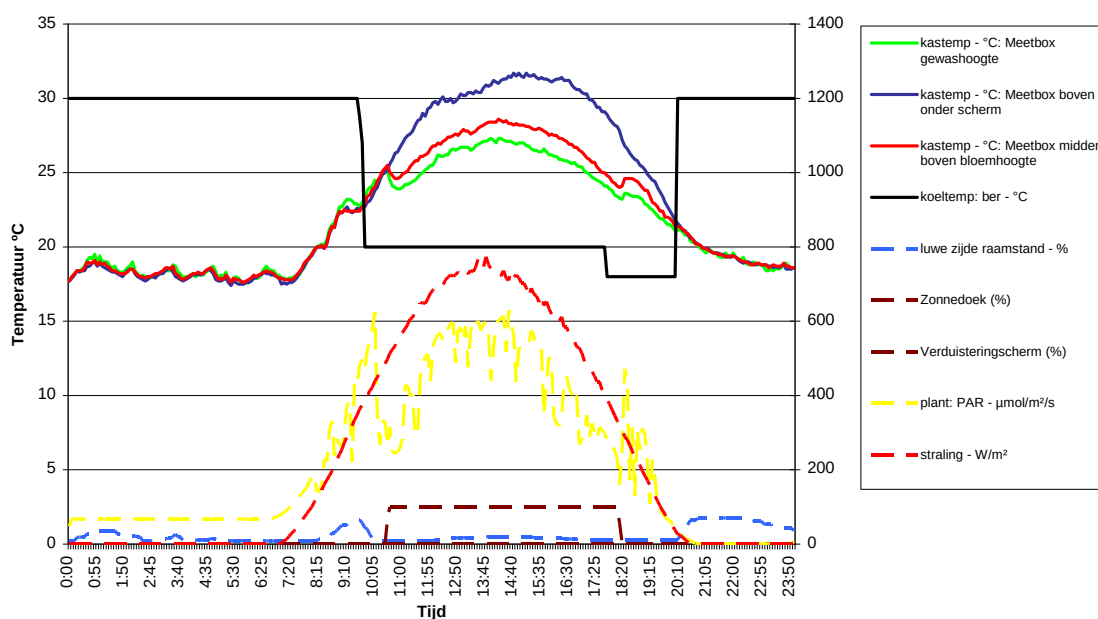
Figuur 111 laat de klimomstandigheden zien op 2 juli 2008. Het was een iets wisselvallige dag waarop vanaf 9:00 uur gekoeld is tot 15:00 uur en van 15:50 tot 21:30 uur. Het scherm is een aantal malen open en dicht geweest. De temperatuurmetingen laten tussen gewashoogte (dat is tussen de bloem en ingebogen bladhoogte) en ongeveer 1 meter boven bloemhoogte een verschil zien van 1 tot 1,5°C. De meetbox vlak onder het doek geeft verschillen met de meting op gewashoogte van meer dan 5°C.



Figuur 112 Planttemperatuur metingen 2 juli 2008 Porta Nova

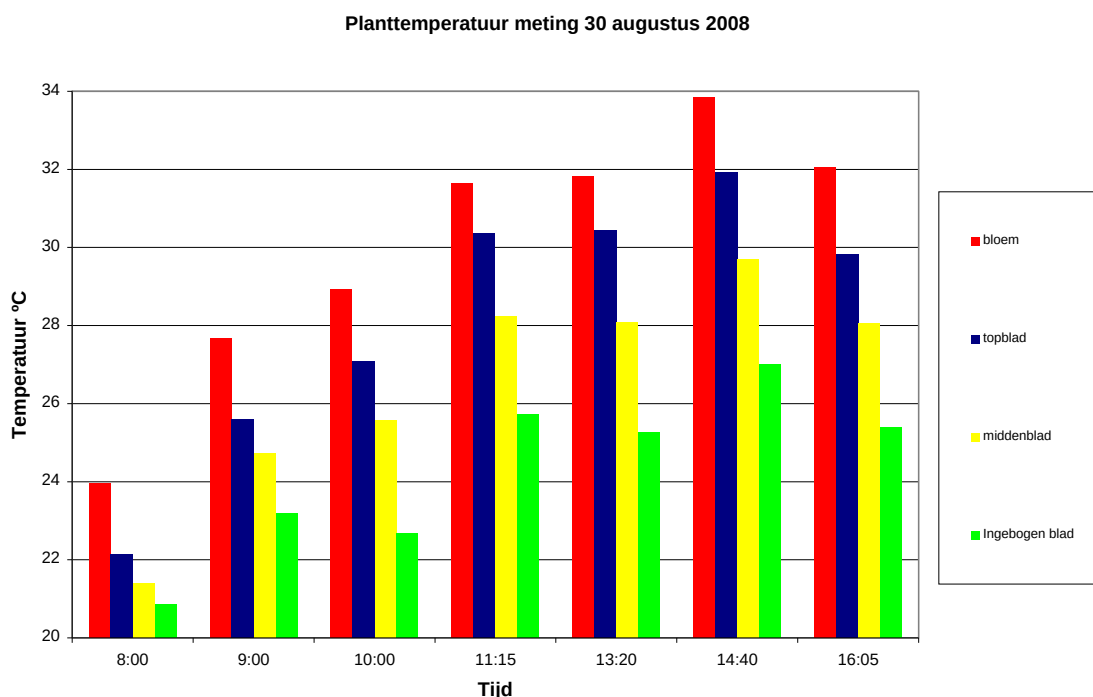
Figuur 112 laat de resultaten van de planttemperatuurmetingen zien van 2 juli. Als we de data vergelijken met de klimaatdata, dan blijkt de gradiënt sterk afhankelijk van de straling te zijn. De bloemtemperatuur laat voordat de koeling aangaat al een groot verschil zien met de bladtemperatuur (Delta T van 3°C). Wanneer de straling toeneemt, wordt de temperatuurgradiënt in het gewas ook groter.

Klimaatomstandigheden 30 augustus 2008



Figuur 113 Klimaatomstandigheden 30 augustus 2008

Figuur 113 laat de klimaatomstandigheden zien op 30 augustus 2008. Het was een zonnige dag waarop vanaf 9:50 uur gekoeld is tot 20:00 uur. Het scherm is dichtgegaan van 10:40 tot 18:20 uur. De temperatuurmetingen laten tussen gewashoogte (dat is tussen de bloem en ingebogen bladhoogte) en ongeveer 1 meter boven bloemhoogte een verschil zien van 1 tot 1,5°C. De meetbox vlak onder het doek geeft verschillen met de meting op gewashoogte van meer dan 5°C.



Figuur 114 Planttemperatuur metingen 30 augustus Porta Nova

Figuur 114 laat de resultaten van de planttemperatuurmetingen zien van 30 augustus. Als we de data vergelijken met de klimaatdata, dan blijkt dat de gradiënt sterk afhankelijk is van de straling. Er bestaat al een 'natuurlijke' gradiënt wanneer de koeling nog niet aan is (meting om 9:00 uur). Wanneer de straling toeneemt en de koeling aangaat (om 9:50 uur) wordt de temperatuurgradiënt in het gewas ook groter. Tijdens deze dag bereikt de bloem temperatuur een waarde van tegen de 34°C.

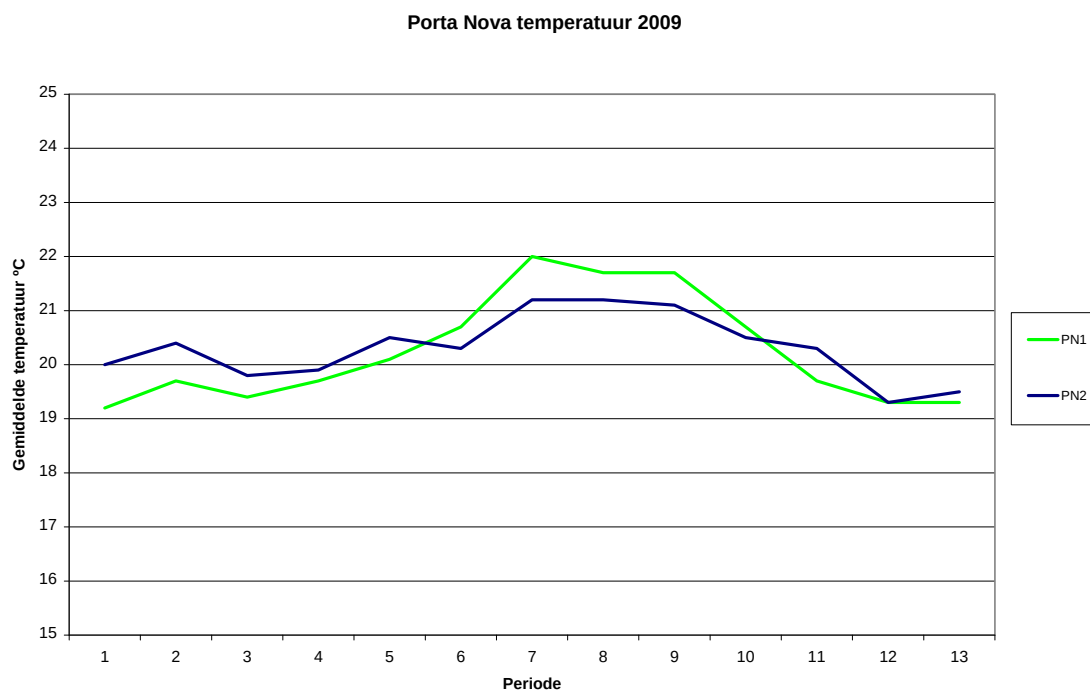
Op de getoonde meetdagen zijn ook fotosynthesemetingen verricht. De resultaten hiervan staan vermeld in bijlage 2.

Doel van deze metingen was om het effect van onderdoor koelen op de planttemperatuur in kaart te brengen. De planttemperatuurgradiënt loopt op naarmate de straling toeneemt. Het aanzetten van de koeling verkleint deze gradiënt niet.

7.2 Resultaten onderdoor koelen 2009

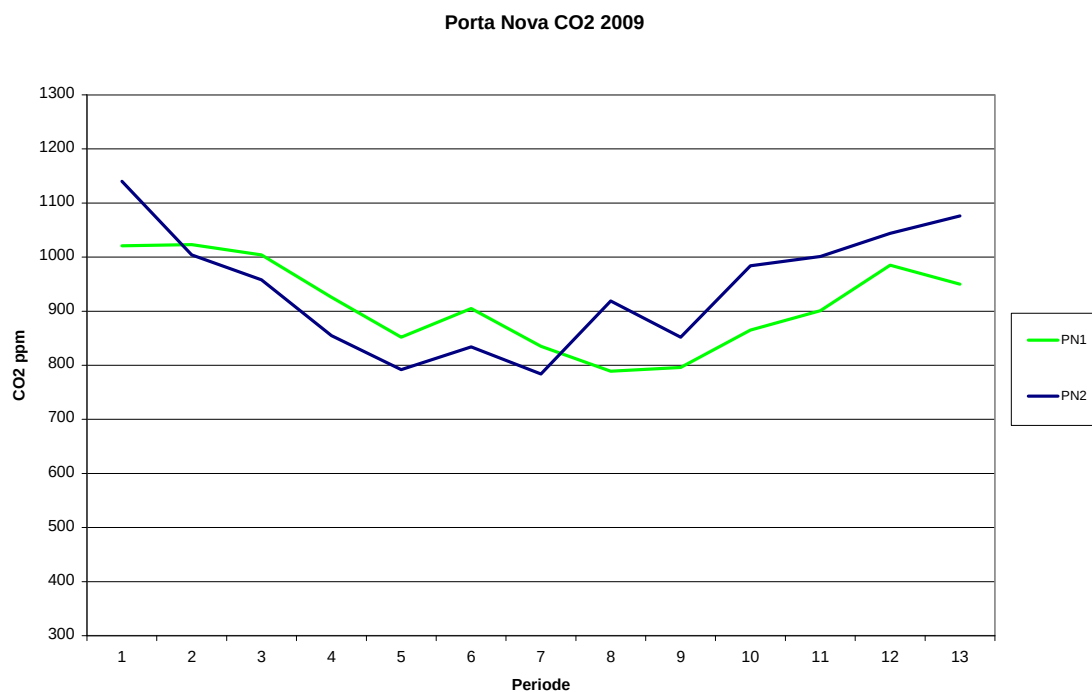
7.2.1 Klimaatmetingen onderdoor koelen 2009

7.2.1.1 Algemene klimaatgegevens



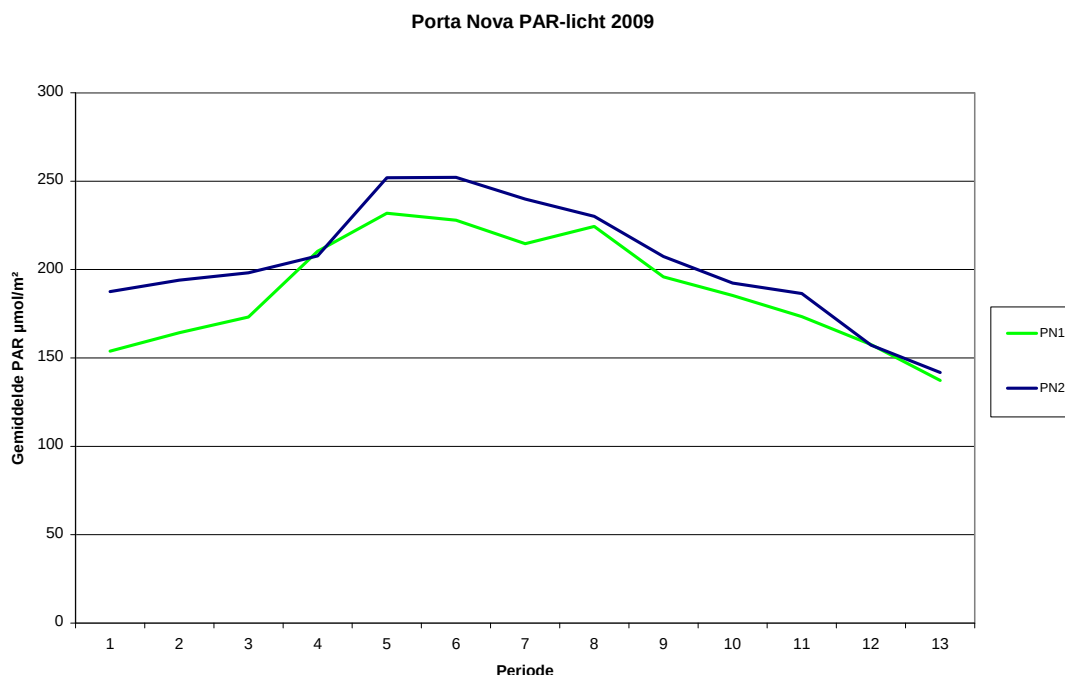
Figuur 115 Gemiddelde temperatuur Porta Nova 2009

Figuur 115 laat de gemiddelde temperatuur per periode zien. Duidelijk is te zien dat in de ongekoelde kas (PN1) een hoger gemiddelde temperatuur is gerealiseerd van periode 6 t/m 10. De gemiddelde temperatuur in de gekoelde kas (PN2) is 20,3°C geweest en in de ongekoelde afdeling 20,2°C. Dit maakt een verschil van 0,1°C.



Figuur 116 Gemiddeld CO₂ gehalte Porta Nova 2009

Figuur 116 laat het gemiddelde CO₂ gehalte zien per periode. Het gemiddelde CO₂ gehalte is in de ongekoelde kas (PN1) van periode 2 t/m 7 hoger geweest dan in de gekoelde kas (PN2). De CO₂ dosering en capaciteit is bij de gekoelde kas in periode 8 opgeschroefd, wat duidelijk te zien is in de hoger gerealiseerde waarden. Gemiddeld is het CO₂ gehalte in de gekoelde kas (PN2) 942 ppm geweest en in de ongekoelde 912 ppm. Dit maakt een verschil van 30 ppm.



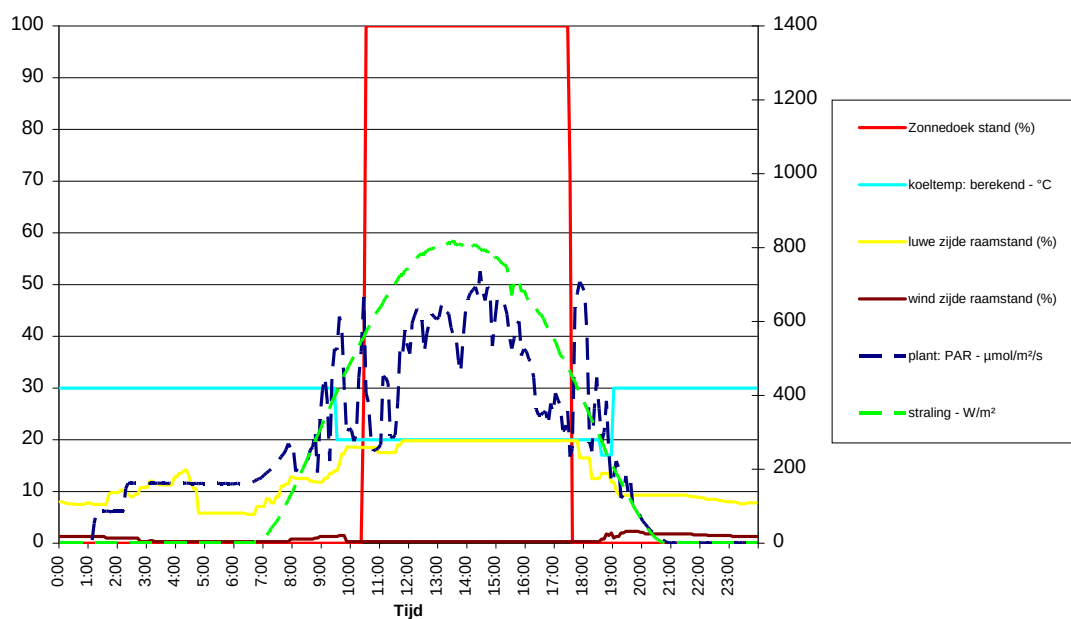
Figuur 117 Gemiddelde PAR waarde Porta Nova 2009

Figuur 117 laat het gemiddelde PAR licht per periode zien. Het PAR licht op Porta Nova 1 was in de winter lager door spanningverlies op de installatie. In het najaar van 2009 is de spanning weer op niveau. Er is in de ongekoelde kas (PN1) gemiddeld minder licht toegelaten dan in de gekoelde afdeling (PN2). In de gekoelde afdeling is er gemiddeld $204 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ PAR-licht geweest en in de ongekoelde afdeling $188,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ PAR-licht.

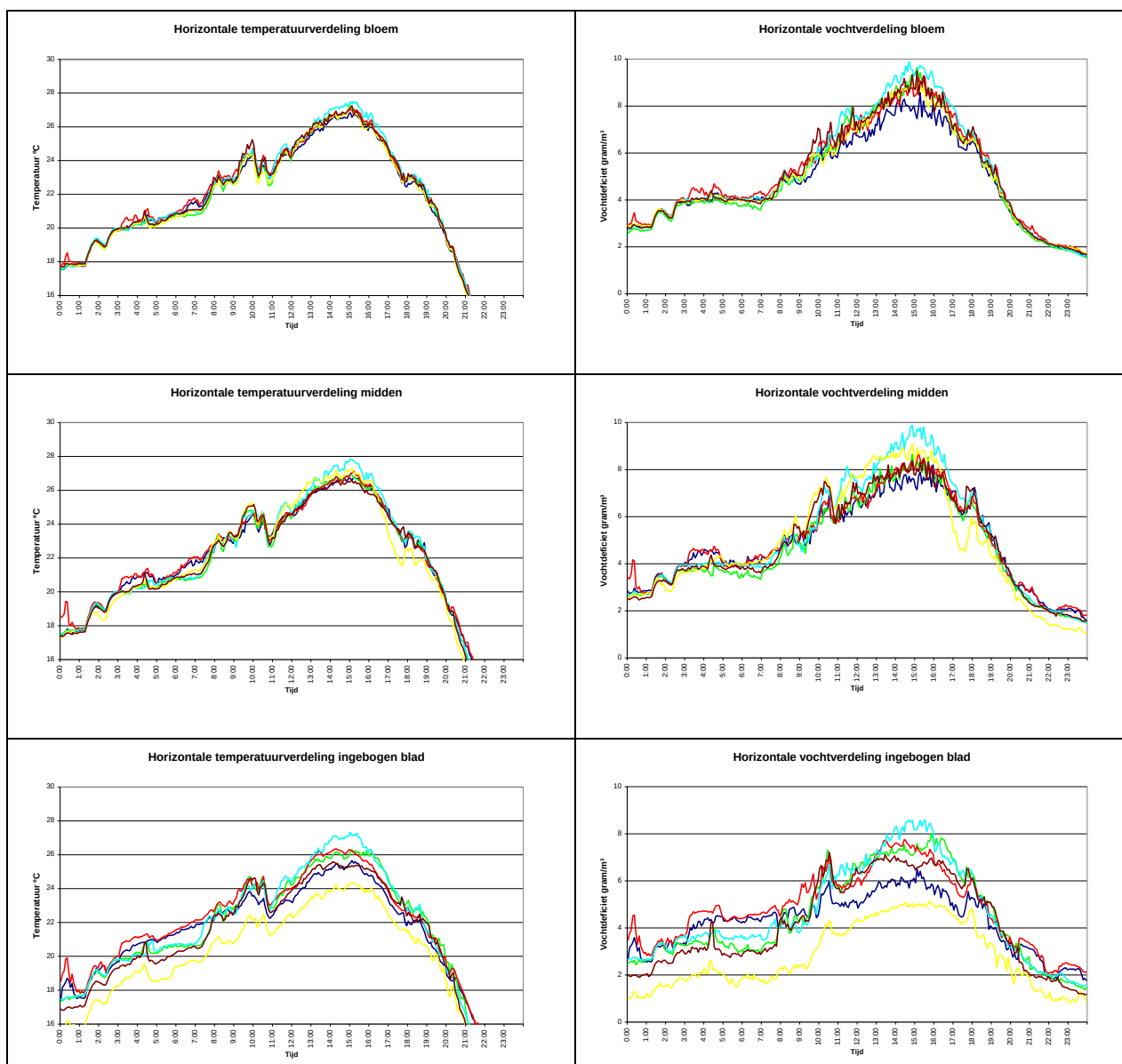
In hoofdstuk 7.2.2. worden de consequenties van de getoonde klimaatgegevens op de productie getoond.

7.2.1.2 Horizontale temperatuur- en vochtverdeling

In de voorjaars- en zomerperiode van 2009 zijn er met regelmaat klimaatmetingen verricht om de horizontale en verticale temperatuur- en vochtgradiënten in kaart te brengen. Deze paragraaf bespreekt de resultaten van twee meetdagen waarin de horizontale temperatuur- en vochtverdeling in kaart is gebracht. Het betreft hier een zonnige en een wisselvallige koeldag.

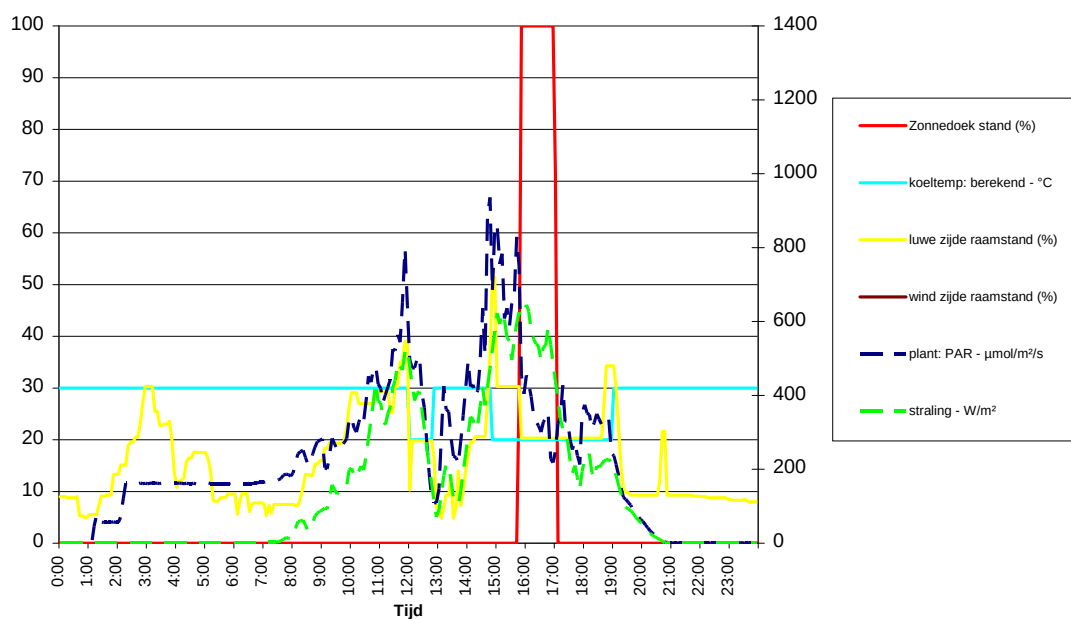
Klimaatomstandigheden 18 april 2009

Figuur 118 Klimaatomstandigheden koelen 18 april Porta Nova

Figuur 118 laat de klimaatomstandigheden zien op 18 april 2009. Het was een onbewolkte dag waarbij de instraling opliep tot boven de 800 W/m^2 . Er is gekoeld van 9:30 tot 19:00 uur. Om 10:30 uur is het scherm dicht gegaan.

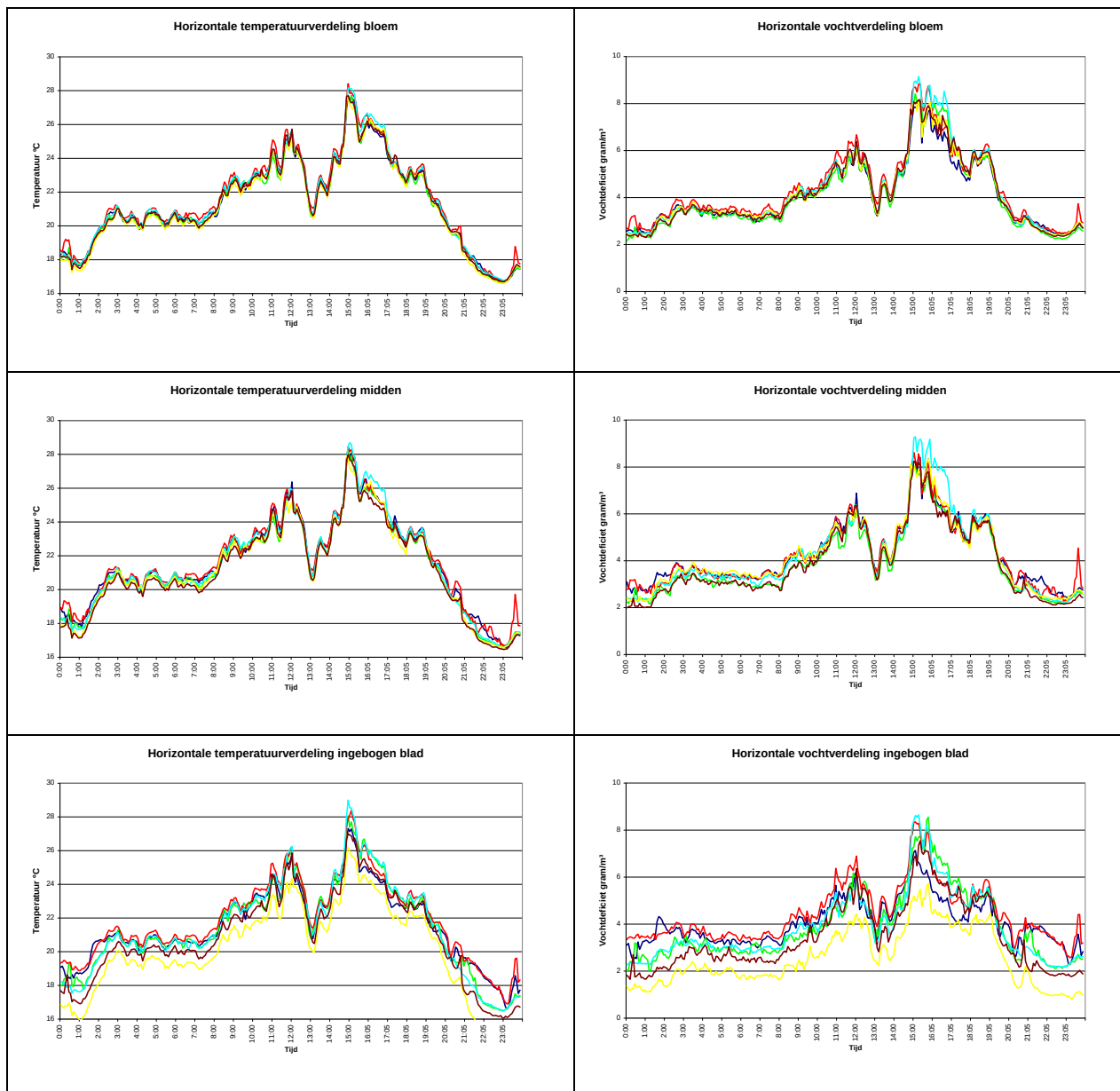


Figuur 119 Horizontale temperatuur- en vochtgradiënt 18 april Porta Nova

Figuur 119 laat 6 figuren zien wat betreft de horizontale verdeling van temperatuur en vocht. De horizontale verdeling van de temperatuur en het vocht is op ingebogen bladhoogte het slechtst. De gradiënt wordt kleiner naarmate hoger in het gewas gemeten wordt. De horizontale gradiënt op ingebogen blad ligt maximaal rond de 3°C en een vochtdeficiënt gradiënt van 4 gram/m³. Wanneer er niet meer gekoeld wordt neemt de gradiënt op alle hoogte af maar blijft op ingebogen bladhoogte toch kritisch. In de nachtperiode worden er op een aantal moment vochtdeficiëncijfers gemeten van onder de 1 gram/m³, wat als kritisch kan worden beschouwd i.v.m. de kans op condensvorming en nat slaan van het gewas. De verticale temperatuur- en vochtgradiënt is afhankelijk van het punt waar gemeten wordt. De grootste temperatuurgradiënt die tussen ingebogen blad- en bloemhoogte gevonden wordt is 3°C en het grootste vochtdeficiënt verschil is ongeveer 4 gr/m³.

Klimaatomstandigheden 17 april 2009

Figuur 120 Klimaatomstandigheden koelen 17 april Porta Nova

Figuur 120 laat de klimaatomstandigheden zien op 17 april. Het was een wisselvallige dag waarbij de instraling opliep tot 650 W/m^2 . De koeling heeft twee momenten aangestaan, namelijk van 12:00 tot 13:00 uur en van 14:45 tot 19:00 uur waarbij tussen 15:45 en 17:00 uur het scherm dicht heeft gelegen.



Figuur 121 Horizontale temperatuur- en vochtgradiënt 17 april Porta Nova

Figuur 121 laat 6 figuren zien wat betreft de horizontale verdeling van temperatuur en vocht. De horizontale verdeling van de temperatuur en het vocht is op ingebogen bladhoogte het slechtst. De gradiënt wordt kleiner naarmate hoger in het gewas gemeten wordt. De horizontale temperatuurgradiënt overdag op ingebogen bladhoogte ligt maximaal rond de 2°C. De horizontale vochtdeficiënt gradiënt ligt overdag maximaal rond de 3 gram/m³. Het lijkt erop dat naarmate er meer instraling is er een grotere horizontale gradiënt ontstaat. De grootste verticale temperatuurgradiënt die tussen ingebogen blad en bloemhoogte gevonden wordt is 2°C. Het grootste vochtdeficiënt verschil is ongeveer 3 gr/m³.

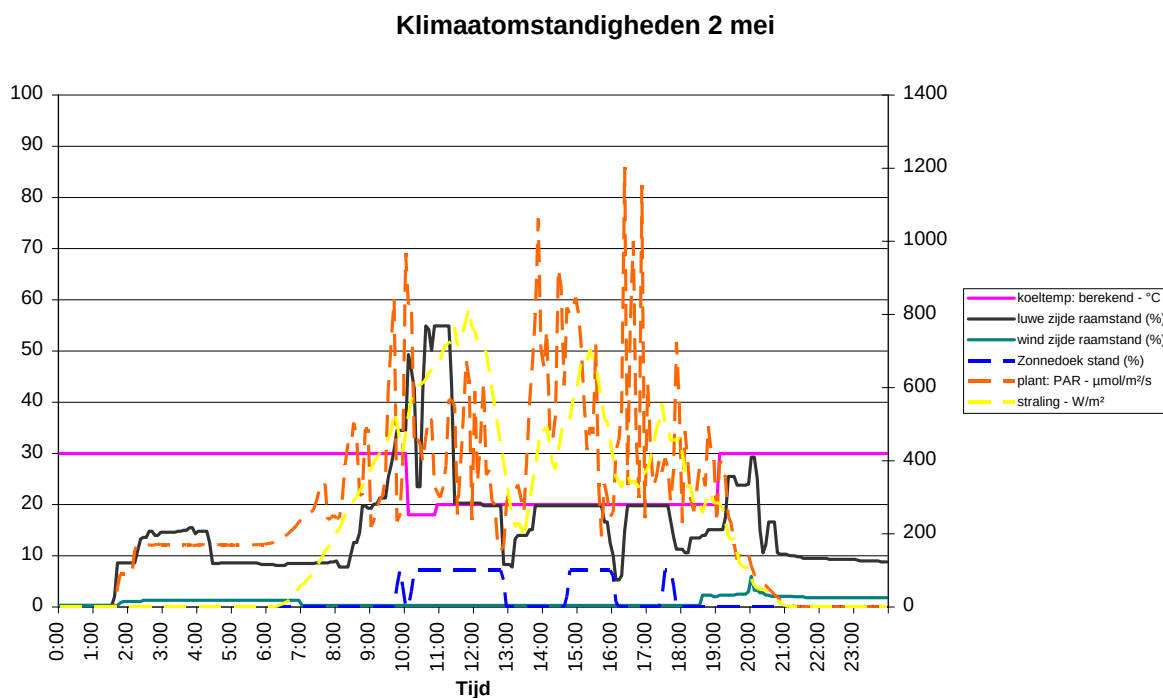
Tussen de zonnige en wisselvallige dag zijn geen grote verschillen aan te wijzen. Beide metingen laten op ingebogen bladhoogte de grootste horizontale temperatuur en vochtgradiënten zien. Bij de zonnige dag is deze gradiënt het grootst. De horizontale en verticale temperatuur- en vochtgradiënt wordt het grootst naarmate er meer instraling is. Op gewas en bloemhoogte is de horizontale temperatuur- en vochtverdeling goed.

7.2.1.3 Verticale temperatuursgradiënt, vochtgradiënt en luchtstromen

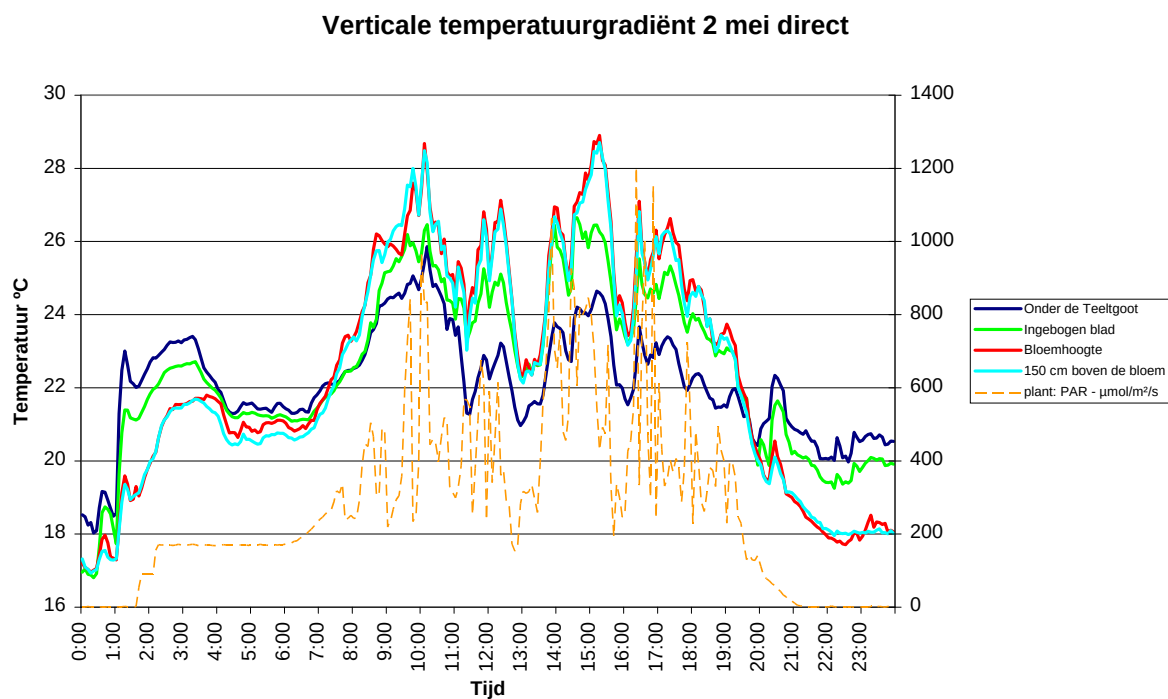
Om de verticale temperatuurs- en vochtgradiënt vast te leggen is er op twee plaatsen op 4 hoogtes (onder de teeltgoot, ingebogen blad, bloem en 150 cm boven de bloem) gedurende een langere periode gemeten. Naast de temperatuur en vocht is de luchtstroming op 8 punten in kaart gebracht met de akoestische meetapparatuur.

Om de effecten van onderdoor koelen op de verticale temperatuur- en vochtverdeling te bepalen zijn er gedurende een intensieve meetperiode van 1 t/m 13 mei metingen verricht. Uit deze meetperiode is een zonnige dag en wisselvallige dag gekozen die een goed beeld geven van het effect van onderdoor koelen. De proefopzet is gedetailleerd beschreven in hoofdstuk 2.7.

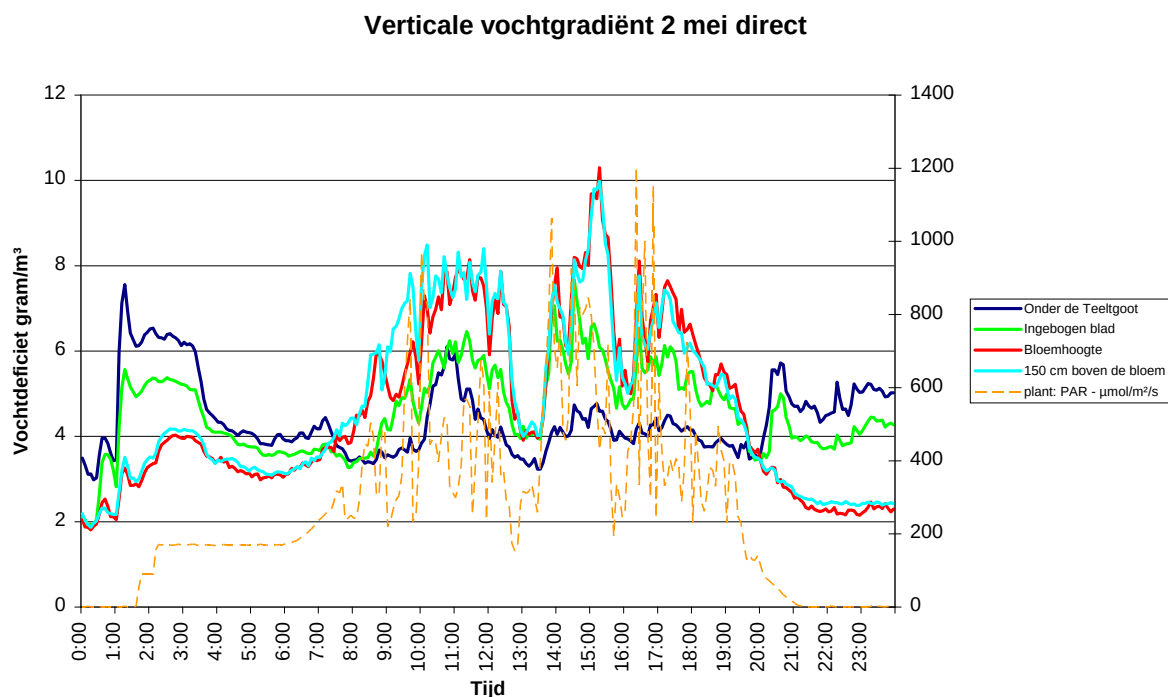
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, verticale temperatuur- en vochtgradiënt en luchtstromen zien wanneer er gekoeld wordt op 2 mei tijdens een wisselvallige dag.



