

PROJECTVERSLAG

Mogelijkheden, kansen en beperkingen van fytomonitoring (eerste fase)

IN OPDRACHT VAN PRODUCTSCHAP TUINBOUW

PROJECTVERSLAG

Mogelijkheden, kansen en beperkingen van fytomonitoring (eerste fase)

Uitgevoerd door:

TNO Toegepaste Plantwetenschappen

DLV Facet en DLV Glasgroenten

Growlab b.v.

Gefinancierd door:



Productschap Tuinbouw

Postbus 280

2700 AG Zoetermeer

© DLV Facet, TNO Toegepaste Plantwetenschappen, Growlab B.V.

Dit document is auteursrechtelijk beschermd. Niets uit deze uitgave mag derhalve worden veeleenvoudigd, 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 Facet, TNO Toegepaste Plantwetenschappen en Growlab B.V. De merkrechten op de benaming DLV komen toe aan DLV Adviesgroep nv. Alle rechten dienaangaande worden voorbehouden.

DLV Facet, TNO Toegepaste Plantwetenschappen en Growlab B.V. zijn niet aansprakelijk voor schade bij toepassing of gebruik van gegevens uit deze uitgave, tenzij er sprake is van opzet of grove schuld van de zijde van DLV Facet, TNO Toegepaste Plantwetenschappen of Growlab B.V.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Doel van het project	4
3. Aanpak van de vraagstelling	4
4. Parameters gemeten in het project	5
5. Resultaten	7
5.1 Data acquisitie	7
5.2 Analyse strategie	7
5.3 Data set acquisitie en analyse bottlenecks	7
5.3.1 'Handmatige' analyse	8
5.3.2 'Gecomputeriseerde' analyse	8
5.3.3 Gebruikte analyse methoden	9
5.3.4 Correlaties tussen parameters	9
5.3.4.1 CO ₂	11
5.3.4.3 Sapstroom	14
5.3.4.4 Relatieve vochtigheid	15
5.3.5 Principale componenten analyse	16
5.3.6 Variantie analyse	26
6. Discussie	28
7. Conclusies	29
7.1 Directe inzet fytomonitor sensoren zonder geavanceerde analyse	30
7.2 Inzet fytomonitor sensoren in combinatie met geavanceerde analyse	30
7.3 Vervolg activiteiten	31
Appendix 1: Figuren op A4 formaat	32
Appendix 2: Tekst artikel Vakblad voor Bloemisterij	44

1. Inleiding

In de tuinbouw is toenemende behoefte aan gericht sturen van de teelt. De planning van de teelten wordt steeds preciezer. Ook arbeid wordt een steeds groter probleem. Dit niet alleen gezien vanuit de capaciteit als gevolg van krapte op de arbeidsmarkt, maar ook uit prijstechnische en concurrentieoverwegingen. Daarnaast spelen maatschappelijke ontwikkelingen, gericht op milieu, voedselveiligheid en energie, een steeds grotere rol in de industriematige benadering van de teelt in Nederland. De mogelijkheden voor sturing worden ook groter. Naast klimaat registratie en aanpassing komt steeds meer behoefte, en zijn er steeds meer mogelijkheden, voor sturing op basis van gegevens van de plantgroei, en gegevens uit de plantomgeving (lucht en wortelmedium).

Inmiddels wordt op de behoefte aan nog betere sturing ingespeeld door op zijn minst twee firma's: Phytech en Growlab. Via hen zijn meetinstrumenten op de markt die diverse parameters meten in de plant en zijn directe omgeving. Met deze de introductie van deze instrumenten komen ook nieuwe vragen naar voren, van zowel gebruikers als van producenten. Het betreft vragen over nieuwe mogelijkheden tot monitoring, maar vooral vragen om de gemeten nieuwe parameters te kunnen interpreteren en gebruiken. Daarnaast is er nog steeds de vraag naar het nut van de metingen. Het nut hangt ongetwijfeld ook af van het gebruik en het begrip van de metingen.

Op basis van deze ontwikkelingen en de daarmee gepaard gaande vragen hebben TNO, DLV Facet en Growlab een studie uitgevoerd die bijdraagt aan het in beeld brengen van de mogelijke kracht en zwakten van de metingen, waar kansen liggen en waar bedreigingen. Op basis van deze studie kunnen uitspraken worden gedaan over het potentiële nut van de diverse metingen voor verschillende teelten.

2. Doel van het project

Het project heeft als einddoel het aanbieden van meer kennis en begrip aan tuinbouwondernemers over de mogelijkheden van (alternatieve) aansturing van de teelt. Hierbij wordt door middel van betere of preciezere aansturing een kwaliteitsverbetering, arbeidsbesparing en een lagere milieubelasting nagestreefd. Centraal staat hierbij de vraag op welke wijze zogenaamde 'fytomonitoring' hieraan kan bijdragen.

3. Aanpak van de vraagstelling

Om het einddoel te bereiken kunnen een aantal eerste 'kleinere' vragen worden geformuleerd en mogelijk beantwoord. Deze zijn onder andere:

- Welke 'fytomonitoring' parameters bieden extra informatie waarover de tuinder nu (nog) niet beschikt?
- Op welke wijze kunnen meetgegevens uit 'fytomonitoring' zodanig worden geanalyseerd dat correlaties tussen de verschillende parameters zichtbaar worden?
- Zijn conclusies voor het ene gewas ook geldig voor andere gewassen?
- Welke ontwikkelingen zijn (nog) nodig om te komen tot een systeem waarbij data uit 'fytomonitoring' kan worden ingezet in teeltsturing?
- Op welke 'andere' wijze kan 'fytomonitoring' bijdragen aan verbeteringen in de bedrijfsvoering?

Om geformuleerde vragen te beantwoorden is er voor gekozen om in eerste instantie met behulp van een Growlab installatie en de reeds in verschillende bedrijven aanwezige klimaat

computer registratie een groot aantal mogelijk relevante parameters te volgen gedurende de teelt van twee verschillende gewassen. Hierbij werd gedurende deze teelten niet gestuurd op basis van de Growlab informatie. Bij twee verschillende bedrijven werden de metingen verricht gedurende de teelt van rozen, en bij twee verschillende bedrijven gedurende de teelt van paprika.

Aan het einde van de verschillende meetsessies zijn alle meetgegevens onder gebracht in een data-base en in een identiek format gezet. Hierna zijn de gegevens op verschillende manieren geanalyseerd.

4. Parameters gemeten in het project.

Tijdens de teelt van zowel roos als paprika zijn een groot aantal parameters gevolgd in de tijd. Sommige parameters werden zeer frequent gemeten (bijvoorbeeld iedere vijf minuten), terwijl anderen slechts een maal per dag werden bepaald. De meetfrequente van de verschillende parameters werd gekozen op basis van een inschatting van minimaal noodzakelijke frequentie en de technische mogelijkheden.

In tabel 1 en 2 zijn de geregistreerde parameters voor het gewas roos weer gegeven, en in tabel 2 voor het gewas paprika.

Tabel 1: Roos		
Parameters	Channel or code	
<i>Growlab parameters</i>		<i>Growlab Sensor used</i>
IR blad temperatuur	Chan 1	IR camera Ktx.11
Omgevings temperatuur	Chan 4	Resolutie 0.1°C, nauwkeurigheid $\pm 0.3\%$
PT 1000 (buistemp)	Chan 8	Resolutie 0.1°C, nauwkeurigheid $\pm 0.5^\circ\text{C}$
FD meting (substraat vocht/temp/EC)	Chan 11, Chan 13	Tensio-technik 500
Knoptemp (ir)	Chan 9	Blokcamera, Heitronics
LDTV (stengeldiameter)	Chan 7	
RV meter (incl. dauwpunt)	Chan 3	Hmm213 Vaisala
PAR (antenne opst. tegen schaduw)	Chan 2	LI-190SZ
CO2	Chan 6	Vaisala GMM222
Sapstroom	Chan 12	
Netto (uit)stralingsmeter	Chan 10	LI-190SZ
Fotosynthese meting	-	-
<i>Meteogegevens</i>		
Buitentemp.		
Neerslag		
Windrichting en snelheid		
RV		
Straling		
<i>Gemeten/berekend kasklimaatgeg.</i>		
Temp.		
RV		
Buistemp. alle netten		
CO2		
Raamstand luw		
Raamstand wind		
Berekende P-band luw		

Berekende P-band wind		
<i>Hydrogegevens</i>		
Beurtgrootte		
EC gift		
pH gift		
Gift per dag		
Percentage drain		
EC drain		
pH drain		

Tabel 2: Paprika

Parameters	Channel or code	Growlab Sensor used
<i>Growlab parameters</i>		
IR blad temperatuur	Chan 1	IR camera Ktx.11
Omgevingstemperatuur	Chan 4, Chan 5	Resolutie 0.1°C, nauwkeurigheid $\pm 0.3\%$
PT 1000 (buistemp)	Chan 8	Resolutie 0.1°C, nauwkeurigheid $\pm 0.5^\circ\text{C}$
FD meting (substraat vocht/temp/EC)	Chan 15, Chan 11, Chan 13	Tensio-technik 500
Vruchttemp (ir)	Chan 9	Blokcamera, Heitronics
LDTV (stengeldiameter)	Chan 7	
RV meter (incl. dauwpunt)	Chan 3	Hmm213 Vaisala
PAR (antenne opst. tegen schaduw)	Chan 2	LI-190SZ
CO2	Chan 6	Vaisala GMM222
Sapstroom	Chan 12	
Netto (uit)stralingsmeter	Chan 10	LI-190SZ
Fotosynthese meting	-	
<i>Meteogegevens</i>		
Buientemp.		
Neerslag	-	
Windrichting en snelheid		
RV		
Straling		
<i>Gemeten/berekend kasklimaatgeg.</i>		
Temp.		
RV		
Buistemp. alle netten		
CO2		
Raamstand luw		
Raamstand wind		
Berekende P-band luw		
Berekende P-band wind		
<i>Hydrogegevens</i>		
Beurtgrootte		
EC gift		
pH gift		
Gift per dag		

Percentage drain		
EC drain		
pH drain		

5. Resultaten

5.1 Data acquisitie

Zowel de meetgegevens uit de Growlab als de data uit de klimaatcomputers en meteo stations van de verschillende bedrijven zijn bewerkt tot format voor de excell data base. Vanuit deze data base zijn verschillende bewerkingen en analyses van de meetgegevens uitgevoerd. Het totaal aan meetgegevens is zeer groot (meer dan 200 Mb) en vormt een reservoir met grote potentie voor het vinden van verbanden tussen de verschillende parameters. Gezien het grote aantal meetgegevens, het grote aantal parameters, de asynchroniciteit tussen de verschillende parameters, de verschillen in meetfrequentie en de complexiteit van de interacties tussen de verschillende parameters is een goede analyse strategie een eerste vereiste.

5.2 Analyse strategie

In de gevolgde analyse strategie zijn twee verschillende aanpakken gevolgd:

- ‘Handmatige’ analyse, waarbij op het oog naar de verschillende meetgegevens wordt gekeken, en correlaties en trends worden vastgesteld.
- Geavanceerde computer gestuurde analyse, waarbij de meetgegevens via software, ontworpen voor de verwerking van complexe gegevensbestanden, worden geanalyseerd.

Binnen deze strategie kunnen de meetgegevens op verschillende niveaus worden geanalyseerd. Analyse van dergelijke zeer grote data sets, met een groot aantal gemeten parameters vragen een aanpak die vergelijkbaar is met de methoden die worden gebruikt (en nog steeds worden ontwikkeld) in de moderne genomics projecten (projecten waarbij alle genetische informatie van een heel organisme in een keer wordt onderzocht). In dit geval is, mede vanwege de vraagstelling, maar ook van de beschikbare tijd en middelen gekozen voor een beperkt aantal analyse niveaus. Hierbij zijn ook vervolganalyses gemaakt op basis van resultaten uit eerdere analyse op een ander niveau. In eerste instantie zijn de volgende situaties bij de analyse gebruikt:

- Complete parameter data set over een dag of dagdeel periode (waarbij in eerste instantie de dag keuze willekeurig is gemaakt).
- Daggemiddelden van de parameters over de gehele of een gedeelte van de gevolgde teeltperiode.
- Daggemiddelden van de parameters over licht of donker periode over de gehele of gedeelte van de gevolgde teeltperiode.

5.3 Data set acquisitie en analyse bottlenecks

Zowel gedurende het verzamelen van de meetgegevens als tijdens de analyse van de data zijn verschillende problemen opgetreden. Deze problemen en de daardoor veroorzaakte ‘extra’ werkzaamheden kunnen als volgt worden samen gevat:

- Moeilijkheden bij het uitlezen van de klimaat- en teeltsturing computer gegevens. Verschillende telers werken met verschillende systemen. Bij sommige systemen is het uitlezen van de data naar een ander systeem niet simpel mogelijk.
- Uitval van registratie van zowel Growlab als klimaat/teeltsturing gegevens gedurende kortere of langere periode.
- Extra werk heeft moeten plaatsvinden om de verschillende data sets in een zodanig format te brengen dat zowel Growlab data en klimaat/teeltsturing gegevens in dezelfde data base met dezelfde tijdstippen konden worden opgenomen. Complicerende factoren hierbij waren de asynchrone tijdstippen van de metingen in de verschillende systemen en verschillen in meetfrequentie van de verschillende parameters.
- Veel (handmatig) werk heeft moeten plaatsvinden om de data sets voor de computer analyses te schonen van ‘foute’ meetpunten (= nonsens waarden door meetstoring) en afwezige meetpunten voor een of enkele parameters gedurende een aantal meetpunten.
- Er moest een software routine worden geschreven om in de data sets de meetgegevens te kunnen selecteren op donker of licht periode.
- Er zijn software routines geschreven om de daggemiddelden van de verschillende parameters te berekenen.

5.3.1 ‘Handmatige’ analyse

Twee typen ‘handmatige’ analyse zijn uitgevoerd.

In het eerste geval is een analyse uitgevoerd op de data waarbij in een combinatie met plantfysiologische en teelttechnische kennis met name naar de relatie is gekeken tussen belichting en productie. Deze analyse is uitgevoerd voor teelt van het rozenras “Red Berlin”. Uit de analyse komt naar voren dat bij lichtsommen $>25 \text{ MJ/m}^2/\text{week}$ (binnen gemeten) de directe correlatie tussen productie en lichtsom verloren gaat. Belichting is dan niet meer de beperkende factor. Dit biedt handvatten om productie verhoging te realiseren met behulp van optimalisatie van andere parameters. Deze resultaten zijn eerder gepubliceerd in het Vakblad voor de Bloemisterij 34 (2002) 42-43 (zie Annex 1).

In het tweede geval zijn conclusies die werden getrokken uit de gecomputeriseerde analyse van de data ‘handmatig’ verder in detail geanalyseerd voor slechts enkele parameters. Resultaten hiervan zijn weergegeven in de paragraaf ‘gecomputeriseerde analyse’.

5.3.2 ‘Gecomputeriseerde’ analyse

De enorme complexiteit en omvang van de in het project geproduceerde data sets maken het onmogelijk om alle (deels verborgen) verbanden tussen de verschillende parameters op het oog te ontdekken. Voor de analyse van dergelijke data bestanden heeft TNO speciaal software ontwikkeld. Deze door TNO ontwikkelde data-analyse methoden zijn speciaal geschikt voor het vinden van correlaties en verbanden tussen grote aantallen parameters en groepen van parameters. Ook bevatten deze methoden mogelijkheden om incidenten in data sets te identificeren. Deze methoden zijn in het project gebruikt om eerste indicatieve antwoorden te verkrijgen op de in het project gestelde vragen. Hiertoe zijn de meetgegevens die zijn verkregen bij zowel paprika als roos met verschillende invalshoek en op verschillende niveaus geanalyseerd. De analyses geven een goede indicatie van de mogelijkheden en beperkingen voor inzet van fytomonitoring in de teelt, en de algemene trends in correlaties tussen parameters.

5.3.3 Gebruikte analyse methoden

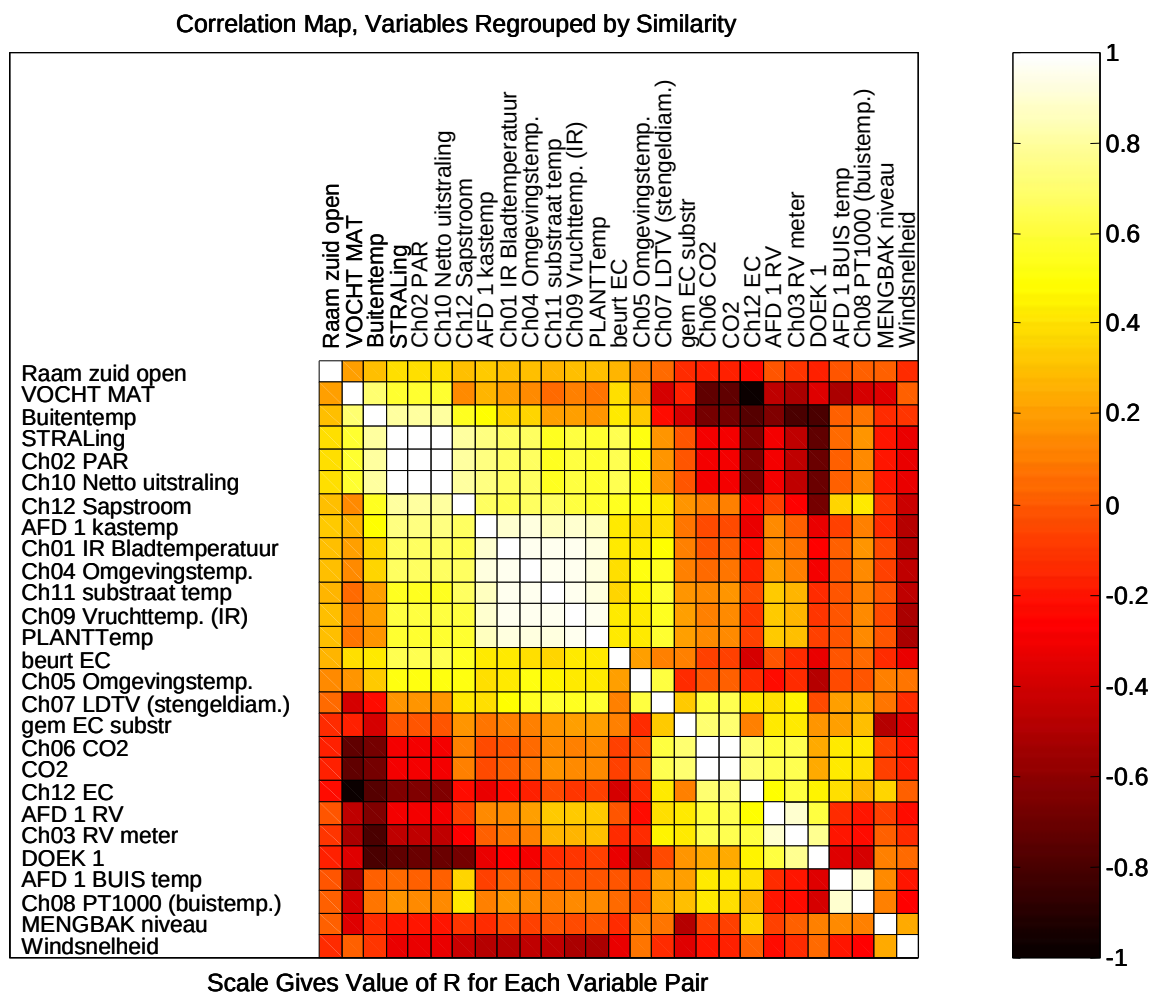
- a. Correlatie diagrammen: in deze diagrammen wordt zichtbaar gemaakt in een afbeelding in welke mate verschillende parameters met elkaar correleren. In feite wordt een correlatiepatroon in een oogopslag zichtbaar.
- b. Principale componenten analyse: hierbij wordt door de computer een rekenkundig model geconstrueerd dat goed fit met de data-set. Hieruit kan onder andere worden bepaald hoeveel parameters noodzakelijk zijn voor een totale beschrijving (voorspelling) van de data-set, indien ingevoerd in het geconstrueerde model. (voorbeeld; bij de olympische tienkamp worden tien onderdelen uitgevoerd door de atleten. Principale componenten analyse laat zien dat reeds met de uitslagen van vier onderdelen welke dan in het model worden ingevoerd de uitslag van de gehele tienkamp met 98% zekerheid kan worden voorspeld. In dat geval zouden de atleten dus met het uitvoeren van deze vier onderdelen hetzelfde resultaat verkrijgen. Deze bevindingen zijn gebaseerd op de correlaties tussen de verschillende onderdelen die in het model vastliggen (100 m hardlopen en verspringen zijn bijvoorbeeld sterk gecorreleerd, evenals speerwerpen en discuswerpen, etc.).
- c. Variantie analyse. Hierbij wordt de totale variatie in de data-set geanalyseerd. Deze variantie wordt uitgedrukt in een zgn Q-residual. Tijdens normaal verloop van de teelt zal deze Q-residual zich onder een bepaalde waarde bevinden. Indien er echter “incidenten” optreden waardoor de variatie in de data niet meer voldoet aan het normale beeld dan kan dit direct worden gesignaleerd.

5.3.4 Correlaties tussen parameters

Onder andere met behulp van correlatie diagrammen zijn de correlaties tussen de verschillende parameters vastgesteld. Hierbij kan worden onderscheiden:

- Correlaties tussen parameters gedurende een dag
- Correlaties tussen daggemiddelden van de parameters gedurende een langer periode

Figuur 1 laat de correlaties tussen de verschillende parameters zoals gemeten bij paprika gedurende 1 dag zien. De kleuren geven de mate van correlatie aan: wit zeer goede positieve correlatie, donker zeer goede negatieve correlatie. Kleuren hiertussen in geven aan dat er een minder goede correlatie of geen correlatie is tussen de verschillende parameters. In het voorbeeld is goed te zien dat de Afdeling temperatuur, Plant temperatuur (zoals via de klimaat computer bepaald) en de kanalen 1, 4, 9 en 11 (respectievelijk PT blad, omgevingstemperatuur, knop temperatuur (ir) en substraat temperatuur) van de Growlab een zeer goede positieve correlatie vertonen. Ook voor andere parameters gelden goede (positieve of negatieve) correlaties, terwijl ook veel parameters zeer slechte correlatie vertonen.



Figuur 1: correlatie diagram voor Growlab en klimaatcomputer parameters zoals gemeten gedurende een dag bij paprika teelt. Voor betekenis coderingen zie ook tabel 2 (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

Vanuit dergelijke correlatie diagrammen zijn de indicatieve relaties vastgesteld zoals die kunnen worden gevonden tussen de “Growlab” parameters en de klimaatcomputer parameters. Tabel 3 laat voor paprika (bedrijf a) de gevonden correlaties zien.