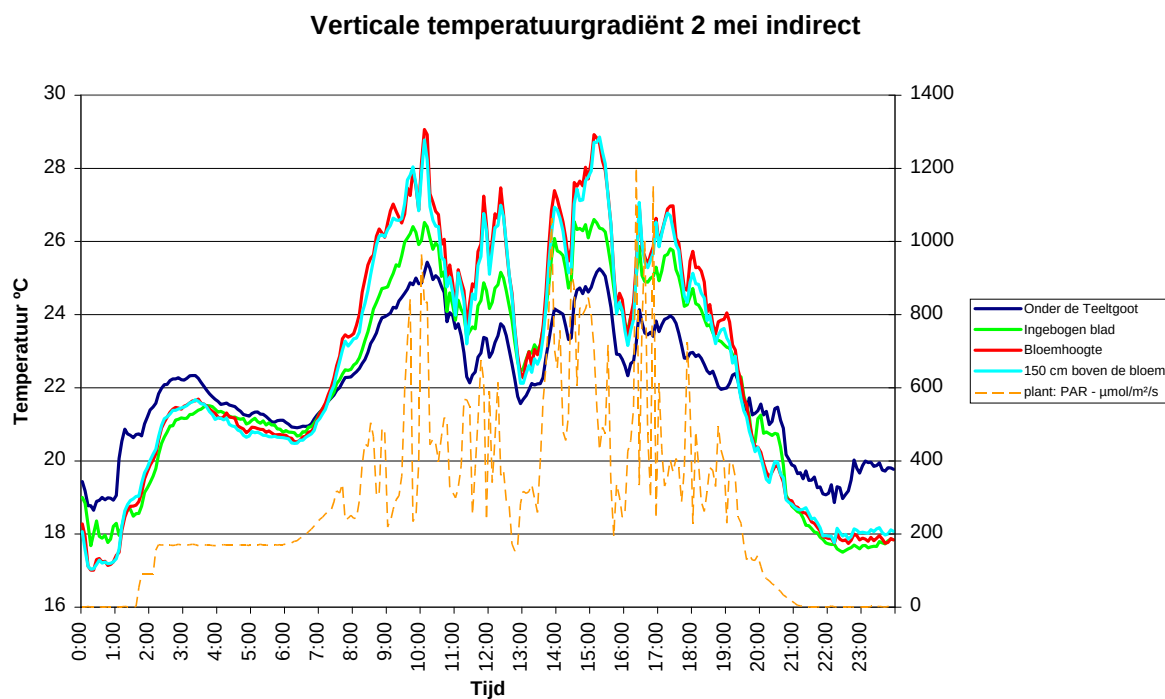
Figuur 122 Klimaatomstandigheden koelen 2 mei Porta Nova



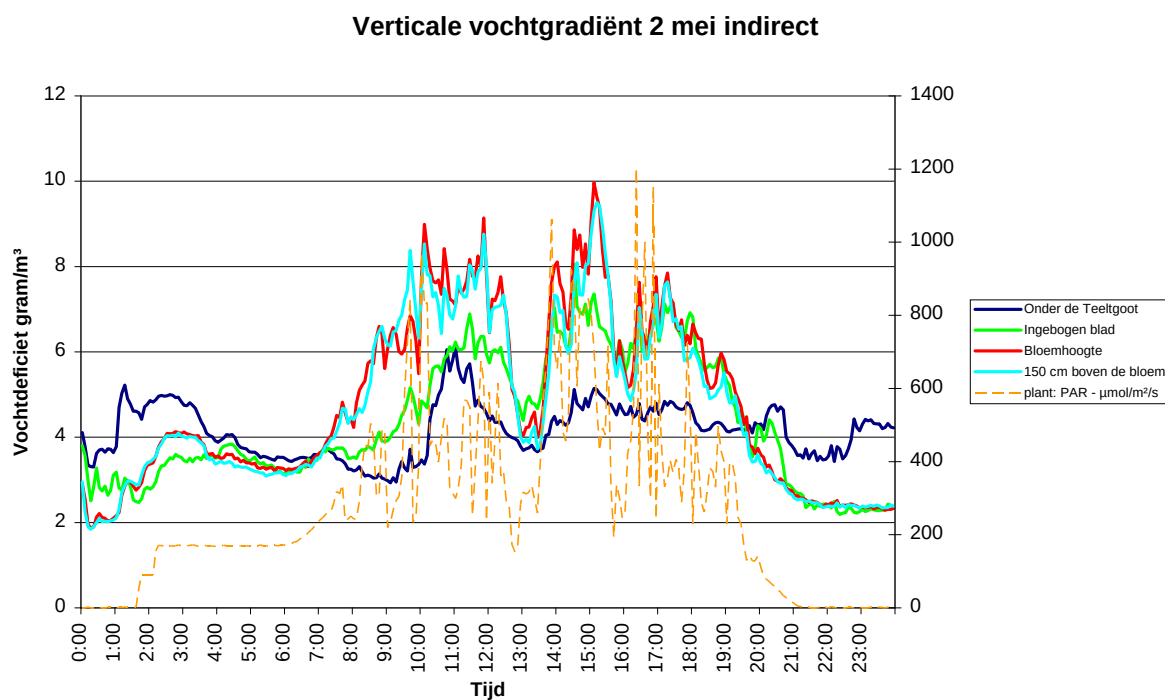
Figuur 123 Verticale temperatuurgradiënt 2 mei in directe lijn met de Fiwihex



Figuur 124 Verticale vochtgradiënt 2 mei in directe lijn met de Fiwihex



Figuur 125 Verticale temperatuurgadiënt 2 mei tussen de Fiwihexen in



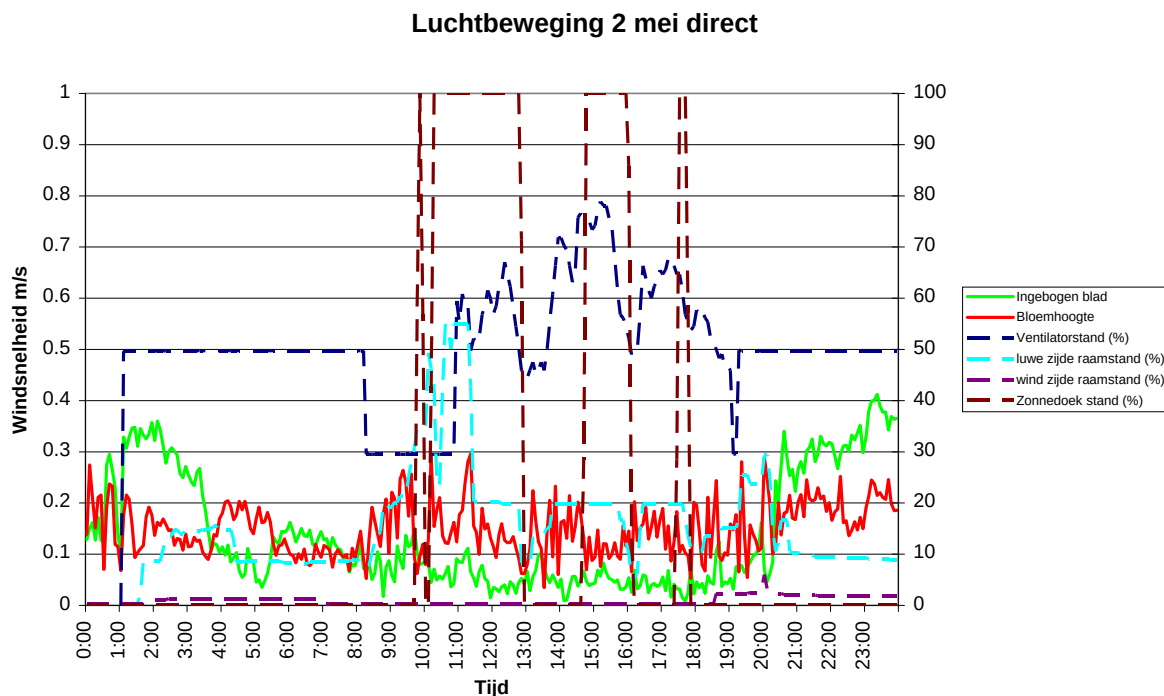
Figuur 126 Verticale vochtgradiënt 2 mei tussen de Fiwihexen in

Figuur 122 laat de klimaatsomstandigheden zien op 2 mei. Het was een wisselvallige dag waarbij de koeling van 10:00 tot 19:00 uur aan heeft gestaan. Het scherm heeft tijdens het koelen een aantal maal open en dicht gelegen.

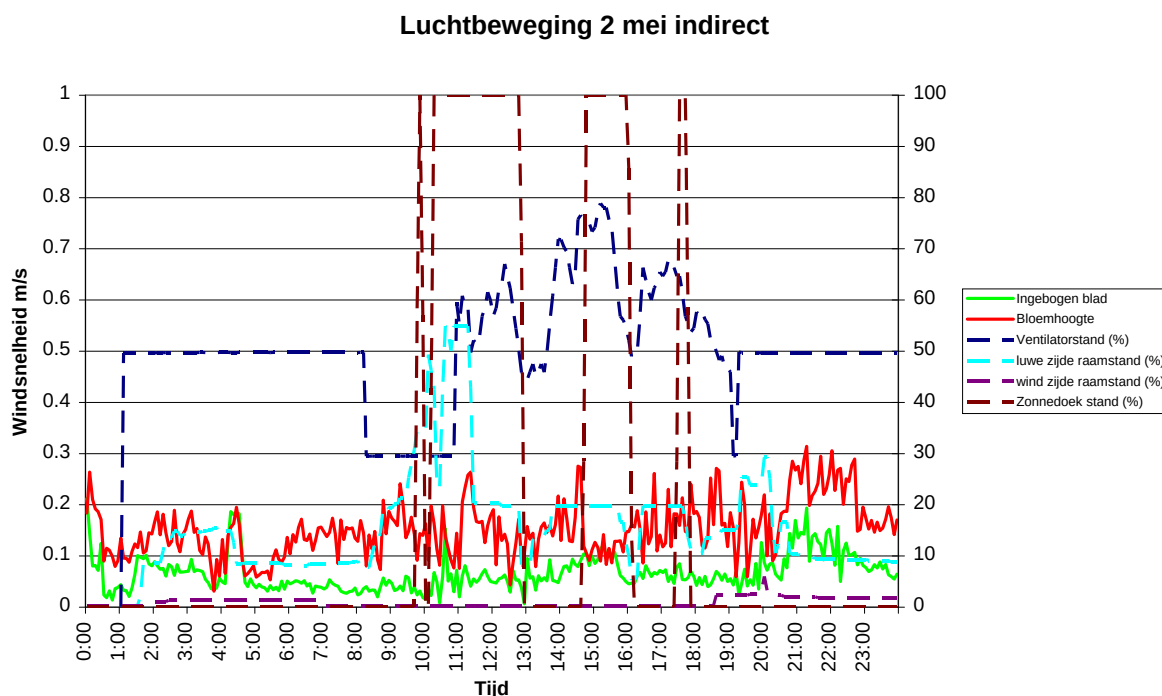
Figuur 123 en Figuur 125 laten het verloop zien van de temperatuur. Duidelijk is te zien dat er een gradiënt ontstaat naarmate de straling toeneemt. Het verschil tussen ingebogen blad en bloemhoogte is nooit hoger dan 3°C. De verschillen tussen de directe en indirecte meting zijn zeer gering.

Figuur 124 en Figuur 126 laten het verloop zien van het vochtdeficit. Duidelijk is te zien dat er een gradiënt ontstaat naarmate de straling toeneemt. De lijnen laten hetzelfde beeld zien als de temperatuur. Duidelijk is dat op ingebogen bladhoogte het vochtdeficit de meest kritische waardes aangeeft. Zoals we eerder bij de horizontale verdeling zagen is bij het ingebogen blad de verdeling het slechts. Dat maakt deze hoogte het meest kritisch tijdens koelen. In de nachtperiode tijdens verwarmen is deze verticale gradiënt er niet.

De variatie in temperatuur- en vochtgradiënt gedurende de meetdag verschilt veel. Het ene moment liggen de temperaturen dicht bij elkaar maar lopen uit elkaar als er veel straling is. De temperatuurverdeling is niet stabiel te noemen.



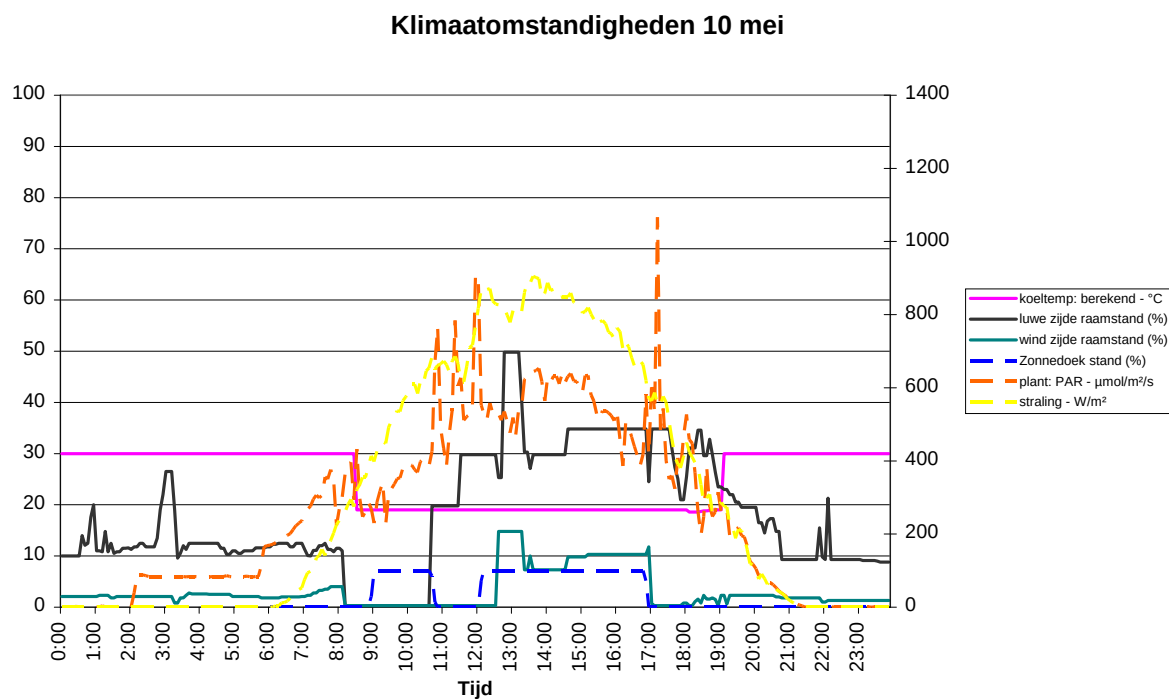
Figuur 127 Luchtbeweging 2 mei in directe lijn met de FiwiHex



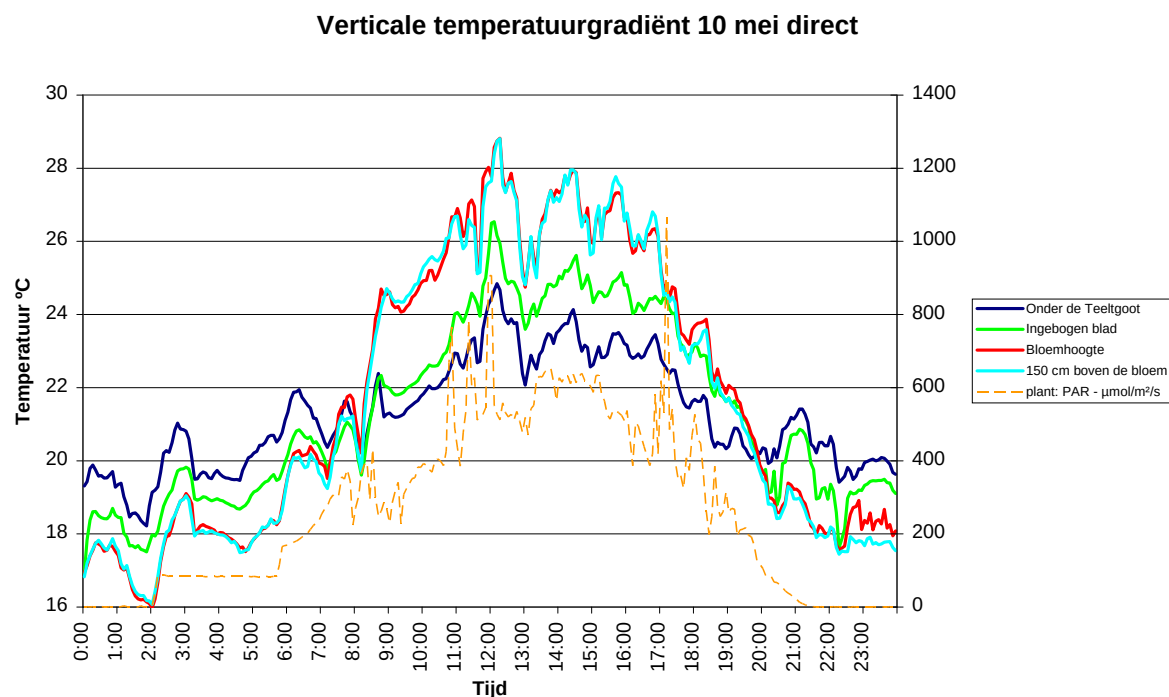
Figuur 128 Luchtbeweging 2 mei tussen de Fiwihexen in

Figuur 127 en Figuur 128 laten de luchtbeweging zien op bloem- en ingebogen bladhoogte. Bij het aangaan van de Fiwihex ventilator om 1:00 uur is er een momentane verhoging te zien van de windsnelheid op ingebogen bladhoogte in directe lijn met de Fiwihex en in mindere mate tussen de Fiwihexen in. Verder over de dag is dit effect niet te zien. Blijkbaar is de luchtbeweging die gecreëerd wordt onder deze omstandigheden minimaal. Als het scherm helemaal dicht zou liggen zou mogelijk een groter effect gemeten worden. Om 20:00 uur is er een verhoging te zien op zowel ingebogen blad als bloemhoogte. Om 18:30 uur is te zien dat de windzijde op een klein kiertje gaat liggen met om 20:00 uur een iets grotere opening (5%). Dit kan mogelijk de oorzaak zijn van de verhoogde luchtbeweging. Feit is dat de luchtstromen sterk onderhevig zijn aan wisselende klimaat- en buitenomstandigheden.

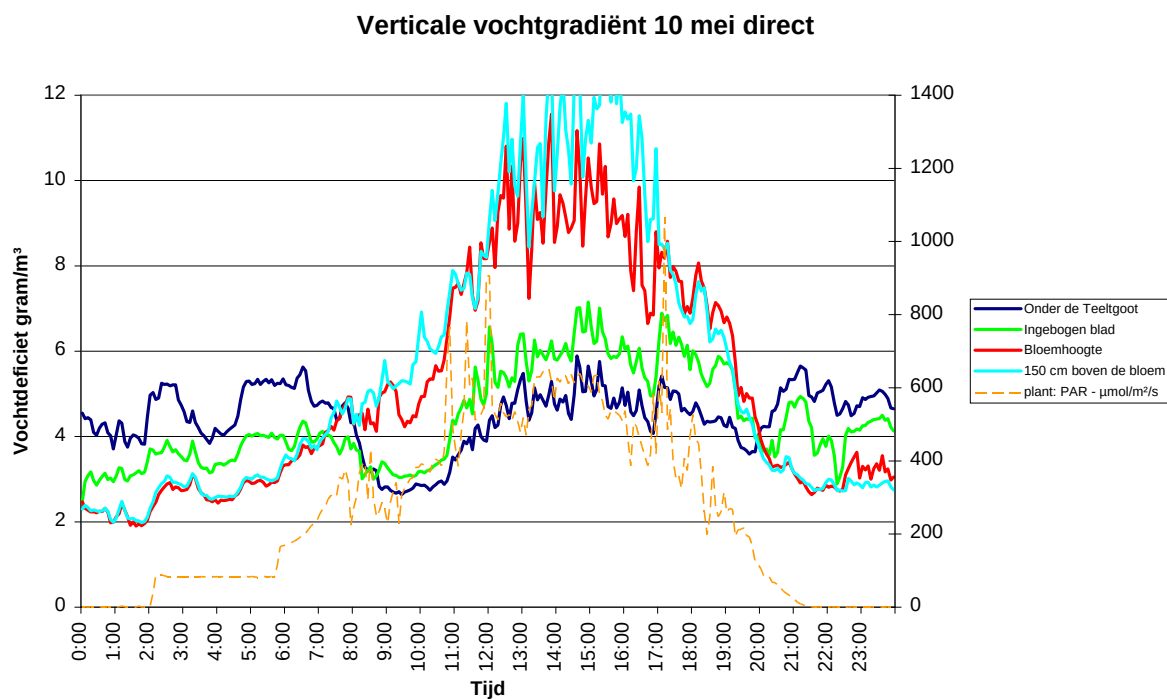
De volgende figuren laten de klimaatomstandigheden, verticale temperatuur- en vochtgradiënt en luchtstromen zien wanneer er gekoeld wordt op 10 mei tijdens een zonnige dag.



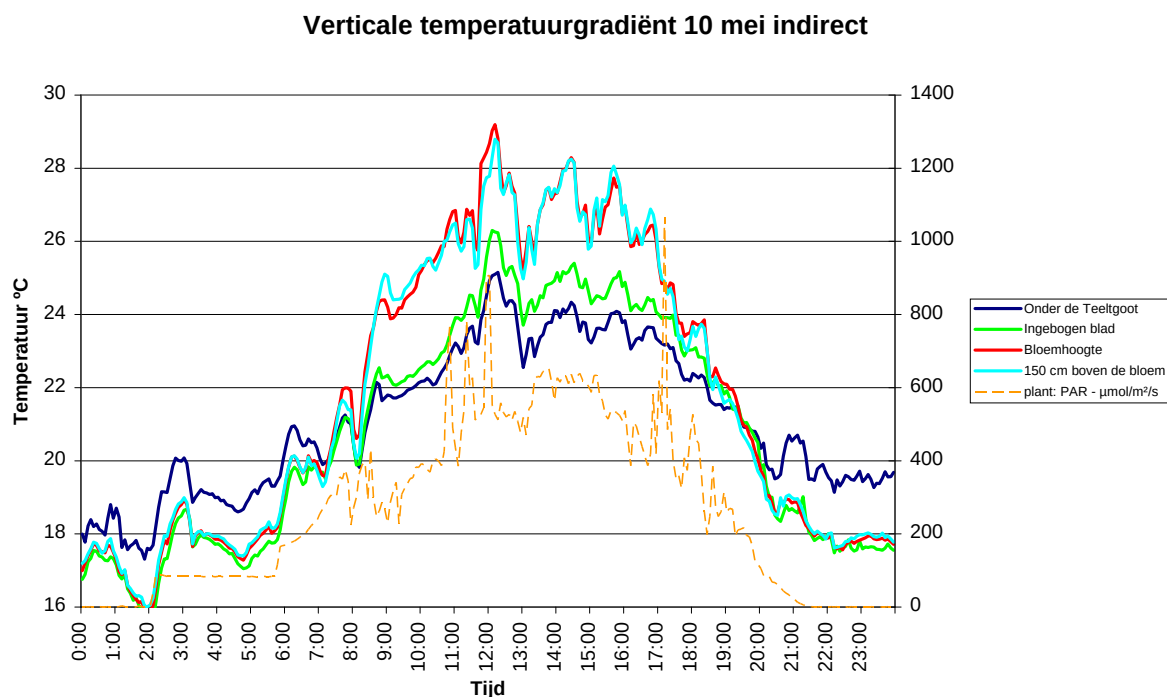
Figuur 129 Klimaatomstandigheden koelen 10 mei Porta Nova



Figuur 130 Verticale temperatuurgradiënt 10 mei in directe lijn met de Fiwihex

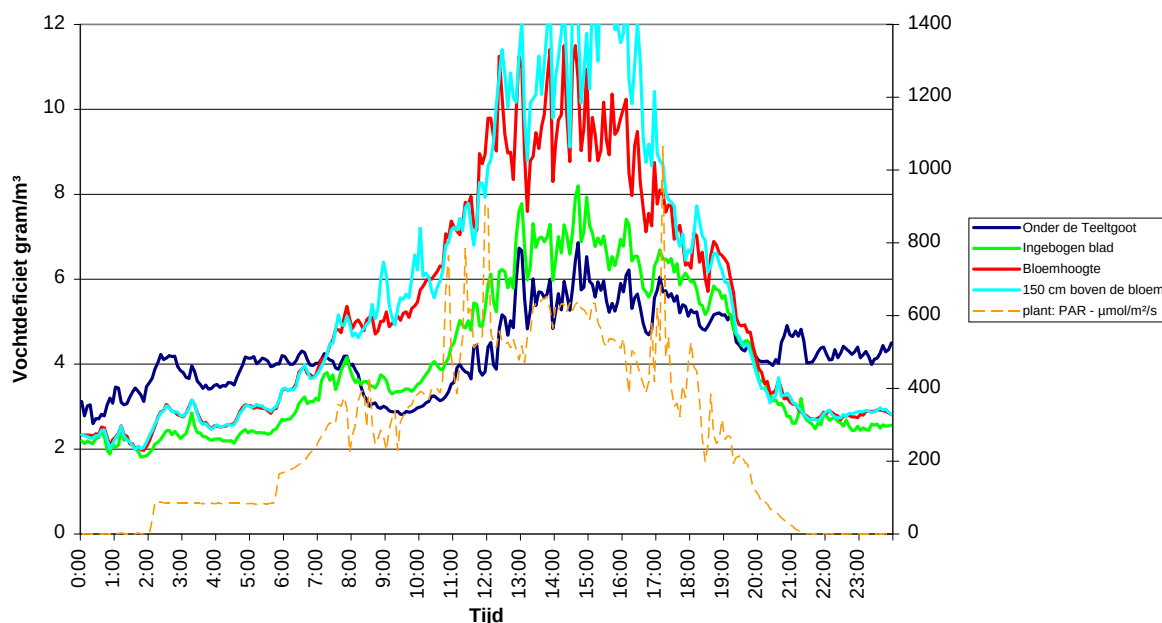


Figuur 131 Verticale vochtgradiënt 10 mei in directe lijn met de Fiwihex



Figuur 132 Verticale temperatuurgradiënt 10 mei tussen de Fiwihexen in

Verticale vochtgradiënt 10 mei indirect

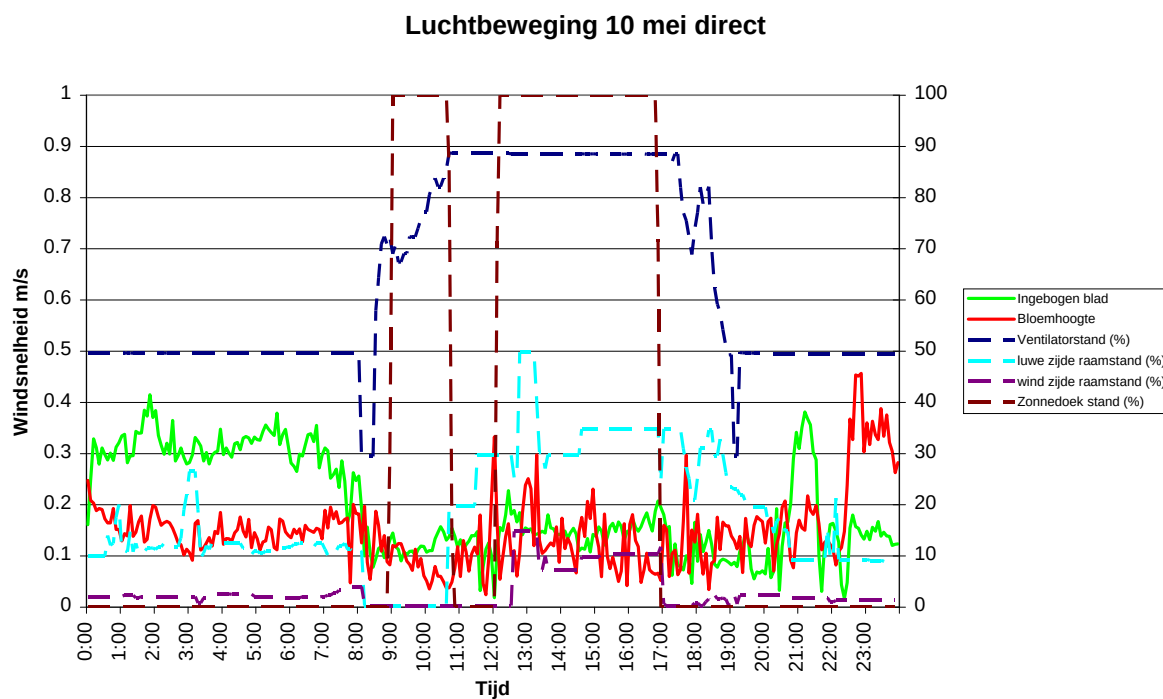


Figuur 133 Verticale vochtgradiënt 10 mei tussen de Fiwihexen in

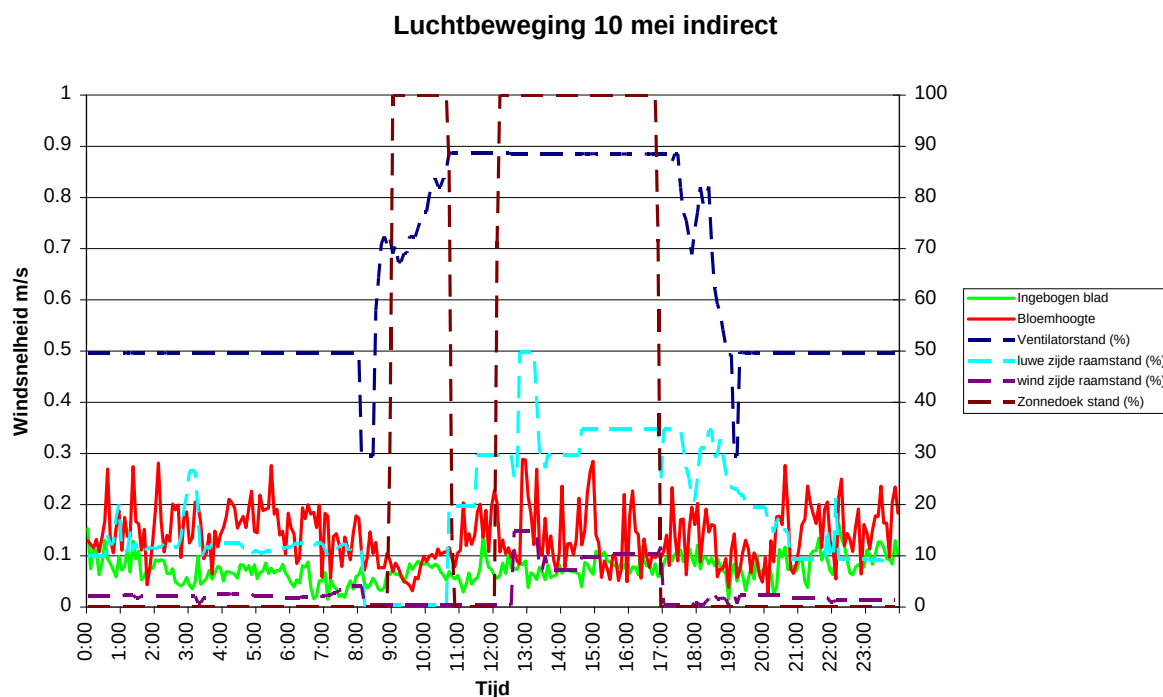
Figuur 129 laat de klimaatomstandigheden zien op 10 mei. Het was een overwegend zonnige dag met een maximale straling van 900 W/m^2 . De koeling is aangegaan om 8:30 uur en weer uitgegaan om 19:00 uur.

Figuur 130 en Figuur 132 laten het verloop zien van de temperatuur. Op het moment dat de koeling aangaat (8:30 uur) dan daalt de kas temperatuur. Op datzelfde moment zijn de wind en luwzijde helemaal dicht gelopen en loopt de straling op. In verhouding is te zien dat de temperatuur op bloemhoogte en de meting daarboven in verhouding veel meer oplopen dan de onderste twee metingen. De gradiënt die vervolgens ontstaat tussen ingebogen blad en bloemhoogte ($\pm 3^\circ\text{C}$) blijft gedurende de dag bestaan. Ook hier geldt dat de gradiënt sterk gerelateerd is aan de straling.

Figuur 131 en Figuur 133 laten het verloop zien van het vochtdeficit. Duidelijk is te zien dat er een gradiënt ontstaat naarmate de straling toeneemt. De lijnen laten hetzelfde beeld zien als de temperatuur. Duidelijk is dat op ingebogen bladhoogte het vochtdeficit de meest kritische waardes aangeeft. De meting die in directe lijn met de Fiwihex is gedaan geeft het laagste vochtdeficit. Zoals we eerder bij de horizontale verdeling zagen is bij het ingebogen blad de horizontale verdeling het slechts. Dat maakt deze hoogte het meest kritisch tijdens koelen. In de nachtperiode tijdens verwarmen is deze gradiënt er niet.



Figuur 134 Luchtbeweging 10 mei in directe lijn met de Fiwihex



Figuur 135 Luchtbeweging 10 mei tussen de Fiwihexen in

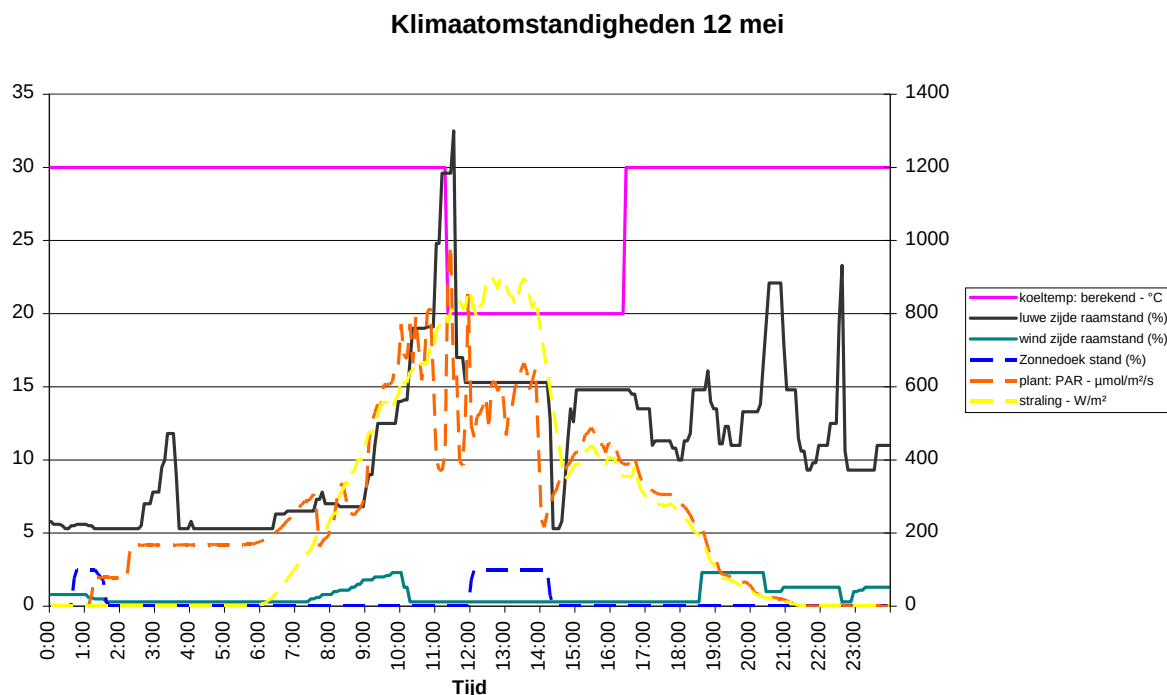
Figuur 134 en Figuur 135 laten de luchtbeweging zien op bloem- en ingebogen bladhoogte. In directe lijn met de Fiwihex is duidelijk tot 8:00 uur 's ochtends een hogere windsnelheid te zien. Om 8:00 uur gaat de windsnelheid naar beneden. Op datzelfde

moment gaat de windzijde dicht en wordt de ventilator snelheid verlaagd. Aangenomen kan worden de ventilatorsnelheid effect heeft, maar de raamstand ook bepalend is voor de windsnelheid op bloemhoogte.

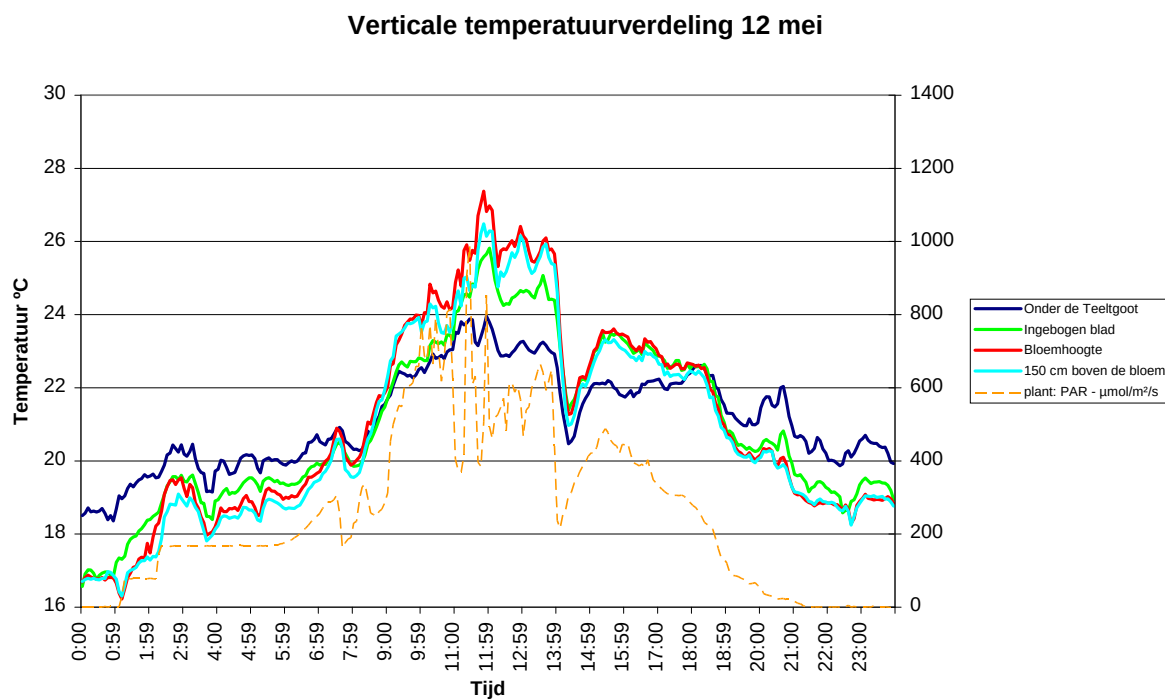
De luchtbeweging metingen tonen aan dat de FiwiHex ventilator invloed heeft op de luchtbeweging, maar dat de verandering in klimaatregeling en buitenomstandigheden ook zeer grote invloeden hebben op de luchtbeweging.

7.2.1.4 Omgevings- en planttemperatuurmeting

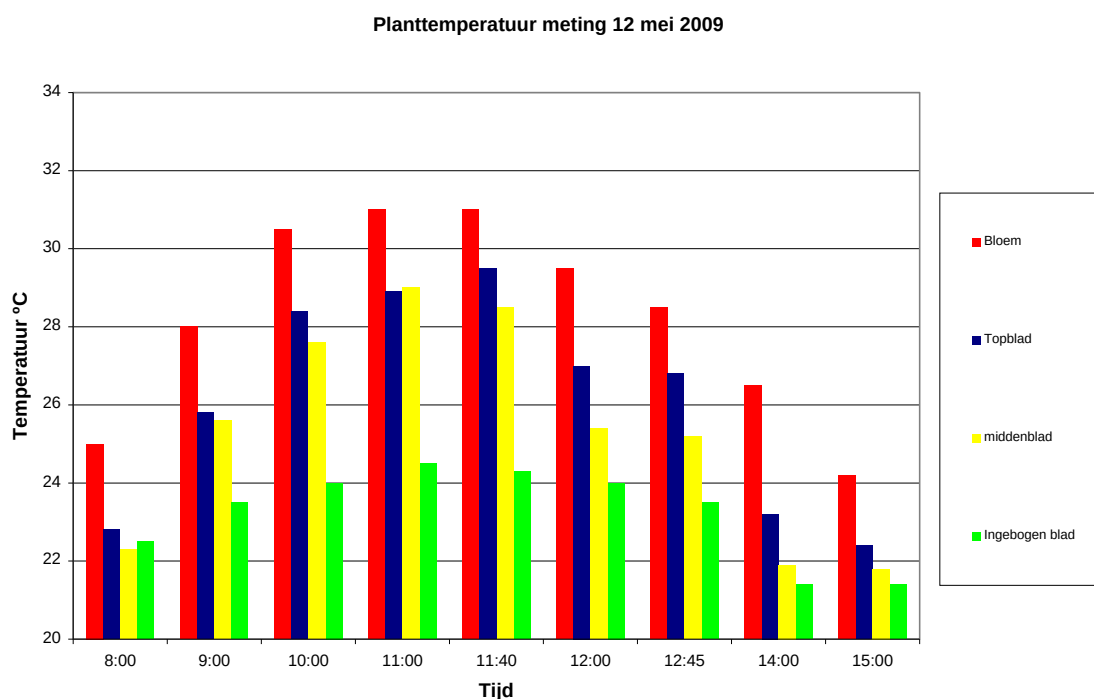
Om het effect van onderdoor koelen op de omgevings- en planttemperatuur vast te leggen zijn op 12 mei planttemperatuur metingen verricht in combinatie met akoestische metingen. De volgende figuren laten de resultaten hiervan zien.



Figuur 136 Klimaatomstandigheden koelen 12 mei Porta Nova



Figuur 137 Gemiddelde omgevingstemperatuur 12 mei Porta Nova



Figuur 138 Planttemperatuur metingen 12 mei Porta Nova

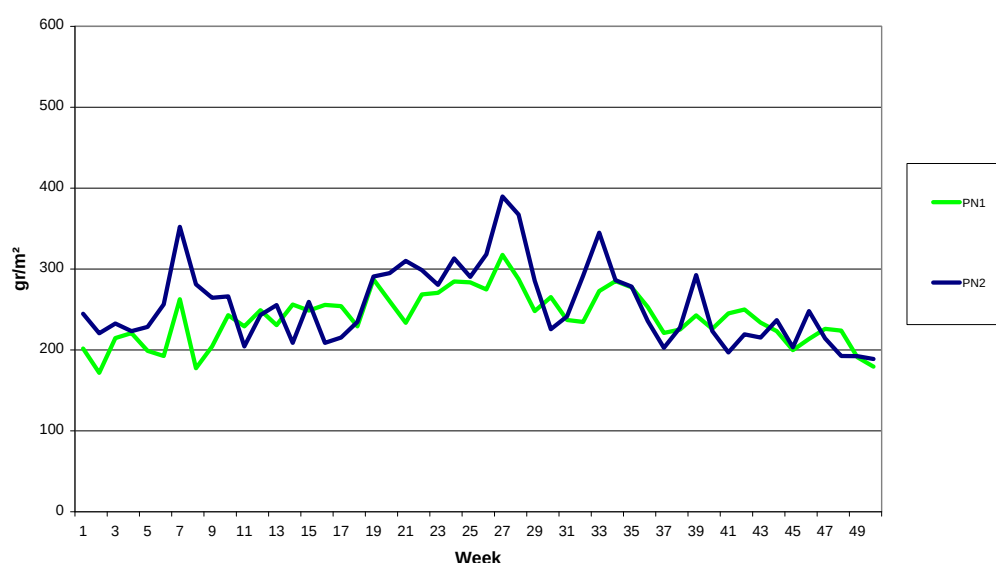
Figuur 136 laat de klimaatomstandigheden zien op 12 mei. De koeling is aangegaan om 11:15 uur en weer uitgegaan om 16:30 uur. Om 14:00 uur wordt het bewolkt en neemt de straling snel af. Tot 14:00 uur is de straling hoog met een maximum van 900 W/m^2 .

Figuur 137 en Figuur 138 laten de omgevings- en planttemperatuur metingen zien op 12 mei. We zien bij de metingen dat de omgevingstemperatuur en planttemperatuur hetzelfde verloop in verticale gradiënt laten zien. De verticale gradiënt is bij de planttemperatuur wel groter. De koeling is pas om 11:15 uur aangegaan. Het is te zien dat de gradiënt nauwelijks verandert in vergelijking met de periode dat er niet gekoeld wordt. Om 12:00 gaat het scherm dicht, dan komen de planttemperaturen dicht bij elkaar. Deze meting geeft aan dat de gradiënt door de koeling niet verkleind wordt. De gradiënt wordt groter naarmate de straling toeneemt. Door het scherm te sluiten zakt deze iets.

7.2.2 Productiegegevens 2009

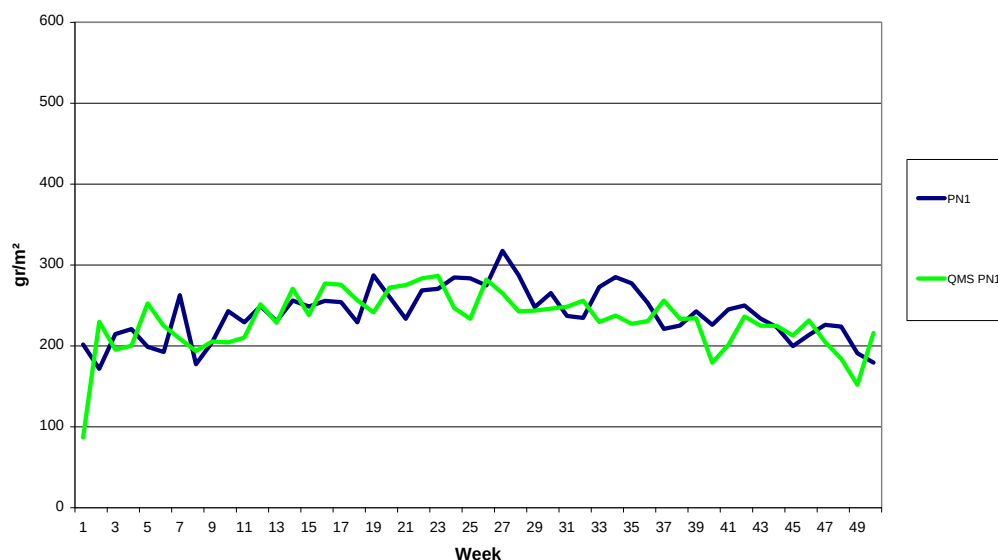
De totale productie gegevens van de gekoelde en de niet gekoelde afdeling bij Porta Nova zijn apart bijgehouden.

Vergelijk Porta Nova 2009

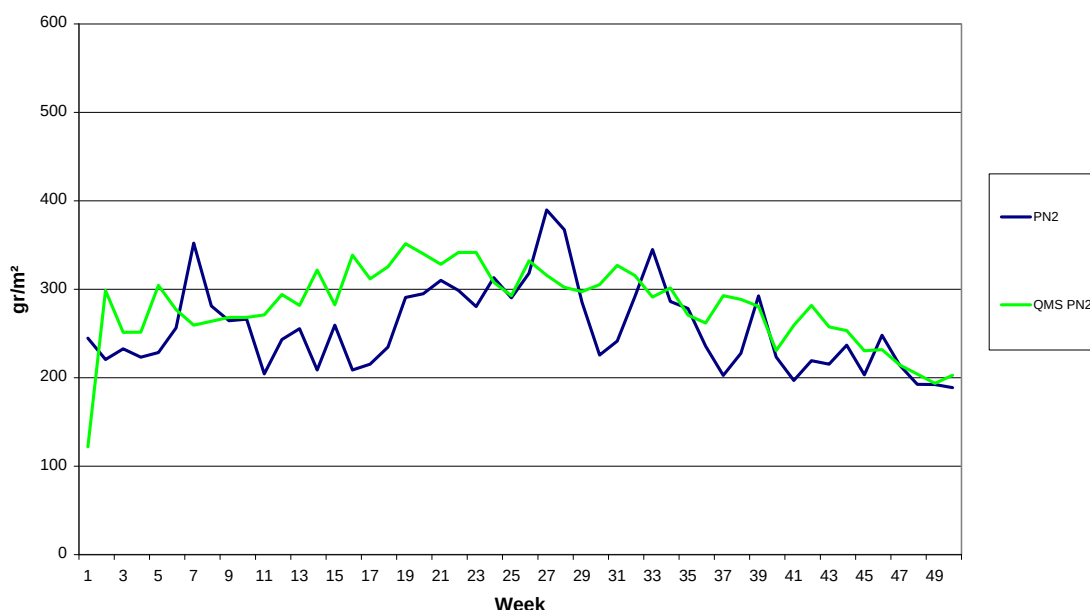


Figuur 139 Productiecijfers Porta Nova 2009

Figuur 139 laat de productie cijfers t/m week 50 zien van de gekoelde (PN2) en ongekoelde kas (PN1) van Porta Nova. Over het algemeen loopt de productielijn van de gekoelde kas voor op de productielijn van ongekoelde kas. Tussen week 20 en week 40 ligt de productie in de gekoelde kas hoger dan in de niet gekoelde kas, als gevolg van de koeling. Tot week 20 was de productie in de gekoelde kas hoger door een hogere PAR output van de assimilatielampen. De totale productie in de ongekoelde kas is $11,98 \text{ kg/m}^2$ en voor de gekoelde kas $12,80 \text{ kg/m}^2$. Het absolute verschil tussen de gekoelde en niet gekoelde afdeling is 814 gr/m^2 . Dit is 7% meer in de gekoelde afdeling.

Productie Porta Nova 1 2009**Figuur 140 Productiecijfers tov QMS ongekoeld 2009 Porta Nova 1**

Figuur 140 laat de productie zien van de ongekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS. Gedurende het gehele jaar lopen de berekende en gerealiseerde productie redelijk gelijk. Het verschil is een hoger gerealiseerde productie van 431 gr/m² ten opzichte van de berekening. Dit is 4% meer dan de berekende waarde.

Productie Porta Nova 2 2009**Figuur 141 Productiecijfers t.o.v. QMS gekoeld 2009 Porta Nova 2**

Figuur 141 laat de productie zien van de gekoelde afdeling ten opzichte van de berekende productie met QMS. Opvallend is dat de gerealiseerde productie op een aantal pieken na structureel achter loopt op de berekende waarde. Door (locaal) snee-effect, is de lichtonderschepping in dit relatief jonge gewas nog niet optimaal. Dit kan verklaren waarom

de productierealisatie achter blijft op de QMS berekeningen. Andere verklaring is dat er in het begin van het jaar corrigerende gewaswerkzaamheden d.m.v. onderdoor knippen zijn uitgevoerd. Dit is goed te zien vanaf week 11. In de loop van 2009 wordt het verschil met de berekende productie kleiner. Toch blijft de productie ook de 2^e helft van het jaar achter. Verklaring hiervoor dat er veel roest aantasting is geweest. Het verschil is een lagere gerealiseerde productie van 1241 gr/m² ten opzichte van de berekening. Dit is 9% minder dan de berekende productie.

Kijken we nu naar de licht benuttingefficiëntie (LBE) in de koelperiode 4 t/m 9, dan komen we zowel voor de gekoelde als niet gekoelde kas uit op 9,3 gr/mJ PAR. Dit betekent dat er even efficiënt met licht is omgegaan in de gekoelde als in de ongekoelede afdeling. Bij de gekoelde kas (PN2) is er meer licht toegelaten, maar het licht is niet efficiënter benut dan in de niet gekoelde afdeling (PN1). De onbalans en leeftijd van het gewas bij PN2 zou een lagere LBE tot gevolg kunnen hebben. Bij een betere balans is mogelijk een hogere LBE te realiseren.

7.2.3 Kwaliteitsgegevens 2009

Om het effect van het koelen op de kwaliteit van het geoogste product in kaart te brengen zijn in Tabel 8 de gemiddelde taklengte en gewicht, kwaliteit en het aantal takken weergegeven. Het betreft gemiddelden van weekcijfers.

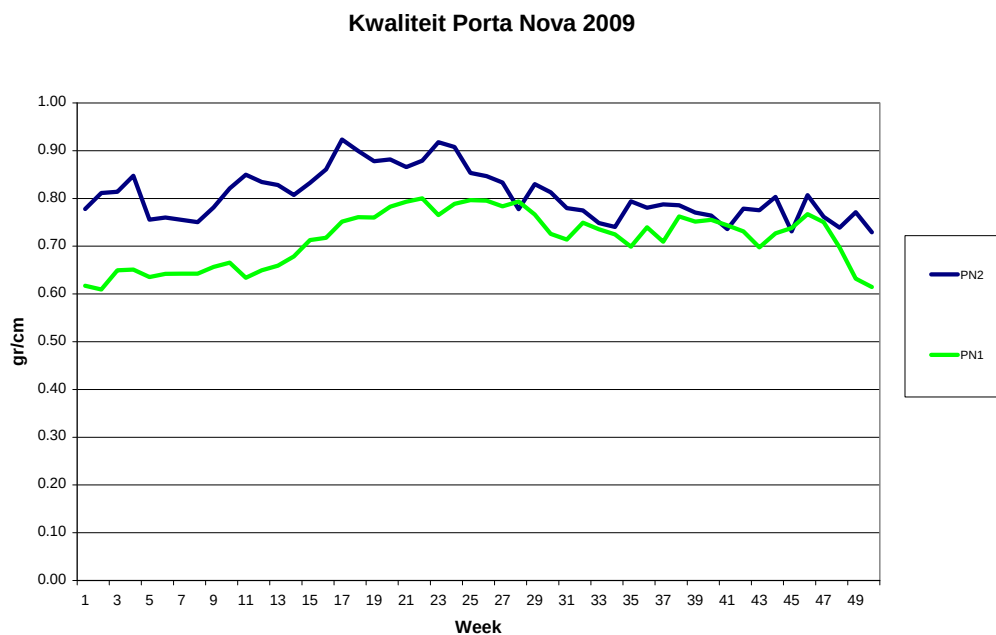
Tabel 8 Kwaliteitsgegevens Porta Nova week 1 t/m 50 2009

**Gemiddelde waardes per week
Periode van week 1 t/m 50 2009**

	Ongekoeld	Gekoeld	Vershil
S: Gem. lengte * (cm)	67.5	70.4	2.9
S: Gem. takgewicht * (gr)	48.2	56.9	8.7
S: Kwaliteit * (gr/cm)	0.72	0.81	0.09
S: Aant takken * (#/m ²)	5.0	4.5	-0.4

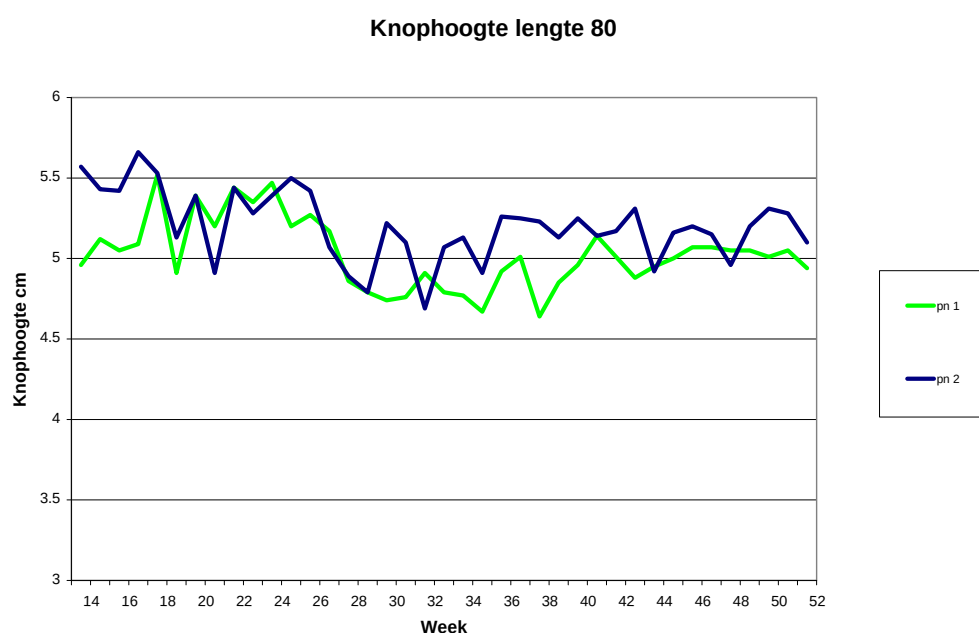
De gekoelde kas heeft gemiddeld 2,9 cm meer taklengte en 8,7 gr meer gewicht per tak. De kwaliteit van de takken zijn in de gekoelde afdeling beter met 0,09 gr/cm meer ten opzicht van de niet gekoelde kas. Het aantal takken is in de ongekoelede afdeling hoger met gemiddeld 0,4 tak meer per week/m². Gekoeld heeft dus een hogere kwaliteit en ongekoeeld een hogere kwantiteit.

Figuur 142 geeft het verloop van de kwaliteit in gr/cm over 2009 weer. Duidelijk is te zien dat in de eerste helft van het jaar de kwaliteit van PN2 (gekoeld) een stuk hoger ligt dan in PN1 (ongekoeld). In de 2^e helft van jaar wordt dit verschil een stuk kleiner. De reden van de verhoogde kwaliteit in de 1^e helft van het jaar is o.a. te verklaren doordat PN2 een jonger gewas heeft staan dan PN1.



Figuur 142 Kwaliteitsverloop Porta Nova 1 (ongekoeld) en Porta Nova 2 (gekoeld) 2009

Van week 14 t/m 52 is de knophoogte van lengte 80 geregistreerd. Figuur 143 geeft het verloop van de knophoogte per week weer. Gemiddeld is de knophoogte in de gekoelde afdeling 4,72 cm en in de ongekoelde 4,56 cm. Dit is een verschil van 0,16 cm ten gunste van de gekoelde afdeling.



Figuur 143 Knophoogte lengte 80 Porta Nova 2009

7.3 Resultaten onderdoor verwarmen 2008 - 2009

7.3.1 Klimaatmetingen onderdoor verwarmen 2008 – 2009

7.3.1.1 Opzet

In de periode van 5 t/m 13 december 2009 zijn diverse proefsituaties met elkaar vergeleken. Tabel 9 laat het verloop van de proef zien.

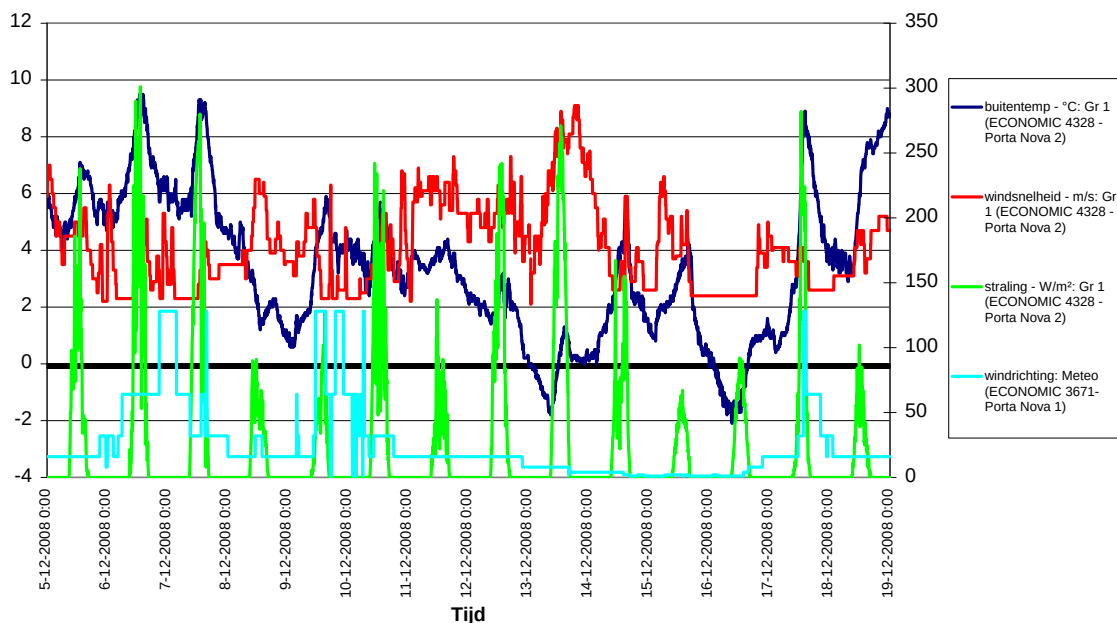
Tabel 9 Tijdschema proefsituaties verwarmen Porta Nova

Tijdschema proefsituaties verwarmen Porta Nova		
Datum	Tijd	
5-12	11:00	Conventioneel verwarmen met minimum buis.
7-12	8:15	Verwarmen met ondernet + Ventilatorstand FiwiHex op 58%. Minimum buis uit behalve van 20:00 t/m 24:00 uur.
8-12	8:30	Ventilatorstand FiwiHex op 40% verwarmen met het ondernet zonder minimum buis.
8-12	12:30	Vervroegd verwarmen met de FiwiHex i.v.m. leegraken buffer hoogwaardige warmte, ventilatorstand op 40%.
9-12	10:00	Verwarming FiwiHex op 58% ingesteld.
12-12	7:30	Verwarming FiwiHex op 76% ingesteld.
12-12	13:00	Verwarming FiwiHex op 58%.
13-12	01:00	Verwarming FiwiHex op 76%.
13-12	07:00	Verwarming FiwiHex op 58%.

Om de effecten van deze proefsituaties in kaart te brengen zijn er verschillende klimaatmetingen verricht. De horizontale temperatuurverdeling is in kaart gebracht door 160 dataloggers op verschillende hoogtes op te hangen. In de volgende paragrafen worden de resultaten hiervan besproken. Bij deze metingen zijn alleen de nachtperiodes relevant. Overdag hebben de loggers te veel last van stralingsinvloed. De verticale temperatuurverdeling en de verticale vochtverdeling zijn bepaald door te meten met akoestische meetapparatuur.

De volgende figuur geeft de buiten klimaatomstandigheden weer tijdens de meetsessie.

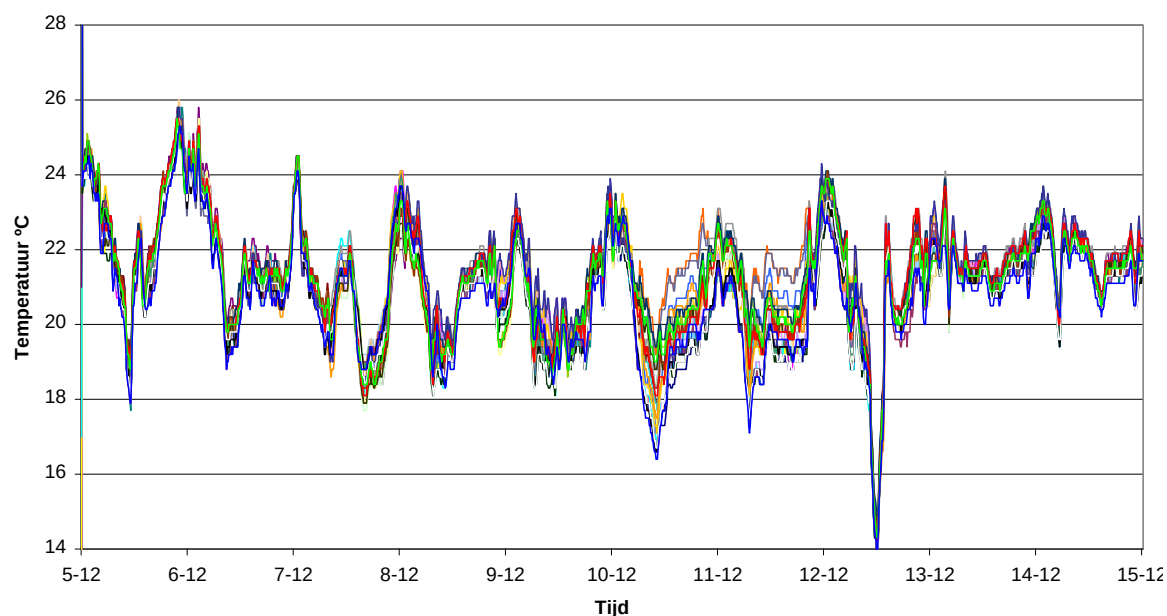
Buitenomstandigheden Porta Nova



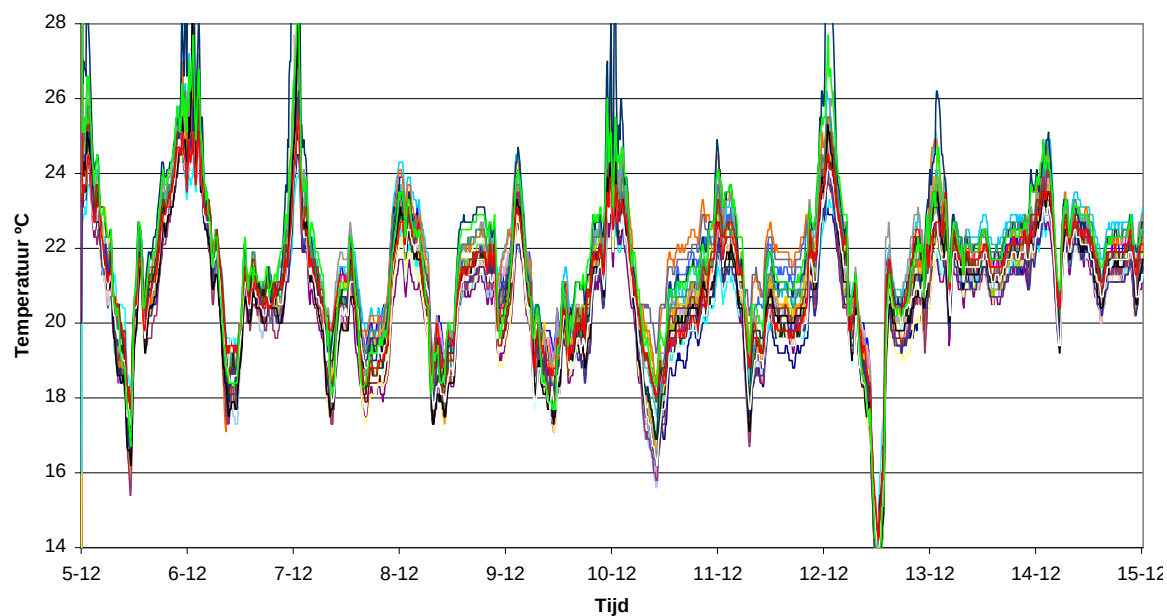
Figuur 144 Buitenomstandigheden

7.3.1.2 Horizontale temperatuurverdeling

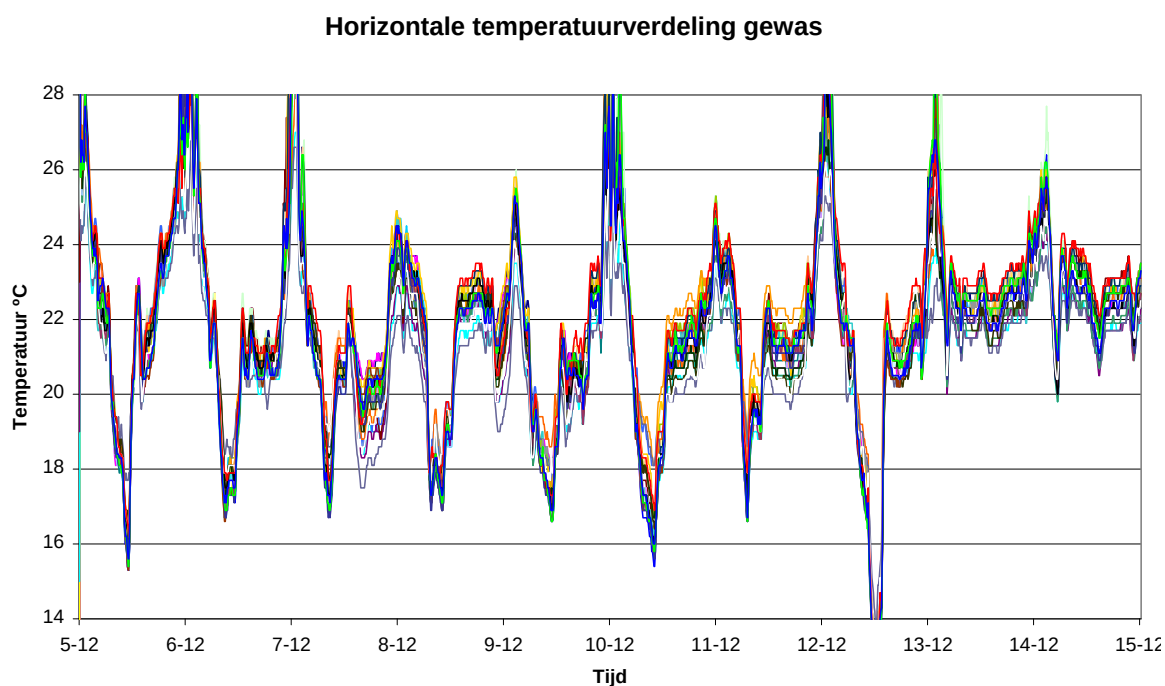
Om de horizontale temperatuurverdeling in het proefvak te bepalen zijn op 20 verschillende posities in de kas temperatuurloggers opgehangen op vier verschillende hoogtes, namelijk onder de teeltgoot, ingebogen blad, gewas en bloemhoogte. Boven het verduisteringsscherm zijn 6 loggers opgehangen en vlak onder het scherm 5 loggers. De resultaten van de metingen zijn in de volgende figuren weergegeven. De maatstreepjes op de X-as zijn weergegeven om 12:00 op de desbetreffende dag. De meting van 10 december 12:00 t/m 12 december 12:00 moet niet in beschouwing genomen worden in verband met het uitvallen van de Fiwhex groep in het proefvak.

Horizontale temperatuurverdeling onder de teeltgoot**Figuur 145 Horizontale temperatuurverdeling onder de teeltgoot Porta Nova**

In Figuur 145 is de horizontale temperatuurverdeling onder de teeltgoot weergegeven. Duidelijk is te zien dat de temperatuurverdeling onder de teeltgoot nauwelijks veranderd bij de verschillend ingestelde proefsituaties.

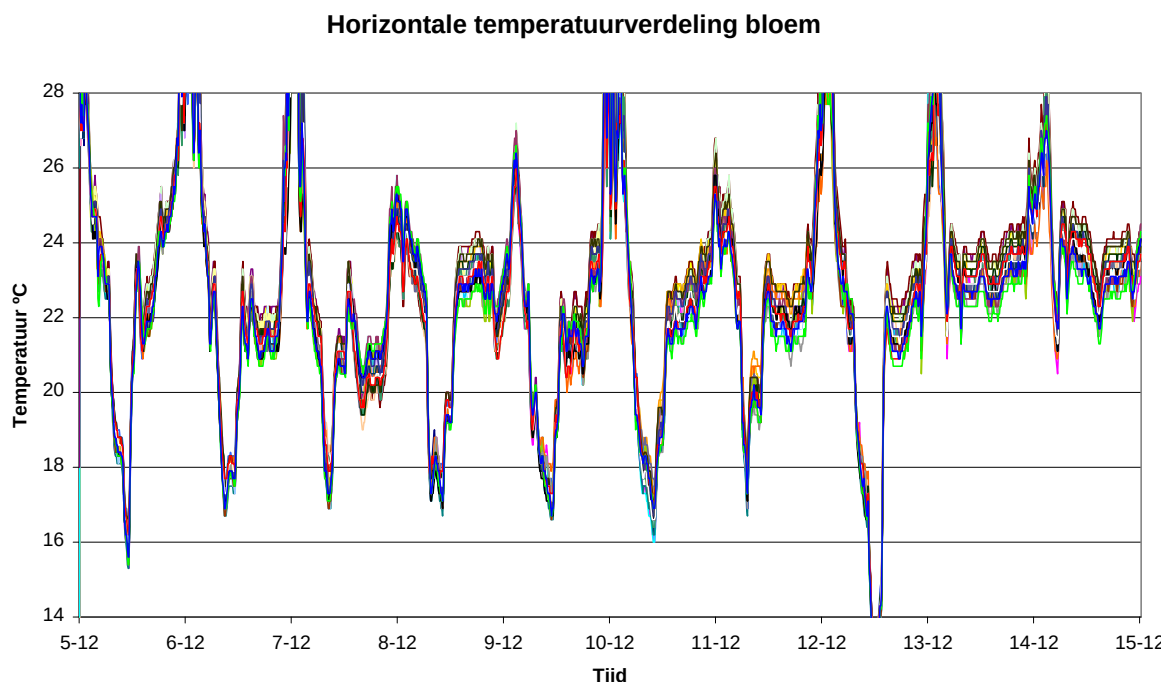
Horizontale temperatuurverdeling ingebogen blad**Figuur 146 Horizontale temperatuurverdeling ingebogen bladhoogte Porta Nova**

In Figuur 146 horizontale temperatuurverdeling ingebogen blad lijkt het erop dat de temperatuurverdeling bij het verwarmen met de FiwiHex en assimilatie belichting een iets grotere spreiding heeft van enkele decimalen in vergelijking met conventioneel verwarmen. Vanaf 8 december om 12:30 uur is er verwarmd met de FiwiHex (waarbij de meting van 10 december 12:00 t/m 12 december 12:00 buiten beschouwing moet worden gehouden). Vanaf 13 december heeft de assimilatie belichting continu aangestaan, wat zichtbaar invloed heeft op de temperatuurverdeling. Tijdens de donkerperiodes is er geen aantoonbaar verschil te zien tussen conventioneel en met de FiwiHex verwarmen.



Figuur 147 Horizontale temperatuurverdeling gewas Porta Nova

In Figuur 147 horizontale temperatuur verdeling gewas is het meest opvallende verschil in de nacht van 7 op 8 december. Hierbij is verwarmd zonder minimum buis. Tijdens de belichte periode met $165 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ loopt het temperatuurverschil op tot 3°C .



Figuur 148 Horizontale temperatuurverdeling bloemhoogte Porta Nova

In Figuur 148 horizontale temperatuurverdeling bloemhoogte is de temperatuurverdeling tijdens de donkerperiode niet aantoonbaar verschillend tussen de verschillende proefsituaties. Wanneer er belicht wordt lijkt de verdeling een aantal decimalen groter te worden, vooral in de periode van 13 t/m 15 december.

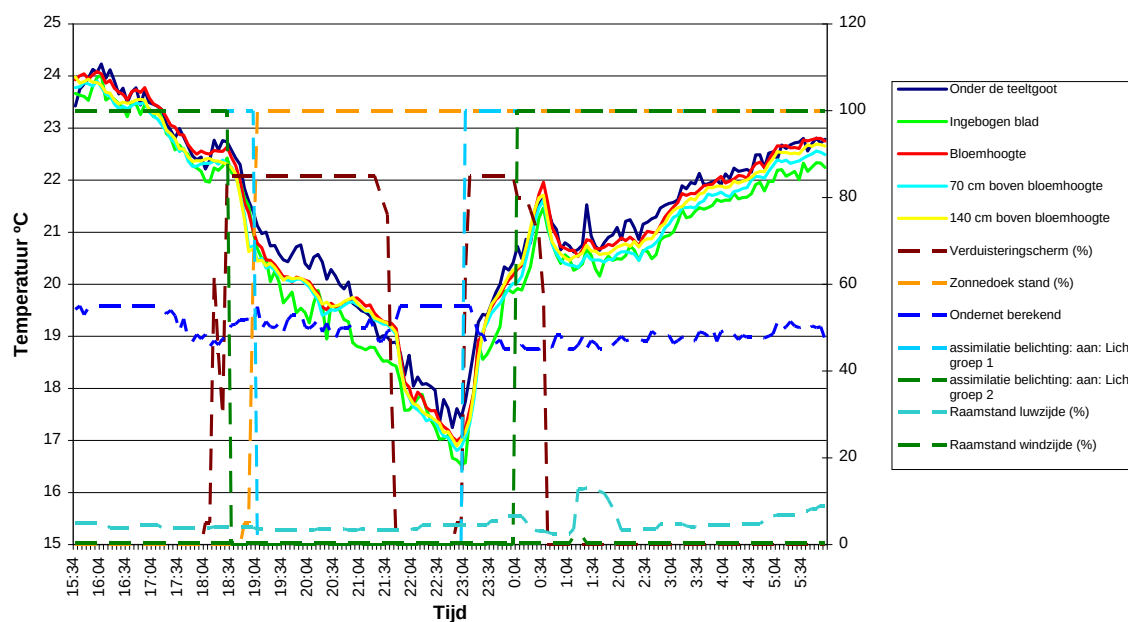
Kijkend naar de figuren wordt de temperatuurverdeling niet beter als er verwarmd of gecirculeerd wordt met de FiwiHex in vergelijking met conventioneel verwarmen. Het lijkt er eerder op dat de verdeling iets slechter wordt op ingebogen blad, gewas en bloemhoogte, al zijn de klimaatomstandigheden iets verschillend in de dagen waarmee het vergelijk gemaakt wordt. Onder de goot zijn de temperatuurverschillen niet waarneembaar.

7.3.1.3 Verticale temperatuur- en vochtverdeling

Om het effect van verwarmen met het ondernet en FiwiHex vast te leggen is er op een vast punt op 5 hoogtes de temperatuur gemeten namelijk: onder de teeltgoot, ingebogen blad, bloemhoogte, 70 cm boven bloemhoogte en 140 cm boven bloemhoogte. In de volgende figuren worden de resultaten van 2 proefsituaties weergegeven. De proefsituatie verwarmen met het ondernet zonder minimumbuis en de FiwiHex ventilator aan is niet gemeten i.v.m. een warmtetekort voor het ondernet tijdens de proefperiode.

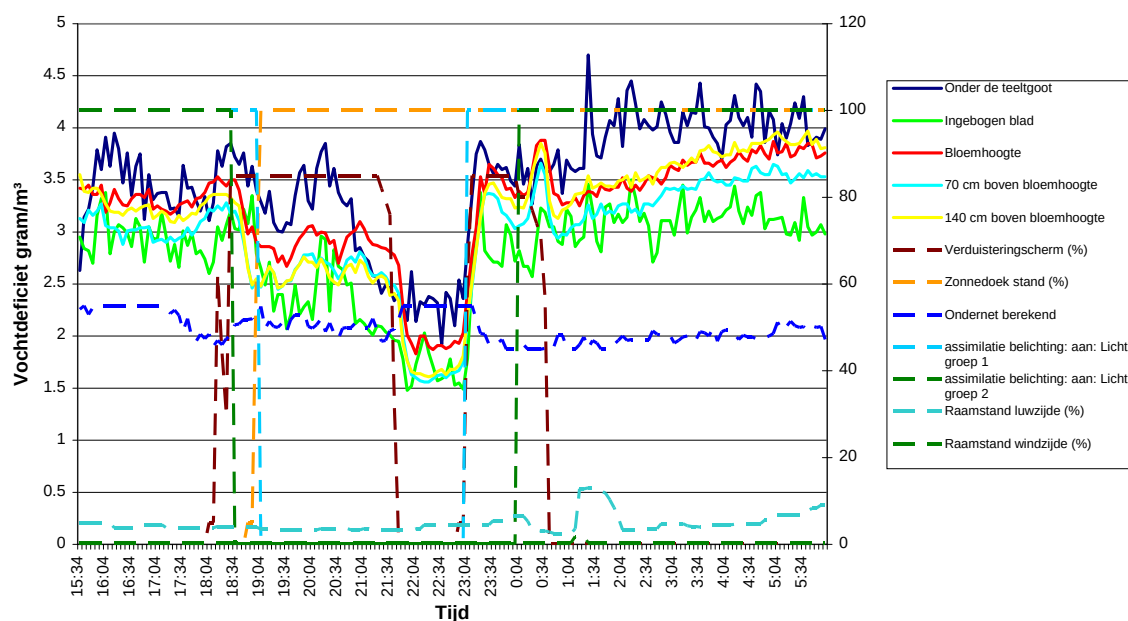
De Figuur 149 Verticale temperatuurgradiënt conventioneel verwarmen met minimumbuis Porta Nova laat de temperatuurgradiënt zien bij conventioneel verwarmen met een minimumbuis. De klimaatgegevens uit de klimaatcomputer zijn weergegeven als een stippellijn en hebben de waardes op de rechter Y-as staan. De akoestische temperatuurmetingen zijn een vloeiende lijn en hebben de waardes op de linker Y-as staan. Deze indeling geldt ook voor de daarop volgende figuren.

Verticale temperatuurgradient 5-6 december



Figuur 149 Verticale temperatuurgradient conventieel verwarmen met minimumbuis Porta Nova

Verticale vochtgradient 5-6 december



Figuur 150 Verticale vochtgradient conventieel verwarmen met minimum buis Porta Nova

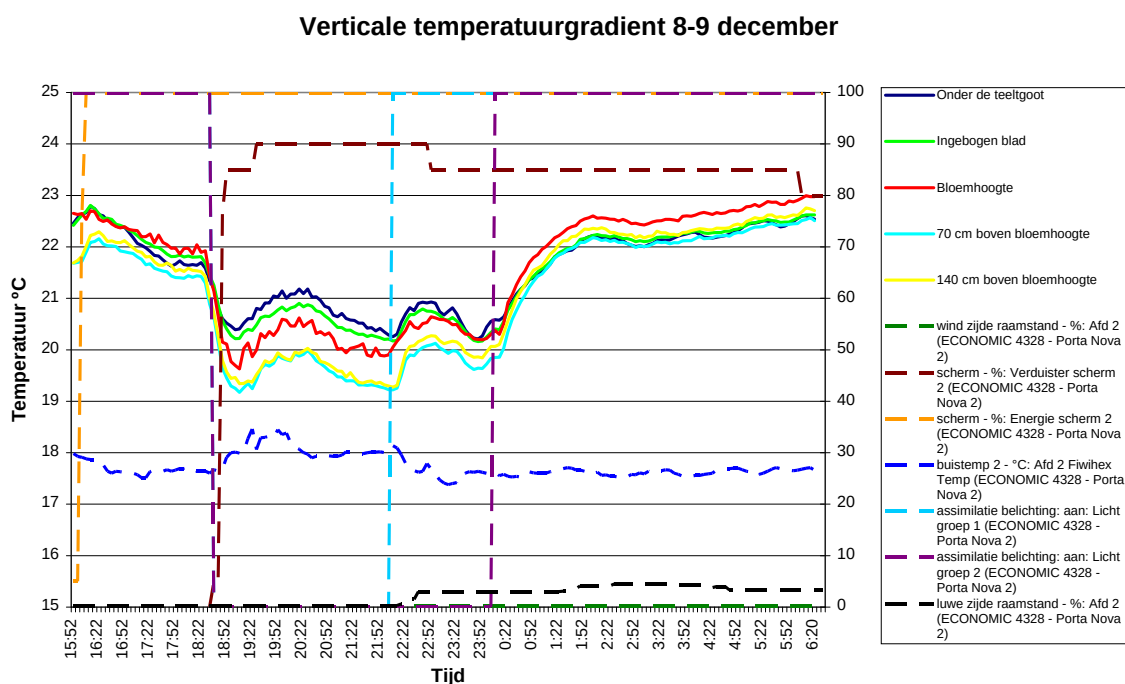
Figuur 149 laat de temperatuurgradient zien tijdens conventieel verwarmen met minimum buis aan. Hierin is te zien dat de verticale temperatuurgradient zeer gering is. Het

grootste verschil is in de periode van 19:00 tot 21:30 uur te zien, waarbij de temperatuur op ingebogen bladhoogte in verhouding iets sneller daalt dan de andere gemeten temperaturen. Tijdens deze periode ligt het energiescherm op 85% en de kier is het zomerdoek.

Figuur 150 laat de vochtdeficitgradiënt zien tijdens conventioneel verwarmen met minimumbuis aan. Tijdens de donkerperiode wordt het vochtdeficit het laagst. Op gewasniveau is het vochtdeficit op ingebogen blad het laagst en op bloemhoogte het hoogst.

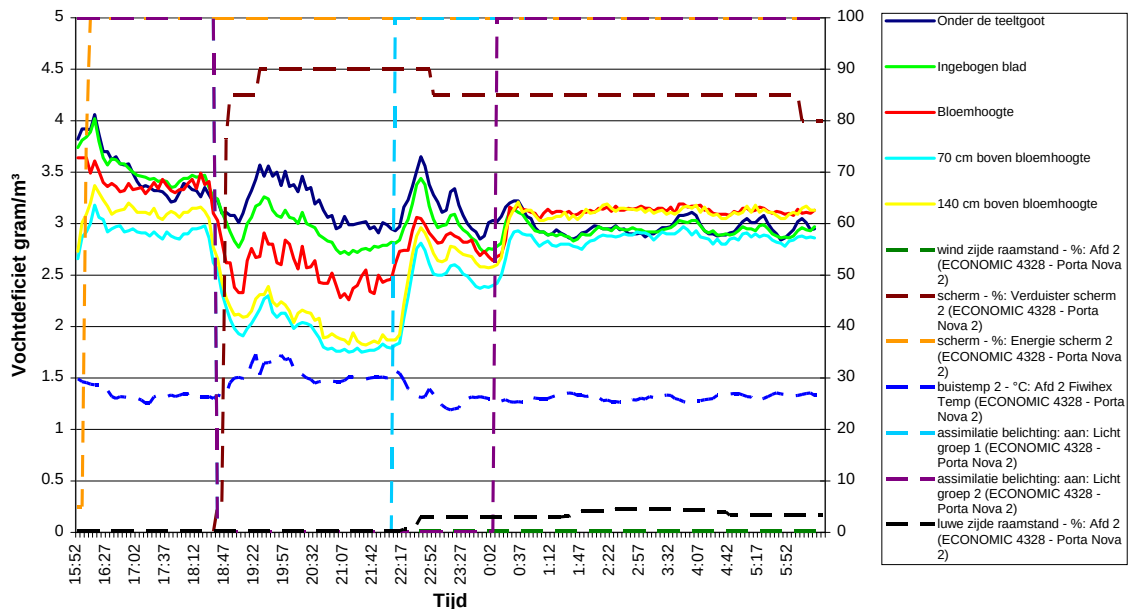
Doel van de meting was om beeld te krijgen van de temperatuur- en vochtgradiënt bij de conventionele manier van verwarmen. Deze meting dient als vergelijking voor verdere metingen waarbij er verwarmd wordt met de Fiwihex.

De volgende figuren laten de temperatuur- en vochtgradiënt zien tijdens verwarmen met de fiwihex en een ventilatorstand van 40%.



Figuur 151 Verticale temperatuurgradiënt verwarmen met de Fiwihex ventilatorstand 40% Porta Nova

Verticale vochtgradient 8-9 december



Figuur 152 Verticale vochtgradiënt verwarmen met Fiwhex ventilatorstand 40% Porta Nova

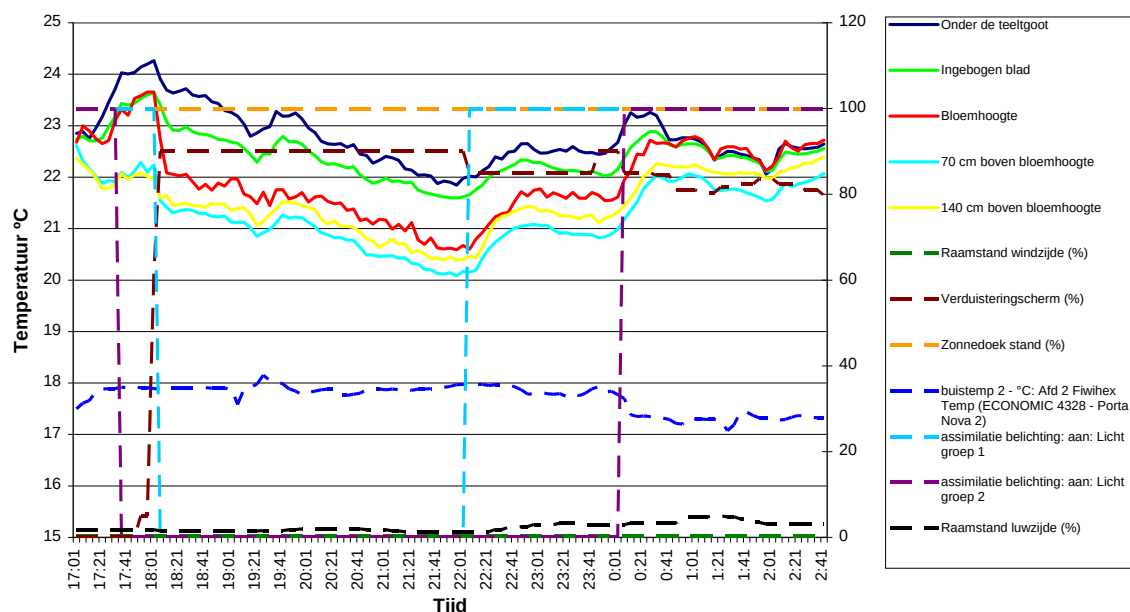
Figuur 151 laat de verticale temperatuurgradiënt zien tijdens verwarmen met de Fiwhex met een ventilatorstand van 40%. Tijdens de donkerperiode is de temperatuurgradiënt het grootst. De gradiënt tussen ingebogen blad- en bloemhoogte wordt niet groter dan 0,5°C. De metingen boven de bloem laten de laagste temperatuur zien. Wanneer de belichting aangaat wordt de gradiënt kleiner.

Het vochtdeficiëntgradiënt, getoond in Figuur 152 tijdens het verwarmen met de fiwhex ventilatorstand 40%, is het laagst 70 cm boven bloemhoogte. Dit is te verklaren door de lagere temperatuur die daar heerst. Onder de teeltgoot is het vochtdeficiënt het hoogst en daarna volgt het ingebogen blad. Deze lijkt dan ook op dit meetpunt het minst kritisch te zijn tijdens de donkerperiode. Wanneer de belichting aangaat wordt de gradiënt kleiner.

Doel van de meting was om aan te tonen wat de temperatuur- en vochtgradiënt zijn tijdens het verwarmen met de Fiwhex en een ventilatorstand van 40%. In vergelijking met de conventionele situatie zien we dat de temperatuur- en vochtgradiënt groter worden.

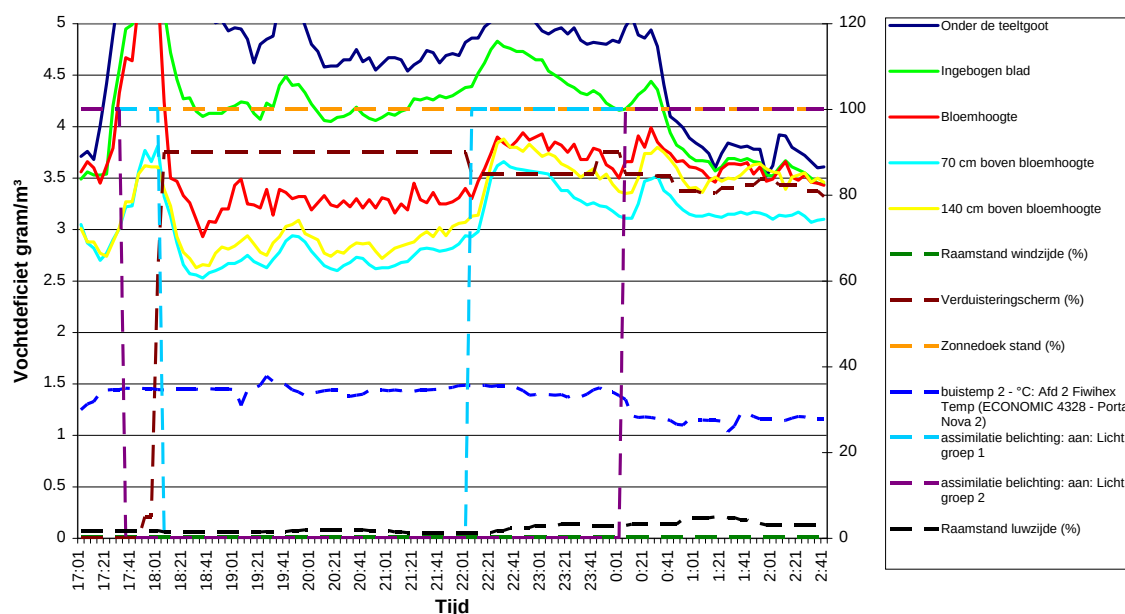
De volgende figuren laten de temperatuur- en vochtgradiënt zien tijdens verwarmen met de Fiwhex en een ventilatorstand van 58%.