Parameters Growlab	Parameters Klimaat Computer			
	Positieve correlatie		Negatieve correlatie	
	Zeer goed	Goed	Zeer goed	Goed
Chan 1: IR blad temperatuur	Kasttemperatuur, Plant temperatuur			
Chan 2: PAR	Straling	Buiten temp.		Doek
Chan 3: RV	Afd 1 RV		Buiten temp	
Chan 4: Omgevingstemp	Kasttemperatuur, Plant temperatuur			
Chan 5: Omgevingstemp				
Chan 6: CO ₂	CO ₂			Vocht in mat Buiten temp.
Chan 7: LDTV				Vocht in mat
Chan 8: buistemp	Afd 1 buistemp			
Chan 9: vruchttemp (ir)	Kasttemperatuur,			

	Plant temperatuur			
Chan 10: Netto uitstraling	Straling		Doek	
Chan 11: substraat temp	Kastemperatuur, Plant temperatuur			
Chan 12: sapstroom		Straling		Doek
Chan 13: EC			Vocht in de mat	Buitemtemp

Ook voor Growlab parameters onderling worden sterke correlaties gevonden. Zo zijn alle temperatuurmetingen (Chan 1, 4, 9 en 11) sterk positief gecorreleerd. Ook de stralingmetingen hebben een sterke positieve correlatie (Chan 2 en 10).

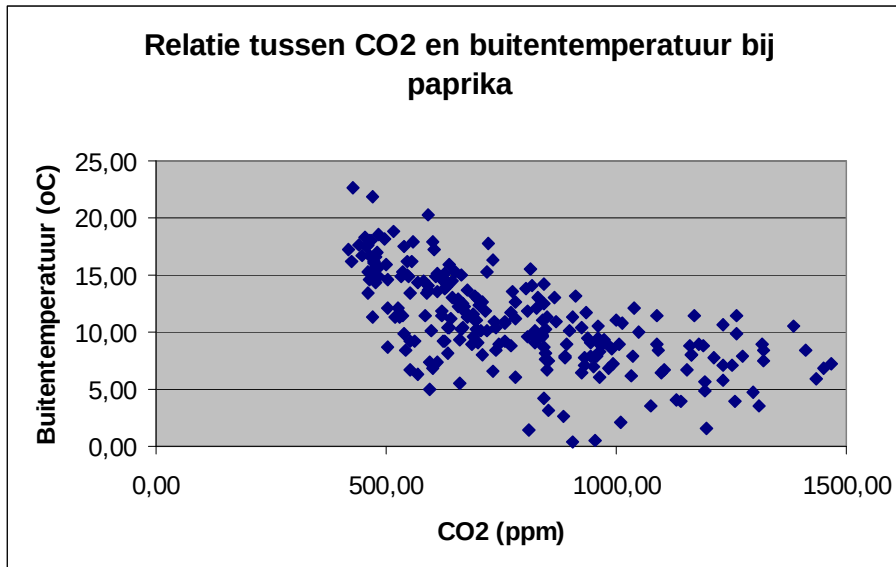
In tabel 4 staan de gevonden correlaties voor roos.

Tabel 4: roos	Parameters Klimaat Computer			
	Positieve correlatie		Negatieve correlatie	
	Parameters Growlab	Zeer goed	Goed	Goed
Chan 1: IR blad temperatuur		Kastemperatuur, Plant temperatuur		
Chan 2: PAR	Kastemperatuur			Buistemperatuur
Chan 3: RV		CO ₂		
Chan 4: Omgevingstemp		Kastemperatuur		
Chan 5: -				
Chan 6: CO ₂		CO ₂		Buiten temp.
Chan 7: LDTV				
Chan 8: buistemp	Afd 1 buistemp			
Chan 9: knoptemp (ir)				
Chan 10: Netto uitstraling		Kastemperatuur		
Chan 11: substraat temp	Kastemperatuur, Plant temperatuur			
Chan 12: sapstroom	RV			
Chan 13: EC	EC drain			

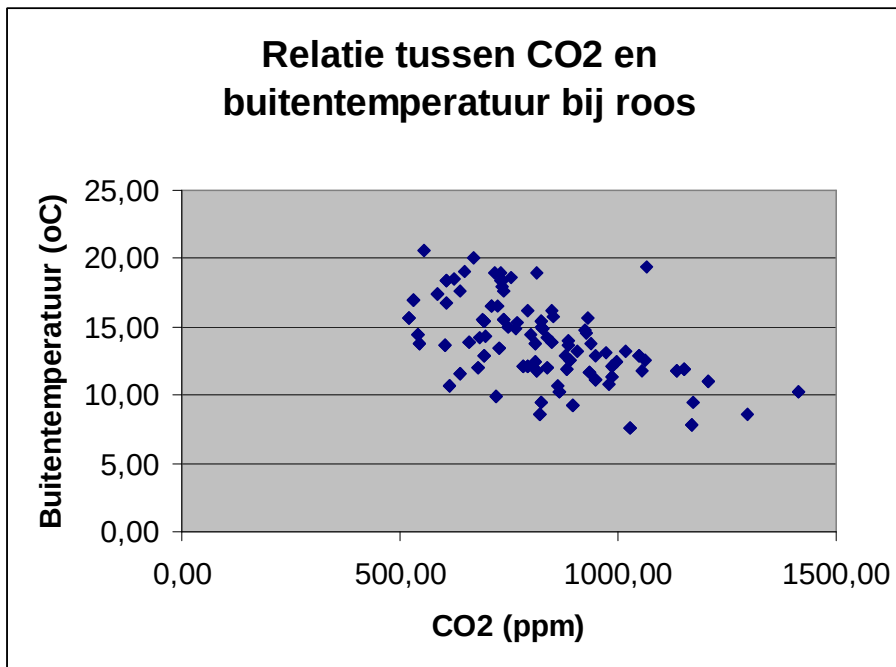
Zowel voor paprika als roos worden voor een aantal Growlab parameters dezelfde correlaties gevonden met de andere parameters. Echter ook duidelijke verschillen zijn aanwezig. Het valt op dat de correlaties tussen Growlab parameters en de klimaatcomputer parameters bij roos veel minder sterk zijn dan bij paprika.

5.3.4.1 CO₂

Bij roos en paprika wordt (gemeten over een dag) een negatieve correlatie gevonden tussen CO₂ (Growlab parameter) en de buitemtemperatuur. Nadere bestudering van deze mogelijke correlatie is handmatig uitgevoerd voor de daggemiddelden. Correlaties tussen de verschillende parameters zijn weergegeven in de figuren 2 en 3.



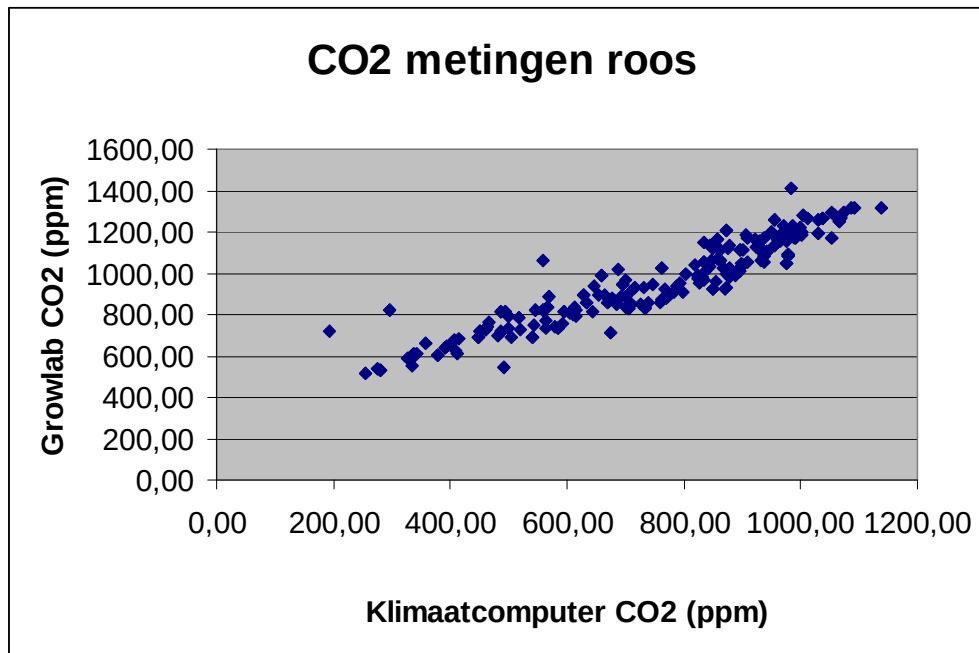
Figuur 2: relatie tussen dag en nacht gemiddelden van buitentemperatuur en CO₂ bij paprika.



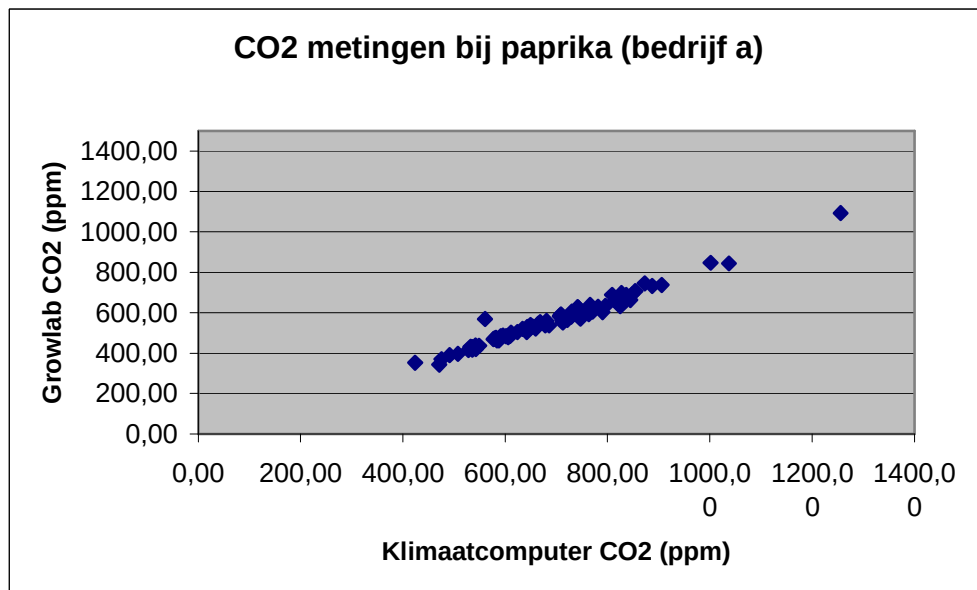
Figuur 3: relatie tussen dag en nacht gemiddelden van buitentemperatuur en CO₂ bij roos.

Uit de figuren 2 en 3 blijkt dat inderdaad een duidelijke (niet verder mathematisch onderzochte) correlatie aanwezig is tussen CO₂ en de buitentemperatuur. Deze correlatie is identiek voor roos en paprika.

Opvallend is verder dat de correlatie tussen CO₂ zoals gemeten door de Growlab installatie en de klimaatcomputer bij paprika veel sterker is dan bij roos. Nadere beschouwing hiervan is weergegeven in figuren 4 en 5.