Verticale temperatuurgradient 10-11 december



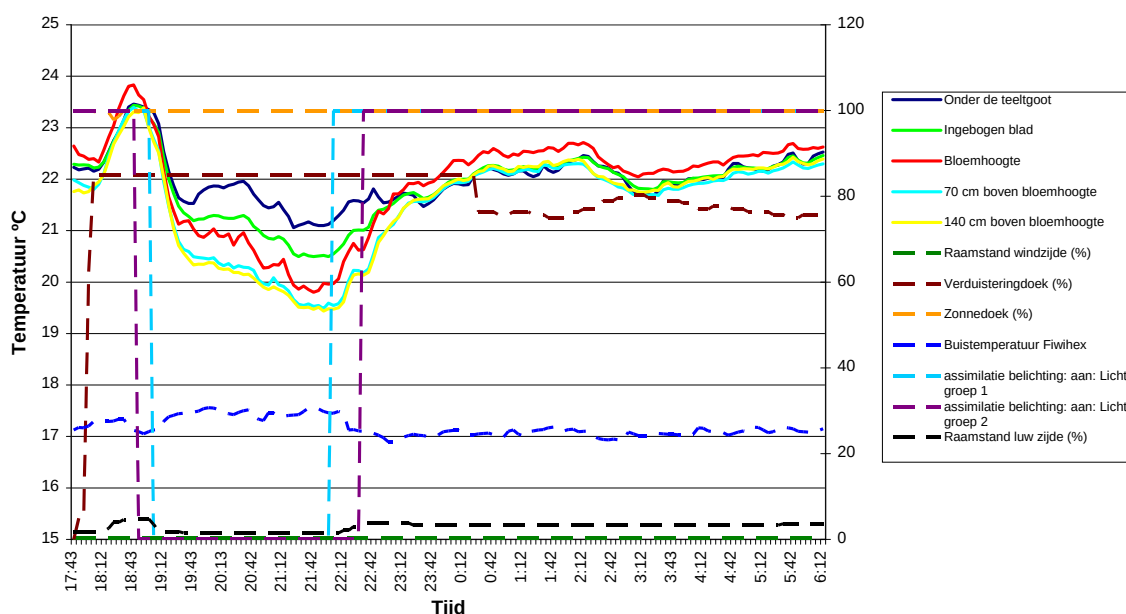
Figuur 153 Verticale temperatuurgradiënt verwarmen met de Fwihex ventilatorstand 58% Porta Nova

Verticale vochtgradient 10-11 december



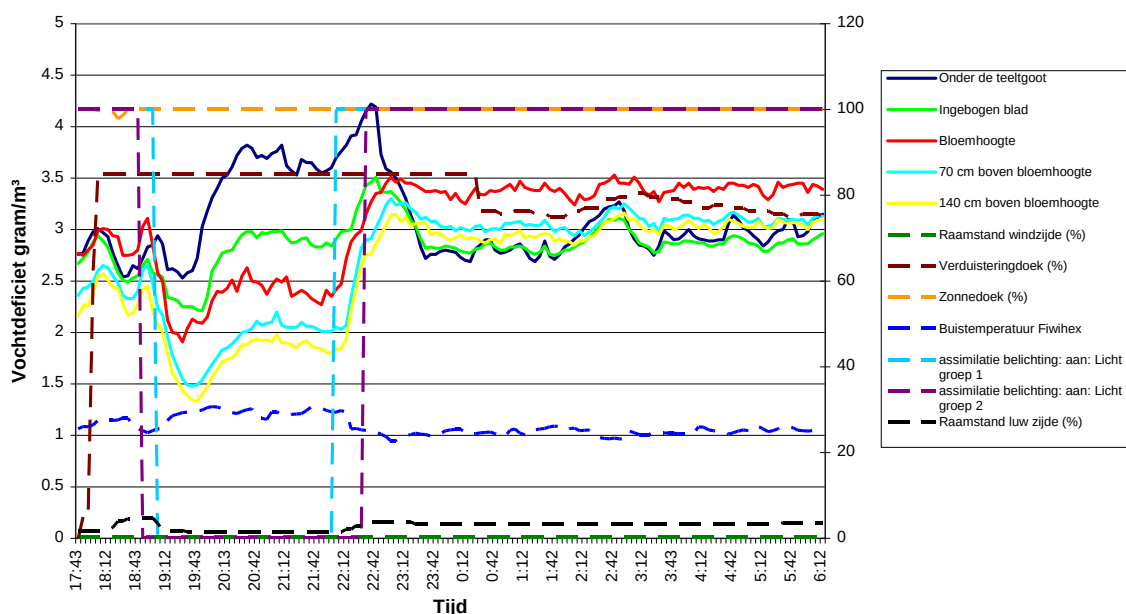
Figuur 154 Verticale vochtgradiënt verwarmen met Fwihex ventilatorstand 58% Porta Nova

Verticale temperatuurgradient 16-17 december



Figuur 155 Verticale temperatuurgradiënt verwarmen met de Fiwhex ventilatorstand 58% Porta Nova

Verticale vochtgradient 16-17 december



Figuur 156 Verticale vochtgradiënt verwarmen met Fiwhex ventilatorstand 58% Porta Nova

Figuur 153 en Figuur 155 laten een grotere temperatuurgradiënt tussen ingebogen blad- en bloemhoogte zien dan bij conventioneel verwarmen en verwarmen met de Fiwhex met een ventilatorstand van 40%. Het verschil loopt bij deze metingen op tot 1°C. Figuur 153

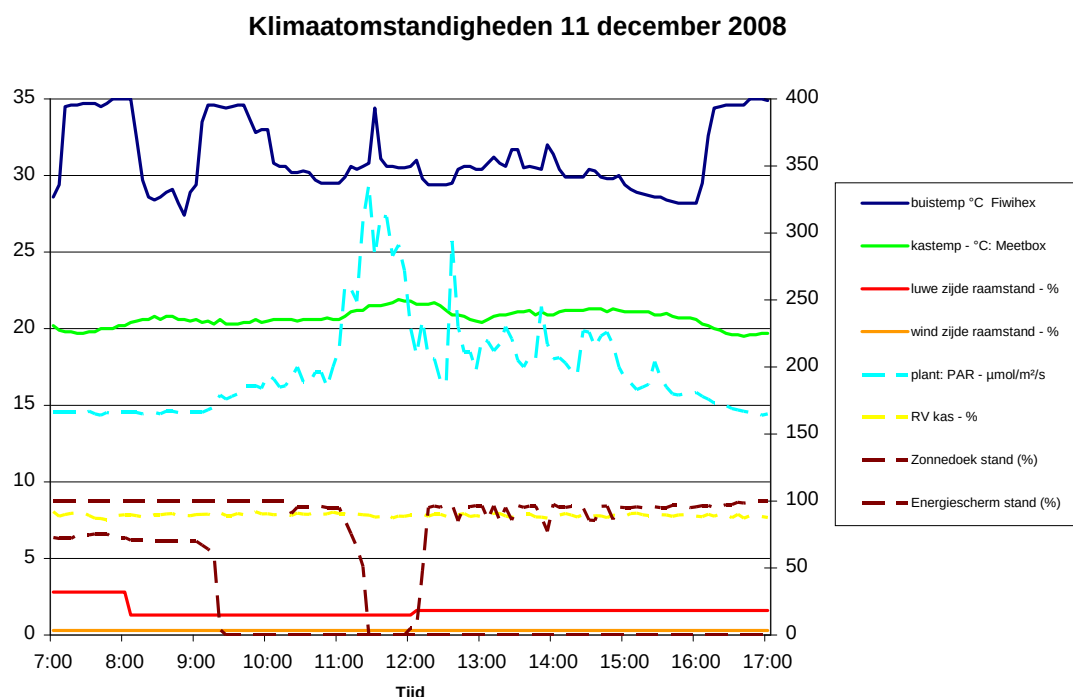
laat een grotere temperatuurgradiënt zien dan Figuur 155. Een voor de hand liggende reden hiervan is dat de aanvoertemperatuur in Figuur 153 een stuk hoger ligt. Dit houdt in dat er meer warmte de kas in gaat.

Figuur 154 en Figuur 156 laten een groter vochtdeficit gradiënt zien dan bij conventioneel verwarmen. Op gewasniveau is het vochtdeficit op bloemhoogte het laagst en op ingebogen bladhoogte het hoogst. De grootste kans op nat slaan van het gewas ligt dan ook op bloemhoogte.

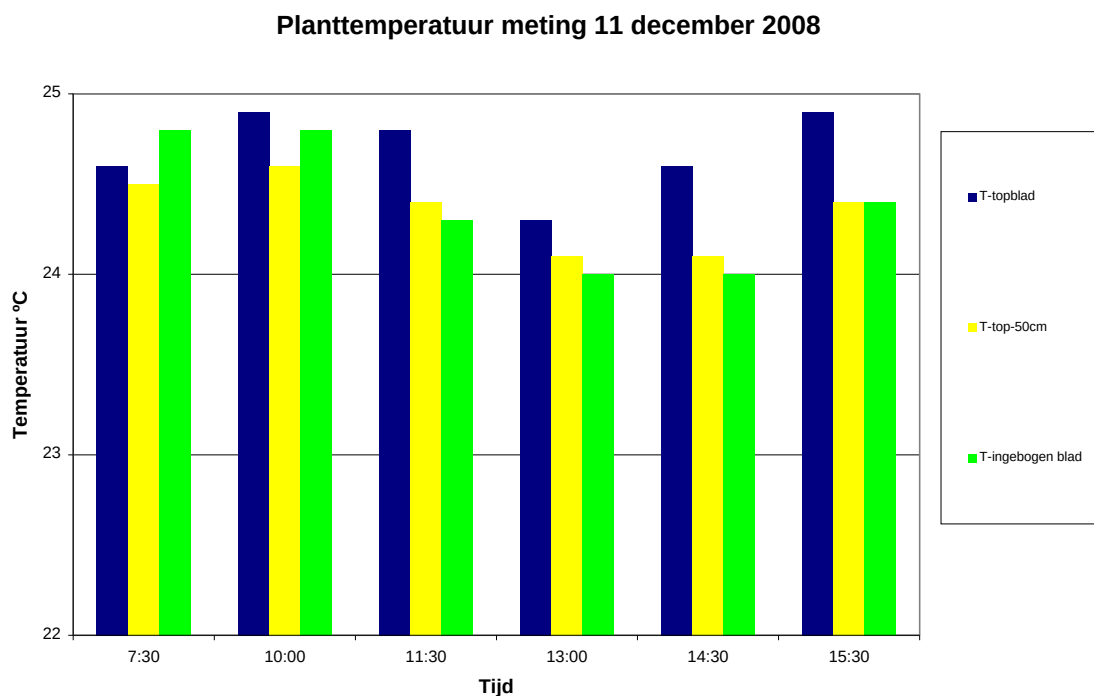
Doel van de metingen was om aan te tonen in hoeverre de temperatuur- en vochtgradiënt veranderen t.o.v. van conventioneel verwarmen. Zowel de temperatuur als vochtgradiënt wordt groter als er verwarmd wordt met de Fiwhex. Het lijkt erop dat de warmte beter bij de plant gehouden wordt, wat als gevolg heeft dat de luchtlagen boven het gewas kouder blijven. Dit levert een energiebesparing op, wat verder in dit verslag wordt besproken. Nadeel is dat de vochtafvoer minder goed kan verlopen en daardoor de ziektedruk hoger kan zijn.

7.3.1.4 Planttemperatuurmetingen

Om de effecten van verwarmen met de Fiwhex op de planttemperatuur in kaart te brengen zijn er planttemperatuurmetingen uitgevoerd.



Figuur 157 Klimaatomstandigheden 11 december 2008 Porta Nova



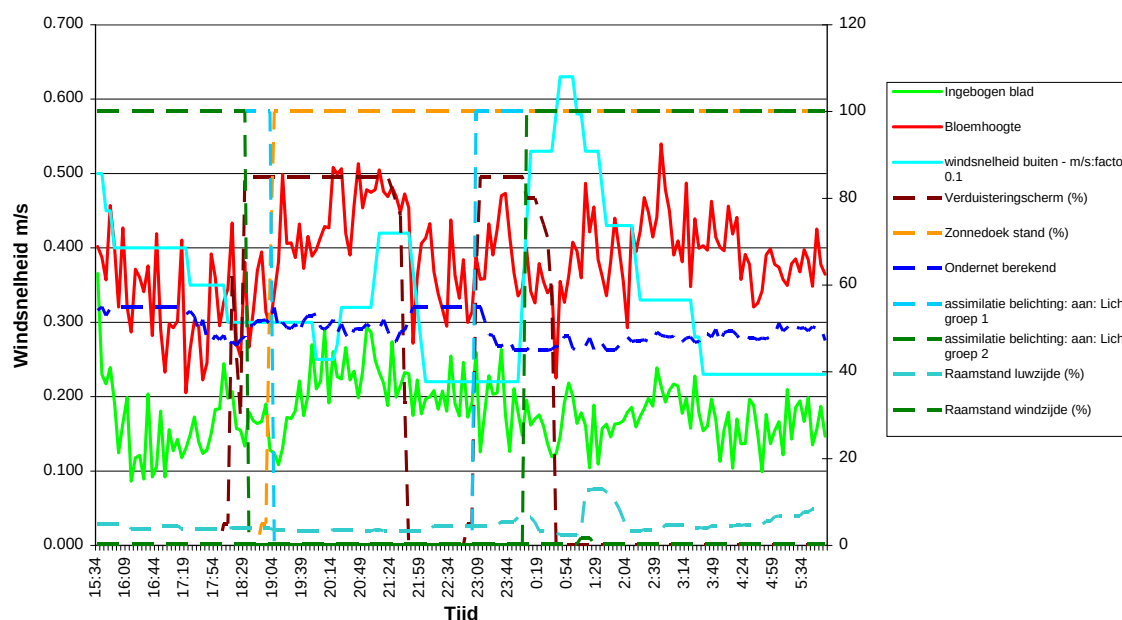
Figuur 158 Planttemperatuur metingen 11 december Porta Nova

Figuur 158 laat zien dat de planttemperatuurgradiënt nooit groter wordt dan 1°C. Tijdens deze meetdag heeft de belichting de gehele dag aangestaan. Tijdens deze dag zijn er ook fotosynthese metingen uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn vermeldt in bijlage 2.

7.3.1.5 Luchtstromen

Om de luchtstromen in kaart te brengen is op een aantal vaste punten bij verschillende proefsituaties gemeten. Naast de vaste puntsmetingen zijn er zogenaamde Quick scans gemaakt, zoals beschreven in hoofdstuk 3.2.2. De resultaten van deze metingen worden in deze paragraaf besproken.

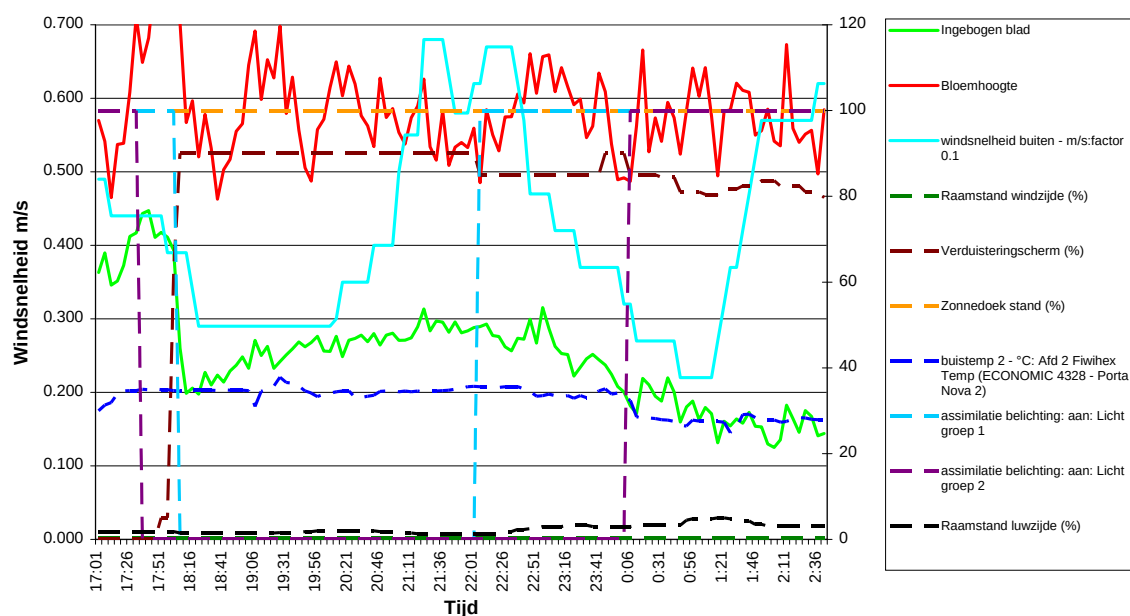
Windsnelheid 5-6 december



Figuur 159 Luchtbeweging conventioneel verwarmen met minimum buis Porta Nova

Figuur 159 laat de luchtbeweging op ingebogen blad- en bloemhoogte zien bij conventioneel verwarmen met een minimum buis. De windsnelheid op bloemhoogte lijkt te reageren op het sluiten van het scherm. Om 18:00 uur gaat het energiedoek dicht op 85% vervolgens wordt om 19:00 uur het zonnedoek gesloten wat inhoudt dat de kier van 15% het zonnedoek is. Als om 21:45 uur het energiedoek open gaat, dan daalt onmiddellijk de windsnelheid op bloemhoogte. Op ingebogen bladhoogte is het effect minder duidelijk. Buiten de effecten van het scherm om, is de luchtbeweging redelijk constant.

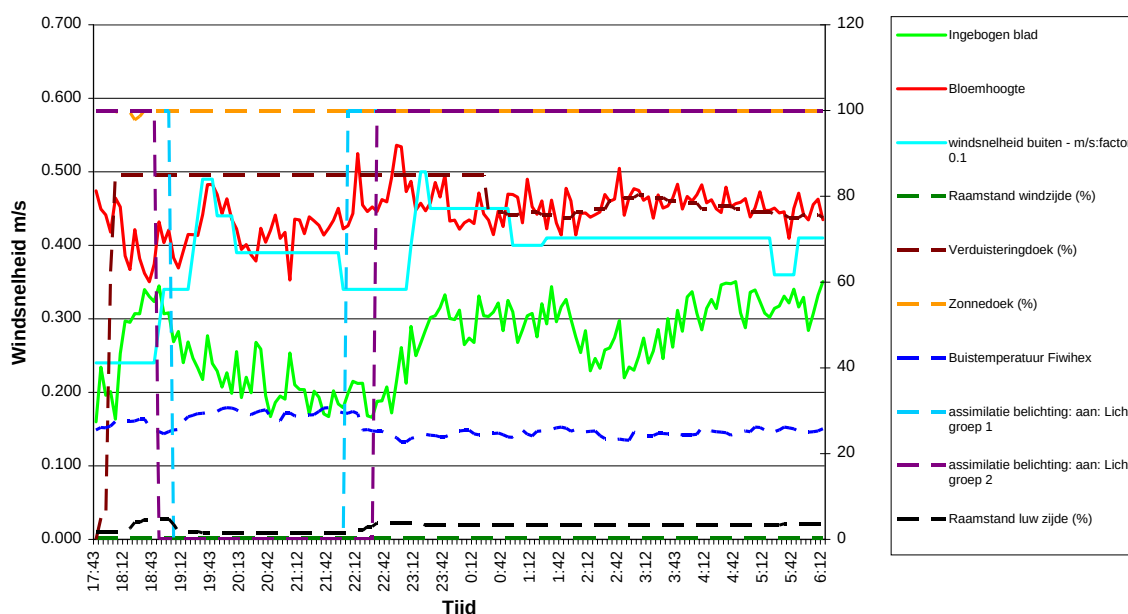
Windsnelheid 10-11 december



Figuur 160 Verwarmen met de Fwihex ventilatorstand 58% Porta nova

Figuur 160 laat de luchtbeweging zien bij het verwarmen met de Fwihex en een ventilatorstand van 58%. Om 18:00 uur loopt het verduisteringscherm naar 85% en neemt de windsnelheid buiten af. Op dat moment is een zichtbare daling van de windsnelheid op ingebogen blad te zien. Vervolgens volgt er een stabiele periode waarin de klimaatfactoren als scherm, raamstand en belichting hetzelfde blijven. Tijdens deze periode lijkt de windsnelheid op ingebogen bladhoogte met name te reageren op de windsnelheid buiten.

Windsnelheid 16-17 december



Figuur 161 Verwarmen met de FiwiHex ventilatorstand 58% Porta nova

Figuur 161 laat de luchtbeweging zien bij het verwarmen met de FiwiHex en een ventilatorstand van 58%. Als het scherm dicht gaat dan gaat de windsnelheid op ingebogen bladhoogte omhoog. Raamstand luwe zijde wordt hoger om 22:30 uur waarna de windsnelheid van ca. 0,2 m/s naar 0,3 m/s gaat.

Metingen laten zien dat het grootste deel van de luchtbeweging niet gecreëerd wordt door de FiwiHex ventilator maar door de klimaatregeling en buitenomstandigheden.

Quick scans

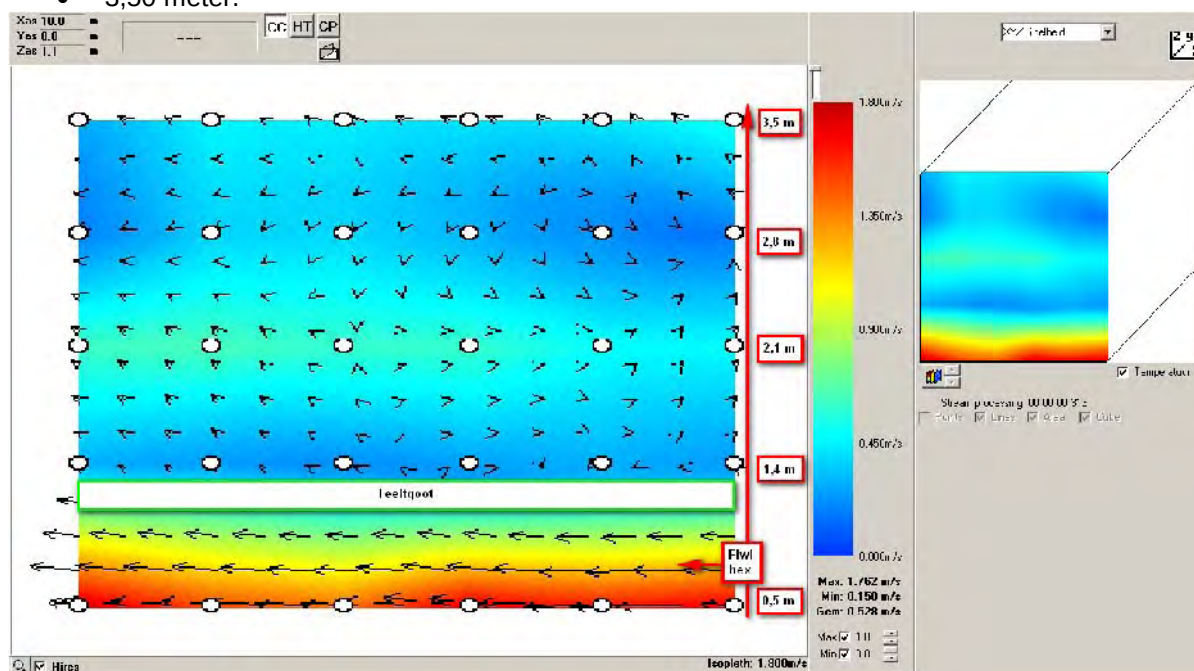
Om de luchtstromen in kaart te brengen zijn er een aantal quickscans gemaakt bij verschillende proefsituaties. De weers- en klimaatomstandigheden zijn in tabel 10 weergegeven.

Tabel 10 Klimaat en buitenomstandigheden tijdens de Quick scan

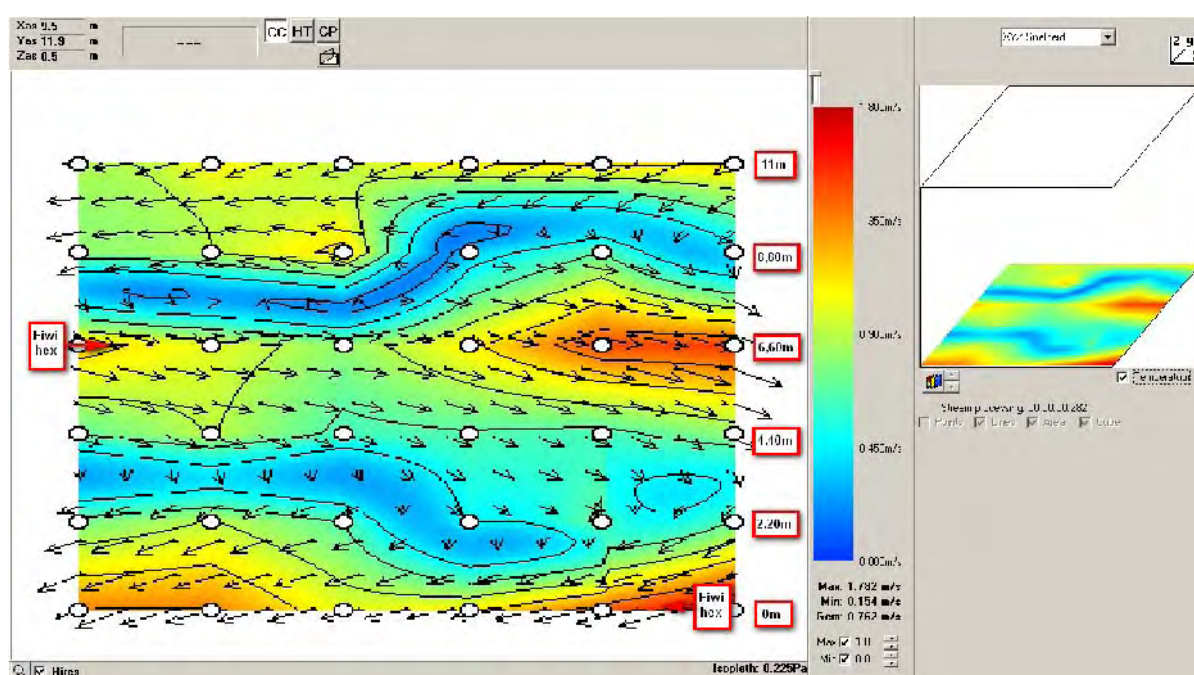
Omstandigheden tijdens Quick scan				
	Energie scherm	Zonnedoek	Windsnelheid buiten (m/s)	Windrichting buiten Hoogendoorn klimaatcomputer
Conventioneel 6 december	0%	0%	2,3	64
Conventioneel ventilator 58% 8 december	0%	100%	0,3	16
Verwarmen FiwiHex 58% 11 december	75%	100%	5,2	16

In Figuur 162 en Figuur 163 staat omschreven op welke meetpunten de Quick scans zijn uitgevoerd. Vervolgens wordt er van verschillende proefsituaties een zijaanzicht en een bovenaanzicht getoond. Het bovenaanzicht is iedere keer op bloemhoogte en het zijaanzicht in directe lijn met de Fiwi hex. Er is op 5 hoogtes vanaf de grond gemeten:

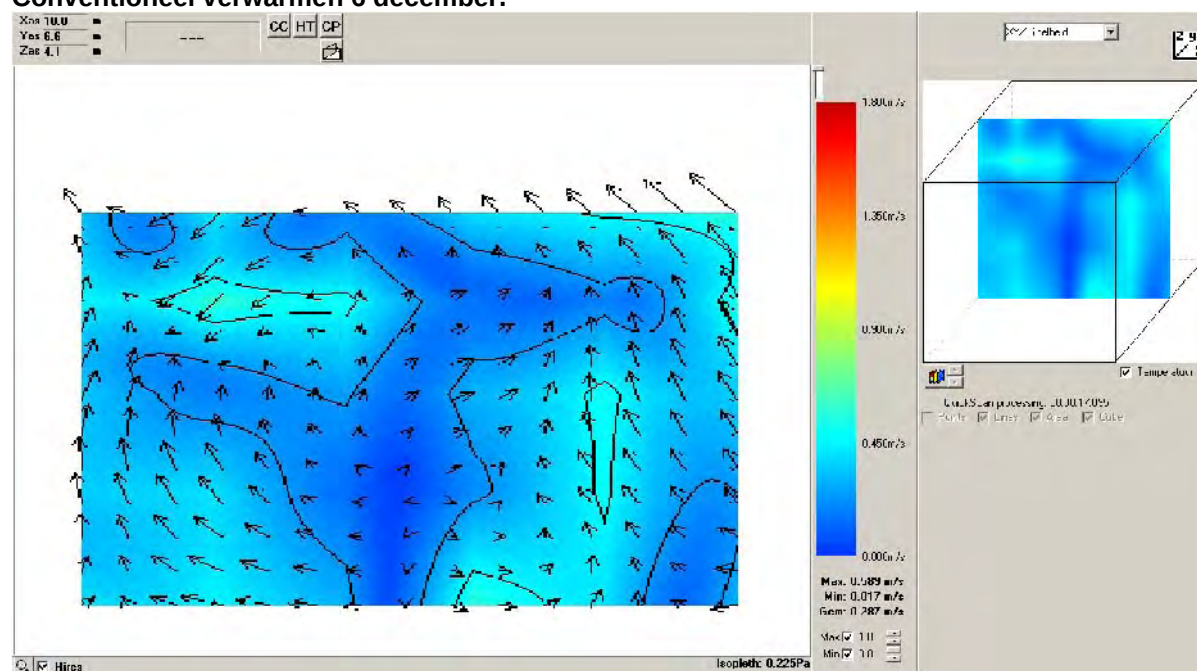
- Onder de teeltgoot 0,5 meter,
- Ingebogen blad 1,4 meter,
- Bloemhoogte 2,1 meter,
- 2,80 meter en
- 3,50 meter.



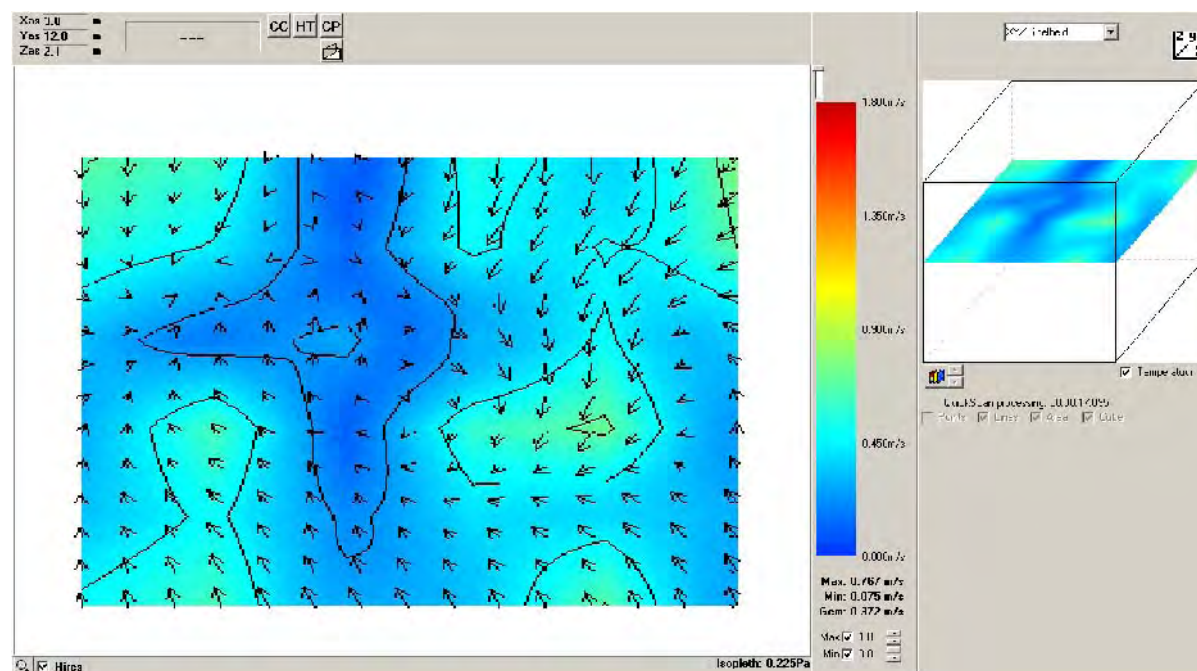
Figuur 162 Omschrijving verticale meetpunten Quick scan Porta Nova



Figuur 163 Omschrijving horizontale meetpunten Quick scan Porta Nova

Conventioneel verwarmen 6 december.

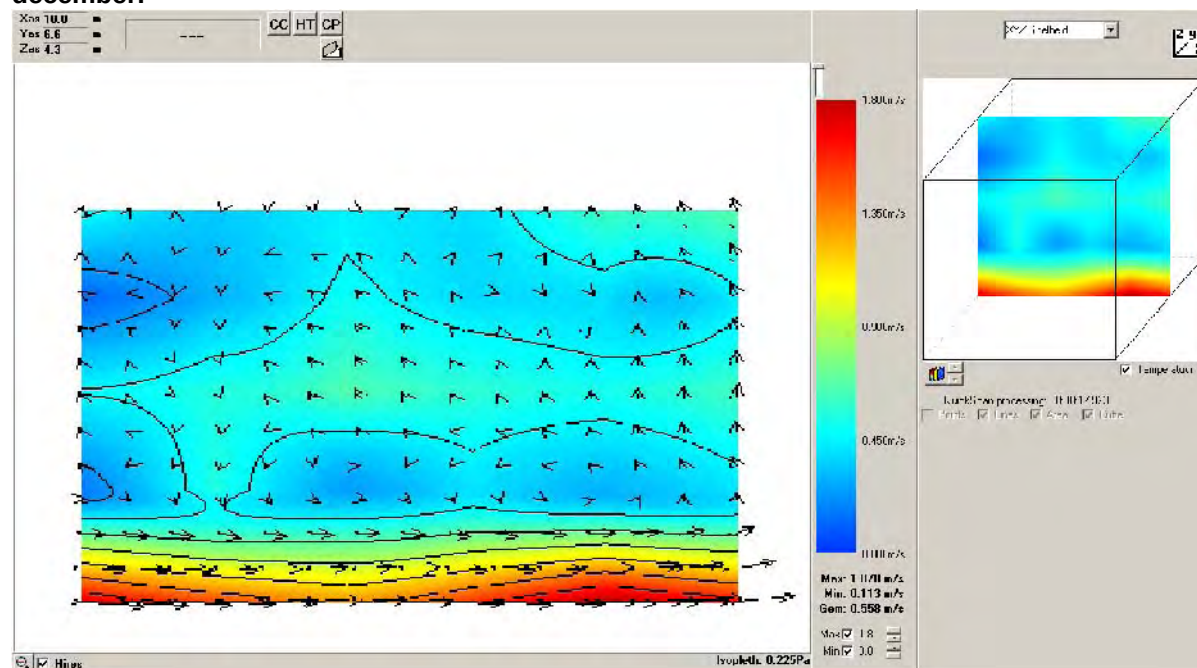
Figuur 164 Zijaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen met minimum buis Porta Nova



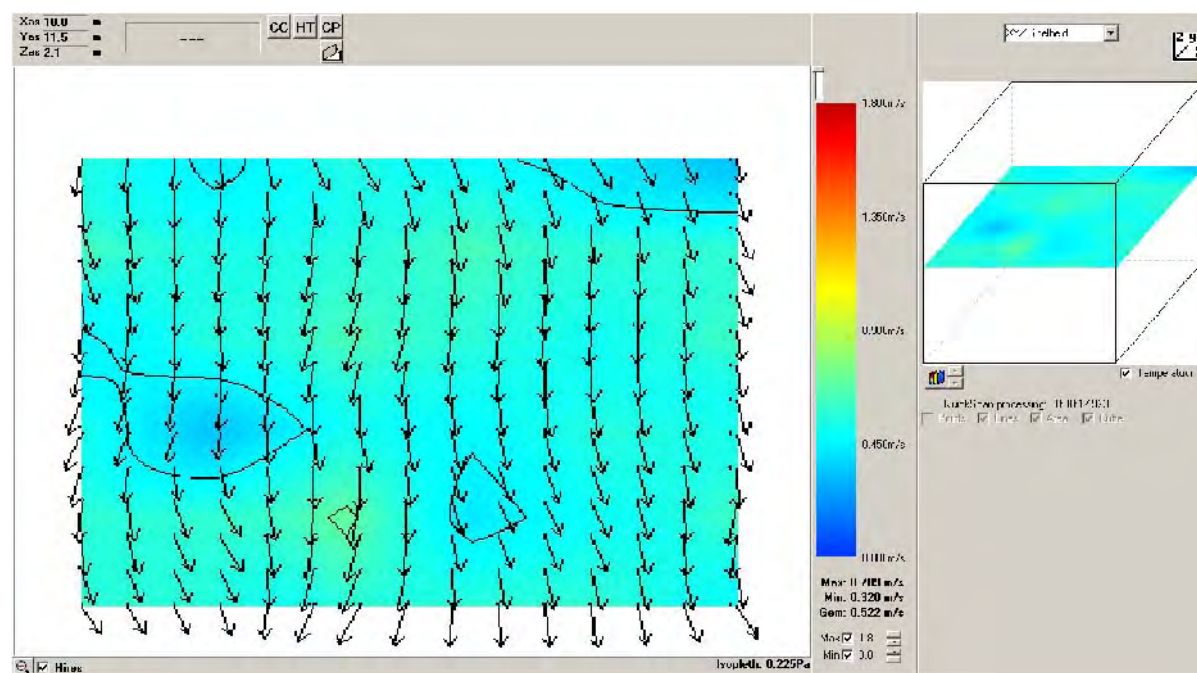
Figuur 165 Boveaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen met minimum buis Porta Nova

Figuur 164 en Figuur 165 laten de resultaten zien van de Quick scan uitgevoerd bij conventioneel verwarmen met een minimum buis. Het zijaanzicht laat over het algemeen een opwaartse luchtstroom zien, maar niet op ieder punt. Het bovenaanzicht laat geen dominante luchtstroom zien maar wijzen de richtingen verschillende kanten op. Tijdens deze Quick scan lagen de schermen open. Er is geen duidelijk effect van de minimum buistemperatuur te zien.

Conventioneel verwarmen zonder minimumbuis met Fiwihex ventilator op 58% 8 december.



Figuur 166 Zijaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen zonder minimum buis en Fiwihex ventilator op 58% Porta Nova



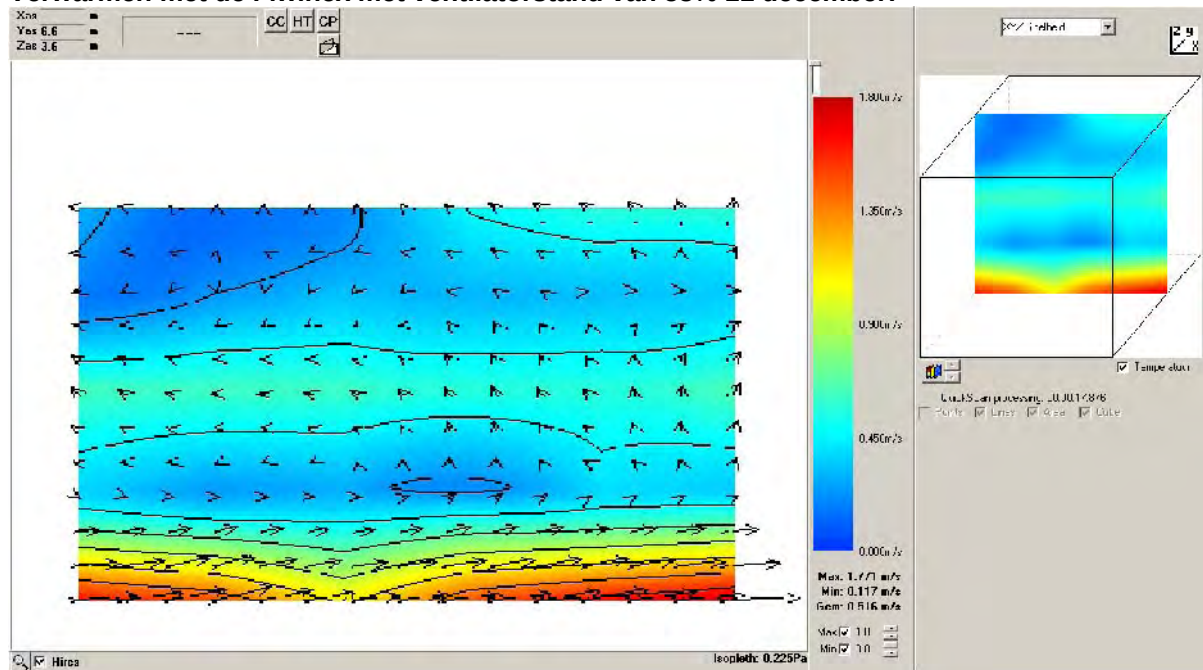
Figuur 167 Bovenaanzicht Quick scan conventioneel verwarmen zonder minimum buis en Fiwihex ventilator op 58% Porta Nova

Figuur 166 en Figuur 167 laten de resultaten van de Quick scan zien, uitgevoerd bij conventioneel verwarmen zonder minimum buis en een Fiwihex ventilatorstand van 58%. Het bovenaanzicht laat een dominante luchtstroom in één richting zien. Dit zagen we niet

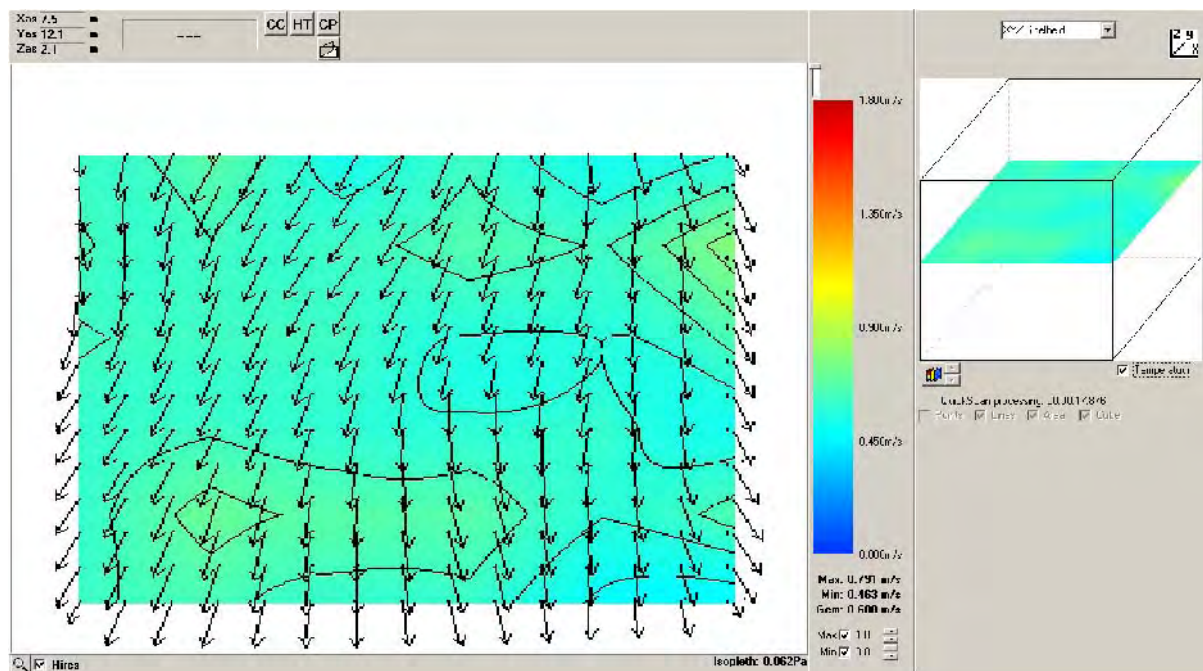
in de Quick scan conventioneel verwarmen met minimum buis. Klimatologisch is het verschil dat bij de meting van Figuur 166 en Figuur 167 het zonnedoek op 100% dicht lag. Van de aanzuiging van de Fiwihex is niet veel te zien. Het zijaanzicht laat zien dat er onder de teeltgoot een effect is van de Fiwihex ventilator maar op ingebogen bladhoogte de luchtbeweging gering is. Op bloemhoogte is wel weer een verhoging van de luchtsnelheid te zien, maar is niet aantoonbaar te relateren aan de Fiwihex. Ofwel hoeveel de Fiwihex effect heeft op de luchtbeweging is maar zeer de vraag. Gezien deze meting in ieder geval zeer gering.

Figuur 168 en Figuur 169 laten de resultaten zien van de Quickscan uitgevoerd bij het verwarmen met de Fiwihex en een ventilatorstand van 58%. In het bovenaanzicht is weer de dominante luchtstroom die we in Figuur 167 waarbij de ventilator op 58% stond ook zagen. Het zijaanzicht laat zien dat in het midden van de tralie de lucht omhoog getrokken wordt en op bloemhoogte de luchtstroom naar het aanzuigpunt van de Fiwihex toe gaat. Uit andere metingen blijkt dat het moment dat de lucht omhoog gaat afhankelijk is van de ventilatorstand. Bij een hogere ventilatorstand zal de lucht minder snel stijgen.

Verwarmen met de Fiwihex met ventilatorstand van 58% 11 december.



Figuur 168 Zijaanzicht Quick scan verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand van 58% Porta Nova



Figuur 169 Bovenaanzicht Quick scan verwarmen met de Fiwihex met een ventilatorstand van 58% Porta Nova

7.4 Conclusies onderdoor koelen en verwarmen Porta Nova

Koelen

- De verticale temperatuur- en vochtgradiënt laten op gewasniveau zien dat het vochtdeficit en de temperatuur op ingebogen bladhoogte het laagst is en op bloemhoogte het hoogst. Ingebogen bladhoogte is dan ook de meest kritische plek i.v.m. ziektedruk.
- De verticale temperatuur- en vochtgradiënt worden groter naarmate er meer instraling is. Tijdens een wisselvallige koeldag varieert de verticale temperatuur- en vochtgradiënt terwijl deze bij een zonnige dag veel constanter is.
- De horizontale temperatuur- en vochtverdeling zijn op ingebogen blad het slechtst. De horizontale verdeling op gewas- en bloemhoogte laten een kleine gradiënt zien. Ingebogen bladhoogte is dan ook de meest kritische plek i.v.m. ziektedruk.
- De planttemperatuurgradiënt wordt door onderdoor te koelen niet kleiner ten opzichte van ongekoeld.
- Luchtbeweging wordt overdag nauwelijks beïnvloed door de Fiwihex ventilator. Klimaat- en buiten omstandigheden hebben een veel grotere invloed.
- Op de gekoelde locatie is de gerealiseerde productie (2009) lager dan de berekende productie. Op de ongekoelde locatie is de gerealiseerde productie hoger dan de berekende productie.
- Koelen geeft een hogere kwaliteit en een lagere kwantiteit dan niet koelen.
- Koelen geeft een iets grotere knophoogte dan niet koelen.

Verwarmen

- De horizontale temperatuurverdeling is bij het verwarmen met de Fiwihex hetzelfde of zelfs iets minder goed in vergelijking tot conventioneel verwarmen.
- De verticale temperatuur- en vochtgradiënt worden groter als er verwarmd wordt met de Fiwihex, waarbij op gewasniveau het ingebogen blad het warmst is en het op bloemhoogte het koudst is. De kans op het nat slaan van het gewas is dus op bloemhoogte het grootst.
- De verticale temperatuur- en vochtgradiënt laten zien dat het vochtdeficit en temperatuur nog verder dalen boven het gewas gemeten. De warmte wordt goed bij de plant gehouden, dit zou eventueel wel tot een verhoogd risico voor wat betreft vocht kunnen leiden omdat het vocht niet afgevoerd wordt.
- Planttemperatuur metingen overdag laten een kleine temperatuurgradiënt zien op verschillende bladhoogte.
- Luchtbeweging gecreëerd door de Fiwihex is vooral te zien onder de teeltgoot. Op gewas niveau is ook effect te zien maar lijkt het effect van de klimaat- en buitenomstandigheden groter te zijn.
- Er is vaak een dominante luchtstroom aanwezig in de kas, welke niet gecreëerd wordt door de Fiwihex.

8 Energieberekeningen onder- en bovendoor koelen

8.1 Vraagstelling

In samenwerking met DLV Glas en energie zijn de volgende vragen over het koelen van de kas in een rozenteelt uitgewerkt:

- Wat is de energiebehoefte en hoe wordt daarin voorzien bij onderdoor koelen zoals opgesteld bij Porta Nova 2 en hoe is dit in vergelijking met de referentie kas Porta Nova 1.
- Wat is de energiebehoefte en hoe wordt daarin voorzien bij bovendoor koelen zoals bij Boonekamp Roses.

8.2 Uitwerking

Bij Porta Nova en bij Boonekamp Roses zijn het afgelopen seizoen metingen verricht aan het koelen met FIWIHEX.

Porta Nova 2

- Energiemeter van 1 unit in de periode 1-04 t/m 31-05.
- Gegevens van de klimaatcomputer van een groep (25% van de kwekerij) in de periode 01-04 t/m 30-09.

Boonekamp Roses

- Energiemeter van 2 units in de periode 18-06 t/m 2-08.
- Gegevens van de klimaatcomputer van een groep (25% van de kwekerij) in de periode 01-04 t/m 30-09.

Op de geregistreerde data moesten eerst de volgende bewerkingen worden uitgevoerd om ze te kunnen analyseren:

- Ontbrekende data zijn er uit gefilterd.
- De werkelijke waarden voor het koelvermogen van de energiemeter moesten eerst uit andere waarden worden afgeleidt.
- De per minuut gemeten waarden van de energiemeter zijn omgezet naar uurwaarden.
- De werkelijke waarden voor het koelvermogen van de klimaatcomputer moesten eerst uit andere waarden worden afgeleidt: samenstellen uit een ΔT en een indirect berekende flow.
- De per 5 minuten gemeten waarden van de energiemeter zijn omgezet naar uurwaarden.

Met behulp van deze meetdata is een berekening gemaakt van hoeveelheid en het vermogen aan koude in het afgelopen seizoen. Vervolgens zijn er door middel van het energiebalans-model van DLV Glas & energie diverse simulaties uitgevoerd om een beeld van het hele jaar te krijgen.

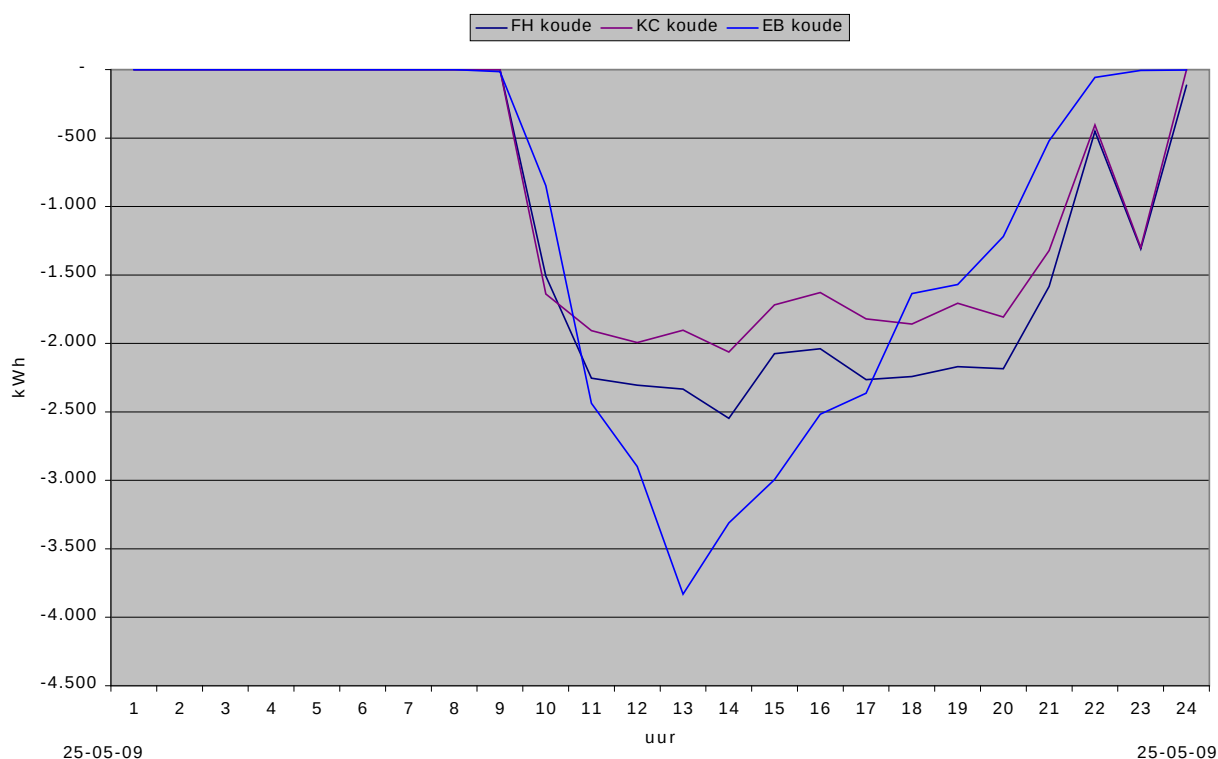
8.3 Resultaten

8.3.1 Porta Nova

Vraagstelling:

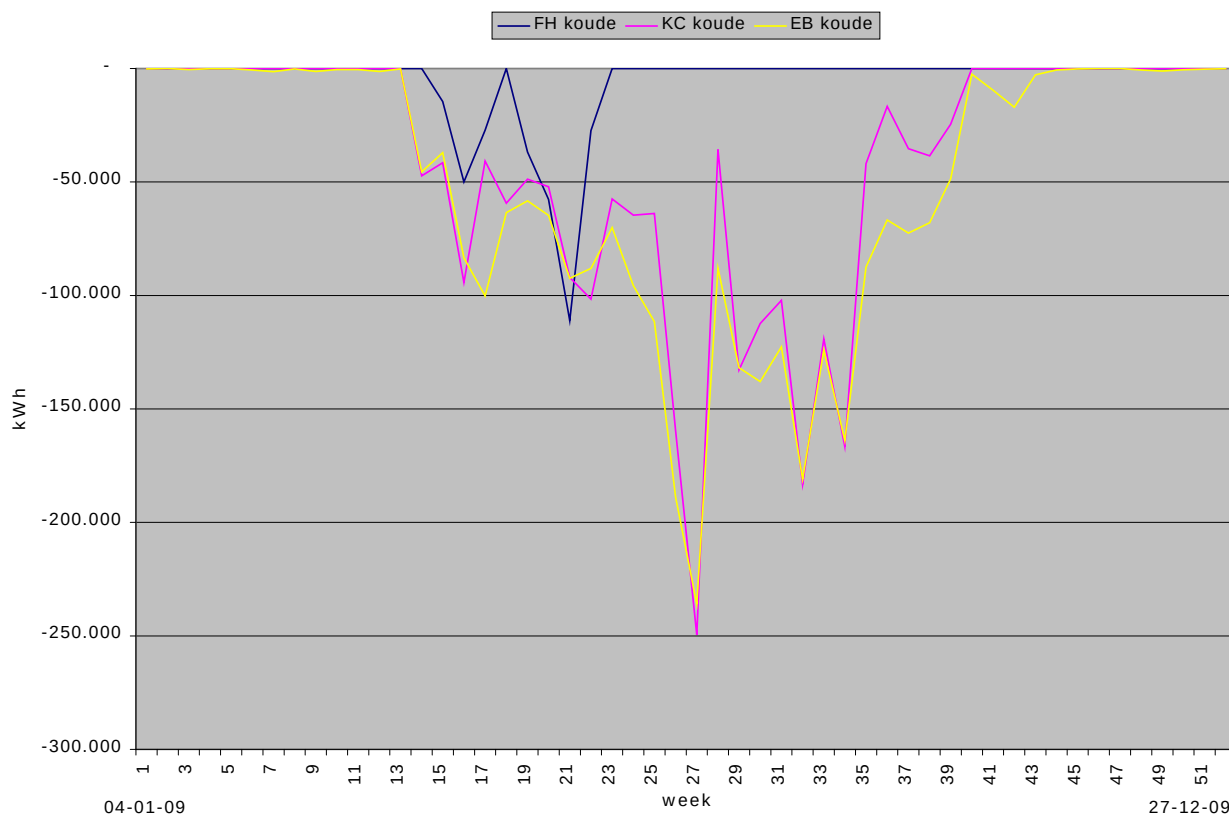
Wat is de energiebehoefte en hoe wordt daarin voorzien bij onderdoor koelen zoals opgesteld bij Porta Nova 2 en hoe is dit in vergelijking met de referentie kas Porta Nova 1.

Onderstaande grafiek laat de hoeveelheid koude zien die voor de koeling verbruikt is op 25-5-09. Te zien zijn de koude van de FIWIHEX unit (FH) en de koude, op basis van de omrekening van de meetwaarden uit de klimaat computer (KC). Deze laten beiden het zelfde patroon zien. Het model berekend op deze dag een hogere koude vraag. Dit kan komen omdat de installatie in de praktijk minder koude levert of omdat er in de praktijk midden op de dag een (kleine) concessie gedaan wordt op streef klimaat. Bijvoorbeeld CO₂ concentratie, vochtgehalte of temperatuur.



Figuur 170 verbruik en berekende koude 25 mei Porta Nova

De volgende grafiek laat de hoeveelheid koude zien die in de kas gebracht wordt. Te zien is de koude van de FIWIHEX unit (FH), de koude op basis van de omrekening van de meetwaarden uit de klimaat computer (KC) en de koude vraag berekend door het energiebalansmodel (EB).



Figuur 171 Verbruik en berekende koude 2009 Porta Nova

De computer en de energiemeting wijken in de gemeten periode van elkaar af. Hier is geen duidelijke verklaring voor gevonden. De koudevraag van het model en van de computerregistratie vertonen een redelijk gelijk patroon.

Het model berekende aanvankelijk veel meer koude dan wat er in de praktijk verbruikt is.

- In het voorjaar is er een hogere optimale temperatuur omdat er dan veel licht is.
- Krijt heeft een gunstig effect op de koudevraag.

De maximale koude vraag is in de praktijk lager gemeten:

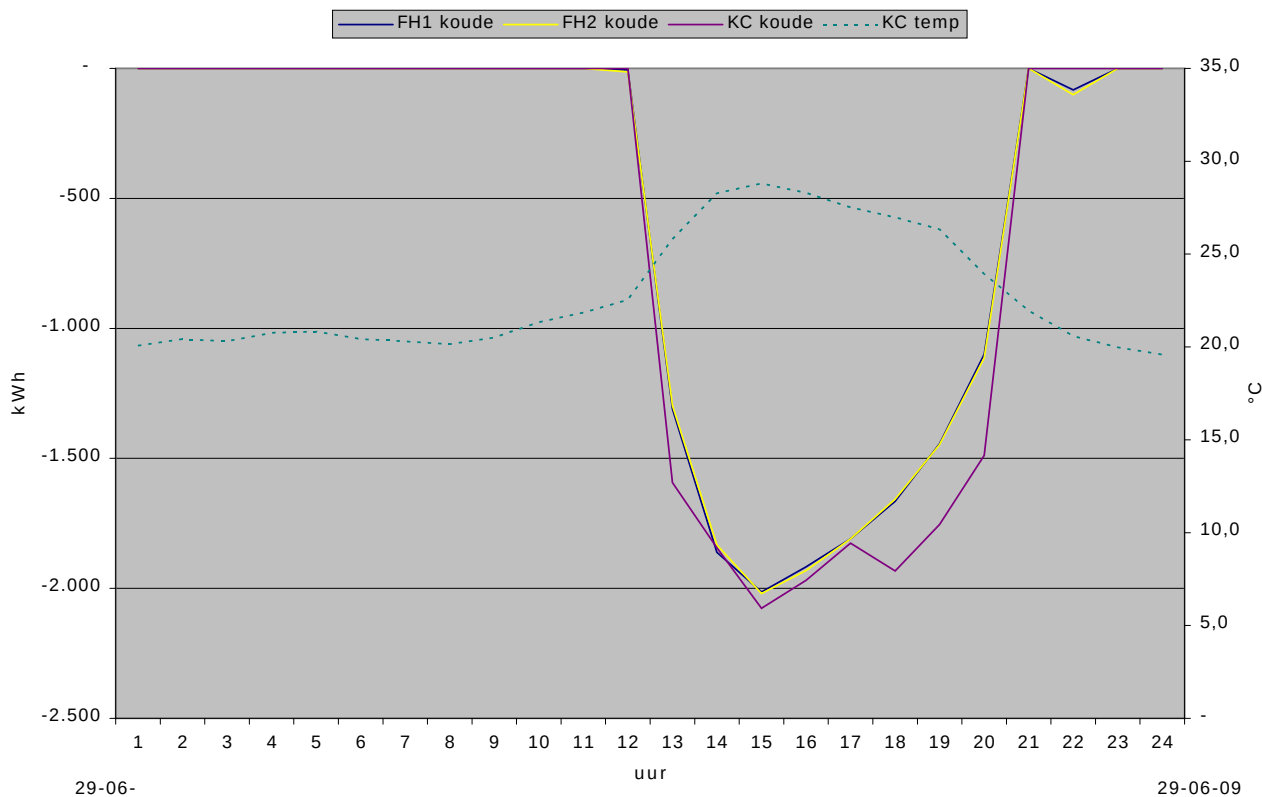
- | | |
|---|----------------------|
| • Energiemeter FiwiHex | 160 W/m ² |
| • Klimaatcomputer groep: flow en ΔT | 169 W/m ² |
| • Energiemodel | 361 W/m ² |

Ook de totale hoeveelheid koude die is verbruikt is lager dan verwacht. Er is 136 kWh/m², 804 vollastuur/jaar (berekend bij 169 W/m² vollast) verbruikt en de installatie heeft 1.600 uur staan koelen. Spaarzaam koelen lijkt de in de praktijk toegepaste methode bij onderdoor koelen.

8.3.2 Boonekamp Roses

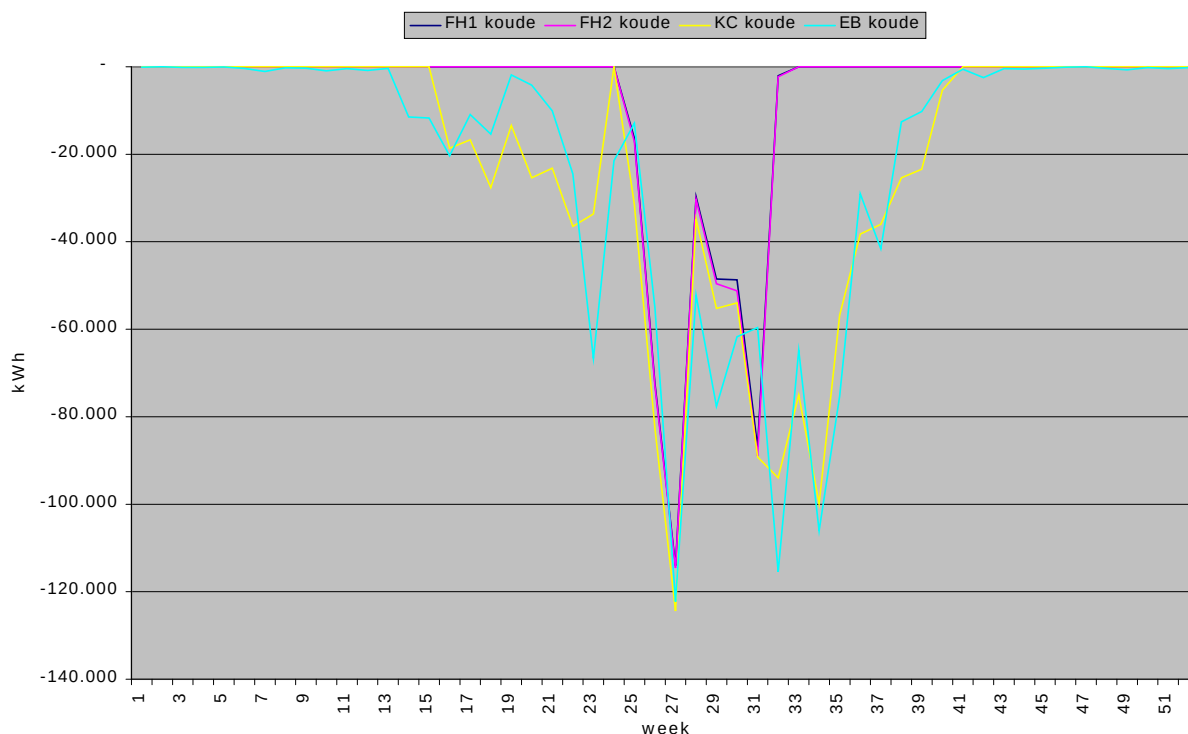
Vraagstelling: Wat is de energiebehoefte en hoe wordt daarin voorzien bij bovendoor koelen zoals bij Boonekamp Roses.

De volgende grafiek laat de hoeveelheid koude zien die voor de koeling verbruikt is op 29-6-09. Te zien zijn de koude van de FIWIHEX unit (FH) en de koude, op basis van de omrekening van de meetwaardes uit de klimaat computer (KC). Ze laten het zelfde patroon zien. Het model berekend op deze dag een zelfde koude vraag.



Figuur 172 Verbruik en berekende koude 16 juni Boonekamp Roses

De volgende grafiek laat de hoeveelheid koude zien die in de kas gebracht wordt. Te zien is de koude van de FIWIHEX unit (FH), de koude op basis van de omrekening van de meetwaardes uit de klimaat computer (KC) en de koude vraag berekend door het energiebalansmodel (EB).



Figuur 173 verbruik en berekende koude 2009 Boonekamp Roses

De lijnen uit de verschillende benaderingswijzen zitten hier veel dichtter bij elkaar dan bij Porta Nova. Het model berekende aanvankelijk veel meer koude dan wat er in de praktijk verbruikt is. Op dit bedrijf is nog minder gebruikt gemaakt van de koelinstallatie.

Er is CO₂ van OCAP beschikbaar. Mogelijk wordt om deze reden meer op natuurlijke wijze gelucht.

De maximale koude vraag is in de praktijk lager gemeten. Echter wel ongeveer 40 W/m² hoger dan bij Porta Nova 2:

- | | |
|---|----------------------|
| • Energiemeter FiwiHex | 204 W/m ² |
| • Klimaatcomputer groep: flow en ΔT | 125 W/m ² |
| • Energiemodel | 424 W/m ² |

Ook de totale hoeveelheid koude die is verbruikt is lager dan verwacht. Er is 112 kWh/m², 521 vollastuur/jaar (berekend bij 215 W/m² vollast) verbruikt en de installatie heeft 987 uur staan koelen. Veel minder dan bij Porta Nova.

8.3.3 Efficiëntie onder- of bovendoor koelen

Een van de vraagstellingen van dit project was het verschil in energie efficiëntie tussen onder en bovendoor koelen. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn op basis van het energie model, wat opgesteld is, een aantal berekeningen uitgevoerd. Wat we in de klimaatmetingen hebben gezien is dat bij bovendoor koelen er een zeer kleine tot geen

verticale temperatuurgradiënt is. Bij onderdoor koelen is deze gradiënt wel te zien. Op basis hiervan is via het energiemodel berekend wat de consequenties zijn voor de energiebehoefte als de Fiwihexen van onder naar boven gehangen worden en visa versa. De resultaten van de berekening staan weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 Berekening energie efficiëntie tussen onder- en bovendoor koelen

Energienmodel		PN 2			Boonekamp Roses		
		Basis onderdoor	corr 2 °C (Bovendoor)		Basis bovendoor	corr 2 °C (Onderdoor)	
max	W/m ²	361	380	5%	424	401	-6%
totaal	kWh/m ²	167	174	4%	110	98	-12%
vollast	uur	463	458	-1%	259	244	-6%
per jaar	uur	2976	2976	0%	3050	2992	-2%

Tabel 11 laat een aantal waardes zien. In de meest linkse kolom staan in volgorde van boven naar beneden: het maximale gevraagde koelvermogen, het totale koelvermogen wat ingebracht moet worden, aantal vollast uren dat de koeling draait om aan de totale koelvraag te voldoen en het aantal uur per jaar dat de koeling moet draaien.

Bij Porta Nova zien wij dat het maximale gevraagde koelvermogen met 5% toeneemt, het totale gevraagde koelvermogen met 4% toeneemt, het aantal vollast uren met 1% afneemt en het aantal uur dat de koeling moet draaien gelijk blijft.

Bij Boonekamp Roses zien wij dat het maximale gevraagde koelvermogen met 6% afneemt, het totaal gevraagde koelvermogen met 12% afneemt, het aantal vollast uren met 6% afneemt en het aantal uren dat de koeling moet draaien met 2% afneemt.

Vergelijken we beide bedrijven dan is duidelijk te zien dat bij Boonekamp Roses de consequenties een stuk groter zijn dan bij Porta Nova. Dit heeft veel te maken met de koelstrategie die gehanteerd wordt op de desbetreffende bedrijven. Boonekamp Roses heeft bijvoorbeeld van periode 7 t/m 11 257 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ par licht binnengelaten terwijl dit bij Porta Nova 211 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ is. Dit kan erop wijzen dat er minder geschermd is, waardoor er meer luchtuitwisseling is en er daardoor meer koude verloren gaat bij bovendoor koelen. Worden de Fiwihexen dan naar beneden gehangen dan is de energiebesparing groter. Oftewel de koelstrategie heeft veel consequenties op de energiebesparing die gehaald kan worden door de Fiwihexen beneden te plaatsen

8.4 Conclusies energieberekening onder- en bovendoor koelen

Tabel 12 Overzicht resultaten energieberekening onder- en bovendoor koelen

data 2009	Porta Nova II	Boonekamp
energiemeter Fiwihex	160 W/m ²	204 W/m ²
klimaatcomputer groep: flow en ΔT	169 W/m ² 136 kWh/m ² 804 vollastuur/jaar 1.600 uur per jaar	215 W/m ² 112 kWh/m ² 521 vollastuur/jaar 987 uur per jaar
energiemodel DLV glas & energie	361 W/m ² 167 kWh/m ² 462 vollastuur/jaar 2.976 uur per jaar	424 W/m ² 110 kWh/m ² 259 vollastuur/jaar 3.050 uur per jaar

- Het gebruikte vermogen is veel minder dan wat eerst berekend was.
- Op beide bedrijven is de inzet van de koelinstallatie beperkt waardoor de totale koudevraag laag is.
- De manier waarop de teler met de koelinstallatie omgaat heeft veel meer invloed op de hoeveelheid energie die er voor koelen nodig is dan de manier waarop gekoeld wordt (bovendoor of onderdoor).
- Welke manier van koelen het meest energie-efficiënt is kan niet uit de gemeten waardes worden gehaald.
- Berekeningen d.m.v. het energiemodel laten zien dat er een besparing gerealiseerd kan worden door de Fiwihexen beneden te plaatsen. De hoeveel energie die bespaard wordt hangt af van de klimaatinstellingen en koelstrategie.

9 Energieberekeningen onder- en bovendoor verwarmen

9.1 Vraagstelling

In samenwerking met DLV Glas en Energie zijn de volgende vragen over het verwarmen met FiwiHex van een rozenkas uitgewerkt:

- Welke energiebesparing kan worden gehaald wanneer wordt verwarmd met FIWIHEX?
- Welk voordeel levert onderdoor verwarmen op met FiwiHex zoals deze zijn opgesteld bij Porta Nova?
- Welk voordeel levert FiwiHex op bij bovendoor verwarmen zoals uitgevoerd bij v.d. Weijden?
- In welke mate is het mogelijk om te verwarmen met bronwater in de aquifer als warmtebron voor de FiwiHex, zonder het opwaarderen van dit bronwater met een warmtepomp?
- Aansluitend hierop: hoeveel energie kan worden bespaard wanneer overdag zonnewarmte uit de kas in een dagbuffer wordt opgeslagen en wanneer deze zonnewarmte in de nacht kan worden benut voor verwarming?
- Bij welke energie- en of temperatuurvraag is het inzetten van de traditionele verwarmingsbuizen goedkoper dan de inzet van fiwihex verwarming?

9.2 Uitwerking

Middels het warmtebalans programma van DLV Glas en Energie (model) zijn diverse simulaties uitgevoerd. In de teelt van roos bestaat de warmtevraag uit 2 onderdelen:

1. Stoken voor temperatuur. Dit kan door de inzet van verwarmingsbuizen, warmte van assimilatiebelichting en door inzet van FiwiHex.
2. Stoken om het klimaat te activeren ofwel vocht af te voeren en luchtcirculatie te creëren. Dit kan door inzet van verwarmingsbuizen (minimum buis) en door inzet van FiwiHex.

Bij het maken van de berekeningen zijn deze twee soorten warmtevraag uit elkaar gehaald en in beeld gebracht. Hierdoor kan worden bepaald welke hoeveelheid energie er nodig is voor deze twee functies.

De volgende opties zijn berekend:

Optie 1

Referentie situatie. Dit is de situatie zonder gebruik van FIWIHEX voor verwarming. Voor het bedrijf Porta Nova is de referentie zo veel mogelijk getoetst aan het energieverbruik op de locatie zonder FiwiHex (Porta Nova 1). De meetwaardes van het werkelijke verbruik van warmte zijn echter alleen beschikbaar van week 12 t/m week 27 van 2009.

Optie 2

Verwarmen met Fiwihex. Hierbij is de berekening van de referentiesituatie als basis genomen en het vermogen en het oppervlak aangepast naar Porta Nova 2. Vervolgens is berekend wat de warmtevraag is zonder gebruik van minimum buis verwarming voor het weg stoken van vocht. Als derde stap is de minimum buis zodanig opgevoerd zodat de warmtevraag tijdens de meetperiode overeenkomt met de berekening van het model.

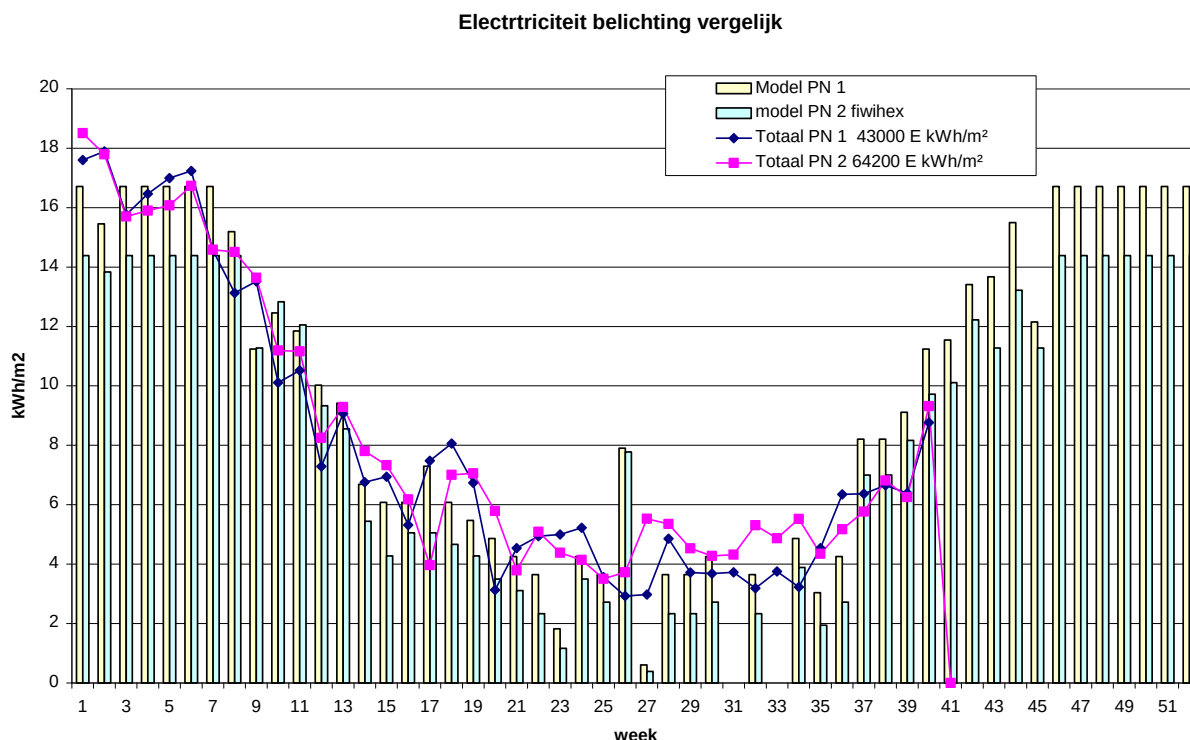
9.3 Resultaten

9.3.1 Porta Nova

Vraagstelling: Welk voordeel levert onderdoor verwarmen op met Fiwihex zoals deze zijn opgesteld bij Porta Nova.

Een belangrijk deel van de warmtevraag in de kas wordt ingevuld door de belichting. Om deze reden is de lampwarmte berekend met het model en vergeleken met de werkelijke verbruiken voor elektriciteit (die voor het overgrote deel uit verbruik voor belichting bestaat). De berekening en het werkelijke gebruik komen goed met elkaar overeen.

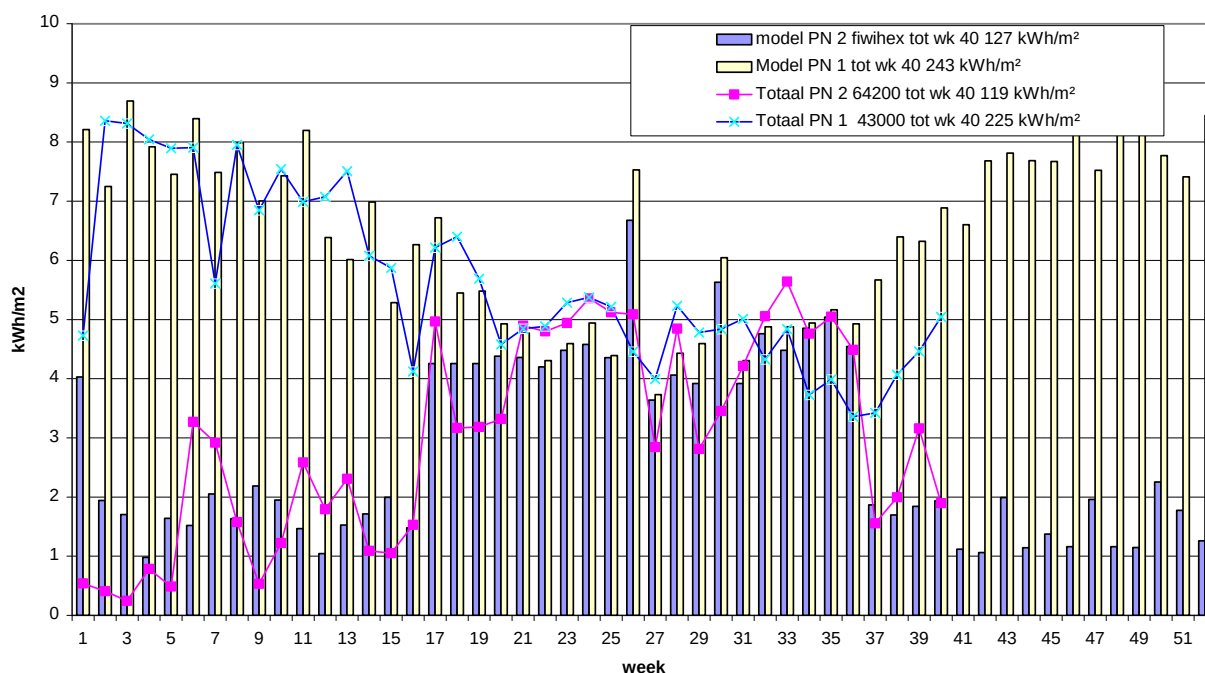
Onderstaande grafiek laat de hoeveelheid elektriciteit zien die voor de belichting nodig is in de kas met en de kas zonder Fiwihex. Voor Porta Nova 1 en 2 zijn de werkelijke metingen als lijnen weergegeven, de resultaten uit het simulatiemodel zijn als staven zichtbaar.



Figuur 174 Benodigde hoeveelheid elektriciteit voor belichting in een kas met en in een kas zonder Fiwihex

De volgende grafiek laat de hoeveelheid warmte zien die met de buizen of met Fiwihex in de kas gebracht wordt. Voor Porta Nova 1 en 2 zijn de metingen van het verbruik als lijnen weergegeven. De resultaten uit het simulatiemodel zijn als staven zichtbaar.

Warmte vergelijk model en meetwaarden



Figuur 175 Verbruikte en berekende hoeveelheid warmte 2009 Porta Nova

De warmtevraag berekend met het model komt goed overeen met het werkelijke verbruik van de referentie situatie van Porta Nova 1. De afwijkingen tussen de berekende vraag en het verbruik bij Porta Nova 2, de Fiwihex kas, zijn erg groot.

Wanneer in het simulatiemodel het gebruik van minimum buis wordt uitgeschakeld, dan is een theoretische besparing op buiswarmte mogelijk van maximaal 30 m³/m² ae op een verbruik aan buiswarmte van 40 m³/m² ae. In een traditionele rozenteelt wordt 75% van de warmtevraag gebruikt voor het activeren van het klimaat.

In de vergelijking van de meetwaarden met het model bij Porta Nova 2 zijn zeer grote verschillen zichtbaar. In de verschillen tussen het verbruik en de berekende waarde is moeilijk een duidelijk patroon te ontdekken. Een verklaring hiervoor kan zijn dat Porta Nova de afgelopen periode erg aan het zoeken is geweest naar een goed klimaat in de kas. Uit de grafiek van de meting van het werkelijke verbruik is een variatie zichtbaar van vrijwel geen warmtevraag in het begin van de meetperiode tot een relatief hoge vraag vanaf week 22. Vanaf week 17 is er zelfs veel meer verbruik geweest in de Fiwihex kas ten opzichte van de referentie.

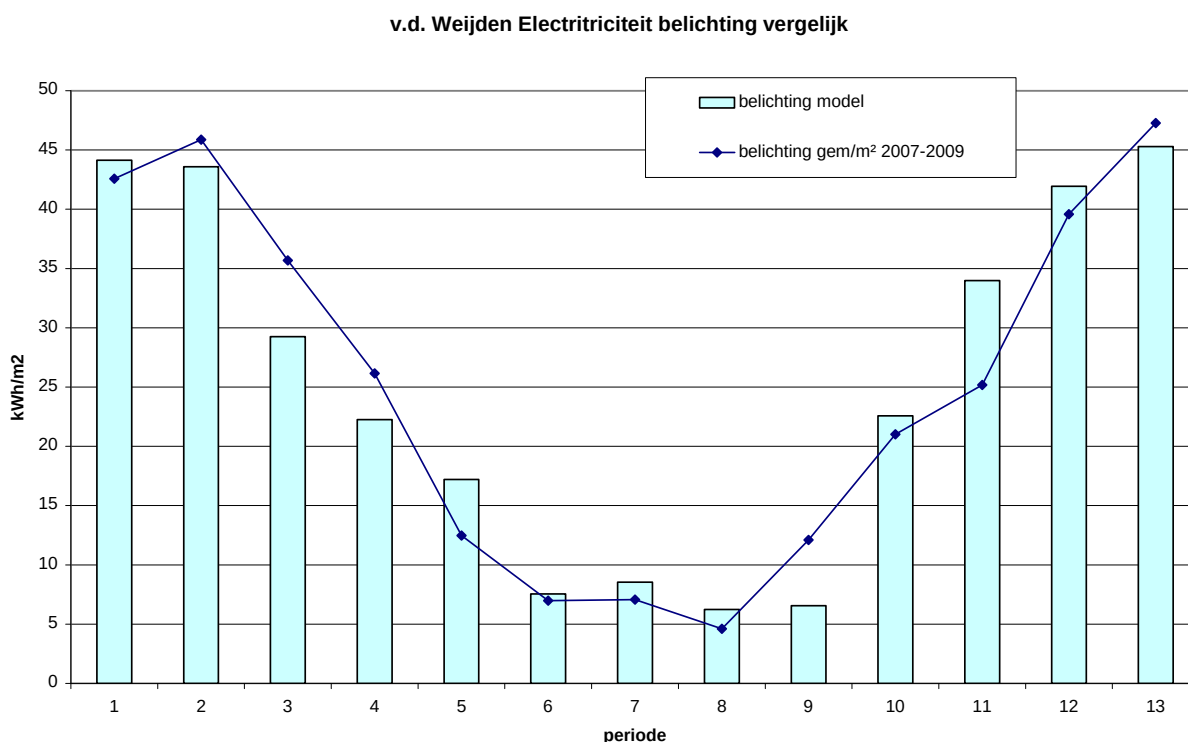
Na afronding van dit onderzoek (week 27) zijn de meetwaarden t/m wk 40 bij gewerkt. Voor Porta Nova lijkt nu toch een patroon zichtbaar te worden. Indien in de nachtperiode de belichting aan is, dan wordt de lampwarmte middels de Fiwihex ventilatoren benut voor vochttafvoer. De minimum buis functie wordt dan overgenomen door de ventilatoren van de Fiwihex.

9.3.2 Van der Weijden

Vraagstelling: Welk voordeel levert Fiwihex op bij bovendoor verwarmen zoals uitgevoerd bij v.d. Weijden.

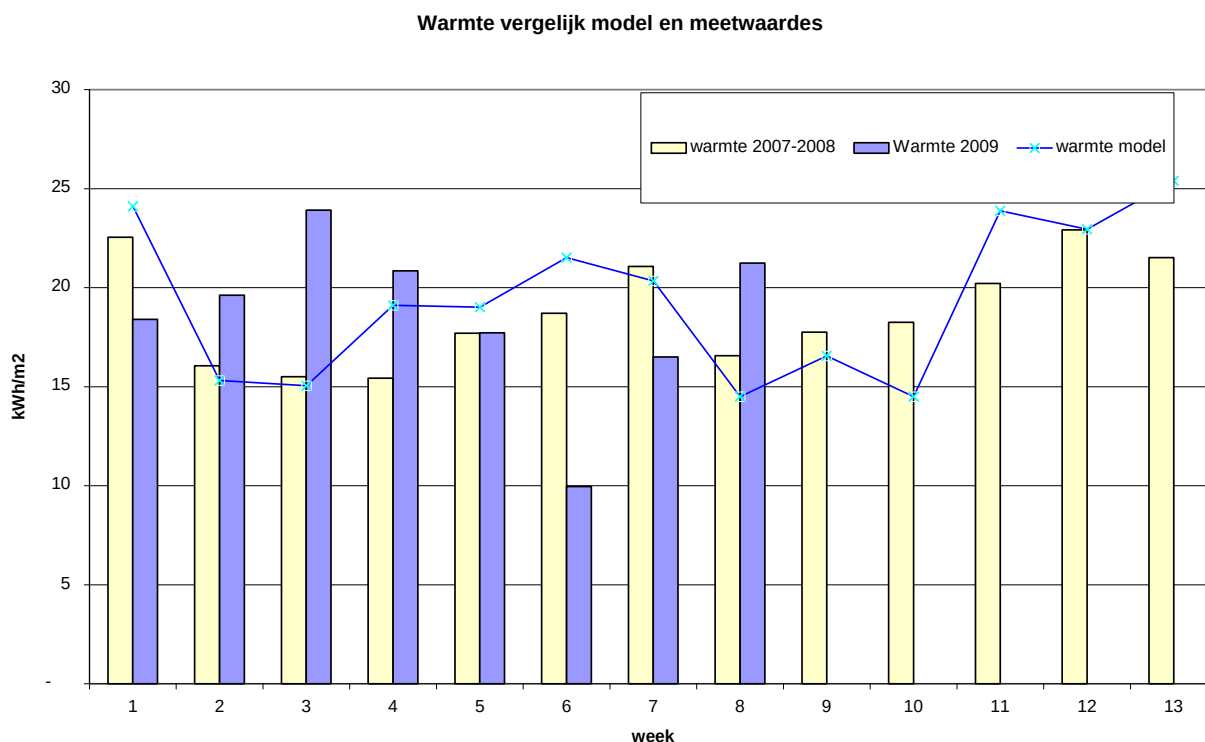
Een belangrijk deel van de warmtevraag in de kas wordt ingevuld door de belichting. Om deze reden is de lampwarmte berekend met het model vergeleken met het werkelijke verbruik van elektriciteit (die voor het overgrote deel uit verbruik voor belichting bestaat). De berekening en het werkelijke gebruik komen goed met elkaar overeen.