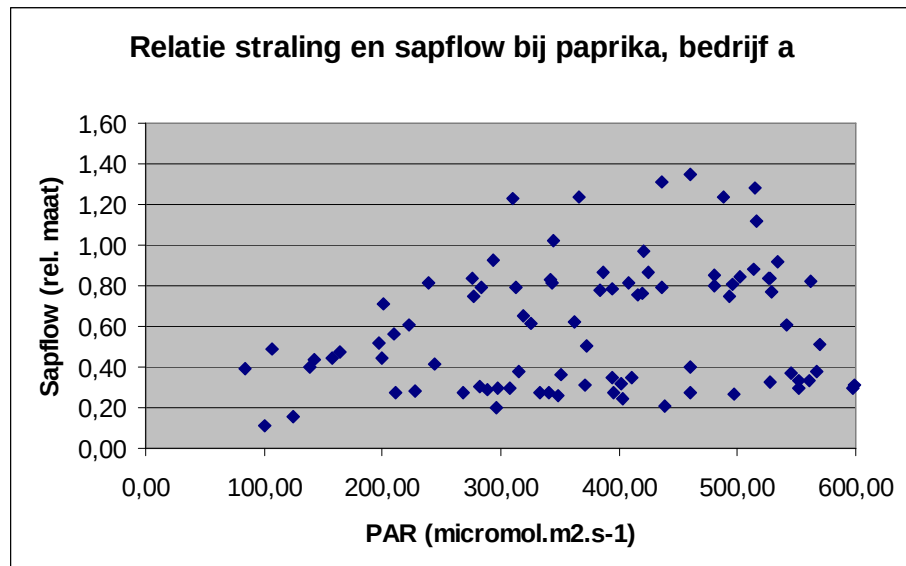
Figuur 4: CO₂ metingen met twee verschillende systemen bij roos



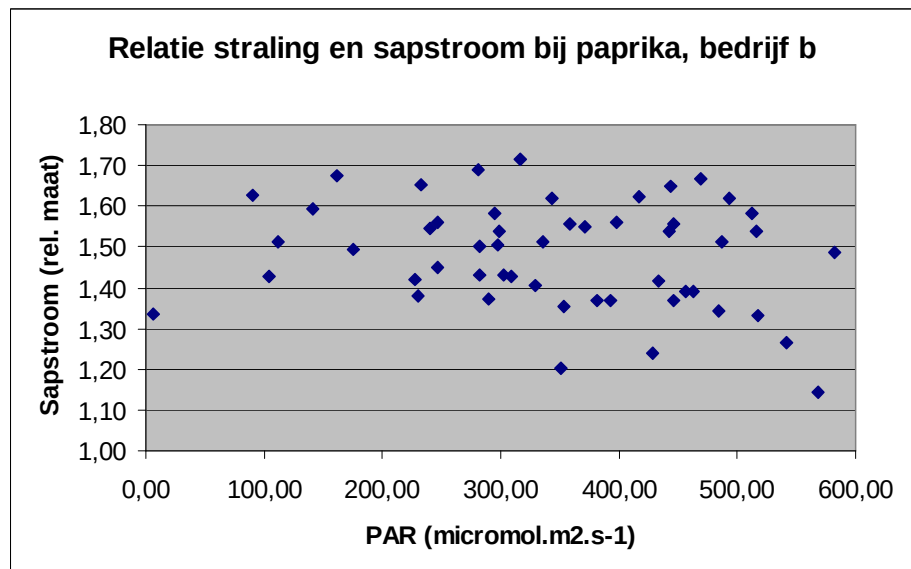
Figuur 5: CO₂ metingen met twee verschillende systemen bij paprika.

Duidelijk is uit de figuren 4 en 5 dat de correlatie tussen de twee metingen bij roos minder goed is dan bij paprika. Daarnaast is duidelijk dat de waarden zoals door de Growlab sensor gemeten bij roos altijd zo'n 200 ppm hoger zijn dan de klimaatcomputer waarden. Mogelijk is dit veroorzaakt door de locatie van de sensoren. In figuur 4 in roos is ook duidelijk dat er een aantal dagen zijn waarbij er een zeer grote afwijking aanwezig is tussen de waarden zoals door de klimaatcomputer gemeten en de waarden zoals door de Growlab sensor gemeten. Uit de nadere analyse blijkt dat deze afwijkingen zijn opgetreden op 31-3-2002 en 2-6-2002. Hieronder in paragraaf 5.3.5 wordt daar verder op ingegaan.

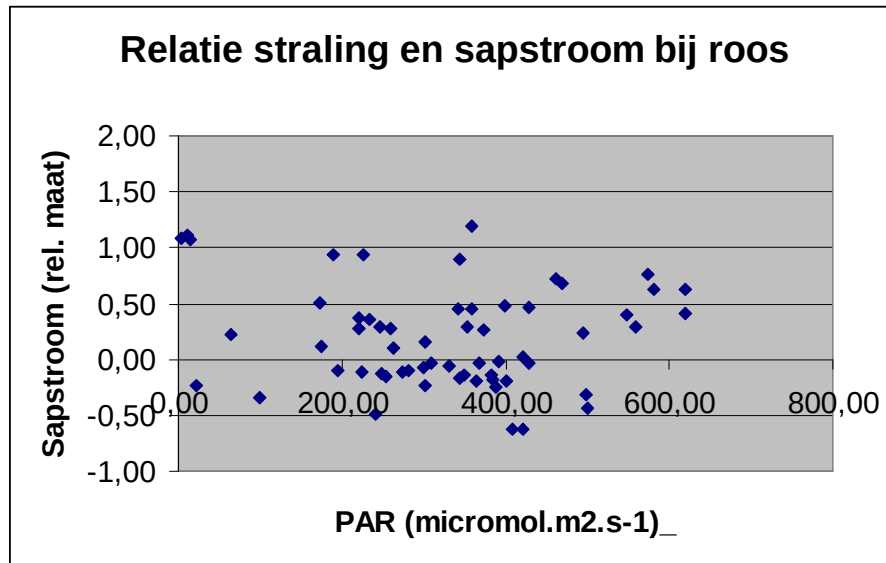
5.3.4.2 Sapstroom



Figuur 6: relatie tussen sapstroom en straling bij paprika (bedrijf a).



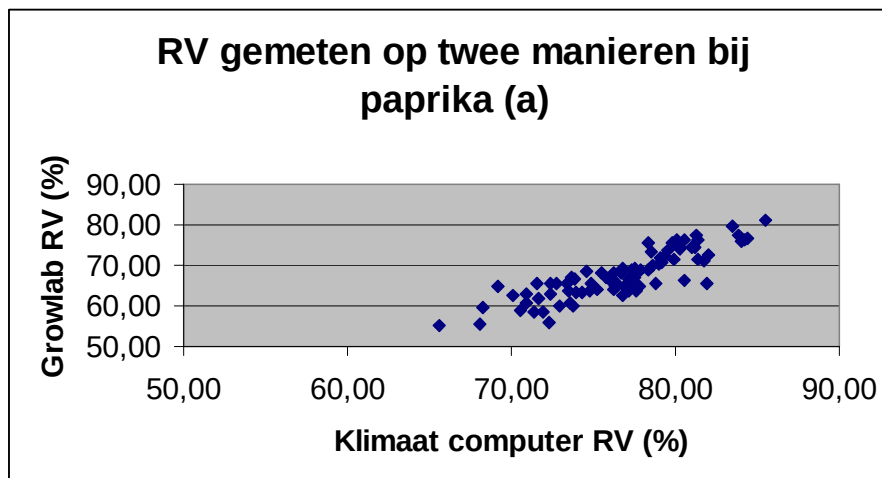
Figuur 7: relatie tussen sapstroom en straling bij paprika (bedrijf b).



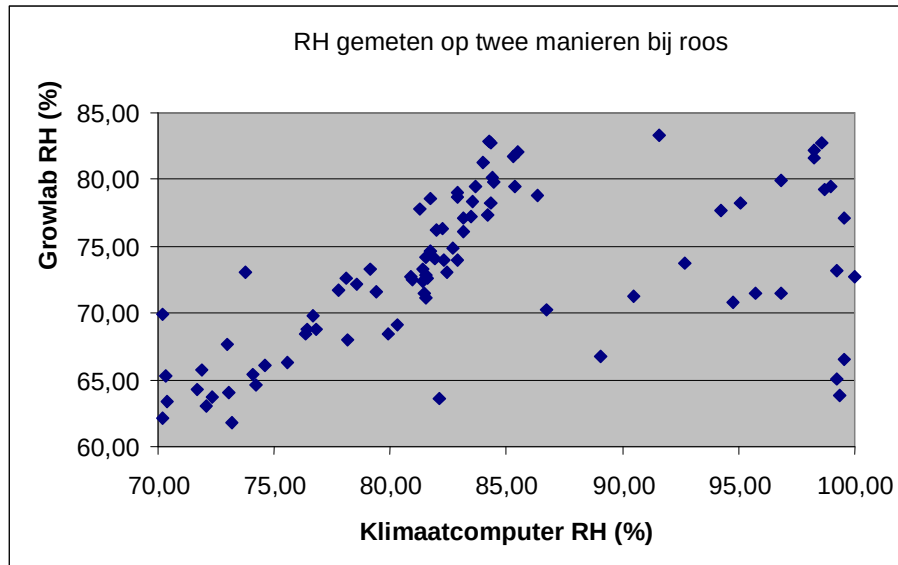
Figuur 8: relatie tussen sapstroom en straling (PAR) bij roos.

Bij paprika wordt bij bedrijf a een redelijke positieve correlatie gevonden tussen straling (PAR) en sapstroom zoals gemeten over een lichtperiode op een dag. Een nadere analyse van deze correlatie met daggemiddelden over de lichtperiode laat voor bedrijf a (figuur 6) zien dat deze positieve correlatie aanwezig is. Dezelfde analyse voor bedrijf b laat echter eerder een negatieve correlatie zien. Dit zou kunnen betekenen dat bij bedrijf b hogere straling leidt tot bijvoorbeeld hogere luchtvochtigheid en droger substraat dan bij bedrijf a waardoor in dit geval hogere straling zou kunnen leiden tot afname van de sapstroom. Bij roos (figuur 8) is een duidelijk verband tussen sapstroom en straling afwezig.

5.3.4.3 Relatieve vochtigheid



Figuur 9: relatie tussen RV gemeten bij paprika met klimaatcomputer en met Growlab.

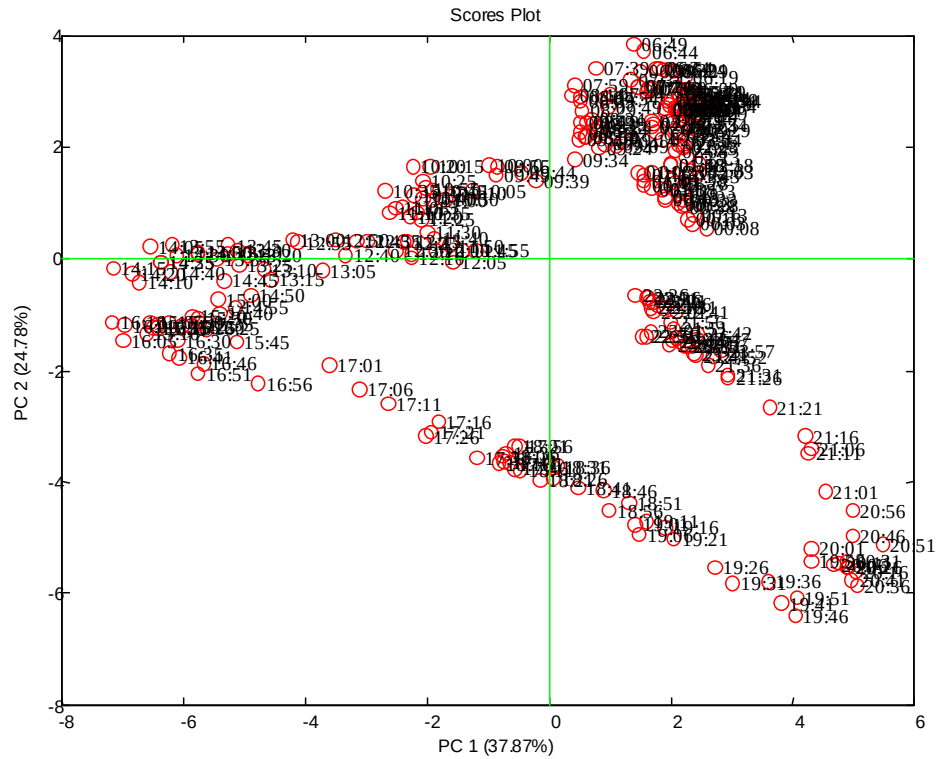


Figuur 10: relatie tussen RV gemeten bij roos met klimaatcomputer en Growlab.

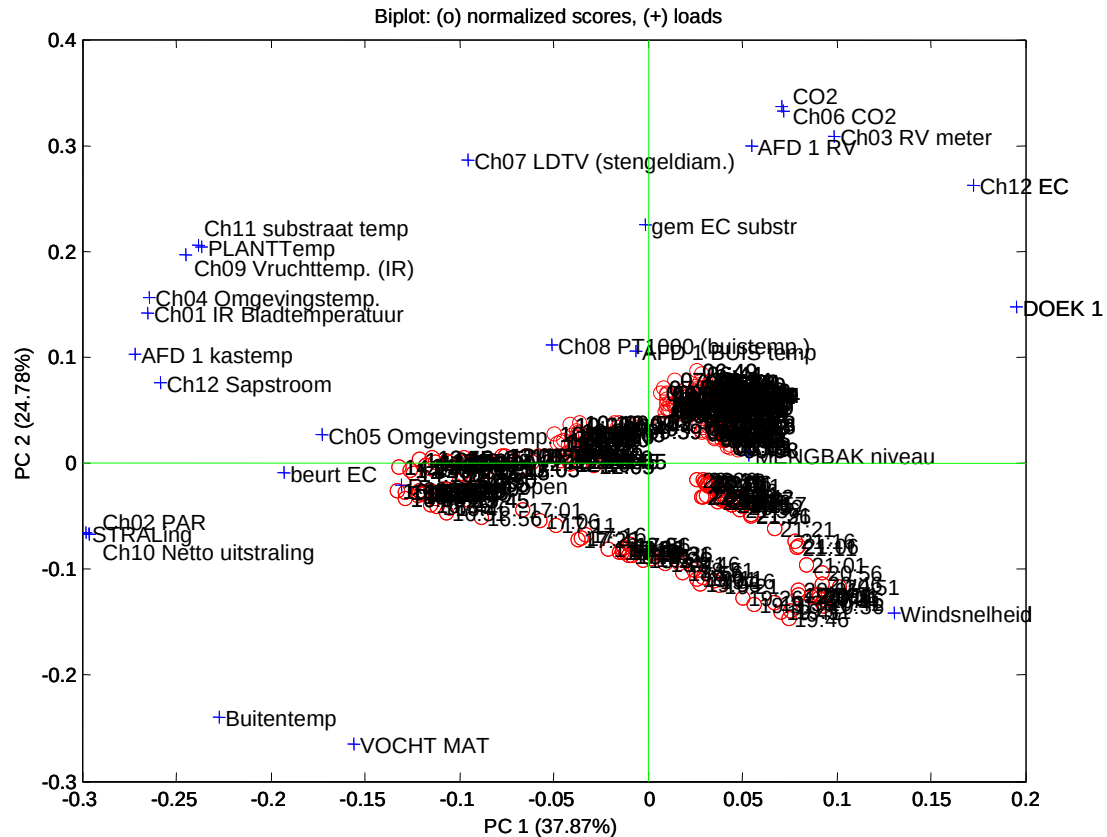
Opvallend is ook dat uit de analyse blijkt dat de correlatie tussen RV gemeten met de klimaatcomputer en de Growlab bij paprika veel beter is dan bij roos. Nadere beschouwing laat zien dat bij paprika de klimaatcomputer waarden weliswaar stelselmatig ongeveer 15% hoger zijn dan de Growlab waarden, maar de correlatie is weinig variabel (figuur 9). De correlatie bij roos (figuur 10) echter is vooral bij hogere RV waarden erg slecht. Ook hier geeft de klimaatcomputer stelselmatig hogere waarden (ongeveer 10%) dan de Growlab.

5.3.5 Principale componenten analyse

Principale componenten zijn parameters een door de computer berekend model dat de ingevoerde data zo goed mogelijk beschrijft. Deze principale componenten parameters zijn op zich ook weersamengesteld uit de ingevoerde parameters, waarbij ieder parameter met een eigen vaste weging deel uit maakt van de principale component. Voor verschillende situaties (zoals verloop gedurende een dag, verloop gedurende een langer teeltperiode) is een principale componenten analyse uitgevoerd. De resultaten uit een dergelijke analyse kunnen op verschillende manieren worden gepresenteerd. In figuur 11 is het verloop van de eerste twee principale componenten (PC1 en PC 2) gedurende de teelt van paprika (bedrijf a) tegen elkaar uitgezet gedurende een teeltdag. Het verband tussen PC1 en PC2 begint op de gevolgde teeltdag rechtsboven. De percentages achter PC1 en PC2 geven aan hoe groot het percentage is dat van de data wordt verklaard door deze component (in het voorbeeld 24 en 37%, waarbij PC1 en PC2 dus gezamenlijk 61% van de relaties verklaren). In de loop van de dag beweegt het verband zich naar links en vervolgens naar rechtsonder om uiteindelijk aan het einde van de dag weer rechtsboven te eindigen. Dit verband geeft het cyclische karakter van de teelt weer, gebaseerd op de veranderingen van de onderliggende gemeten parameters. In dezelfde figuur kunnen nu ook de individuele parameters worden weergegeven volgens het verband zoals zij in de principale componenten zijn opgenomen. Parameters die hierbij dicht bij elkaar liggen zijn sterk positief gecorreleerd en parameters die ver tegenover elkaar liggen vertonen een sterk negatieve correlatie. In figuur 12 is dat gedaan voor de teeltdag zoals in figuur 11 weergegeven.

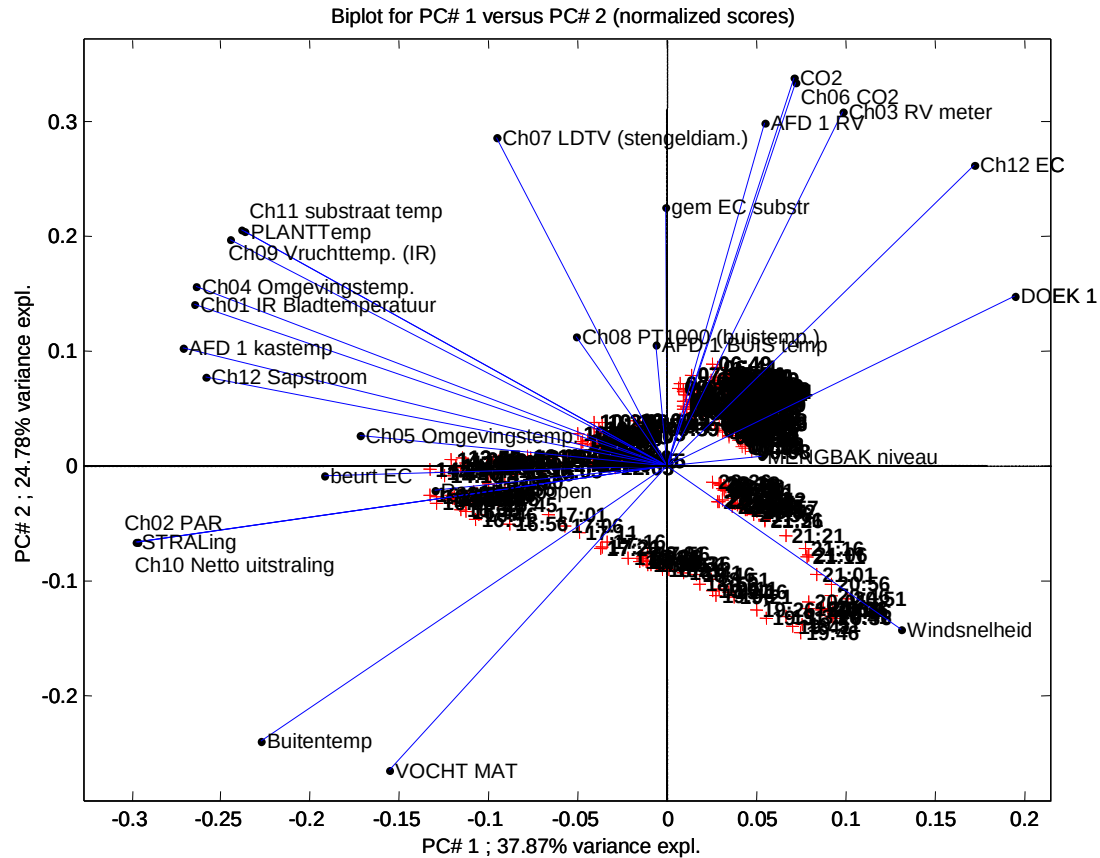


Figuur 11: PC 2 als functie van PC 1 gedurende 1 teeltdag van paprika (bedrijf a).. Iedere cirkel stelt een meetmoment (tijdstip) gedurende de dag voor (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).



Figuur 12: Zelfde figuur als figuur 11 maar nu met daarin de verschillende parameters weergegeven. (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

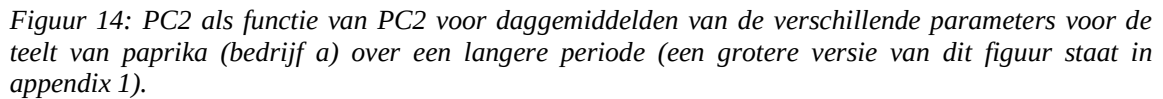
Uit figuur 12 wordt direct zichtbaar dat het verloop van het verband tussen PC en PC2 gedurende de dag voornamelijk wordt bepaald door een klein aantal parameters. Zo is duidelijk dat de beweging van rechtsboven naar links wordt veroorzaakt door vooral een toename van de stralingparameters (die zich links bevinden), en toename buitentemperatuur. De beweging naar rechtsonder wordt vooral bepaald door een toename van de wind aan het einde van de middag, en een afname van de temperatuur parameters. Op deze wijze geeft dit diagram een “blauwdruk” van deze teelt dag. De correlatie tussen de verschillende parameters wordt weergegeven door de positie van de parameters ten opzichte van elkaar. In figuur 13 is dit nog verduidelijkt door enige hulplijnen aan te brengen.