Onderstaande grafiek laat de hoeveelheid elektriciteit zien die voor de belichting nodig is. Voor v.d. Weijden zijn de werkelijke metingen als lijnen weergegeven. De resultaten uit het simulatiemodel zijn als staven zichtbaar.



Figuur 176 vergelijk verbruik en berekend belichting G.J. van der Weijden

Onderstaande grafiek laat de hoeveelheid warmte zien die met de buizen of met Fiwihex in de kas gebracht wordt. Voor v.d. Weijden zijn de metingen van het verbruik als staven weergegeven. De resultaten uit het simulatiemodel zijn als lijn zichtbaar.



Figuur 177 Ingebrachte hoeveel warmte met en zonder Fiwihex G.J. van der Weijden

De warmtevraag van de buizen is erg laag voor een rozen teelt. Dit was ook het geval in de periode voordat Fiwihex geïnstalleerd was. Op jaarbasis 26-28 m³ ae. De warmtevraag lijkt vrijwel geheel benut te worden voor het activeren van het gewas. Er is geen verschil tussen zomer en winter zichtbaar. In 2009 zijn periode 6 en 7 wel een stuk lager, periode 8 weer niet. Dit komt mogelijk omdat er op dat moment warmte vernietigd werd voor het doseren van CO₂ (verkoop elektriciteit is niet rendabel). In deze laatste 3 periodes wordt veel met de ketel gestookt.

Op basis van de registratiecijfers is er over de gehele periode geen besparing zichtbaar als gevolg van het stoken met Fiwihex. V.d.Weiden heeft aangegeven dat hij wel het 'gevoel heeft' dat er bespaard kan worden. Voorheen stond er standaard een minimum buis in om luchtcirculatie te realiseren en nu heeft de ventilator van de Fiwihex deze functie en wordt er alleen gestookt als de temperatuur in de kas te laag wordt. Vanwege mogelijke risico's in de teelt worden aanpassingen in de klimaatregeling met kleine stapjes gedaan. Extra handicap bij dit bedrijf is dat er geen warmtemeters zijn, en dat het bedrijf maar voor 2/3 is uitgerust met Fiwihex.

9.3.3 Verwarmen met bronwater zonder warmtepomp

Vraagstelling: In welke mate is het mogelijk om te verwarmen met bronwater in de aquifer als warmtebron voor de FiwiHex, zonder het opwaarderen van dit bronwater met een warmtepomp?

Op basis van de metingen in de periode 4 tot 16 dec 2008 is berekend dat het verschil tussen de aanvoertemperatuur en de kastemperatuur veelal tussen 5 en de 15°C zat (gem. 8°C). Er kan alleen verwarmd worden met FiwiHex, zonder inschakelen van de warmtepomp, als de temperatuur van de dagbuffer of de bron circa 5°C of meer boven de kastemperatuur ligt. De warmte die de bron of de dagbuffer in gaat hangt af van de retourwatertemperatuur tijdens het oogsten van warmte uit de kas. Dit is dus de periode dat de kas wordt gekoeld. In de afgelopen gemeten periode is deze temperatuur niet hoger dan 16°C geweest. De warmtepomp zal dan ook altijd ingeschakeld moeten worden om voldoende temperatuur te leveren om te kunnen verwarmen.

Omdat het verwarmingswater naar de kas veelal maar 5°C warmer moet zijn dan de kas temperatuur, kan wel een zeer hoog rendement uit bijvoorbeeld een warmtepomp of de condensor van de warmtekracht worden gehaald.

9.3.4 Gebruik dagbuffer

Vraagstelling: Hoeveel energie kan worden bespaard wanneer overdag zonnewarmte uit de kas in een dagbuffer wordt opgeslagen en deze zonnewarmte in de nacht kan worden benut voor verwarming?

In het voor- en najaar komt het regelmatig voor dat er overdag koudevraag is en in de nacht warmtevraag. Met een dagbuffer kan de warmte die overdag uit de kas geoogst wordt in de daarop volgende nacht direct worden benut. De geoogste warmte zal wel eerst opgewaardeerd moeten worden met een warmtepomp. Het is nog niet duidelijk wat de warmtevraag in de FiwiHex kas in de praktijk zal worden. Stel dat deze vraag uitkomt op 25 m³/m² ae per jaar en dat dit een verbruikspatroon is wat sterk lijkt om een traditionele rozenteelt, dan zou ongeveer 50% van deze warmte uit de dagbuffer betrokken kunnen worden.

9.3.5 Vergelijking kosten verwarmingsbuizen en fiwihex

Vraagstelling: Bij welke energie- en of temperatuurvraag is het inzetten van de traditionele verwarmingsbuizen goedkoper dan de inzet van FiwiHex verwarming?

Bij verwarmen met FiwiHex is het elektriciteitsverbruik hoger dan wanneer met de verwarmingsbuizen wordt verwarmd. In een conventionele rozenteelt wordt de verwarming circa 6.700 uur ingezet. Hiervan is circa 2.600 uur nodig voor het verwarmen van de kas. De overige 4.100 uur wordt de verwarming ingezet voor het activeren van het gewas.

Tabel 13 Vergelijk kosten stoken met buizen of FiwiHex

vergelijk kosten stoken met buizen of FiwiHex			
oppervlak Porta Nova 2	63000 m ²		
kosten electriciteit (vermeden verkoop)	0,06 €/kWh		
verbruik electriciteit (Porta Nova)	FiwiHex	500 kW	30 €/uur
verbruik electriciteit referentie	buizen	12 kW	0,72 €/uur
verbruik warmte min buis	40 W/m ²	2520 kW	
Kosten warmte bij break even		29,28€/uur	
		0,012€/kWh	
uitgedrukt in ketelgas	9 kWh/m ³	0,105€/ m ³ ae	

- Voor het gebruik in de functie van minimum buis zijn de variabele kosten alleen de elektriciteitskosten van de FiwiHex. De warmte die de FiwiHex in gaat is immers gratis geoogste zonnewarmte. Voor een minimum buis uit een traditioneel systeem bestaan de kosten vooral uit kosten voor het maken van de warmte met een ketel of een warmte-kracht. Uit de voorbeeld berekening blijkt dat het omslagpunt bij een warmteprijs van 1,2 ct/kWh_{th} ligt.
 - Dit is altijd goedkoper dan het produceren van warmte met de ketel.
 - Dit is niet goedkoper als er warmte van een warmte-kracht beschikbaar is die draait voor belichting of voor terug leveren op het net tijdens plateau uren.
- Voor warmte maken in de functie van verwarmen voor temperatuur is het vrijwel altijd goedkoper om de ketel of een warmtekracht in te zetten. Het FiwiHex
- systeem en de warmtepomp gaan minder efficiënt werken waardoor het elektriciteitsverbruik en de daarbij horende kosten uit de pas gaan lopen.

Hierbij moet worden aangetekend dat de meerproductie door een hogere CO₂ waarde in de kas met FiwiHex niet in deze berekening zijn opgenomen. Deze extra CO₂ opbrengsten zijn een groot voordeel van het FiwiHex systeem.

10 Elektriciteitsverbruik

10.1 Inleiding

De volgende tabel geeft een overzicht van het berekende elektriciteitsverbruik. Hierbij is berekend dat de ventilatoren tijdens koelen op een hoger vermogen draaien dan tijdens verwarmen.

Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp is gebaseerd op een COP van 5 (in verwarmingsbedrijf). Bij opslag in de bodem geldt een voorwaarde dat dit energieneutraal moet worden gedaan. Om deze reden is berekend dat de hoeveelheid warmte die met de warmtepomp geproduceerd wordt voor het verwarmen van de kas, gelijk is aan de hoeveelheid koude welke in het koelseizoen is gebruikt voor het koelen van de kas, vermeerderd met het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp.

10.2 Porta Nova

Bij Porta Nova is een schatting gedaan van het elektriciteitsverbruik door het verschil te berekenen van een trafo waarop alleen belichting brandt en een trafo waarop een gelijke hoeveelheid belichting brandt en waarop de overige elektriciteitsverbruikers zijn aangesloten. Het overige verbruik is ca 58 kWh/m² of 12% van het totaal verbruik. Het overige verbruik kan verdeeld worden in 3 groepen:

- Bedrijfslast, naar schatting 8 kWh/m².
- Warmtepomp verbruik, berekend op basis van het aantal draaiuren en het maximale vermogen 34 kWh/m² (nog niet het hele jaar gemeten).
- Fiwihex verbruik, berekent als het restant, totaal 17 kWh/m².

10.3 Boonekamp Roses

Bij Boonekamp Roses is het elektriciteitsverbruik van de Fiwihex units vanaf week 15 gemeten. Het verbruik is 17 kWh, dit is hoger dan het berekende verbruik. Het verbruik van de warmtepomp is in de gemeten periode 9 kWh/m². Dit is lager dan de berekende waarde. Door het toepassen van een warmte-kracht is er op dit bedrijf minder warmtepomp warmte nodig.

10.4 Conclusie elektriciteitsverbruik

De vraag naar elektriciteit is bij een bedrijf met koelen en verwarmen door Fiwihex 40 tot 50 kWh/m² hoger dan de referentie, of wel een verhoging van 9 - 11%. De ventilatoren verbruiken hiervan 16-20 kWh. Het resterende deel is nodig voor het aandrijven van de warmtepomp en de systeempompen.

Tabel 14 Elektriciteitsverbruik onderdoor en bovendoor gekoelde kas

ELEKTRICITEIT GEKOELDE KAS									
gecorrigeerd voor aquifer thermisch neutraal									
bedrijf		PortaNovall			Boonekmap			gemiddeld	
oppervlakte		16,000 m ² 1 m ²			10,000 m ² 1 m ²			10,000 m ² 1 m ²	
energiestrategie		PortaNovall			Boonekmap			gemiddeld	
Fiwihex koelen		2,176,000 kWh 136.0 kWh/m ²			1,120,000 kWh 112.0 kWh/m ²			1,240,000 kWh 124.0 kWh/m ²	
Fiwihex verwarmen		2,720,000 kWh 170.0 kWh/m ²			1,400,000 kWh 140.0 kWh/m ²			1,550,000 kWh 155.0 kWh/m ²	
belichten vermogen		1,665 kW 0.104 kW/m ²			1,185 kW 0.119 kW/m ²			1,425 kW 0.111 kW/m ²	
belichten tijd		4,143 uur			3,249 uur			3,696 uur	
elektriciteit		PortaNovall			Boonekmap			gemiddeld	
bedrijfslast		128,000 kWh 2% 8.0 kWh/m ²			80,000 kWh 2% 8.0 kWh/m ²			80,000 kWh 2% 8.0 kWh/m ²	
Fiwihex koelen		137,400 kWh 2% 8.6 kWh/m ²			70,721 kWh 2% 7.1 kWh/m ²			78,298 kWh 2% 7.8 kWh/m ²	
Fiwihex verwarmen		130,769 kWh 2% 8.2 kWh/m ²			67,308 kWh 2% 6.7 kWh/m ²			74,519 kWh 2% 7.5 kWh/m ²	
warmtepomp zomer		- kWh 0% - kWh/m ²			- kWh 0% - kWh/m ²			- kWh 0% - kWh/m ²	
warmtepomp winter		544,000 kWh 7% 34.0 kWh/m ²			280,000 kWh 6% 28.0 kWh/m ²			310,000 kWh 7% 31.0 kWh/m ²	
belichten		6,896,000 kWh 88% 431.0 kWh/m ²			3,850,000 kWh 89% 385.0 kWh/m ²			4,080,000 kWh 88% 408.0 kWh/m ²	
TOTAAL		7,836,169 kWh 100% 489.8 kWh/m ²			4,348,028 kWh 100% 434.8 kWh/m ²			4,622,817 kWh 100% 462.3 kWh/m ²	

11 CO₂ besparing onder- en bovendoor koelen

11.1 Vraagstelling

In samenwerking met DLV Glas en Energie zijn de volgende vragen met betrekking tot het CO₂-doseren bij het koelen van de kas in een rozenteelt uitgewerkt.

- Wat is de CO₂ behoefte en hoe wordt daarin voorzien bij onderdoor koelen zoals opgesteld bij Porta Nova 2 en hoe is dit in vergelijking met de referentie kas Porta Nova 1?
- Wat is de CO₂ behoefte en hoe wordt daarin voorzien bij bovendoor koelen zoals bij Boonekamp Roses en hoe is dit in vergelijking met de referentie kas?

11.2 Uitwerking

Bij Porta Nova en bij Boonekamp Roses zijn het afgelopen seizoen metingen verricht aan het koelen met FiwiHex.

Porta Nova 2 2009

- Gegevens van de klimaatcomputer van een groep (25% van de kwekerij) in de periode 01-04 t/m 30-09.
- Gegevens van de geleverde zuiver CO₂ (meestal eens per één of twee dagen). Deze gegevens geven een goed beeld van het seizoensverloop maar zijn onvoldoende gedetailleerd om de dosering per uur zichtbaar te maken.

Boonekamp Roses 2009

- CO₂-dosering per uur in de periode 18-06 t/m 2-08 voor het hele bedrijf. Wij zijn er van uitgegaan dat 25% daarvan bestemd was voor de gekoelde kas.
- Gegevens van de klimaatcomputer van een groep (25% van de kwekerij) in de periode 01-04 t/m 22-11.

Met behulp van deze meetdata is een berekening gemaakt van de hoeveelheid en het vermogen aan koude in het afgelopen seizoen. Vervolgens zijn er door middel van het energiebalans-model van DLV Glas & Energie diverse simulaties uitgevoerd om een beeld van het hele jaar te krijgen bij toepassen van koeling. Vervolgens is met het energiemodel bepaald wat de situatie zou zijn in een referentiekas waar dezelfde streefwaarden voor CO₂ worden gehanteerd.

11.3 Resultaten

11.3.1 Model en werkelijkheid

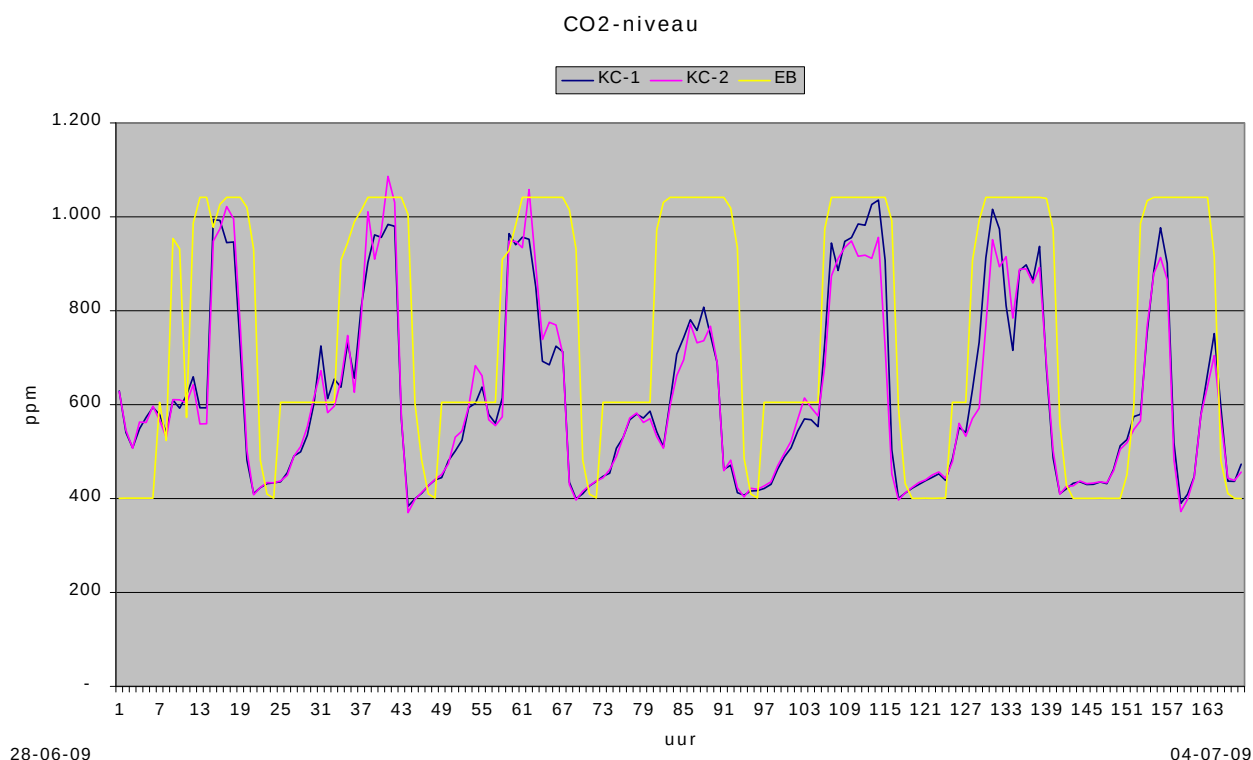
Dankzij koeling kan het ventilatievoud in de kas beperkt worden door de luchting meer dicht te houden. Daardoor blijft meer CO₂ in de kas. Het energiemodel kan echter dat alleen over het hele jaar op dezelfde wijze doen. Omdat koelen een dure bezigheid is, zal in de praktijk waarschijnlijk de luchting toch verder geopend worden om goedkoop te

koelen met buitenlucht, waardoor echter wel meer CO₂ nodig is. Het model zal daarom bij koeling op wat minder gedoseerde CO₂-uitkomsten dan in de praktijk is gedoseerd.

11.3.2 Boonekamp Roses

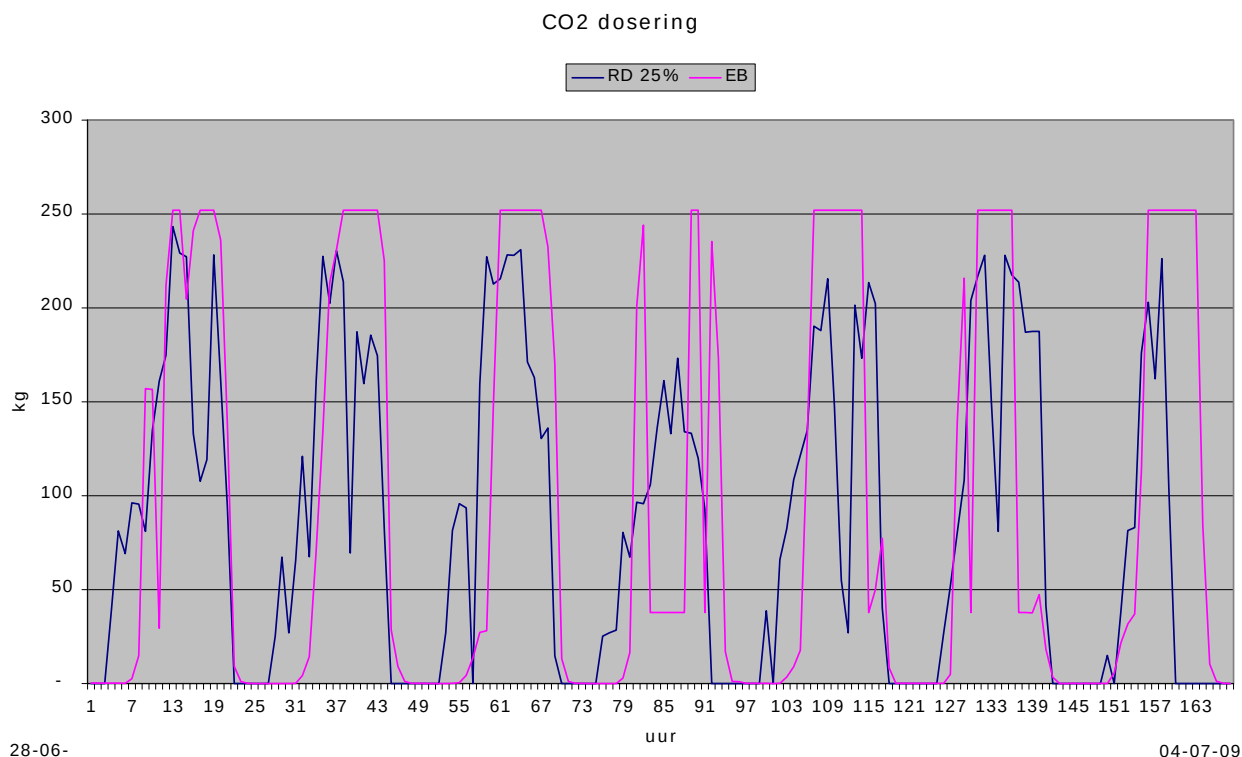
Vraagstelling: Wat is de CO₂ behoefte en hoe wordt daarin voorzien bij bovendoor koelen zoals bij Boonekamp Roses en hoe is dit in vergelijking met de referentie kas?

De energiebalans (EB) is zo opgezet dat de waarden van de CO₂-niveaus uit de klimaatcomputer (KC) goed worden benaderd. In onderstaande grafiek is dat van week 27 zichtbaar gemaakt.



Figuur 178 Energiebalans benadering tot meetwaardes Boonekamp Roses

Ook is er het resultaat van de energiebalans (EB) vergeleken met de werkelijk geregistreerde dosering (RD) van CO₂. In week 27 levert dat het volgende beeld op.



Figuur 179 Energiebalans en werkelijk geregistreerde dosering CO₂ Boonekamp Roses

De energiebalans blijkt de werkelijke waarden in deze weken goed te benaderen. Op jaarbasis is er echter wel een forse afwijking. Het energiebalansmodel berekent over de geregistreerde periode een dosering van 34 kg/m², terwijl in de praktijk 43 kg/m² is gedoseerd. Dat is het gevolg van het feit dat bij Boonekamp Roses de toegepaste strategie niet het hele jaar gelijk was. Daarnaast is ook vaak een afweging gemaakt om meer te luchten, waardoor meer CO₂ nodig was. Op jaarbasis zou volgens het energiemodel 35 kg/m² nodig zijn, wat met dezelfde correctie op 45 kg/m² uitkomt.

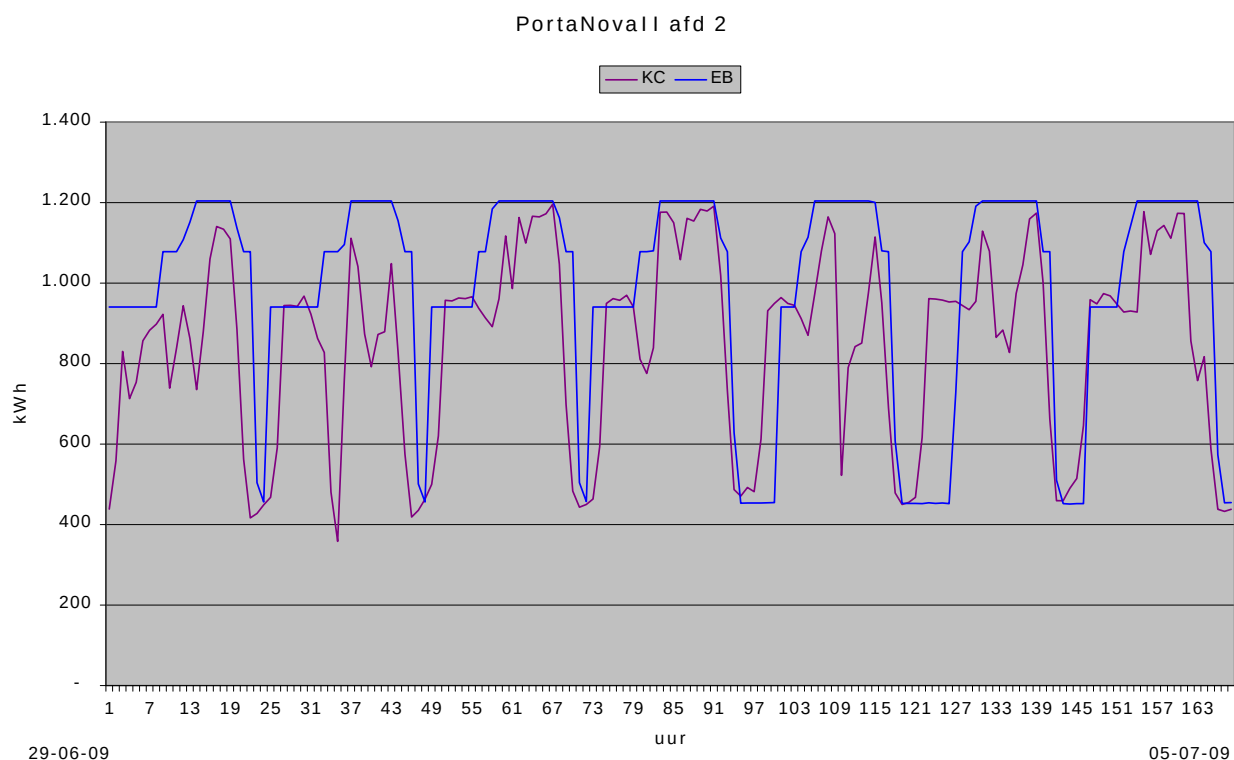
Wanneer in het energiebalansmodel niet meer wordt gekoeld is 72 kg/m² aan CO₂ nodig. Dan zakt het CO₂-niveau in de kas echter wel weg tot rond de 400 ppm. Daarom zal in werkelijkheid dan nog meer CO₂ worden gedoseerd. Wij komen in de praktijk bedrijven tegen die meer dan 100 kg/m² doseren.

11.3.3 Porta Nova

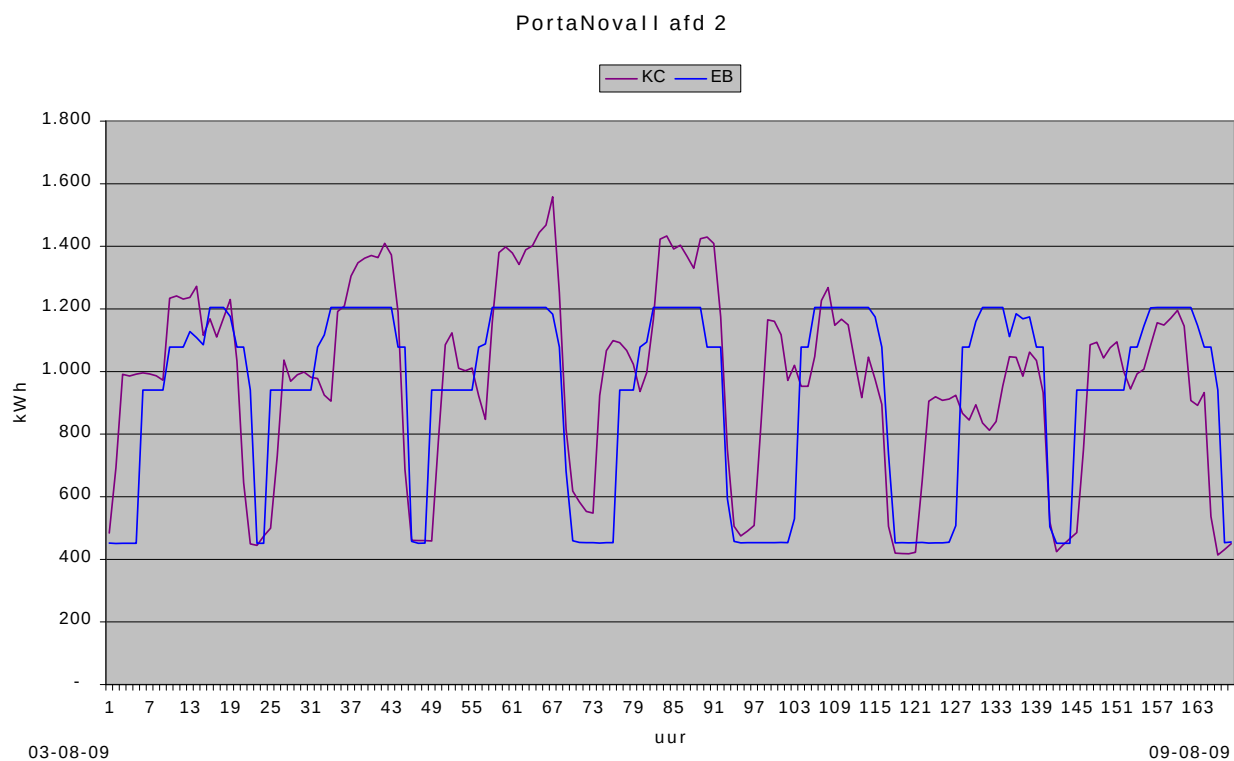
Vraagstelling: Wat is de CO₂ behoefte en hoe wordt daarin voorzien bij onderdoor koelen zoals opgesteld bij Porta Nova 2 en hoe is dit in vergelijking met de referentie kas Porta Nova 1?

Bij Porta Nova is alleen informatie beschikbaar van de klimaatcomputer (KC) over gerealiseerde CO₂-niveaus in de kas (in ppm). Dat is met het energiebalansmodel (EB) zo

goed mogelijk benaderd. Als voorbeeld zijn de gerealiseerde niveaus in week 27 en 36 weergegeven in de volgende grafieken.



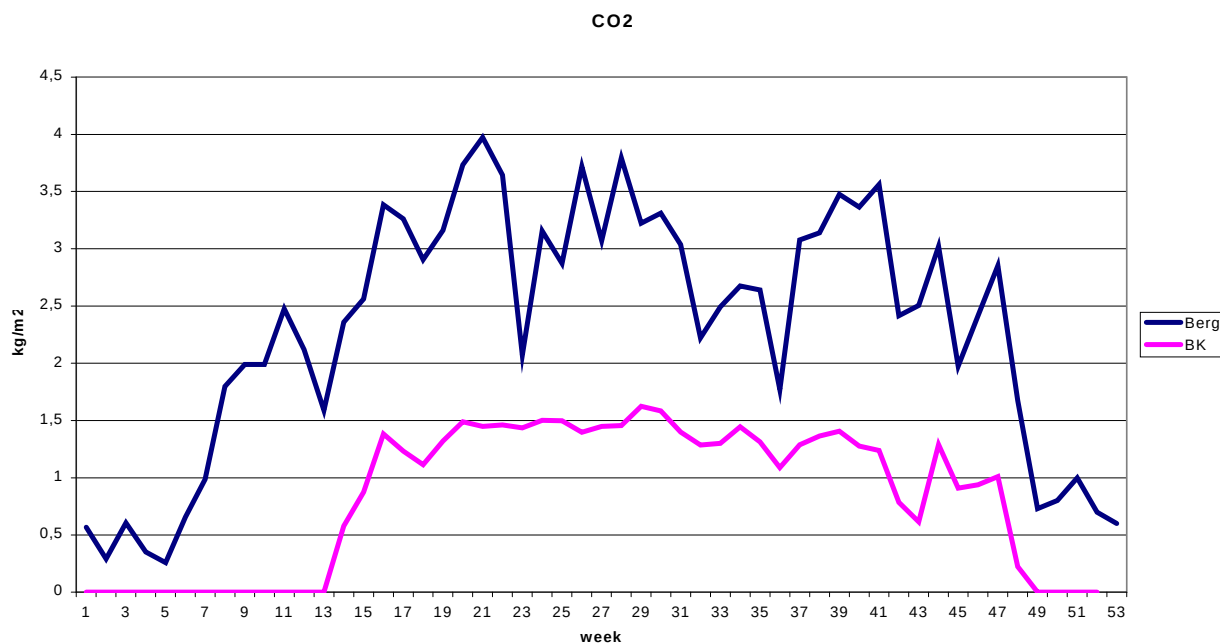
Figuur 180 Energiebalans benadering tot meetwaardes week 27 Porta Nova



Figuur 181 Energiebalans benadering tot meetwaardes week 36 Porta Nova

Hoewel er wel degelijk wat afwijkingen zijn, blijkt het energiebalansmodel de werkelijkheid in deze weken redelijk te benaderen.

Volgens het rekenmodel zou er op jaarbasis ongeveer 25 kg/m² CO₂ gedoseerd worden. Zonder koeling wordt er volgens het energiebalansmodel ongeveer 70 kg/m² gedoseerd. Ook hier geldt dat dan de niveaus ver terugzakken, waardoor er in de praktijk meer CO₂ zal worden gebruikt.



Figuur 182 vergelijk CO₂ verbruik v.d. Berg Roses (Berg) en Boonekamp (BK)

11.4 Conclusies

Tabel 15 Gerealiseerde besparing koelen 2009

		Boonekamp	Porta Nova
CO ₂ verbruik gemeten	[kg/m ²]	43	42
CO ₂ verbruik berekenend	[kg/m ²]	34	25
Correctie door meer luchten	[kg/m ²]	9	17
CO ₂ verbruik niet koelen	[kg/m ²]	81	87
Besparing CO ₂ verbruik	[kg/m ²]	38	45
		47%	52%

- Er wordt door koeling inderdaad bereikt dat met veel minder CO₂ een hoger CO₂-niveau kan worden gehandhaafd in de kas.

- Het feit dat Porta Nova meer gekoeld heeft als Boonekamp Roses blijkt ook uit het feit dat er bij Porta Nova minder CO₂ is gebruikt. Het is echter niet aangetoond dat dit verschil het gevolg is van bovendoor of onderdoor koelen.
- Het werkelijk gehanteerde ventilatievoud en gerealiseerde CO₂-niveau is het gevolg van operationele besluiten, waarbij de kosten van koeling en het gewenste CO₂-niveau beslissende factoren zijn. Dit is erg moeilijk in één strategie per jaar te definiëren.
- De beschikbaarheid van CO₂ is op de beide bedrijven een beperkende factor geweest. Wanneer dit niet het geval geweest zou zijn, dan zou er 45 kg/m².jaar in de gekoelde kas gedoseerd zijn en ca 116 kg/m².jaar in de referentie situatie.

12 Economische evaluatie

12.1 Inleiding

Voor het maken van de economische berekening is uitgegaan van een fictief bedrijf van 5 ha met 110 W/m² aan belichting (ca 13.000 lux = ca. 160 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$). Er is gekozen voor twee referenties van bedrijfssituaties die in de rozenteelt veel voorkomen, te weten de situatie waarbij 50% van de elektriciteitsvraag van de belichting met WK wordt ingevuld en de situatie waarbij alle lampen op de WK kunnen en waarbij een deel van de warmte aan andere glastuinbouwbedrijven wordt geleverd. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd.

Tabel 16 Uitgangspunten

		referentie	bovenlangs	onderdoor
elektriciteit	[kWh/m ²]	470	524 11%	524 11%
verwarmen	[kWh/m ²]	351	297 -15%	216 -38%
koelen	[kWh/m ²]		150	150
CO ₂	[kg/m ²]	116	52 -55%	52 -55%

Licht: 110 W/m² en 4200 vollast uren aan.

Warmte:

- In de referentie is uitgegaan van een buiswarmtevraag 351 kWh/m², 38 m³/m² ae (aardgasequivalenten).
- Voor de situatie met koelen en verwarmen bovendoor is uitgegaan van een warmtevraag (buizen en FiwiHex) van 297 kWh/m², 33 m³/m². Dit is wat minder dan bij Boonekamp Roses maar meer dan bij v.d. Weijden. Ook hier heeft de manier waarop de klimaatregeling gestuurd wordt een grote invloed op het werkelijke verbruik.
- Voor de situatie met koelen en verwarmen onderdoor is uitgegaan van een warmtevraag (buizen en FiwiHex) van 162 kWh/m², 24 m³/m².

CO₂:

- In de referentie is uitgegaan van een CO₂ behoefte van 116 kg/m² per jaar. Dit is de hoeveelheid CO₂ welke nodig is om een gelijke CO₂ concentratie als in kas met koeling aan te kunnen houden. In de situatie met kaskoeling is uitgegaan van van 52 kg/m² per jaar.
- De CO₂ wordt geleverd door de warmte-kracht en voor een deel met zuivere CO₂. In situaties met een beperkte ventilatievoud wordt in de praktijk vaak gekozen voor zuivere CO₂. De extra kosten hiervoor zijn bij alle opties gelijk.

Op de volgende bladzijde zijn de uitgangspunten van de verschillende opties in een tabel weergegeven.

Tabel 17 Economische berekening energie 4 situaties

BEDRIJF				optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
OPPERVLAKTE				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht	25 % WK kaskoeling bovenlangs	25% WK kaskoeling onderdoor
bedrijf	5,00 ha	m ²		50.000	50.000	50.000	50.000
TOTAAL	5,00 ha	m ²		50.000	50.000	50.000	50.000
VERMOGEN 2009				optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht	25 % WK kaskoeling bovenlangs	25% WK kaskoeling onderdoor
elektriciteit		per uur					
bedrijf	- W/m ²	kWh		250	250	250	250
licht	110,0 W/m ²	kWh		5.500	5.500	5.500	5.500
koeling	- W/m ²	kWh		-	-	400	400
warmtepomp	- W/m ²	kWh		-	-	600	600
TOTAAL	-	kWh		5.750	5.750	6.750	6.750
warmte		per uur					
bedrijf	100 W/m ²	kWh		5.000	5.000	5.000	5.000
TOTAAL	-	kWh		5.000	5.000	5.000	5.000
koude		per uur					
bedrijf	300 W/m ²	kWh		-	-	15.000	15.000
TOTAAL	-	kWh		-	-	15.000	15.000
CO ₂		per uur					
bedrijf	- m ³ /ha/u	kg		1.500	1.500	375	375
TOTAAL	-	kg		1.500	1.500	375	375
VERBRUIK 2009				optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht	25 % WK kaskoeling bovenlangs	25% WK kaskoeling onderdoor
elektriciteit		per jaar					
bedrijf	8,0 kWh/m ²	kWh		400.000	400.000	400.000	400.000
licht	4.200 uur	kWh		23.100.000	23.100.000	23.100.000	23.100.000
koeling	2.000 uur	kWh		-	-	800.000	800.000
warmtepomp	3.125 uur	kWh		-	-	1.875.000	1.875.000
TOTAAL	-	kWh		23.500.000	23.500.000	26.175.000	26.175.000
warmte		per jaar					
bedrijf	83,0 m ³ /m ²	kWh		38.518.225	38.518.225	36.197.850	31.557.100
TOTAAL	-	kWh		38.518.225	38.518.225	36.197.850	31.557.100
koude		per jaar					
bedrijf	500 uur	kWh		-	-	7.500.000	7.500.000
TOTAAL	-	kWh		-	-	7.500.000	7.500.000
CO ₂		per jaar					
bedrijf	116 kg/m ²	kg		5.800.000	5.800.000	2.250.000	2.250.000
TOTAAL	-	kg		5.800.000	5.800.000	2.250.000	2.250.000
PRODUCTIE 2009				optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht	25 % WK kaskoeling bovenlangs	25% WK kaskoeling onderdoor
aardgas	netbeheerder			Stedin	Stedin	Stedin	Stedin
deelmarkt				telemetrie	telemetrie	telemetrie	telemetrie
GOS	zevenhuizen			W365	W365	W365	W365
gasmeter	hoofdmeter			G650	G1000	G0	G0
gasmeter	wkk			G650	G1000	G250	G250
inkoop	winter 105%	m ³		709	1.351	356	356
elektriciteit	netbeheerder			Stedin	Stedin	Stedin	Stedin
knip	100% belast	kVA		10.000	10.000	10.000	10.000
deelmarkt	contractcapaciteit			HS+TS/MS	HS+TS/MS	HS+TS/MS	HS+TS/MS
MS/LS installatie	90% belast	kVA		3.500	5.000	6.000	6.000
inkoop	-	kWh		3.250	750	5.500	5.500
verkoop	-	kWh		2.250	4.750	1.000	1.000
warmte	-			-	-	-	-
verkoop	-	kWh		-	2.000	-	-
CO ₂	-			-	-	-	-
inkoop	-	8 kg		400	400	400	400
wkk 1	1	MW		wk 2,5	wk 5,0	-	-
aardgas	8,79 Ho	m ³		675	1.351	356	356
elektriciteit	100,0% e.g.	kWh		2.500	5.000	1.250	1.250
warmte	94,0% ttl	kWh		3.081	6.163	1.563	1.563
CO ₂	1,8 kg/m ³	kg		1.280	2.560	640	640
warmtepomp	-			-	-	-	-
elektriciteit	-	kWh		-	-	600	600
warmte	-	kWh		-	-	3.000	3.000
koude	-	kWh		-	-	2.400	2.400

12.2 Opties

De volgende opties zijn berekend:

- 1 50% van het lichtvermogen wordt met een WKK gemaakt (referentie).
- 2 100% van het lichtvermogen wordt met een WKK gemaakt.
- 3 25% van het lichtvermogen wordt met een WKK gemaakt en er wordt bovendoor gekoeld.
- 4 25% van het lichtvermogen wordt met een WKK gemaakt en er wordt onderdoor gekoeld.

Alleen de investeringen die verschillend zijn voor de verschillende opties zijn meegenomen in de berekening. Dus bijvoorbeeld niet de belichtingsinstallatie maar wel de warmtekracht.

Voor de situatie met kaskoeling is gerekend met een extra investering in FiwiHex, bronnen, opslag en regeling van € 64,- /m².

Een uitgebreid overzicht van de investeringen is te vinden in bijlage 1.