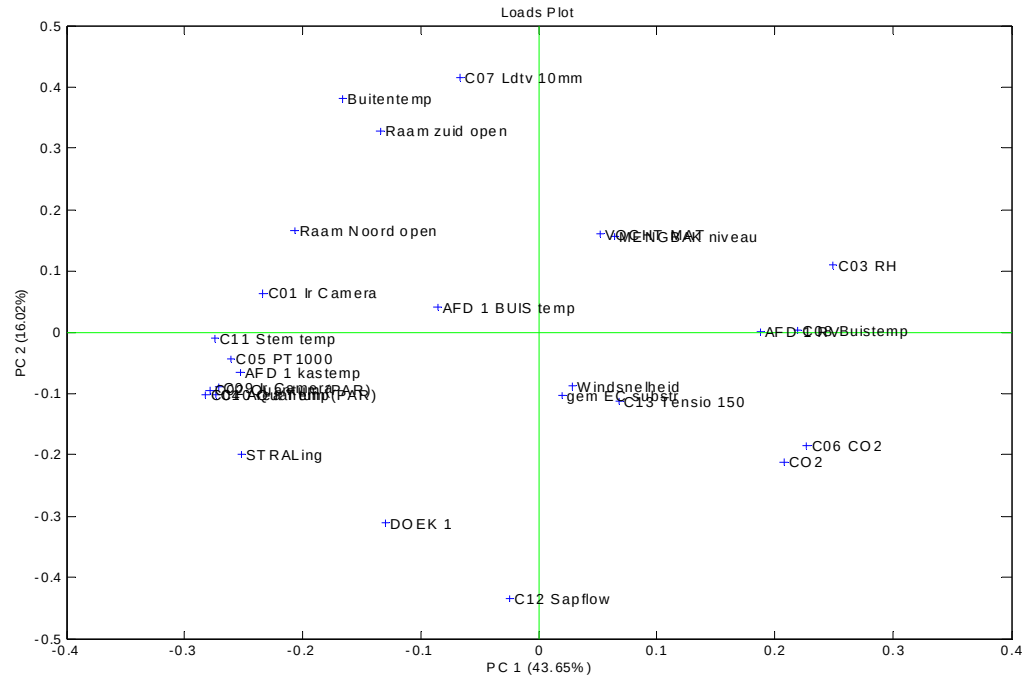
Figuur 13: Zelfde figuur als figuur 12 maar nu met enige hulplijnen. (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

Uit figuur 13 is eenvoudig af te lezen dat de temperatuur parameters in hoge mate positief gecorreleerd zijn (liggen allemaal bij elkaar links boven), en dat windsnelheid hiermee in hoge mate negatief gecorreleerd is (ligt rechtsonder tegenover de temperatuur parameters). Ook andere verbanden kunnen op deze wijze grafisch worden afgelezen.

Een zelfde benadering kan worden gevolgd voor de teelt over langere periode, gebruikmakende van dag gemiddelden (voor lichtperiode en/of donkerperiode). Figuur 14 laat het verband tussen PC1 en PC2 zien gedurende de teelt van paprika over een langere periode.



Leiden , april 2003

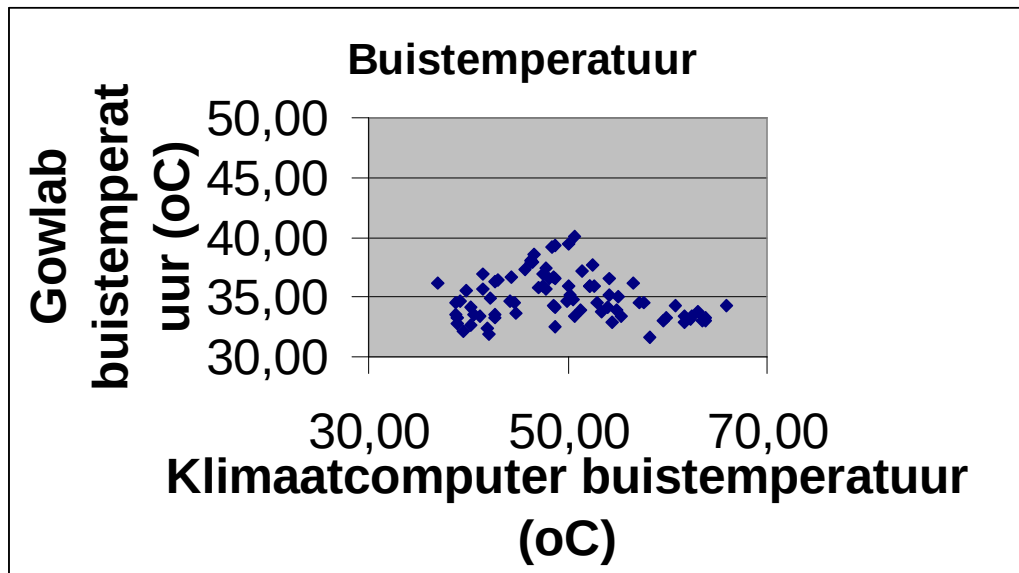


Figuur 15: Plaatsing van de verschillende parameters van paprika bedrijf a in het PC1/PC2 diagram van figuur 14 (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

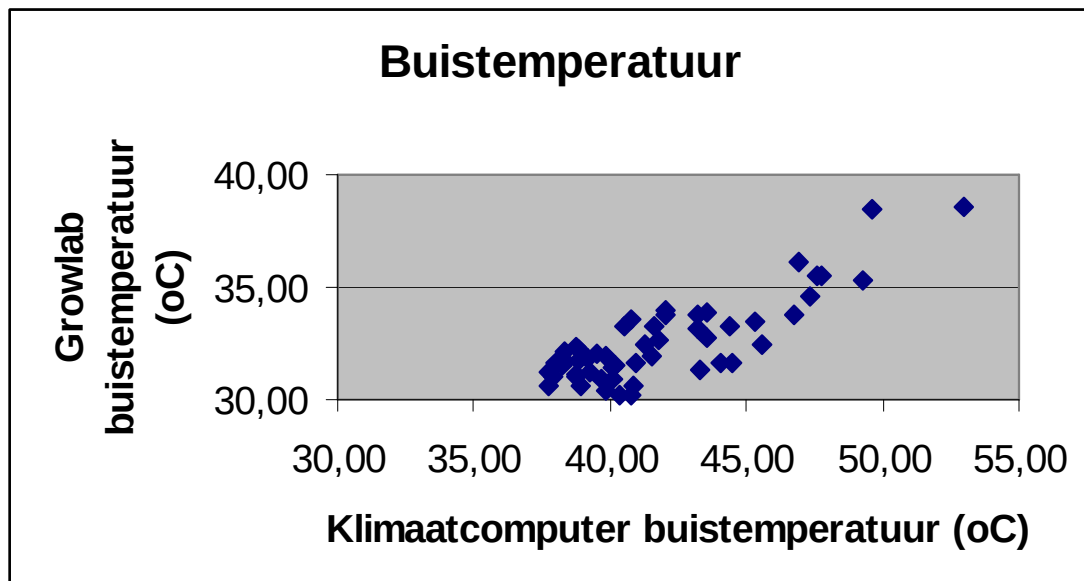
Uit vergelijking van figuur 15 en 14 blijkt dat de afwijkende positie in figuur 14 op 15-4 vooral wordt veroorzaakt door een toename van de door de Growlab gemeten buistemperatuur, en een toename van de door de klimaat computer geregistreerde RV. Daarnaast is een afname van de andere temperatuur parameters duidelijk.

De afwijking op 17-6 lijkt vooral veroorzaakt door een sterke afname in CO₂. De positie van PC1 t.o.v PC2 eind maart lijkt met name te maken te hebben met lage sapstroom in combinatie met geringe stengeldiameter en lage buitentemperatuur.

Opvallend in figuur 15 is ook het grote verschil in positie tussen de buistemperatuur zoals gemeten door Growlab en de klimaatcomputer. Dit duidt op een slechte correlatie tussen deze twee parameters. Nadere handmatige analyse (figuur 16) laat zien dat de Growlab veel meer constante buistemperaturen laat zien dan de klimaatcomputer. Dit heeft te maken hebben met de positie van de sensoren. De afwijkende situatie op 15-4 was dan ook zonder Growlab buissensor minder makkelijk opgemerkt. Een vergelijkende analyse bij bedrijf b (figuur 17) laat zien dat hier de relatie tussen de twee verschillende buistemperaturen wel goed is (alhoewel de growlab meting hier ook consequent lager is dan de klimaatcomputer metingen).



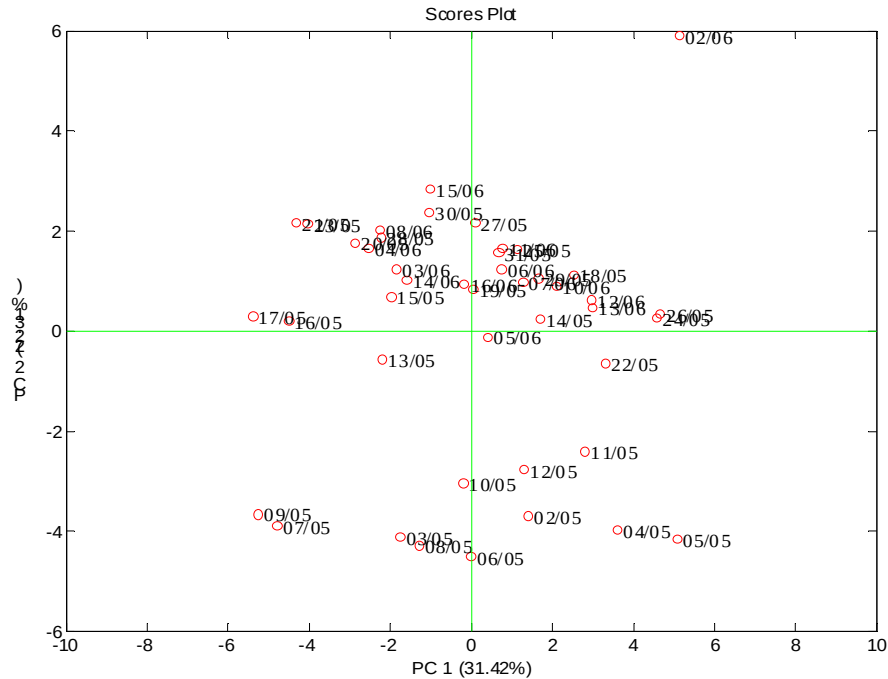
Figuur 16: Buistemperatuur zoals gemeten door klimaat computer en Growlab bij paprika (gemiddelde dagwaarden gedurende lichtperiode, bedrijf a).



Figuur 17: Buistemperatuur zoals gemeten door klimaat computer en Growlab bij paprika (gemiddelde dagwaarden gedurende lichtperiode, bedrijf b).

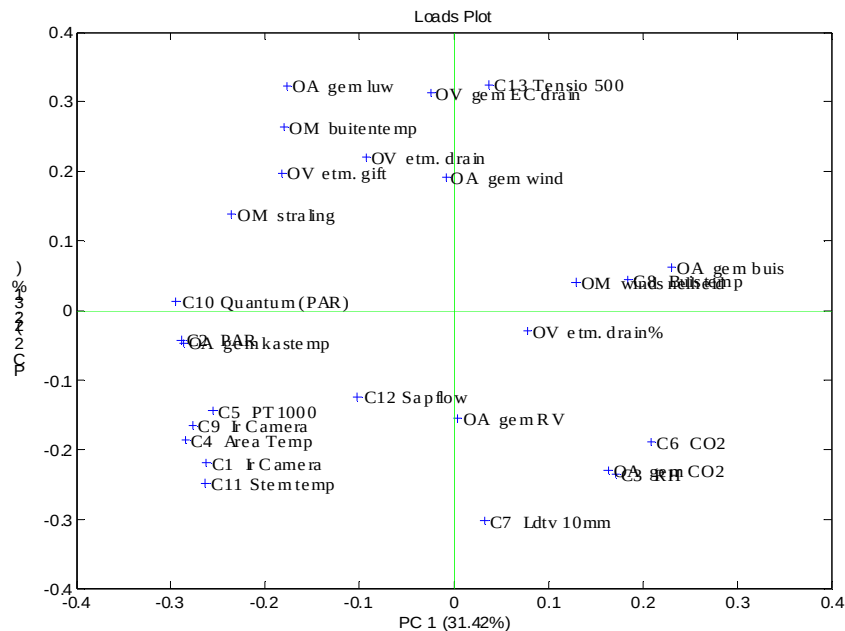
Uit figuur 16 mag worden geconcludeerd dat de buistemperatuurmetingen door de klimaatcomputer in bedrijf a geen goede bijdrage leveren aan de teeltsturing.

Ook voor roos kan de principale componenten analyse worden gemaakt. Figuur 18 laat de relatie tussen PC1 en PC 2 voor roos gedurende de teelt gebaseerd op daggemiddelden over de lichtperiode.



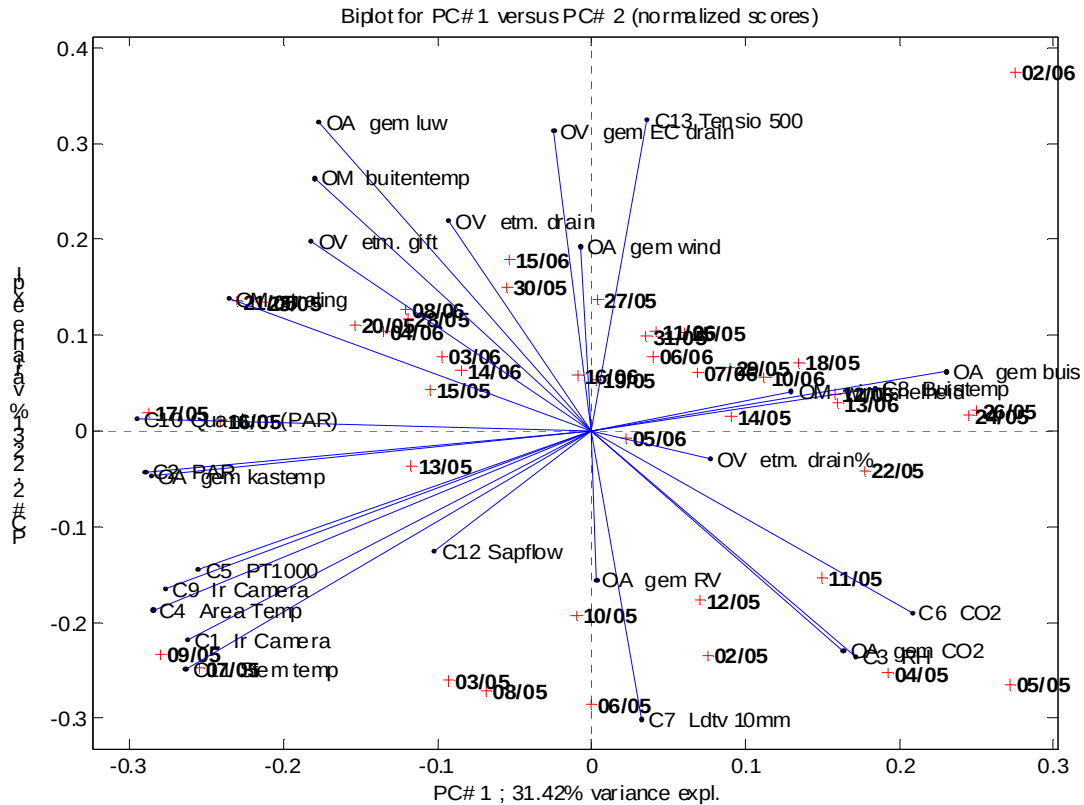
Figuur 18: Relatie tussen PC1 en PC2 gedurende de teelt van roos gebaseerd op daggemiddelden tijdens de lichtperiode (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

Uit figuur 18 blijkt dat ook hier, net als bij paprika, er een beweging van PC2 van meer negatieve waarden naar meer positieve waarden optreedt gedurende de teelt. Opvallend is de positie op 2-6. Op deze dag valt met name de waarde van PC2 geheel buiten het normale patroon. In figuur 19 zijn de verschillende gemeten parameters geplot.



Figuur 19: Gemeten parameters in PC1/PC2 diagram van figuur 18 voor roos gedurende de teelt (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

Combinatie van figuur 18 en 19 levert een goed beeld van de gebeurtenissen tijdens de teelt.

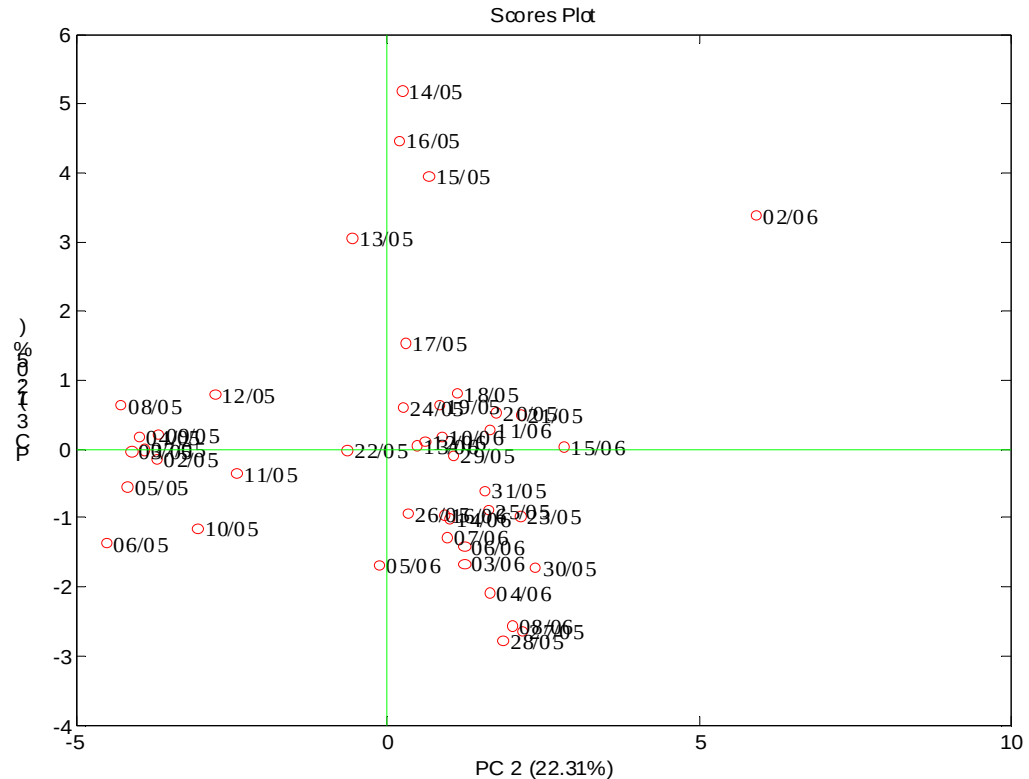


Figuur 20: combinatie van figuur 18 en 19 (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

In figuur 20 is duidelijk te zien dat de abnormale positie van de relatie op 2-6 wordt veroorzaakt door een afname van alle temperatuur parameters, afname van de sapstroom, afname van CO₂.

Afwijkend is ook de relatie op 7-5 en 9-5. Op deze dagen is met name een sterke stijging van de verschillende gemeten temperaturen aanwezig.

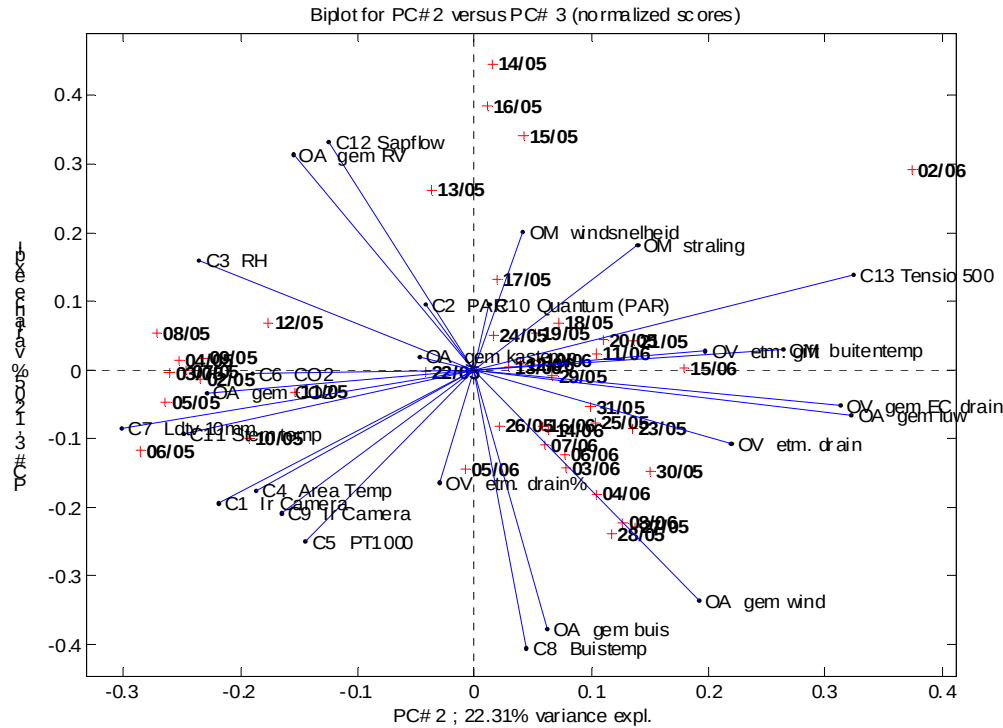
In een verdere invulling van de principale componenten analyse kan ook de relatie tussen PC2 en PC3 worden geplote. Dit is weergegeven in figuur 21.



Figuur 21: PC2 en PC3 diagram voor teelt van roos gebaseerd op daggemiddelden tijdens de lichtperiode (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

Ook uit figuur 21 blijkt dat 2-6 een afwijkende positie inneemt. Ook hier kan weer de positie van de verschillende parameters worden betrokken bij de analyse (figuur 22). Uit figuur 22 blijkt dat, naast eerder genoemde parameters, toename van EC ook een rol kan spelen bij de afwijkende positie op 2-6. Uit de eerdere analyse van de correlatie tussen de CO₂ metingen door de Growlab en de klimaatcomputer (zie boven figuur 4) was ook reeds geconcludeerd dat het er een afwijking was op 2-6 tussen beide systemen. Mogelijk dat op die dag ook een storing in het CO₂ systeem van de klimaatcomputer heeft bijgedragen aan de afwijkende situatie.

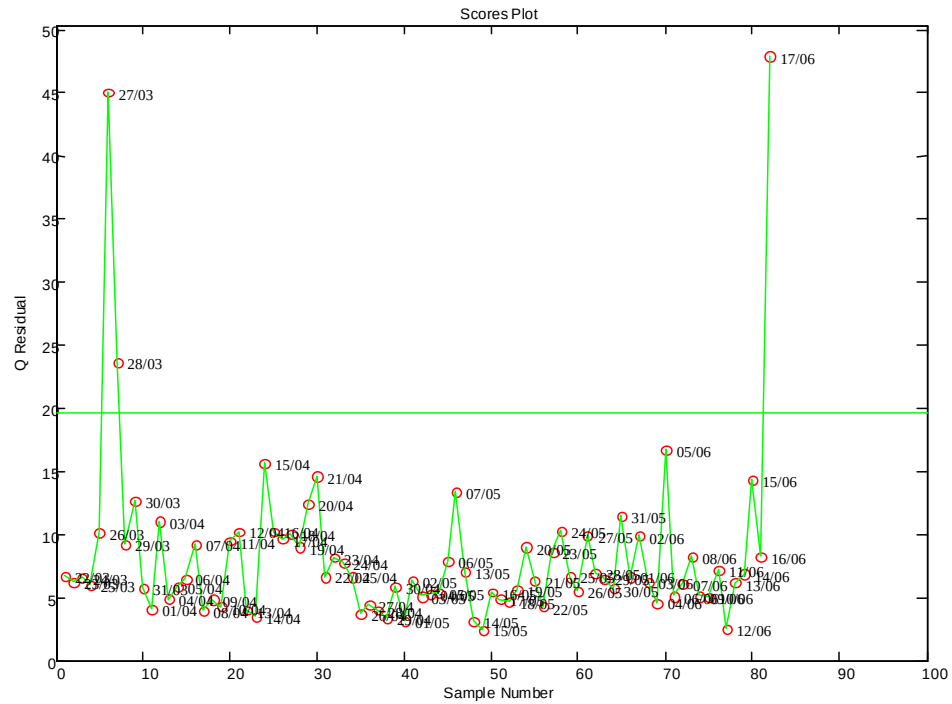
Twee weken later werd bij dit bedrijf voor roos een grote groeiachterstand geconstateerd door de teeltadviseur. Dit laat zien dat met een goed monitoring systeem en de daarop volgende data-analyse en interpretatie deze situatie eerder onderkent had kunnen worden, en de kas-situatie tijdig bijgestuurd had kunnen worden.