12.3 Resultaat

Tabel 18 Rentabiliteit berekening energie 4 situaties

samenvatting		optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
omschrijving		50% warmte-kracht	100% warmte-kracht	25 % WK kaskoeling bovenlangs	25% WK kaskoeling onderdoor
oppervlakte	m ²	50.000	50.000	50.000	50.000

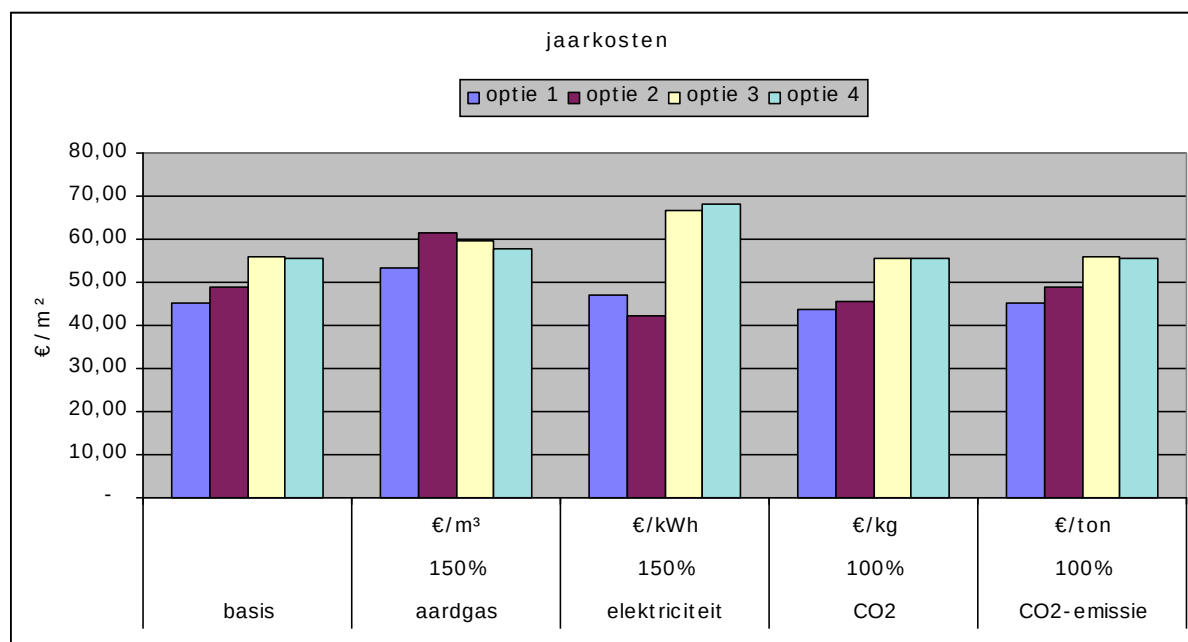
parameters		optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
aardgas	100% €/m ³	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
elektriciteit	100% €/kWh	0,0521	0,0640	0,0605	0,0616
CO ₂	- €/kg	0,0630	0,0630	0,0630	0,0630
CO ₂ -emissie	100% €/ton	-	-	-	-

financieel	basis	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
investering	€	1.630.650	2.910.600	4.569.600	4.569.600
jaarkosten	€	2.406.943	2.598.295	2.822.426	2.794.620
jaarkosten	€/m ²	48,14	51,97	56,45	55,89
rentekosten	€	48.919,50	87.318,00	137.088,00	137.088,00
rentekosten	€/m ²	0,98	1,75	2,74	2,74
variabele kosten	€	2.194.959	2.219.917	2.228.378	2.200.572
variabele kosten	€/m ²	43,90	44,40	44,57	44,01
vergelijk met optie	1	1	1	1	1
Δ investering	€	-	1.279.950	2.938.950	2.938.950
Δ rentekosten	€	-	38.399	88.169	88.169
Δ variabele kosten	€	-	-24.958	-33.419	-5.613
Δ jaarkosten	€	-	-191.351	-415.482	-387.677
Δ jaarkosten	€/m ²	-	-3,83	-8,31	-7,75
terugverdientijd +rente	jaar	-	95,2	53,7	35,6
terugverdientijd -rente	jaar	-	-51,3	-87,9	-523,6

financieel	subsidie	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
investering	€	1.417.430	2.529.520	3.132.520	3.132.520
jaarkosten	€	2.379.225	2.548.754	2.635.605	2.607.800
jaarkosten	€/m ²	47,58	50,98	52,71	52,16
variabele kosten	€	2.194.959	2.219.917	2.228.378	2.200.572
variabele kosten	€/m ²	43,90	44,40	44,57	44,01
vergelijk met optie		1	1	1	1
Δ investering	€	-	1.112.090	1.715.090	1.715.090
Δ variabele kosten	€	-	-24.958	-33.419	-5.613
Δ jaarkosten	€	-	-169.529	-256.381	-228.575
Δ jaarkosten	€/m ²	-	-3,39	-5,13	-4,57
terugverdientijd	jaar	-	-44,6	-51,3	-305,6

Bevindingen

- Uit bovenstaande tabel blijkt dat de jaarkosten energie van optie 1, referentie met 50% warmte-kracht het laagste is. De variabele kosten zijn voor optie 2 het laagst.
- De opties met koeling zijn duurder. Voor een belangrijk deel komt dit door de hoge investering. Bovendien zijn de tarieven voor gas en elektriciteit op dit moment laag.
- De CO₂ vraag wordt voor het grootste deel door de warmte-kracht gedekt, dit is relatief goedkope CO₂. Wanneer alle CO₂ van bijvoorbeeld OCAP afkomstig zou zijn, dan zou een groter financieel voordeel behaald kunnen worden.
- Onderdoor verwarmen is mogelijk efficiënter dan bovendoor verwarmen met Fiwhex. Daarom zijn de jaarkosten van deze optie iets lager.
- Bij de gehanteerde tarieven van € 0,25/m³ voor gas, € 40,-/MWh dal en 80,-/MWh plateau kan de warmtepomp moeilijk concurreren met de warmte-kracht.



Figuur 183 Jaarkosten verschillende opties

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt het volgende:

- Een stijging van de gasprijs met 50% (0,375 /m³) maakt het systeem concurrerend met de referentie. Een stijging van de elektriciteitsprijzen is echter nadelig voor het systeem met Fiwihex.
- Als de CO₂ emissierechten in de toekomst verhandelbaar worden dan is er een belangrijk voordeel voor de Fiwihex varianten omdat hier veel minder (afhankelijk van de situatie en vergelijk 45-80%) CO₂ uitstoot plaats vindt.

13 Toetsing CFD model

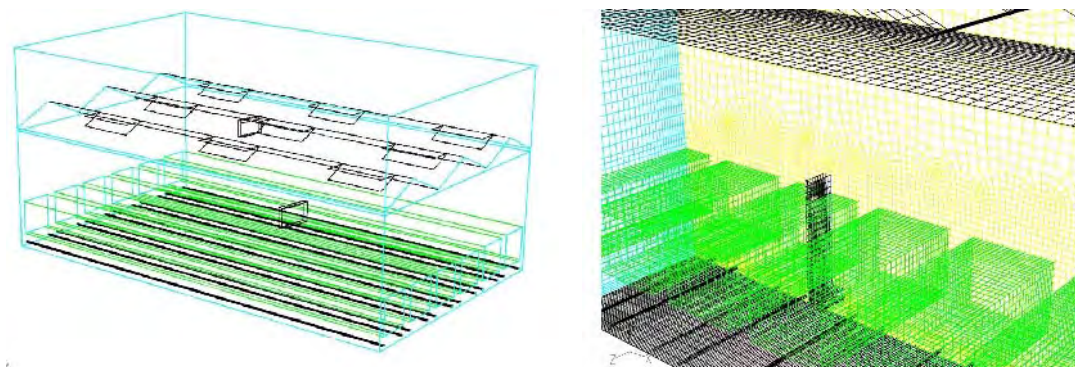
13.1 Inleiding

Om de effecten van koeling op het kasklimaat te bepalen is in 2008 besloten om via het CFD model het kasklimaat modelmatig te gaan berekenen. De uitkomsten van de berekeningen zijn geverifieerd aan van de temperatuurlogger metingen die uitgevoerd zijn bij G.J. van der Weijden en Porta Nova.

Een CFD-analyse bestaat uit drie delen: modelleren (pre-processing), berekenen (processing) en analyse resultaten (post-processing).

Pre-processing

In de eerste stap wordt de kas (of in dit geval een kleine uitsnede daarvan) getekend, voorzien van alle relevante geometrische details. Het gewas wordt apart benoemd als een rechthoekig deel van de ruimte zodat in de berekening een modelmatige benadering voor het gewas kan worden gedefinieerd. Boven het kasdek wordt een klein stukje van de buitenwereld gemodelleerd. Zie linker figuur.



Figuur 184 Preprocessing

Nadat alles getekend is wordt het mesh (rekenrooster) aangebracht. In deze stap wordt de hele ruimte gevuld met kubusjes. In elk van deze cellen kan met het rekenpakket de snelheid, druk, temperatuur etc. worden bepaald. Bovenstaande figuur (rechts) toont hier een voorbeeld van.

Processing

Dit gebeurt met de commercieel verkrijgbare CFD software Ansys-Fluent v6.3. Met behulp van een eindige volumemethode worden de Navier-Stokes bewegingsvergelijkingen en de energievergelijking gediscretiseerd. Om het model oplosbaar te maken wordt gebruik gemaakt van een sluitingsmodel voor de turbulentieschalen, in dit geval de standaard k-epsilon methode (2 vergelijkingen).

Het model wordt voorzien van de juiste randvoorwaarden:

- De wanden en het dak zijn van glas.

- De vloer is van beton en heeft aan de onderkant een bodemtemperatuur.
- De verwarmingsbuizen zijn van ijzer en krijgen een vaste temperatuur.
- De fans en koeler (bijvoorbeeld de Fiwihex) krijgen een debiet behorende bij de fankarakteristiek en een temperatuur bepaald door de koeler.
- Het gewas (het gedefinieerde deel van de ruimte) wordt voorzien van een relevante weerstand (porositeit) en een warmtebron die overeenkomt met 1/3e deel van de zoninstraling eventueel verminderd met het deel wat wordt tegengehouden door het scherm
- Het buitendomein wordt voorzien van de waarde voor de buitentemperatuur en eventueel een snelheid die behoort bij de gemeten windsnelheid.

Hierna kan de berekening worden gestart. Er wordt gerekend totdat de oplossing nauwelijks meer verandert. Dit kan worden afgelezen aan de hand van waarden voor bijvoorbeeld druk en/of temperatuur op vlakken waar veel gebeurt. Indien deze waarden niet meer veranderen (een rechte lijn vertonen) is convergentie bereikt.

Post-processing

In deze stap worden uit de resultaten de plaatjes gemaakt ten behoeve van analyse en rapportage. Te denken valt dan aan:

- Contourplots van snelheden, drukken, temperaturen etc.
- Vectorplots van snelheden, waaruit grootte en richting is af te lezen.
- Pathline-plots, hiermee kan worden gekeken naar de weg die in een deeltje vanuit een bepaald punt door de ruimte aflegt.

13.2 Resultaten en conclusies

Tijdens de verwerking is gebleken dat de meetpunten waarmee de berekende resultaten werden vergeleken, niet de juiste temperatuur hebben aangegeven. Deze resultaten waren beïnvloed door directe straling. Voor een juiste bepaling van de temperatuur dient het meetinstrument in een kastje geplaatst te zijn. Voor de kas van Van der Weijden is slechts 1 stralingsonafhankelijk meetpunt beschikbaar welke op gewashoogte ligt. In de kas van Porta Nova met koeling is op een drietal punten gemeten maar deze liggen in een andere afdeling dan welke beschouwd in dit verslag. Er is een vergelijking gemaakt met de stralingsonafhankelijke meetpunten met de CFD resultaten. De resultaten geven aan dat het model nu zover is ontwikkeld dat de metingen kunnen worden gereproduceerd. Er zijn nog kleine afwijkingen. Deze zullen met een mogelijk geavanceerder gewasmodel kleiner worden.

Duidelijk is geworden dat de invloed van de omstandigheden buiten de kas (temperatuur en wind) via de (openstaande) ramen en het glasdak het beeld volledig maakt. Zeker bij de kas van Van der Weijden is dit overdag het geval omdat de ramen openstaan en er geen scherm gebruikt is.

De voornaamste afwijkingen van de resultaten uit de CFD ten opzichte van de metingen zijn de relatief hogere temperaturen onderin de kas. Dit is alleen het geval bij de dagcases wat erop duidt dat het gewas lokaal de luchttemperatuur beïnvloed. De afwijkingen van de gemiddelde temperatuur bepaald uit de CFD-resultaten liggen alle binnen de 2,5% ten opzichte van de metingen.

Het blijft dus overeind dat het gewasmodel enige verfijning behoeft. Het lijkt erop dat de conversie van straling naar convectorie, en het effect van verdamping daarop, een nauwkeurigere temperatuurverdeling zal geven in het computermode. De begeleidingscommissie gaf aan dat er onvoldoende meerwaarde kwam uit de CFD berekeningen. Daarnaast vond men het model te statisch en bleek de warmteafgifte van het gewas c.q. warmteopname door het gewas een te onzekere factor. Om deze reden zijn de werkzaamheden met betrekking tot het CFD model niet verder opgenomen in de onderzoeken.

14 Conclusies en aanbevelingen

14.1 Conclusies

Klimaat verwarmen

- Horizontale temperatuurverdeling proefvak bij onderdoor verwarmen wordt niet verbeterd of zelfs iets slechter wanneer verwarmd wordt met FiwiHex. Horizontale verdeling bij bovendoor verwarmen wordt beter bij verwarmen met de FiwiHex.
- Het vochtgehalte op bloemhoogte is de meest kritische plek op gewasniveau bij onderdoor verwarmen. Bij bovendoor verwarmen is de meest kritische plek het ingebogen blad.
- Verticale temperatuurverdeling in de donkerperiode laat een grotere gradiënt zien bij onderdoor verwarmen FiwiHex in vergelijking tot conventioneel verwarmen. Waarbij op gewasniveau het ingebogen blad het warmst en op bloemhoogte het koudst is. Metingen boven de bloemhoogte laten een nog verdere daling zien van de temperatuur. Wanneer de belichting aan gaat wordt de gradiënt kleiner.
- De verticale temperatuurverdeling bij bovendoor verwarmen laat een omgekeerde gradiënt zien in vergelijking met conventioneel verwarmen. Waarbij op gewasniveau het ingebogen blad het koudst is en op bloemhoogte het warmst.
- De luchtbeweging is bij onderdoor verwarmen met FiwiHex onder de teeltgoot hoger en op ingebogen bladhoogte gelijk of in sommige gevallen (plekken) iets hoger dan bij traditioneel. Het effect op de luchtbeweging op ingebogen blad hoogte lijkt erg klein. Bij bovendoor verwarmen wordt de luchtbeweging onder de teeltgoot en ingebogen blad niet altijd beter. Wel is er pleksgewijs een verhoging van de windsnelheid te zien. De gewasweerstand is hierin een bepalende factor.
- Buitenomstandigheden als windsnelheid en -richting en klimaatregeling zoals raam- en schermstand hebben een grote invloed op de luchtstromen in de kas.
- De ventilatorstanden die gerealiseerd worden zijn o.a. afhankelijk van het vermogen dat ingebracht moet worden. Uit de Quick scans blijkt dat het niet nodig is om de maximale ventilatorstand te hanteren. Bij onderdoor verwarmen is te zien dat de lucht in het proefvak later omhoog getransporteerd wordt bij een hoge stand (78%). Om een rustiger klimaat te realiseren voldoet een ventilator stand van 58% goed. Bij bovendoor verwarmen is te zien dat een hoge ventilator stand (78%) veel effect heeft boven het gewas maar op gewasniveau een lagere ventilatorstand voldoende moet zijn.
- De extra luchtbeweging die door de ventilator gecreëerd zou moeten worden op gewasniveau is bij zowel onder- als bovendoor circuleren pleksgewijs te zien maar niet overal. Of door de extra beweging voldoende vocht afgevoerd wordt om de minimum buis te vervangen is dan nog de vraag. De metingen kunnen dit niet aantoonbaar maken. Het effect van de minimum buis op de luchtstromen lijkt minimaal.

Klimaat koelen

- Horizontale temperatuur verdeling proefvak bij onderdoor koelen laat op ingebogen bladhoogte een relatief grote gradiënt zien, op gewashoogte en bloemhoogte is deze gradiënt zeer gering. Bij bovendoor koelen is deze gradiënt op alle hoogtes zeer gering maar in verhouding op ingebogen blad ook het grootst.
- Verticale temperatuurverdeling laat bij onderdoor koelen een gradiënt zien tussen ingebogen blad en bloemhoogte, waarbij het ingebogen blad het koudst is. Bij bovendoor koelen is er haast geen gradiënt. Als er een gradiënt te zien is, dan is de temperatuur het laagst op bloemhoogte.
- De horizontale vochtverdeling proefvak is bij onderdoor koelen bij het ingebogen blad het grootst en het vochtdeficit is het laagst in vergelijking met gewas- en bloemhoogte.
- De horizontale vochtverdeling proefvak is bij bovendoor koelen op ingebogen bladhoogte het minst goed. Het vochtdeficit is niet op een bepaalde hoogte het laagst of het hoogst.

Fotosynthese en gewastemperatuur

Verwarmen

- Overdag zijn er zeer geringe temperatuurgradiënten binnen het gewas, zowel bij onderdoor als bij bovendoor verwarmen.
- Fotosynthese/huidmondjes geleidbaarheid wordt niet gelimiteerd door onderdoor of bovendoor verwarmen.

Koelen

- Gewastemperatuur gradiënt is bij onderdoor koelen relatief groot in vergelijking met bovendoor koelen.
- Geen limitatie huidmondjesopening bij bovendoor koelen. Bij onderdoor koelen ook geen limitatie, de geleidbaarheid bij het ingebogen blad ligt wel beduidend lager en kan limiterend werken bij verhoogde instraling.
- 's nachts koelen (bovendoor) heeft relatief weinig effect op de huidmondjes geleidbaarheid. Geleidbaarheid is over de nacht redelijk stabiel.

De manier van verwarmen of koelen heeft geen meetbare effecten op de gewasfotosynthese.

Energie

Verwarmen

- Onderdoor verwarmen geeft een energie besparing. Het lijkt erop dat o.a. de assimilatiebelichting warmte efficiënt gebruikt wordt. Hoeveel energie er bespaard kan worden is afhankelijk van hoeveel energie er gebruikt moet worden om vocht af te voeren.
- Bovendoor verwarmen laat tot zover geen besparing zien op het energieverbruik.
- Bij zowel onderdoor als bovendoor verwarmen moet het klimaat regeltechnisch nog verder uitgewerkt worden.

- Voor het gebruik in de functie van minimum buis zijn de variabele kosten alleen de elektriciteitskosten van de fiwihex. De warmte die de fiwihex in gaat is immers gratis geoogste zonnewarmte. Voor een minimum buis uit een traditioneel systeem bestaan de kosten vooral uit kosten voor het maken van de warmte met een ketel of een warmte-kracht. Uit de voorbeeld berekening blijkt dat het omslagpunt bij een warmteprijs van 1,2 ct/kWh_{th} ligt.
 - o Dit is altijd goedkoper dan het produceren van warmte met de ketel.
 - o Dit is niet goedkoper als er warmte van een warmte-kracht beschikbaar is die draait voor belichting of voor terug leveren op het net tijdens plateau uren.
- Voor warmte maken in de functie van verwarmen voor temperatuur is het vrijwel altijd goedkoper om de ketel of een warmtekracht in te zetten. Het fiwihex systeem en de warmtepomp gaan minder efficiënt werken waardoor het elektriciteitsverbruik en de daarbij horende kosten uit de pas gaan lopen.
- Het gebruik van de dag buffer om de geoogste warmte overdag 's nachts te gebruiken werkt energie besparend. Stel dat de vraag uitkomt op 25 m³/m² aë per jaar en dat dit een verbruikspatroon is wat sterk lijkt op een traditionele rozenteelt, dan zou ongeveer 50% van deze warmte uit de dagbuffer betrokken kunnen worden.
- Verwarmen met bronwater is zonder inzet van de warmtepomp niet mogelijk. De warmtepomp zal dan ook altijd ingeschakeld moeten worden om voldoende temperatuur te leveren om te kunnen verwarmen.

Koelen

- Op beide bedrijven (Boonekamp Roses en Porta Nova) is de inzet van de koelinstallatie beperkt waardoor de totale koudevraag laag is.
- De manier waarop de teler met de koelinstallatie omgaat heeft veel meer invloed op de hoeveelheid energie die er voor koelen nodig is dan de manier waarop gekoeld wordt (bovendoor of onderdoor).
- Er kan geen vergelijk gemaakt worden tussen Boonekamp Roses en Porta Nova om te bepalen welke manier van koelen het meest energie-efficiënt is.
- Berekeningen d.m.v. het energiemodel laten zien dat er een besparing gerealiseerd kan worden door de Fiwihexen beneden te plaatsen. De hoeveel energie die bespaard wordt hangt af van de klimaatinstellingen en koelstrategie.
- De vraag naar elektriciteit is bij een bedrijf met koelen en verwarmen door Fiwihex 40 tot 50 kWh/m² hoger dan de referentie, of wel een verhoging van 9-11%. De ventilatoren verbruiken hiervan 16-20 kWh, het resterende deel is nodig voor het aandrijven van de warmtepomp en de systeem pompen.

CO₂

- Er wordt door koeling inderdaad bereikt dat met veel minder CO₂ een hoger CO₂-niveau kan worden gehandhaafd.
- Het feit dat Porta Nova meer gekoeld heeft als Boonekamp blijkt ook uit het feit dat er bij Porta Nova minder CO₂ is gebruikt. Het is echter niet aangetoond dat dit verschil het gevolg is van bovendoor of onderdoor koelen.
- Het werkelijk gehanteerde ventilatievoud en gerealiseerde CO₂-niveau is het gevolg van operationele besluiten, waarbij de kosten van koeling en het gewenste CO₂-niveau beslissende factoren zijn. Dit is erg moeilijk in één strategie per jaar te definiëren.

- Bij Porta Nova is 52% CO₂ bespaard door te koelen en bij Boonekamp 47%.

Productie en kwaliteitsgegevens

Koelen

- Bovendoor koelen bij Van den Berg in 2008 en 2009, laat een kwantitatief voordeel zien in de ongekoelde kas en een kwalitatief voordeel in de gekoelde kas. Dit verschil is echter gering.
- Porta Nova: Onderdoor koelen geeft een kwalitatief voordeel in de gekoelde kas, kwantitatief in de ongekoelde kas. Onderdoor koelen gaf betere kwaliteit doordat 2009 het eerste volle productie kalenderjaar betrof. Op basis van het Explorer model mag worden verwacht dat op termijn de kwantitatieve productie in de gekoelde kas hoger zal worden.
- Porta Nova: In de onderdoor gekoelde locatie is de gerealiseerde productie lager dan de berekende productie. In de ongekoelde locatie is de gerealiseerde productie hoger dan de berekende productie.
- Porta Nova: Onderdoor koelen geeft een iets grotere knophoogte dan niet koelen.
- Van den Berg Roses: In 2008 is de knophoogte in de bovendoor gekoelde afdeling iets groter dan in de niet gekoelde afdeling. In 2009 is er nagenoeg geen verschil.
- Van den Berg Roses: De ongekoelde afdeling heeft een lager gerealiseerde productie (5% in 2008 en 2% in 2009) dan de berekende productie. De gekoelde afdeling heeft een lager gerealiseerde productie van (1% 2008 en 2009) dan de berekende productie.
- Boonekamp Roses: De productie en kwaliteitscijfers missen een goede referentie. Het is aan de hand van de getoonde cijfers dan ook niet te zeggen welk direct effect de koeling op de productie en kwaliteit heeft gehad.

Verwarmen

- Modelmatige berekeningen, gemaakt aan de hand van de fotosynthese, gewastemperatuur en akoestisch metingen, laten zien dat zowel onderdoor als bovendoor verwarmen goed mogelijk is. Het gewasmanagement zal wel aangepast moeten worden op de manier van verwarmen.

Klimaatmodel

- Onderdoor koelen leidt niet tot andere gemiddelde temperaturen in het gewas. Er is wel een grotere temperatuur gradiënt over het gewas. Deze grotere temperatuurgradiënt 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%) in de bovenste gewaslaag. Deze lagere luchtvochtigheid doet het effect op de fotosynthese van de hogere bladtemperaturen 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 boven in het gewas van 80% brengt een risico op bladnat onderin met zich mee. Het risico op nachtelijk

bladnat boven in 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 boven in 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 lager zijn dan met de FiwiHex boven het gewas.

Explorer model

- 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 '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 temperatuur gradiënten over het gewas, waarbij de gemiddelde temperatuur voor alles 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.
- Het is erg waarschijnlijk dat eventuele rasafhankelijke negatieve effecten van onder- en bovendoor verwarmen c.q. koelen heel goed door teeltmanagement kunnen worden opgeheven.

14.2 Aanbevelingen

Klimaatregeling

Om tot een goede klimaatregeling te komen moet er nog een hoop geleerd worden. Het verwarmen met de FiwiHex heeft een andere interpretatie van waardes nodig. Bijvoorbeeld bij eenzelfde aanvoer temperatuur ondernet of FiwiHex zal het vermogen dat naar de kas toegebracht wordt anders zijn. Het is dan ook aan te bevelen om met vermogens te werken of in ieder geval deze te registreren om een goed beeld te krijgen wat er nu echt in de kas gebeurt

De hoeveelheid warmte die naar de kas gebracht moet worden om vocht af te voeren is moeilijk te bepalen. De balans die hierin gevonden moet worden is een leerproces waarbij de grenzen opgezocht moeten worden van het maximaal toelaatbare.

Energie

Het verwarmen met warmtewisselaars heeft zeker potentie. Als we kijken naar het gevraagde vermogen valt er zeker een besparing te realiseren door met laagwaardige warmte te werken. Klimatologisch is dit echter niet altijd aan te bevelen, zeker als de Fiwihexen boven hangen is het gewenst om het ondernet in sommige gevallen in te schakelen. Het is aanbevolen om genoeg meetpunten in de kas te hebben om continu een goed beeld te hebben van het klimaat en daarmee de grenzen voor energie besparing te kunnen bepalen.

Productie en gewasmanagement

Uit de modelberekeningen blijkt dat zowel bovendoor als onderdoor verwarmen en koelen plantfysiologisch mogelijk is. Het gewasmanagement moet hierbij wel aangepast worden en de traditionele manier van telen zal niet altijd tot de mogelijkheden behoren.

Bijlage 1 Energiekosten kaskoeling

BEDRIJF					
OPPERVLAKTE				optie 1	optie 2
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht
bedrijf	5,00 ha	m ²		50.000	50.000
TOTAAL	5,00 ha	m ²		50.000	50.000
VERMOGEN				optie 1	optie 2
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht
				25 % WK kaskoeling bovenlans	25 % WK kaskoeling onderdoor
elektriciteit		per uur			
bedrijf	- W/m ²	kWh		250	250
licht	110,0 W/m ²	kWh		5.500	5.500
koeling	- W/m ²	kWh		-	-
warmtepomp	- W/m ²	kWh		-	-
TOTAAL	-	kWh		5.750	5.750
warmte		per uur			
bedrijf	100 W/m ²	kWh		5.000	5.000
TOTAAL	-	kWh		5.000	5.000
koude		per uur			
bedrijf	300 W/m ²	kWh		-	-
TOTAAL	-	kWh		-	-
CO2		per uur			
bedrijf	- m ³ /ha/u	kg		1.500	1.500
TOTAAL	-	kg		1.500	1.500
VERBRUIK				optie 1	optie 2
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht
				25 % WK kaskoeling bovenlans	25 % WK kaskoeling onderdoor
elektriciteit		per jaar			
bedrijf	8,0 kWh/m ²	kWh		400.000	400.000
licht	4.200 uur	kWh		23.100.000	23.100.000
koeling	2.000 uur	kWh		-	-
warmtepomp	3.125 uur	kWh		-	-
TOTAAL	-	kWh		23.500.000	23.500.000
warmte		per jaar			
bedrijf	83,0 m ³ /m ²	kWh		38.518.225	38.518.225
TOTAAL	-	kWh		38.518.225	38.518.225
koude		per jaar			
bedrijf	500 uur	kWh		-	-
TOTAAL	-	kWh		-	-
CO2		per jaar			
bedrijf	116 kg/m ²	kg		5.800.000	5.800.000
TOTAAL	-	kg		5.800.000	5.800.000
PRODUCTIE				optie 1	optie 2
optie				50% warmte- kracht	100% warmte- kracht
				25 % WK kaskoeling bovenlans	25 % WK kaskoeling onderdoor
aardgas	netbeheerder			Stedin telemetrie W365	Stedin telemetrie W365
deelmarkt					
GOS	zevenhuizen				
gasmeter	hoofdmeter			G650	G1000
gasmeter	wkk			G650	G1000
inkoop	winter 105%	m ³		709	1.351
elektriciteit	netbeheerder			Stedin	Stedin
knip	100% belast	kVA		10.000	10.000
deelmarkt	contractcapaciteit			HS+TS/MS	HS+TS/MS
MS/LS installatie	90% belast	kVA		3.500	5.000
inkoop	-	kWh		3.250	750
verkoop	-	kWh		2.250	4.750
warmte	-	-		-	-
verkoop	-	kWh		-	2.000
CO2	-	-		-	-
inkoop	-	8 kg		400	400
wkk 1		1 MW		wk 2,5	wk 5,0
aardgas	8,79 Ho	m ³		675	1.351
elektriciteit	100,0% e.q.	kWh		2.500	5.000
warmte	94,0% ttl	kWh		3.081	6.163
CO2	1,8 kg/m ³	kg		1.280	2.560
warmtepomp	-	-		-	-
elektriciteit	-	kWh		-	600
warmte	-	kWh		-	3.000
koude	-	kWh		-	2.400
ketel	-	Mcal/uur		6.000	6.000
aardgas	9,77 Hb	m ³		840	840
warmte	95% ttl	kWh		7.799	7.799
CO2	1,8 kg/m ³	kg		1.512	1.512
warmteopslag	300 m ³ /ha	m ³		1.500	1.500

OPTIE 1: 50% WARMTE-KRACHT**50.000 m²**

LICHT						
vermogen					5.500 kW	
verbruik		4.200 uur			23.100.000 kWh	
warmte		85%			19.635.000 kWh	
warmte voor teelt		85%			16.689.750 kWh	
AARDGAS						
contract						
maximaal vermogen		142 m³/ha.uur			709 m³/uur	
jaarverbruik		82,1 m³/m²			4.103.317 m³	
wkk		- EB 81,1 m³/m²			4.052.901 m³	
ketel warmte		100% EB 1,0 m³/m²			50.416 m³	
netbeheer		Stedin		4.103.317 m³	0,0044 €/m³	17.961 €
aansluitvergoeding		1 x G650 650 m³/u		12 mnd	47,01 €/mnd	564 €
vastrecht telemetrie		1 x		12 mnd	60,01 €/mnd	720 €
capaciteit telemetrie		1 x G650 709 m³/u		709 m³/u	22,95 €/m³/u	16.277 €
datacollectie		2 x		12 mnd	16,65 €/mnd	400 €
leverancier		naam		4.103.317 m³	0,2630 €/m³	1.079.316 €
verbruik		0,2500 €/m³ 100%		4.103.317 m³	0,2500 €/m³	1.025.829 €
basislast transport		14,15 22,99 GOS W365		468 m³/u	37,14 €/m³/u	17.397 €
additioneel transport		18,56 22,99 - korting		241 m³/u	41,55 €/m³/u	10.007 €
additioneel capaciteit		108,30 - korting		241 m³/u	108,30 €/m³/u	26.083 €
energiebelasting		tuinbouw		4.103.317 m³	0,0003 €/m³	1.126 €
- tot 5.000 m³				5.000 m³	0,0146 €/m³	73 €
5.000 tot 170.000 m³				45.416 m³	0,0232 €/m³	1.053 €
170.000 tot 1.000.000 m³				- m³	0,0194 €/m³	- €
1.000.000 tot 10.000.000 m³				- m³	0,0122 €/m³	- €
rest				- m³	0,0080 €/m³	- €
totaal				4.103.317 m³	0,2677 €/m³	1.098.403 €

ELEKTRICITEIT					
					10.000 kVA
contract					
vermogen inkoop	65 W/m²				3.250 kW
verbruik inkoop	215,0 kWh/m²				10.750.000 kWh
trf1	hoog	30%	65,0 kWh/m²	3.308 uur	3.250.000 kWh
trf2	hoog	70%	150,0 kWh/m²		7.500.000 kWh
vermogen verkoop	45 W/m²				2.250 kW
verbruik verkoop	45,0 kWh/m²				2.250.000 kWh
trf1		100%	45,0 kWh/m²	1.000 uur	2.250.000 kWh
netbeheer	Stedin				
vastrecht	HS+TS/MS		10.750.000 kWh	0,0153 €/kWh	164.792 €
per. aansluitvrgdng	1 x	#### kVA	12 mnd	230,00 €/mnd	2.760 €
contract	HS+TS/MS		12 mnd	4,30 €/mnd	52 €
maximaal	HS+TS/MS	12 mnd	3.250 kW	18,00 €/kW	58.500 €
maximaal	HS+TS/MS	- mnd	3.250 kW	1,87 €/kW	72.930 €
verbruik hoog	HS+TS/↑ hoog	-	250 kW	1,87 €/kW	- €
verbruik laag	HS+TS/↓ laag	-	10.750.000 kWh	- €/kWh	- €
systeemdiensten			- kWh	- €/kWh	- €
			23.500.000 kWh	0,0013 €/kWh	30.550 €
leverancier	basistarief	inkoop	10.750.000 kWh	0,0521 €/kWh	560.000 €
trf1	0,0800 €/kWh	100%	3.250.000 kWh	0,0800 €/kWh	260.000 €
trf2	0,0800 €/kWh	100%	7.500.000 kWh	0,0400 €/kWh	300.000 €
trf3	0,0400 €/kWh	100%	- kWh	0,0400 €/kWh	- €
trf4	0,0400 €/kWh	100%	- kWh	0,0400 €/kWh	- €
leverancier	basistarief	verkoop	2.250.000 kWh	-0,0680 €/kWh	-153.000 €
trf1	0,0800 €/kWh	85%	-2.250.000 kWh	0,0680 €/kWh	-153.000 €
trf2	0,0800 €/kWh	85%	- kWh	0,0340 €/kWh	- €
trf3	0,0400 €/kWh	85%	- kWh	0,0340 €/kWh	- €
trf4	0,0400 €/kWh	85%	- kWh	0,0340 €/kWh	- €
energiebelasting			10.750.000 kWh	0,0101 €/kWh	108.522 €
- tot	10.000 kWh		10.000 kWh	0,1085 €/kWh	1.085 €
10.000 tot	50.000 kWh		40.000 kWh	0,0398 €/kWh	1.592 €
50.000 tot	10.000.000 kWh		9.950.000 kWh	0,0106 €/kWh	105.470 €
rest			750.000 kWh	0,0005 €/kWh	375 €
totaal			10.750.000 kWh	0,0633 €/kWh	680.314 €
verbruik			10.750.000 kWh	0,0508 €/kWh	546.072 €
vermogen			10.750.000 kWh	0,0122 €/kWh	131.430 €
vaste bijdragen			2.250.000 kWh	0,0012 €/kWh	2.812 €

CO2					
vermogen inkoop	8 g/m²				400 kg/uur
verbruik inkoop	48,0 kg/m²				2.400.000 kg
zuiver huur opslag	250 €/ha		12 mnd	1.250,00 €/mnd	1.250 €
zuiver verbruik	0,0900 €/kg	70%	2.400.000 kg	0,0630 €/kg	151.200 €
totaal			2.400.000 kg	0,0635 €/kg	152.450 €

OPTIE 1: 50% WARMTE-KRACHT				50.000 m ²
WKK 1				wk 2,5 MW
energie				6.000 uur
aardgas	8,79 kWh/m ³	675 m ³	5.938 kWh	4.052.901 m ³
elektriciteit		2.500 kWh	42,1% Ho	15.000.000 kWh
warmte		3.081 kWh	51,9% Ho	18.487.500 kWh
warmte voor teelt		100%		18.487.500 kWh
CO ₂		1.280 kg		7.679.181 kg
CO ₂ voor teelt		100%		7.679.181 kg
variabele kosten				150.502 €
ondhd wkk	0,007 €/kW	6.000 uur	17,50 €/uur	105.000 €
ondhd rgr	0,002 €/kW	6.000 uur	5,00 €/uur	30.000 €
ureum	#### l/m ³	34.450 l	0,4500 €/l	15.502 €
totaal		15.000.000 kWh	0,0100 €/kWh	150.502 €
WARMTEPOMP				-
energie				-
elektriciteit	- kWh	- Ho		- uur
warmte	- kWh	- cop		- kWh
warmte voor teelt	100%			- kWh
koude	- kWh	- cop		- kWh
koude voor teelt	100%			- kWh
variabele kosten				- €
onderhoud	- €/kW	- uur	- €/uur	- €
totaal		- kWh	- €/kWh	- €
KETEL				6.000 Mcal/uur
energie				60 uur
aardgas	9,77 kWh/m ³	840 m ³	8.209 kWh	50.416 m ³
warmte		7.799 kWh	95,0% Hb	467.936 kWh
warmte voor teelt		100%		467.936 kWh
CO ₂		1.512 kg		90.749 kg
CO ₂ voor teelt		100%		90.749 kg
variabele kosten				2.500 €
onderhoud		60 uur	41,67 €/uur	2.500 €
totaal		- kWh	- €/kWh	2.500 €
ENERGIE OVERZICHT				50.000 m²
aardgas inkoop		82 m³/m²		4.103.317 m³
wkk 1		81 m ³ /m ²		4.052.901 m ³
warmtepomp		- m ³ /m ²		- m ³
ketel		1 m ³ /m ²		50.416 m ³
overschot		- m ³ /m ²		- m ³
elektriciteit behoefte		470 kWh/m²		23.500.000 kWh
elektriciteit inkoop		215 kWh/m ²		10.750.000 kWh
elektriciteit verkoop		-45 kWh/m ²		-2.250.000 kWh
wkk 1		300 kWh/m ²		15.000.000 kWh
warmtepomp		- kWh/m ²		- kWh
overschot		- kWh/m ²		- kWh
warmte behoefte	79 m³/m²	770 kWh/m²		38.518.225 kWh
licht	40 m ³ /m ²	393 kWh/m ²		19.635.000 kWh
warmte verkoop	- m ³ /m ²	- kWh/m ²		- kWh
wkk 1	38 m ³ /m ²	370 kWh/m ²		18.487.500 kWh
warmtepomp	- m ³ /m ²	- kWh/m ²		- kWh
ketel	1 m ³ /m ²	9 kWh/m ²		467.936 kWh
overschot	0 m ³ /m ²	1 kWh/m ²		72.211 kWh
CO₂-behoefte		116 kg/m²		5.800.000 kg
CO ₂ inkoop		48 kg/m ²		2.400.000 kg
ketel		2 kg/m ²		90.749 kg
overschot		87 kg/m ²		4.369.930 kg
BESLUIT GLASTUINBOUW				50.000 m²
aardgas	#### GJ/m ³	4.103.317 m ³	28.863 GJ/ha	144.314 GJ
elektriciteit inkoop	#### GJ/kWh	10.750.000 kWh	19.350 GJ/ha	96.750 GJ
elektriciteit verkoop	#### GJ/kWh	2.250.000 kWh	4.050 GJ/ha	20.250 GJ
warmte verkoop	#### GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha	- GJ
overig	- GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha	- GJ
totaal			52.263 GJ/ha	261.314 GJ

OPTIE 1: 50% WARMTE-KRACHT							50.000 m ²	
CO2-EMISSIE							5,00 ha	50.000 m²
CO2 inkoop	-	ton/kg	2.400.000 kg	-	ton/ha	-	-	ton
CO2 verkoop	-	ton/kg	- kg	-	ton/ha	-	-	ton
wkk 1	####	ton/m ³	4.052.901 m ³	1.459	ton/ha	7.295	ton	ton
warmtepomp	-	ton/kWh	- kWh	-	ton/ha	-	ton	ton
ketel	####	ton/m ³	50.416 m ³	18	ton/ha	91	ton	ton
totaal				1.477	ton/ha	7.386	ton	
gratis emissiehandel			7.386 ton	-	ton/ha	-	ton	
				15,00	€/ton	110.790	€	
VASTE KOSTEN							50.000 m²	
investeringen			bedrag	afschr	rente	beheer	€/jaar	€/m²
aansluiting gas	650 m ³ /u	46 €/m ³ /u	30.000	10,0%	3,0%	-	3.900	0,08
aansluiting elektr.	10.000 kVA	17 €/kVA	173.000	10,0%	3,0%	-	22.490	0,45
MS/LS-installatie	3.500 kVA	57 €/kVA	200.000	10,0%	3,0%	-	26.000	0,52
wkk 1	2.500 kW	360 €/kW	900.000	10,0%	3,0%	-	117.000	2,34
rookgasreiniging	2.500 kW	100 €/kW	250.000	10,0%	3,0%	-	32.500	0,65
warmtepomp	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	-	-
bron	- m ³ /u	- €/m ³ /u	-	10,0%	3,0%	-	-	-
TSA	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	-	-
extra regeling	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	-	-
extra installatiewerk	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	-	-
totaal investeringen		31,06 €/m²	1.553.000	155.300	46.590	-	201.890	4,04
onvoorzien 1	5%		77.650	10,0%	3,0%	-	10.095	0,20
onvoorzien 2	-		-	10,0%	3,0%	-	-	-
totaal		32,61 €/m²	1.630.650	163.065	48.920	-	211.985	4,24
VARIABLE KOSTEN							50.000 m²	
kosten en opbrengsten							€/jaar	€/m²
aardgas							1.098.403	21,97
elektriciteit							680.314	13,61
warmte							-	-
CO2							152.450	3,05
wkk 1							150.502	3,01
warmtepomp							-	-
ketel							2.500	0,05
CO2-emissie	100%						110.790	2,22
totaal							2.194.959	43,90
verbruik							1.877.229	37,54
vermogen							201.195	4,02
vaste bijdragen							5.745	0,11
JAARKOSTEN TOTAAL							50.000 m²	
kosten en opbrengsten							€/jaar	€/m²
vaste kosten							211.985	4,24
variabele kosten							2.194.959	43,90
totaal							2.406.943	48,14
SUBSIDIE (globale indicatie)							50.000 m²	
investering		%	€ invest.	€ subsidie	%	€ invest.	€ subsidie	€/jaar
aansluiting gas	-	-	-	-	-	-	-	-
aansluiting elektr.	14%	173.000	-24.220	-	-	-	-3.149	-0,06
MS/LS-installatie	14%	200.000	-28.000	-	-	-	-3.640	-0,07
wkk 1	14%	900.000	-126.000	-	-	-	-16.380	-0,33
rookgasreiniging	14%	250.000	-35.000	-	-	-	-4.550	-0,09
warmtepomp	40%	-	-	-	-	-	-	-
bron	40%	-	-	-	-	-	-	-
TSA	40%	-	-	-	-	-	-	-
extra regeling	40%	-	-	-	-	-	-	-
extra installatiewerk	-	-	-	-	-	-	-	-
totaal		1.523.000	-213.220				-27.719	-0,55
vaste kosten totaal							184.266	3,69
jaarkosten totaal							2.379.225	47,58

OPTIE 2: 100% WARMTE-KRACHT							50.000 m²
LICHT							
vermogen						5.500 kW	
verbruik		4.200 uur				23.100.000 kWh	
warmte		85%				19.635.000 kWh	
warmte voor teelt		85%				16.689.750 kWh	
AARDGAS							
contract							
maximaal vermogen		270 m³/ha.uur				1.351 m³/uur	
jaarverbruik		149,6 m³/m² 5.537 uur				7.480.735 m³	
wkk		- EB 148,6 m³/m²				7.430.319 m³	
ketel warmte		100% EB 1,0 m³/m²				50.416 m³	
netbeheer		Stedin		7.480.735 m³		0,0044 €/m³ 33.204 €	
aansluitvergoeding		1 x G1000 1.000 m³/u		12 mnd		89,94 €/mnd 1.079 €	
vastrecht telemetrie		1 x		12 mnd		60,01 €/mnd 720 €	
capaciteit telemetrie		1 x G1000 1.351 m³/u		1.351 m³/u		22,95 €/m³/u 31.005 €	
datacollectie		2 x		12 mnd		16,65 €/mnd 400 €	
leverancier		naam		7.480.735 m³		0,2642 €/m³ 1.976.376 €	
verbruik		0,2500 €/m³ 100%		7.480.735 m³		0,2500 €/m³ 1.870.184 €	
basislast transport		14,15 22,99 GOS W365		854 m³/u		37,14 €/m³/u 31.716 €	
additioneel transport		18,56 22,99 - korting		497 m³/u		41,55 €/m³/u 20.650 €	
additioneel capaciteit		108,30 - korting		497 m³/u		108,30 €/m³/u 53.825 €	
energiebelasting		tuinbouw		7.480.735 m³		0,0002 €/m³ 1.126 €	
- tot		5.000 m³		5.000 m³		0,0146 €/m³ 73 €	
5.000 tot		170.000 m³		45.416 m³		0,0232 €/m³ 1.053 €	
170.000 tot		1.000.000 m³		- m³		0,0194 €/m³ - €	
1.000.000 tot		10.000.000 m³		- m³		0,0122 €/m³ - €	
rest				- m³		0,0080 €/m³ - €	
totaal				7.480.735 m³		0,2688 €/m³ 2.010.705 €	
ELEKTRICITEIT							
							10.000 kVA
contract							
vermogen inkoop		15 W/m²				750 kW	
verbruik inkoop		15,0 kWh/m² 1.000 uur				750.000 kWh	
trf1		hoog 100%		15,0 kWh/m²		750.000 kWh	
trf2		hoog -		- kWh/m²		- kWh	
vermogen verkoop		95 W/m²				4.750 kW	
verbruik verkoop		95,0 kWh/m² 1.000 uur				4.750.000 kWh	
trf1		100%		95,0 kWh/m²		4.750.000 kWh	
netbeheer		Stedin		750.000 kWh		0,0849 €/kWh 63.692 €	
vastrecht		HS+TS/MS		12 mnd		230,00 €/mnd 2.760 €	
per. aansluitvrgdng		1 x #### kVA		12 mnd		4,30 €/mnd 52 €	
contract		HS+TS/MS		750 kW		18,00 €/kW 13.500 €	
maximaal		HS+TS/MS 12 mnd		750 kW		1,87 €/kW 16.830 €	
maximaal		HS+TS/MS - mnd		250 kW		1,87 €/kW - €	
verbruik hoog		HS+TS/↑ hoog -		750.000 kWh		- €/kWh - €	
verbruik laag		HS+TS/↓ laag -		- kWh		- €/kWh - €	
systeemdiensten				23.500.000 kWh		0,0013 €/kWh 30.550 €	
leverancier		basistarief inkoop		750.000 kWh		0,0640 €/kWh 48.000 €	
trf1		0,0800 €/kWh 100% 80%		750.000 kWh		0,0640 €/kWh 48.000 €	
trf2		0,0800 €/kWh 100% 50%		- kWh		0,0400 €/kWh - €	
trf3		0,0400 €/kWh 100% 100%		- kWh		0,0400 €/kWh - €	
trf4		0,0400 €/kWh 100% 100%		- kWh		0,0400 €/kWh - €	
leverancier		basistarief verkoop		4.750.000 kWh		-0,0680 €/kWh -323.000 €	
trf1		0,0800 €/kWh 85% 100%		-4.750.000 kWh		0,0680 €/kWh -323.000 €	
trf2		0,0800 €/kWh 85% 50%		- kWh		0,0340 €/kWh - €	
trf3		0,0400 €/kWh 85% 100%		- kWh		0,0340 €/kWh - €	
trf4		0,0400 €/kWh 85% 100%		- kWh		0,0340 €/kWh - €	
energiebelasting				750.000 kWh		0,0135 €/kWh 10.097 €	
- tot		10.000 kWh		10.000 kWh		0,1085 €/kWh 1.085 €	
10.000 tot		50.000 kWh		40.000 kWh		0,0398 €/kWh 1.592 €	
50.000 tot		10.000.000 kWh		700.000 kWh		0,0106 €/kWh 7.420 €	
rest				- kWh		0,0005 €/kWh - €	
totaal				750.000 kWh		-0,2683 €/kWh -201.211 €	
verbruik				750.000 kWh		-0,3125 €/kWh -234.353 €	
vermogen				750.000 kWh		0,0404 €/kWh 30.330 €	
vaste bijdragen				4.750.000 kWh		0,0006 €/kWh 2.812 €	

CO2					-	-
vermogen inkoop		8 g/m ²			400 kg/uur	
verbruik inkoop		48,0 kg/m ²	6.000 uur		2.400.000 kg	
zuiver huur opslag	250 €/ha	12 mnd	1.250,00 €/mnd		1.250 €	
zuiver verbruik	0,0900 €/kg	70%	2.400.000 kg	0,0630 €/kg	151.200 €	
totaal			2.400.000 kg	0,0635 €/kg	152.450 €	

WKK 1					wk 5,0 MW	
energie					5.500 uur	
aardgas	8,79 kWh/m ³	1.351 m ³	11.875 kWh		7.430.319 m ³	
elektriciteit		5.000 kWh	42,1% Ho		27.500.000 kWh	
warmte		6.163 kWh	51,9% Ho		33.893.750 kWh	
warmte voor teelt		55%			18.641.563 kWh	
CO2		2.560 kg			14.078.498 kg	
CO2 voor teelt		100%			14.078.498 kg	
variabele kosten					275.921 €	
ondhd wkk	0,007 €/kW	5.500 uur	35,00 €/uur		192.500 €	
ondhd rgr	0,002 €/kW	5.500 uur	10,00 €/uur		55.000 €	
ureum	#### l/m ³	63.158 l	0,4500 €/l		28.421 €	
totaal		27.500.000 kWh	0,0100 €/kWh		275.921 €	

WARMTEPOMP					-	-
energie					- uur	
elektriciteit		- kWh	- Ho		- kWh	
warmte		- kWh	- cop		- kWh	
warmte voor teelt	100%				- kWh	
koude		- kWh	- cop		- kWh	
koude voor teelt	100%				- kWh	
variabele kosten					- €	
onderhoud	- €/kW	- uur	- €/uur		- €	
totaal		- kWh	- €/kWh		- €	

KETEL					6.000 Mcal/uur	
energie					60 uur	
aardgas	9,77 kWh/m ³	840 m ³	8.209 kWh		50.416 m ³	
warmte		7.799 kWh	95,0% Hb		467.936 kWh	
warmte voor teelt		100%			467.936 kWh	
CO2		1.512 kg			90.749 kg	
CO2 voor teelt		100%			90.749 kg	
variabele kosten					2.500 €	
onderhoud		60 uur	41,67 €/uur		2.500 €	
totaal		- kWh	- €/kWh		2.500 €	

ENERGIE OVERZICHT					50.000 m²	
aardgas inkoop			150 m³/m²		7.480.735 m³	
wkk 1			149 m ³ /m ²		7.430.319 m ³	
warmtepomp			- m ³ /m ²		- m ³	
ketel			1 m ³ /m ²		50.416 m ³	
overschot			- m ³ /m ²		- m ³	
elektriciteit behoefte			470 kWh/m²		23.500.000 kWh	
elektriciteit inkoop			15 kWh/m ²		750.000 kWh	
elektriciteit verkoop			-95 kWh/m ²		-4.750.000 kWh	
wkk 1			550 kWh/m ²		27.500.000 kWh	
warmtepomp			- kWh/m ²		- kWh	
overschot			- kWh/m ²		- kWh	
warmte behoefte		79 m³/m²	770 kWh/m²		38.518.225 kWh	
licht		40 m ³ /m ²	393 kWh/m ²		19.635.000 kWh	
warmte verkoop		-23 m ³ /m ²	-229 kWh/m ²		-11.439.141 kWh	
wkk 1		69 m ³ /m ²	678 kWh/m ²		33.893.750 kWh	
warmtepomp		- m ³ /m ²	- kWh/m ²		- kWh	
ketel		1 m ³ /m ²	9 kWh/m ²		467.936 kWh	
overschot		8 m ³ /m ²	81 kWh/m ²		4.039.321 kWh	
CO2-behoefte			116 kg/m²		5.800.000 kg	
CO2 inkoop			48 kg/m ²		2.400.000 kg	
ketel			2 kg/m ²		90.749 kg	
overschot			215 kg/m ²		10.769.247 kg	

BESLUIT GLASTUINBOUW					5,00 ha	50.000 m²
aardgas	#### GJ/m ³	7.480.735 m ³	52.619 GJ/ha		263.097 GJ	
elektriciteit inkoop	#### GJ/kWh	750.000 kWh	1.350 GJ/ha		6.750 GJ	
elektriciteit verkoop	#### GJ/kWh	4.750.000 kWh	8.550 GJ/ha		42.750 GJ	
warmte verkoop	#### GJ/kWh	#### kWh	-7.165 GJ/ha		-35.827 GJ	
overig	- GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha		- GJ	
totaal			55.354 GJ/ha		276.770 GJ	

CO2-EMISSIE			5,00 ha	50.000 m ²
CO2 inkoop	- ton/kg	2.400.000 kg	- ton/ha	- ton
CO2 verkoop	- ton/kg	- kg	- ton/ha	- ton
wkk 1	### ton/m ³	7.430.319 m ³	2.675 ton/ha	13.375 ton
warmtepomp	- ton/kWh	- kWh	- ton/ha	- ton
ketel	### ton/m ³	50.416 m ³	18 ton/ha	91 ton
totaal			2.693 ton/ha	13.465 ton
gratis			- ton/ha	- ton
emissiehandel		13.465 ton	15,00 €/ton	201.980 €

VASTE KOSTEN							50.000 m ²
investeringen			bedrag	afschr	rente	beheer	€/jaar €/m²
aansluiting gas	1.000 m ³ /u	50 €/m ³ /u	50.000	10,0%	3,0%	-	6.500 0,13
aansluiting elektr.	10.000 kVA	22 €/kVA	222.000	10,0%	3,0%	-	28.860 0,58
MS/LS-installatie	5.000 kVA	40 €/kVA	200.000	10,0%	3,0%	-	26.000 0,52
wkk 1	5.000 kW	360 €/kW	1.800.000	10,0%	3,0%	-	234.000 4,68
rookgasreiniging	5.000 kW	100 €/kW	500.000	10,0%	3,0%	-	65.000 1,30
warmtepomp	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	- -
bron	- m ³ /u	- €/m ³ /u	-	10,0%	3,0%	-	- -
TSA	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	- -
extra regeling	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	- -
extra installatiewerk	- kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	- -
totaal investeringen		55,44 €/m ²	2.772.000	277.200	83.160	-	360.360 7,21
onvoorzien 1	5%		138.600	10,0%	3,0%	-	18.018 0,36
onvoorzien 2	-		-	10,0%	3,0%	-	- -
totaal		58,21 €/m²	2.910.600	291.060	87.318	-	378.378 7,57

VARIABELE KOSTEN			50.000 m ²
kosten en opbrengsten			€/jaar €/m²
aardgas			2.010.705 40,21
elektriciteit			-201.211 -4,02
warmte			-222.428 -4,45
CO2			152.450 3,05
wkk 1			275.921 5,52
warmtepomp			- -
ketel			2.500 0,05
CO2-emissie	100%		201.980 4,04
totaal			2.219.917 44,40
verbruik			1.844.149 36,88
vermogen			167.527 3,35
vaste bijdragen			6.261 0,13

JAARKOSTEN TOTAAL			50.000 m ²
kosten en opbrengsten			€/jaar €/m²
vaste kosten			378.378 7,57
variabele kosten			2.219.917 44,40
totaal			2.598.295 51,97

SUBSIDIE (globale indicatie)	subsidie 1			subsidie 2			50.000 m²	
investering	%	€ invest.	€ subsidie	%	€ invest.	€ subsidie	€/jaar	€/m²
aansluiting gas	-	-	-	-	-	-	-	-
aansluiting elektr.	14%	222.000	-31.080	-	-	-	-4.040	-0,08
MS/LS-installatie	14%	200.000	-28.000	-	-	-	-3.640	-0,07
wkk 1	14%	1.800.000	-252.000	-	-	-	-32.760	-0,66
rookgasreiniging	14%	500.000	-70.000	-	-	-	-9.100	-0,18
warmtepomp	40%	-	-	-	-	-	-	-
bron	40%	-	-	-	-	-	-	-
TSA	40%	-	-	-	-	-	-	-
extra regeling	40%	-	-	-	-	-	-	-
extra installatiewerk	-	-	-	-	-	-	-	-
totaal		2.722.000	-381.080		-	-	-49.540	-0,99
vaste kosten totaal							328.838	6,58
jaarkosten totaal							2.548.754	50,98

OPTIE 3: 25 % WK KASKOELING BOVENLANGS						50.000 m ²
LICHT						
vermogen						5.500 kW
verbruik			4.200 uur			23.100.000 kWh
warmte			85%			19.635.000 kWh
warmte voor teelt			85%			16.689.750 kWh
AARDGAS						
contract						
maximaal vermogen			71 m ³ /ha.uur			356 m ³ /uur
jaarverbruik			38,3 m ³ /m ²	5.392 uur		1.916.884 m ³
wkk		- EB	37,3 m ³ /m ²			1.866.468 m ³
ketel warmte		100% EB	1,0 m ³ /m ²			50.416 m ³
netbeheer	Stedin		1.916.884 m ³	0,0053 €/m ³		10.075 €
aansluitvergoeding	- G0	- m ³ /u	12 mnd	- €/mnd		- €
vastrecht telemetrie	1 x		12 mnd	60,01 €/mnd		720 €
capaciteit telemetrie	1 x G0	356 m ³ /u	356 m ³ /u	22,95 €/m ³ /u		8.159 €
datacollectie	1 x		12 mnd	16,65 €/mnd		200 €
leverancier	naam		1.916.884 m ³	0,2649 €/m ³		507.832 €
verbruik	0,2500 €/m ³	100%	1.916.884 m ³	0,2500 €/m ³		479.221 €
basislast transport	14,15 22,99	GOS W365	219 m ³ /u	37,14 €/m ³ /u		8.127 €
additioneel transport	18,56 22,99	- korting	137 m ³ /u	41,55 €/m ³ /u		5.680 €
additioneel capaciteit	108,30	- korting	137 m ³ /u	108,30 €/m ³ /u		14.804 €
energiebelasting		tuinbouw	1.916.884 m ³	0,0006 €/m ³		1.126 €
- tot	5.000 m ³		5.000 m ³	0,0146 €/m ³		73 €
5.000 tot	170.000 m ³		45.416 m ³	0,0232 €/m ³		1.053 €
170.000 tot	1.000.000 m ³		- m ³	0,0194 €/m ³		- €
1.000.000 tot	10.000.000 m ³		- m ³	0,0122 €/m ³		- €
rest			- m ³	0,0080 €/m ³		- €
totaal			1.916.884 m ³	0,2708 €/m ³		519.033 €
ELEKTRICITEIT						10.000 kVA
contract						
vermogen inkoop			110 W/m ²			5.500 kW
verbruik inkoop			417,3 kWh/m ²	3.793 uur		20.862.500 kWh
trf1	hoog	64%	267,3 kWh/m ²			13.362.500 kWh
trf2	hoog	36%	150,0 kWh/m ²			7.500.000 kWh
vermogen verkoop			20 W/m ²			1.000 kW
verbruik verkoop			25,0 kWh/m ²	1.250 uur		1.250.000 kWh
trf1		100%	25,0 kWh/m ²			1.250.000 kWh
netbeheer	Stedin		20.862.500 kWh	0,0124 €/kWh		259.259 €
vastrecht	HS+TS/MS		12 mnd	230,00 €/mnd		2.760 €
per. aansluitvrgdng	1 x	#### kVA	12 mnd	4,30 €/mnd		52 €
contract	HS+TS/MS		5.500 kW	18,00 €/kW		99.000 €
maximaal	HS+TS/MS	12 mnd	5.500 kW	1,87 €/kW		123.420 €
maximaal	HS+TS/MS	- mnd	250 kW	1,87 €/kW		- €
verbruik hoog	HS+TS/↑ hoog	-	20.862.500 kWh	- €/kWh		- €
verbruik laag	HS+TS/↓ laag	-	- kWh	- €/kWh		- €
systeemdiensten			26.175.000 kWh	0,0013 €/kWh		34.028 €
leverancier	basistarief	inkoop	20.862.500 kWh	0,0605 €/kWh		1.262.100 €
trf1	0,0800 €/kWh	100% 90%	13.362.500 kWh	0,0720 €/kWh		962.100 €
trf2	0,0800 €/kWh	100% 50%	7.500.000 kWh	0,0400 €/kWh		300.000 €
trf3	0,0400 €/kWh	100% 100%	- kWh	0,0400 €/kWh		- €
trf4	0,0400 €/kWh	100% 100%	- kWh	0,0400 €/kWh		- €
leverancier	basistarief	verkoop	1.250.000 kWh	-0,0680 €/kWh		-85.000 €
trf1	0,0800 €/kWh	85% 100%	-1.250.000 kWh	0,0680 €/kWh		-85.000 €
trf2	0,0800 €/kWh	85% 50%	- kWh	0,0340 €/kWh		- €
trf3	0,0400 €/kWh	85% 100%	- kWh	0,0340 €/kWh		- €
trf4	0,0400 €/kWh	85% 100%	- kWh	0,0340 €/kWh		- €
energiebelasting			20.862.500 kWh	0,0054 €/kWh		113.578 €
- tot	10.000 kWh		10.000 kWh	0,1085 €/kWh		1.085 €
10.000 tot	50.000 kWh		40.000 kWh	0,0398 €/kWh		1.592 €
50.000 tot	10.000.000 kWh		9.950.000 kWh	0,0106 €/kWh		105.470 €
rest			10.862.500 kWh	0,0005 €/kWh		5.431 €
totaal			20.862.500 kWh	0,0743 €/kWh		1.549.937 €

CO2					-	-
vermogen inkoop		8 g/m ²				400 kg/uur
verbruik inkoop		8,0 kg/m ²	1.000 uur			400.000 kg
zuiver huur opslag	250 €/ha	12 mnd	1.250,00 €/mnd			1.250 €
zuiver verbruik	0,0900 €/kg	70%	400.000 kg	0,0630 €/kg		25.200 €
totaal			400.000 kg	0,0661 €/kg		26.450 €

WKK 1					-	MW
energie						5.250 uur
aardgas	8,79 kWh/m ³	356 m ³	3.125 kWh			1.866.468 m ³
elektriciteit		1.250 kWh	40,0% Ho			6.562.500 kWh
warmte		1.563 kWh	50,0% Ho			8.203.125 kWh
warmte voor teelt		100%				8.203.125 kWh
CO2		640 kg				3.359.642 kg
CO2 voor teelt		100%				3.359.642 kg
variabele kosten						66.202 €
ondhd wkk	0,007 €/kW	5.250 uur	8,75 €/uur			45.938 €
ondhd rgr	0,002 €/kW	5.250 uur	2,50 €/uur			13.125 €
ureum	#### l/m ³	15.865 l	0,4500 €/l			7.139 €
totaal			6.562.500 kWh	0,0101 €/kWh		66.202 €

WARMTEPOMP					-	-
energie						3.125 uur
elektriciteit		600 kWh	- Ho			-1.875.000 kWh
warmte		3.000 kWh	5,0 cop			9.375.000 kWh
warmte voor teelt		100%				9.375.000 kWh
koude		2.400 kWh	- cop			7.500.000 kWh
koude voor teelt		100%				7.500.000 kWh
variabele kosten						12.500 €
onderhoud	- €/kW	3.125 uur	4,00 €/uur			12.500 €
totaal			-1.875.000 kWh	-0,0067 €/kWh		12.500 €

KETEL						6.000 Mcal/uur
energie						60 uur
aardgas	9,77 kWh/m ³	840 m ³	8.209 kWh			50.416 m ³
warmte		7.799 kWh	95,0% Hb			467.936 kWh
warmte voor teelt		100%				467.936 kWh
CO2		1.512 kg				90.749 kg
CO2 voor teelt		100%				90.749 kg
variabele kosten						2.500 €
onderhoud		60 uur	41,67 €/uur			2.500 €
totaal		- kWh	- €/kWh			2.500 €

ENERGIE OVERZICHT						50.000 m²
aardgas inkoop			38 m³/m²			1.916.884 m³
wkk 1			37 m ³ /m ²			1.866.468 m ³
warmtepomp			- m ³ /m ²			- m ³
ketel			1 m ³ /m ²			50.416 m ³
overschot			- m ³ /m ²			- m ³
elektriciteit behoefte			524 kWh/m²			26.175.000 kWh
elektriciteit inkoop			417 kWh/m ²			20.862.500 kWh
elektriciteit verkoop			-25 kWh/m ²			-1.250.000 kWh
wkk 1			131 kWh/m ²			6.562.500 kWh
warmtepomp			- kWh/m ²			kWh
overschot			- kWh/m ²			- kWh
warmte behoefte		74 m³/m²	724 kWh/m²			36.197.850 kWh
licht		40 m ³ /m ²	393 kWh/m ²			19.635.000 kWh
warmte verkoop		- m ³ /m ²	- kWh/m ²			- kWh
wkk 1		17 m ³ /m ²	164 kWh/m ²			8.203.125 kWh
warmtepomp		19 m ³ /m ²	188 kWh/m ²			9.375.000 kWh
ketel		1 m ³ /m ²	9 kWh/m ²			467.936 kWh
overschot		3 m ³ /m ²	30 kWh/m ²			1.483.211 kWh
koude behoefte			150 kWh/m²			7.500.000 kWh
wkk 1			-164 kWh/m ²			-8.203.125 kWh
warmtepomp			150 kWh/m ²			7.500.000 kWh
ketel			- kWh/m ²			- kWh
tekort			164 kWh/m ²			8.203.125 kWh
CO2-behoefte			45 kg/m²			2.250.000 kg
CO2 inkoop			8 kg/m ²			400.000 kg
ketel			2 kg/m ²			90.749 kg
overschot			32 kg/m ²			1.600.391 kg

BESLUIT GLASTUINBOUW					5,00 ha	50.000 m²
aardgas	#### GJ/m ³	1.916.884 m ³	13.483 GJ/ha			67.417 GJ
elektriciteit inkoop	#### GJ/kWh	20.862.500 kWh	37.553 GJ/ha			187.763 GJ
elektriciteit verkoop	#### GJ/kWh	1.250.000 kWh	2.250 GJ/ha			11.250 GJ
warmte verkoop	#### GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha			- GJ
overig	- GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha			- GJ
totaal			53.286 GJ/ha			266.429 GJ

CO2-EMISSIE				5,00 ha	50.000 m ²
CO2 inkoop	- ton/kg	400.000 kg	- ton/ha	- ton	- ton
CO2 verkoop	- ton/kg	- kg	- ton/ha	- ton	- ton
wkk 1	### ton/m ³	1.866.468 m ³	672 ton/ha	3.360 ton	3.360 ton
warmtepomp	- ton/kWh	- kWh	- ton/ha	- ton	- ton
ketel	### ton/m ³	50.416 m ³	18 ton/ha	91 ton	91 ton
totaal			690 ton/ha	3.450 ton	3.450 ton
gratis emissiehandel		3.450 ton	- ton/ha	- ton	- ton
			15,00 €/ton	51.756 €	51.756 €

VASTE KOSTEN							50.000 m²	
investeringen							€/jaar	€/m²
aansluiting gas	- m ³ /u	- €/m ³ /u	30.000	10,0%	3,0%	-	3.900	0,08
aansluiting elektr.	10.000 kVA	22 €/kVA	222.000	10,0%	3,0%	-	28.860	0,58
MS/LS-installatie	6.000 kVA	33 €/kVA	200.000	10,0%	3,0%	-	26.000	0,52
wkk 1	1.250 kW	400 €/kW	500.000	10,0%	3,0%	-	65.000	1,30
rookgasreiniging	1.250 kW	160 €/kW	200.000	10,0%	3,0%	-	26.000	0,52
warmtepomp	3.000 kW	125 €/kW	375.000	10,0%	3,0%	-	48.750	0,98
aquifer	- m ³ /u	- €/m ³ /u	900.000	10,0%	3,0%	-	117.000	2,34
FIWIHEX	- kW	- €/kW	750.000	10,0%	3,0%	-	97.500	1,95
extra regeling	- kW	- €/kW	100.000	10,0%	3,0%	-	13.000	0,26
ketel	7.799 kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	-	-
warmteopslag	1.500 m ³	- €/m ³	-	10,0%	3,0%	-	-	-
buffer 2	- m ³	- €/m ³	-	10,0%	3,0%	-	-	-
Dagbuffer isolatie inst.	- kW	- €/kW	1.075.000	10,0%	3,0%	-	139.750	2,80
totaal investeringen		87,04 €/m ²	4.352.000	435.200	130.560	-	565.760	11,32
onvoorzien 1	5%		217.600	10,0%	3,0%	-	28.288	0,57
onvoorzien 2	-		-	10,0%	3,0%	-	-	-
totaal		91,39 €/m²	4.569.600	456.960	137.088	-	594.048	11,88

VARIABLE KOSTEN				50.000 m²	
kosten en opbrengsten				€/jaar	€/m²
aardgas				519.033	10,38
elektriciteit				1.549.937	31,00
warmte				-	-
CO2				26.450	0,53
wkk 1				66.202	1,32
warmtepomp				12.500	0,25
ketel				2.500	0,05
CO2-emissie	100%			51.756	1,04
totaal				2.228.378	44,57
verbruik				1.911.454	38,23
vermogen				259.190	5,18
vaste bijdragen				5.978	0,12

JAARKOSTEN TOTAAL				50.000 m²	
kosten en opbrengsten				€/jaar	€/m²
vaste kosten				594.048	11,88
variabele kosten				2.228.378	44,57
totaal				2.822.426	56,45

SUBSIDIE (globale indicatie)		subsidie 1		subsidie 2		50.000 m²	
investering	%	€ invest.	€ subsidie	%	€ invest.	€ subsidie	€/jaar €/m²
aansluiting gas	-	-	-	-	-	-	-
aansluiting elektr.	14%	222.000	-31.080	-	-	-	-4.040 -0,08
MS/LS-installatie	14%	200.000	-28.000	-	-	-	-3.640 -0,07
wkk 1	14%	500.000	-70.000	-	-	-	-9.100 -0,18
rookgasreiniging	14%	200.000	-28.000	-	-	-	-3.640 -0,07
warmtepomp	40%	375.000	-150.000	-	-	-	-19.500 -0,39
aquifer	40%	900.000	-360.000	-	-	-	-46.800 -0,94
FIWIHEX	40%	750.000	-300.000	-	-	-	-39.000 -0,78
extra regeling	40%	100.000	-40.000	-	-	-	-5.200 -0,10
Dagbuffer isolatie installatie	40%	1.075.000	-430.000	-	-	-	-55.900 -1,12
totaal		4.322.000	-1.437.080				-186.820 -3,74
vaste kosten totaal							407.228 8,14
jaarkosten totaal							2.635.605 52,71

OPTIE 4: 25% WK KASKOELING ONDERDOOR						50.000 m ²
LICHT						
vermogen						5.500 kW
verbruik			4.200 uur			23.100.000 kWh
warmte			85%			19.635.000 kWh
warmte voor teelt			85%			16.689.750 kWh
AARDGAS						
contract						
maximaal vermogen			71 m ³ /ha.uur			356 m ³ /uur
jaarverbruik			25,9 m ³ /m ²	3.642 uur		1.294.728 m ³
wkk	-	EB	24,9 m ³ /m ²			1.244.312 m ³
ketel warmte	100%	EB	1,0 m ³ /m ²			50.416 m ³
netbeheer	Stedin		1.294.728 m ³	0,0078 €/m ³		10.075 €
aansluitvergoeding	-	G0	-	m ³ /u	12 mnd	- €
vastrecht telemetrie	1 x		12 mnd	60,01 €/mnd		720 €
capaciteit telemetrie	1 x	G0	356 m ³ /u	22,95 €/m ³ /u		8.159 €
datacollectie	1 x		12 mnd	16,65 €/mnd		200 €
leverancier	naam		1.294.728 m ³	0,2783 €/m ³		360.298 €
verbruik	0,2500 €/m ³	100%	1.294.728 m ³	0,2500 €/m ³		323.682 €
basislast transport	14,15	22,99	GOS W365	148 m ³ /u	37,14 €/m ³ /u	5.489 €
additioneel transport	18,56	22,99	- korting	208 m ³ /u	41,55 €/m ³ /u	8.631 €
additioneel capaciteit	108,30		- korting	208 m ³ /u	108,30 €/m ³ /u	22.496 €
energiebelasting			1.294.728 m ³	0,0009 €/m ³		1.126 €
- tot	5.000 m ³		5.000 m ³	0,0146 €/m ³		73 €
5.000 tot	170.000 m ³		45.416 m ³	0,0232 €/m ³		1.053 €
170.000 tot	1.000.000 m ³		- m ³	0,0194 €/m ³		- €
1.000.000 tot	10.000.000 m ³		- m ³	0,0122 €/m ³		- €
rest			- m ³	0,0080 €/m ³		- €
totaal			1.294.728 m ³	0,2869 €/m ³		371.499 €
ELEKTRICITEIT						10.000 kVA
contract						
vermogen inkoop			110 W/m ²			5.500 kW
verbruik inkoop			461,0 kWh/m ²	4.191 uur		23.050.000 kWh
trf1	hoog	67%	311,0 kWh/m ²			15.550.000 kWh
trf2	hoog	33%	150,0 kWh/m ²			7.500.000 kWh
vermogen verkoop			20 W/m ²			1.000 kW
verbruik verkoop			25,0 kWh/m ²	1.250 uur		1.250.000 kWh
trf1		100%	25,0 kWh/m ²			1.250.000 kWh
netbeheer	Stedin		23.050.000 kWh	0,0112 €/kWh		259.259 €
vastrecht	HS+TS/MS		12 mnd	230,00 €/mnd		2.760 €
per. aansluitvrgdng	1 x	#### kVA	12 mnd	4,30 €/mnd		52 €
contract	HS+TS/MS		5.500 kW	18,00 €/kW		99.000 €
maximaal	HS+TS/MS	12 mnd	5.500 kW	1,87 €/kW		123.420 €
maximaal	HS+TS/MS	- mnd	250 kW	1,87 €/kW		- €
verbruik hoog	HS+TS/↑ hoog	-	23.050.000 kWh	- €/kWh		- €
verbruik laag	HS+TS/↓ laag	-	- kWh	- €/kWh		- €
systeemdiensten			26.175.000 kWh	0,0013 €/kWh		34.028 €
leverancier	basistarief		23.050.000 kWh	0,0616 €/kWh		1.419.600 €
trf1	0,0800 €/kWh	100%	90%	15.550.000 kWh	0,0720 €/kWh	1.119.600 €
trf2	0,0800 €/kWh	100%	50%	7.500.000 kWh	0,0400 €/kWh	300.000 €
trf3	0,0400 €/kWh	100%	100%	- kWh	0,0400 €/kWh	- €
trf4	0,0400 €/kWh	100%	100%	- kWh	0,0400 €/kWh	- €
leverancier	basistarief		1.250.000 kWh	-0,0680 €/kWh		-85.000 €
trf1	0,0800 €/kWh	85%	100%	-1.250.000 kWh	0,0680 €/kWh	-85.000 €
trf2	0,0800 €/kWh	85%	50%	- kWh	0,0340 €/kWh	- €
trf3	0,0400 €/kWh	85%	100%	- kWh	0,0340 €/kWh	- €
trf4	0,0400 €/kWh	85%	100%	- kWh	0,0340 €/kWh	- €
energiebelasting			23.050.000 kWh	0,0050 €/kWh		114.672 €
- tot	10.000 kWh		10.000 kWh	0,1085 €/kWh		1.085 €
10.000 tot	50.000 kWh		40.000 kWh	0,0398 €/kWh		1.592 €
50.000 tot	10.000.000 kWh		9.950.000 kWh	0,0106 €/kWh		105.470 €
rest			13.050.000 kWh	0,0005 €/kWh		6.525 €
totaal			23.050.000 kWh	0,0741 €/kWh		1.708.531 €

CO2					-	-
vermogen inkoop		8 g/m ²				400 kg/uur
verbruik inkoop		8,0 kg/m ²	1.000 uur			400.000 kg
zuiver huur opslag	250 €/ha	12 mnd	1.250,00 €/mnd			1.250 €
zuiver verbruik	0,0900 €/kg	70%	400.000 kg	0,0630 €/kg		25.200 €
totaal			400.000 kg	0,0661 €/kg		26.450 €

WKK 1					-	MW
energie						3.500 uur
aardgas	8,79 kWh/m ³	356 m ³	3.125 kWh			1.244.312 m ³
elektriciteit		1.250 kWh	40,0% Ho			4.375.000 kWh
warmte		1.563 kWh	50,0% Ho			5.468.750 kWh
warmte voor teelt		100%				5.468.750 kWh
CO2		640 kg				2.239.761 kg
CO2 voor teelt		100%				2.239.761 kg
variabele kosten						44.134 €
ondhd wkk	0,007 €/kW	3.500 uur	8,75 €/uur			30.625 €
ondhd rgr	0,002 €/kW	3.500 uur	2,50 €/uur			8.750 €
ureum	#### l/m ³	10.577 l	0,4500 €/l			4.759 €
totaal		4.375.000 kWh	0,0101 €/kWh			44.134 €

WARMTEPOMP					-	-
energie						3.125 uur
elektriciteit		600 kWh	- Ho			-1.875.000 kWh
warmte		3.000 kWh	5,0 cop			9.375.000 kWh
warmte voor teelt		100%				9.375.000 kWh
koude		2.400 kWh	- cop			7.500.000 kWh
koude voor teelt		100%				7.500.000 kWh
variabele kosten						12.500 €
onderhoud	- €/kW	3.125 uur	4,00 €/uur			12.500 €
totaal		-1.875.000 kWh	-0,0067 €/kWh			12.500 €

KETEL						6.000 Mcal/uur
energie						60 uur
aardgas	9,77 kWh/m ³	840 m ³	8.209 kWh			50.416 m ³
warmte		7.799 kWh	95,0% Hb			467.936 kWh
warmte voor teelt		100%				467.936 kWh
CO2		1.512 kg				90.749 kg
CO2 voor teelt		100%				90.749 kg
variabele kosten						2.500 €
onderhoud		60 uur	41,67 €/uur			2.500 €
totaal		- kWh	- €/kWh			2.500 €

ENERGIE OVERZICHT						50.000 m²
aardgas inkoop			26 m³/m²			1.294.728 m³
wkk 1			25 m ³ /m ²			1.244.312 m ³
warmtepomp			- m ³ /m ²			- m ³
ketel			1 m ³ /m ²			50.416 m ³
overschot			- m ³ /m ²			- m ³
elektriciteit behoefte			524 kWh/m²			26.175.000 kWh
elektriciteit inkoop			461 kWh/m ²			23.050.000 kWh
elektriciteit verkoop			-25 kWh/m ²			-1.250.000 kWh
wkk 1			88 kWh/m ²			4.375.000 kWh
warmtepomp			- kWh/m ²			kWh
overschot			- kWh/m ²			- kWh
warmte behoefte		65 m³/m²	631 kWh/m²			31.557.100 kWh
licht		40 m ³ /m ²	393 kWh/m ²			19.635.000 kWh
warmte verkoop		- m ³ /m ²	- kWh/m ²			- kWh
wkk 1		11 m ³ /m ²	109 kWh/m ²			5.468.750 kWh
warmtepomp		19 m ³ /m ²	188 kWh/m ²			9.375.000 kWh
ketel		1 m ³ /m ²	9 kWh/m ²			467.936 kWh
overschot		7 m ³ /m ²	68 kWh/m ²			3.389.586 kWh
koude behoefte			150 kWh/m²			7.500.000 kWh
wkk 1			-109 kWh/m ²			-5.468.750 kWh
warmtepomp			150 kWh/m ²			7.500.000 kWh
ketel			- kWh/m ²			- kWh
tekort			109 kWh/m ²			5.468.750 kWh
CO2-behoefte			45 kg/m²			2.250.000 kg
CO2 inkoop			8 kg/m ²			400.000 kg
ketel			2 kg/m ²			90.749 kg
overschot			10 kg/m ²			480.510 kg

BESLUIT GLASTUINBOUW					5,00 ha	50.000 m²
aardgas	#### GJ/m ³	1.294.728 m ³	9.107 GJ/ha			45.536 GJ
elektriciteit inkoop	#### GJ/kWh	23.050.000 kWh	41.490 GJ/ha			207.450 GJ
elektriciteit verkoop	#### GJ/kWh	1.250.000 kWh	2.250 GJ/ha			11.250 GJ
warmte verkoop	#### GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha			- GJ
overig	- GJ/kWh	- kWh	- GJ/ha			- GJ
totaal			52.847 GJ/ha			264.236 GJ

CO2-EMISSIE				5,00 ha	50.000 m ²
CO2 inkoop	- ton/kg	400.000 kg	- ton/ha	- ton	- ton
CO2 verkoop	- ton/kg	- kg	- ton/ha	- ton	- ton
wkk 1	### ton/m ³	1.244.312 m ³	448 ton/ha	2.240 ton	2.240 ton
warmtepomp	- ton/kWh	593.750 kWh	- ton/ha	- ton	- ton
ketel	### ton/m ³	50.416 m ³	18 ton/ha	91 ton	91 ton
totaal			466 ton/ha	2.331 ton	2.331 ton
gratis emissiehandel		2.331 ton	- ton/ha	- ton	- ton
			15,00 €/ton	34.958 €	34.958 €

VASTE KOSTEN							50.000 m²	
investeringen							€/jaar	€/m²
aansluiting gas	- m ³ /u	- €/m ³ /u	30.000	10,0%	3,0%	-	3.900	0,08
aansluiting elektr.	10.000 kVA	22 €/kVA	222.000	10,0%	3,0%	-	28.860	0,58
MS/LS-installatie	6.000 kVA	33 €/kVA	200.000	10,0%	3,0%	-	26.000	0,52
wkk 1	1.250 kW	400 €/kW	500.000	10,0%	3,0%	-	65.000	1,30
rookgasreiniging	1.250 kW	160 €/kW	200.000	10,0%	3,0%	-	26.000	0,52
warmtepomp	3.000 kW	125 €/kW	375.000	10,0%	3,0%	-	48.750	0,98
aquifer	- m ³ /u	- €/m ³ /u	900.000	10,0%	3,0%	-	117.000	2,34
FIWIHEX	- kW	- €/kW	750.000	10,0%	3,0%	-	97.500	1,95
extra regeling	- kW	- €/kW	100.000	10,0%	3,0%	-	13.000	0,26
ketel	7.799 kW	- €/kW	-	10,0%	3,0%	-	-	-
warmteopslag	1.500 m ³	- €/m ³	-	10,0%	3,0%	-	-	-
buffer 2	- m ³	- €/m ³	-	10,0%	3,0%	-	-	-
Dagbuffer isolatie inst.	- kW	- €/kW	1.075.000	10,0%	3,0%	-	139.750	2,80
totaal investeringen		87,04 €/m ²	4.352.000	435.200	130.560	-	565.760	11,32
onvoorzien 1	5%		217.600	10,0%	3,0%	-	28.288	0,57
onvoorzien 2	-		-	10,0%	3,0%	-	-	-
totaal		91,39 €/m²	4.569.600	456.960	137.088	-	594.048	11,88

VARIABLE KOSTEN				50.000 m²	
kosten en opbrengsten				€/jaar	€/m²
aardgas				371.499	7,43
elektriciteit				1.708.531	34,17
warmte				-	-
CO2				26.450	0,53
wkk 1				44.134	0,88
warmtepomp				12.500	0,25
ketel				2.500	0,05
CO2-emissie	100%			34.958	0,70
totaal				2.200.572	44,01
verbruik				1.892.442	37,85
vermogen				267.195	5,34
vaste bijdragen				5.978	0,12

JAARKOSTEN TOTAAL				50.000 m²	
kosten en opbrengsten				€/jaar	€/m²
vaste kosten				594.048	11,88
variabele kosten				2.200.572	44,01
totaal				2.794.620	55,89

SUBSIDIE (globale indicatie)		subsidie 1		subsidie 2		50.000 m²	
investering	%	€ invest.	€ subsidie	%	€ invest.	€ subsidie	€/jaar €/m²
aansluiting gas	-	-	-	-	-	-	-
aansluiting elektr.	14%	222.000	-31.080	-	-	-	-4.040 -0,08
MS/LS-installatie	14%	200.000	-28.000	-	-	-	-3.640 -0,07
wkk 1	14%	500.000	-70.000	-	-	-	-9.100 -0,18
rookgasreiniging	14%	200.000	-28.000	-	-	-	-3.640 -0,07
warmtepomp	40%	375.000	-150.000	-	-	-	-19.500 -0,39
aquifer	40%	900.000	-360.000	-	-	-	-46.800 -0,94
FIWIHEX	40%	750.000	-300.000	-	-	-	-39.000 -0,78
extra regeling	40%	100.000	-40.000	-	-	-	-5.200 -0,10
Dagbuffer isolatie installatie	40%	1.075.000	-430.000	-	-	-	-55.900 -1,12
totaal		4.322.000	-1.437.080				-186.820 -3,74
vaste kosten totaal							407.228 8,14
jaarkosten totaal							2.607.800 52,16

samenvatting		optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
omschrijving		50% warmte- kracht	100% warmte- kracht	25 % WK kaskoeling bovenlans	25% WK kaskoeling onderdoor
oppervlakte	m ²	50.000	50.000	50.000	50.000

parameters		optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
aardgas	100% €/m ³	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
elektriciteit	100% €/kWh	0,0521	0,0640	0,0605	0,0616
CO ₂	- €/kg	0,0630	0,0630	0,0630	0,0630
CO ₂ -emissie	100% €/ton	-	-	-	-

financieel		basis	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
investering	€		1.630.650	2.910.600	4.569.600	4.569.600
jaarkosten	€		2.406.943	2.598.295	2.822.426	2.794.620
jaarkosten	€/m ²		48,14	51,97	56,45	55,89
rentekosten	€		48.919,50	87.318,00	137.088,00	137.088,00
rentekosten	€/m ²		0,98	1,75	2,74	2,74
variabele kosten	€		2.194.959	2.219.917	2.228.378	2.200.572
variabele kosten	€/m ²		43,90	44,40	44,57	44,01
vergelijk met optie		1	1	1	1	1
Δ investering	€		-	1.279.950	2.938.950	2.938.950
Δ rentekosten	€		-	38.399	88.169	88.169
Δ variabele kosten	€		-	-24.958	-33.419	-5.613
Δ jaarkosten	€		-	-191.351	-415.482	-387.677
Δ jaarkosten	€/m ²		-	-3,83	-8,31	-7,75
terugverdientijd	+rente jaar		-	95,2	53,7	35,6
terugverdientijd	-rente jaar		-	-51,3	-87,9	-523,6

financieel		subsidie	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
investering	€		1.417.430	2.529.520	3.132.520	3.132.520
jaarkosten	€		2.379.225	2.548.754	2.635.605	2.607.800
jaarkosten	€/m ²		47,58	50,98	52,71	52,16
variabele kosten	€		2.194.959	2.219.917	2.228.378	2.200.572
variabele kosten	€/m ²		43,90	44,40	44,57	44,01
vergelijk met optie			1	1	1	1
Δ investering	€		-	1.112.090	1.715.090	1.715.090
Δ variabele kosten	€		-	-24.958	-33.419	-5.613
Δ jaarkosten	€		-	-169.529	-256.381	-228.575
Δ jaarkosten	€/m ²		-	-3,39	-5,13	-4,57
terugverdientijd	jaar		-	-44,6	-51,3	-305,6

variabele kosten		€/m²	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
verbruik	€/m ²		37,54	36,88	38,23	37,85
vermogen	€/m ²		4,02	3,35	5,18	5,34
vaste bijdragen	€/m ²		0,11	0,13	0,12	0,12

CO₂-emissie		ton/ha	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
CO ₂ inkoop	ton/ha		-	-	-	-
wkk 1	ton/ha		1.459	2.675	672	448
ketel	ton/ha		18	18	18	18
totaal	ton/ha		1.477	2.693	690	466

aardgas inkoop		m³/m²	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
wkk 1	m ³ /m ²		81	149	37	25
ketel	m ³ /m ²		1	1	1	1
totaal	m ³ /m ²		82	150	38	26

elektriciteit		kWh/m	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
behoefte	kWh/m		470	470	524	524
elektriciteit inkoop	kWh/m		215	15	417	461
elektriciteit verkoop	kWh/m		-45	-95	-25	-25
wkk 1	kWh/m		300	550	131	88

warmte		kWh/m	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
behoefte	kWh/m		770	770	724	631
licht	kWh/m		393	393	393	393
warmte verkoop	kWh/m		-	-229	-	-
wkk 1	kWh/m		370	678	164	109
warmtepomp	kWh/m		-	-	188	188
ketel	kWh/m		9	9	9	9
overschot	kWh/m		1	81	30	68

CO₂		kg/m²	optie 1	optie 2	optie 3	optie 4
behoefte	kg/m ²		116	116	45	45
CO ₂ inkoop	kg/m ²		48	48	8	8
CO ₂ verkoop	kg/m ²		-	-	-	-
wkk 1	kg/m ²		154	282	67	45
wkk 2	kg/m ²		-	-	-	-
warmtepomp	kg/m ²		-	-	-	-
installatie 4	kg/m ²		-	-	-	-
ketel	kg/m ²		2	2	2	2
overschot	kg/m ²		87	215	32	10