Figuur 22: combinatie van figuur 21 en de positie van de verschillende gemeten parameters voor roos gedurende de teelt (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

5.3.6 Variantie analyse

Variantie analyse vertelt iets over de spreiding van de parameterwaarden in een data set gedurende een bepaalde analyse periode. Onder normale omstandigheden zal de parameter variatie van dag tot dag ongeveer gelijk zijn. In geval van calamiteiten kan dit tot gevolg hebben dat de spreiding die optreed bij de verschillende parameters sterk toeneemt. In figuur 23 is een voorbeeld gegeven van een dergelijke analyse. In deze figuur is de variantie in de totale data-set (uitgedrukt in Q-residual) iedere dag bepaald tijdens de paprika teelt (bedrijf a). Goed zichtbaar is dat tijdens de gehele teelt de Q-residual onder de 20 (de grens van 20 geeft in deze specifieke analyse de normale variantie grens aan) blijft. Alleen op 27/3, 28/3 en 17/6 vinden grote afwijkingen plaats. Deze dagen vallen buiten het normale patroon, zoals ook al uit de principale componenten analyse was gebleken (zie boven). Mogelijk dat op deze dagen incidenten in de teelt hebben plaatsgevonden.



Figuur 23: Variantie analyse van de data-set zoals gemeten bij de paprika teelt (bedrijf a) (een grotere versie van dit figuur staat in appendix 1).

6. Discussie

Uit de analyses blijkt dat een groot deel van de fytomonitoring parameters zeer sterke correlaties vertoont met parameters die al door de klimaatcomputer worden gemeten. In de tabellen 3 en 4 is dit duidelijk gemaakt. Daarnaast zijn verschillende fytomonitoring parameters onderling ook zeer sterk gecorreleerd. Alleen sapstroom en stengeldiameter (LDTV) lijken in grotere mate niet gecorreleerd aan de andere parameters in de gekozen analyses.

Het **zonder meer meemeten** van de meeste fytomonitoring parameters (dwz die parameters die direct aan de plant worden gemeten) als extra parameter lijkt daarom niet heel zinnig indien er niet een diepere analyse mogelijk is. Immers, de informatie die wordt verkregen is grotendeels al aanwezig in de standaard klimaatcomputer data.

Aan de teeltsturing op de “klassieke” manier kan een fytomonitoring installatie daarom slechts beperkt bijdragen.

Waarschuwingssysteem

Inzet van een fytomonitoring systeem ter evaluatie van de klimaatcomputer prestatie lijkt zeer zinnig. Afwezigheid van ‘verwachte’ correlaties kunnen duiden op verkeerd opgestelde, verkeerd geijkte, of kapotte sensorsystemen i.g.v. plantomgevingsparameters. Zo blijkt uit de hierboven beschreven analyses dat de CO₂ metingen bij roos (figuur 4) behoorlijk verschillen tussen klimaatcomputer en Growlab. Dit kan duiden op verkeerd ingestelde of defecte systemen. Ook de RV metingen met de twee systemen vertonen een slechte correlatie bij roos (figuur 10). Ook hier kan slechte meetapparatuur, verkeerde opstelling etc de oorzaak zijn. De correlatie tussen buistemperatuur zoals gemeten door de Growlab en de klimaatcomputer is bij een paprikabedrijf (a) niet goed (Figuur 16). Dit kan leiden tot verkeerde regeling. Hieruit blijkt dat het evalueren van de bedrijfssystemen met behulp van fytomonitoring kan bijdragen aan een verbetering van de bedrijfsvoering.

Uit de correlatieanalyses blijkt ook dat relaties tussen parameters van bedrijf tot bedrijf, en gewas tot gewas kunnen verschillen. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuren 6 en 7. Bij paprika in bedrijf a lijkt de sapstroom gemiddeld toe te nemen met een toename van de straling, terwijl bij bedrijf b eerder een afname van de sapstroom is te zien. Mogelijk dat de bedrijven verschillende beperkende factoren ondervinden in de teelt. Nadere analyse van deze situaties kunnen een handvat bieden voor optimalisatie van de teelt. Bij roos is geen verband aanwezig tussen sapstroom en stralingsintensiteit. Ook andere parameter relaties verschillen tussen het gewas roos en paprika.

Meer geavanceerde inzet

Inzet van fytomonitoring op een **niet klassieke wijze** kan in de toekomst grote verbeteringen bieden voor de teeltsturing en controle. Aanwijzingen hiervoor komen uit de hier beschreven analyses van de meetgegevens. Uit zowel de principale componenten analyse als de variantie analyse blijkt dat met behulp van deze methoden a-typische gebeurtenissen (calamiteiten) tijdens de teelt (zowel op de schaal van een dag als op de schaal van de teelt) kunnen worden geïdentificeerd. Het kan hierbij gaan om:

- Het optreden van veranderingen in de correlaties tussen verschillende parameters.
- Het optreden van extremen in bepaalde parameters

Met name de eerste mogelijkheid (correlatie verstoringen) biedt nieuwe mogelijkheden, die voorheen niet of nauwelijks bij de teeltsturing betrokken konden worden. Het volgen van de teelt op deze wijze kan vroegtijdig ingrijpen mogelijk maken.

Verskillende automatische systemen zijn hiervoor denkbaar:

- Systemen die continu de inkomende data verwerken in een “principale componenten” analyse, en rapporteren in hoeverre de relaties afwijken van die in een voorliggende periode. Ook de reden van de afwijking kan dan worden gegeven (=welke parameters de afwijking veroorzaken). Een dergelijk systeem kan op verschillende tijdschalen werkzaam zijn bijvoorbeeld:
 - Per uur met referentie aan analyse van twee uren daarvoor.
 - Per dag met referentie naar dagen ervoor
 - Etc.
- Systemen die de analyse van de verschillende parameters toetsen aan een model dat is opgebouwd aan een data-set die in hetzelfde bedrijf is opgebouwd met behulp van het meten van vele parameters en analyses. In dit geval wordt de data analyse ieder moment getoetst aan de verwachting van de uitkomst op basis van eerder teelten.
- Systemen zoals hierboven beschreven, maar waarbij ingrepen eerst kunnen worden getoetst in een computersimulatie gebaseerd op de correlaties tussen de parameters zoals vastgesteld in eerdere analyses. Op deze wijze kunnen de effecten van ingrepen op de andere parameters eerst worden getoetst, alvorens ze in praktijk te brengen.

Uit de huidige analyses blijkt dat het nog niet duidelijk is welke fytomonitoring parameters voor dergelijke systemen noodzakelijk zijn. Het ligt echter in de rede te veronderstellen dat het die parameters moeten zijn die niet direct (fysisch) gekoppeld zijn aan de parameters die al door de klimaatcomputer worden gemeten. Daarnaast zal altijd een sterke fine-tuning van dergelijke systemen per bedrijf en gewas noodzakelijk zijn.

7. Conclusies

Uit de bovenstaande analyses en daarop volgende discussie de conclusies worden getrokken dat fytomonitoring op verschillende niveaus waardevolle bijdragen kan leveren aan verbeteringen van de teelt. Hierbij kunnen worden onderscheiden:

- Analyses van concrete bedrijfs- en/of teelt situaties voor specifieke gewassen (hieruit zijn bijvoorbeeld mogelijkheden voor teeltverbeteringen te halen, zie o.a. ons artikel in Vakblad voor de Bloemisterij).
- Gebruik in “vroegge waarschuwing” systemen (early warning systems), waarbij afwijkende teeltsituaties worden gesignaleerd.
- Gebruik in teelt-volgende systemen, waarbij ingrepen in de teelt door de teler eerst kunnen worden gesimuleerd en getoetst in een achterliggend (computer) model alvorens de maatregelen in praktijk uit te voeren.
- Gebruik als leer/ervarings gereedschap, waarbij de teler nieuwe inzichten kan verwerven over de teeltsituatie aan de hand van het gedrag van nieuwe parameters tijdens de teelt. Hierbij kan een dergelijk systeem ook grote diensten bewijzen bij kennisoverdracht binnen een bedrijf.

-Betere sturing gewas en bedrijfsmanagement voor een maximale gewasgroei en kwaliteit in relatie tot een zo hoog mogelijk rendement

7.1 Directe inzet fytomonitor sensoren zonder geavanceerde analyse

Inzet van fytomonitor sensoren zonder dat daarbij extra analyse mogelijkheden aan worden gekoppeld kan in een aantal gevallen direct meerwaarde op leveren voor de teler. Hierbij kunnen worden onderscheiden:

1. parameters die direct bijdragen aan teeltsturing
2. parameters die gebruikt kunnen worden ter controle van al aanwezige systemen

In de tabel hieronder is voor de verschillende sensoren aangegeven op welke wijze deze nu al een bijdrage kunnen leveren aan een beter gecontroleerde teelt.

<i>Growlab parameters</i>	<i>Inzet mogelijkheid</i>
Ir blad temperatuur	Niet zonder diepere analyse
Omgevings temperatuur	Controle kasttemperatuur
PT 1000 (buis-temp)	Geeft duidelijk betere stuur mogelijkheden in verschillende gevallen
FD meting (substraat vocht/temp/EC)	Niet zonder diepere analyse
Knop/vrucht temp (ir)	Niet zonder diepere analyse
LDTV (stengeldiameter)	Niet zonder diepere analyse
RV meter (incl. dauwpunt)	Controle RV meting klimaatcomputer
PAR (antenne opst. tegen schaduw)	Geeft meer realistisch beeld dan buitenmeting
CO ₂	Controle CO ₂ meting klimaat computer
Sapstroom	Niet zonder diepere analyse
Netto (uit)stralingsmeter	Niet zonder diepere analyse

7.2 Inzet fytomonitor sensoren in combinatie met geavanceerde analyse

Het gebruik van fytomonitor sensoren in combinatie met de parameters uit de klimaatcomputer en andere beschikbare parameters in het bedrijf in een geavanceerd analyse pakket biedt de voor de toekomst een sterke meerwaarde voor de teler. Hierbij wordt gedacht aan verschillende teelt controle niveaus:

1. Alle parameters worden gevolgd en de teler krijgt een signalering indien een parameter buiten de toegestane bandbreedte voor de situatie van dat moment terecht komt. Sturing door de teler op basis van waarschuwingssysteem.
2. Teler kan effecten van ingrepen op gedrag andere parameters toetsen met behulp van onder 1 genoemd systeem indien dit gekoppeld is aan een gegevensbestand van parameter-relaties onder verschillende omstandigheden.
3. Teelt sturing computer geeft advies over instellingen van verschillende parameters op basis van correlatie patronen tussen de parameters en een gegevensbestand van parameter-relaties voor het betreffende bedrijf.

7.3 Vervolg activiteiten

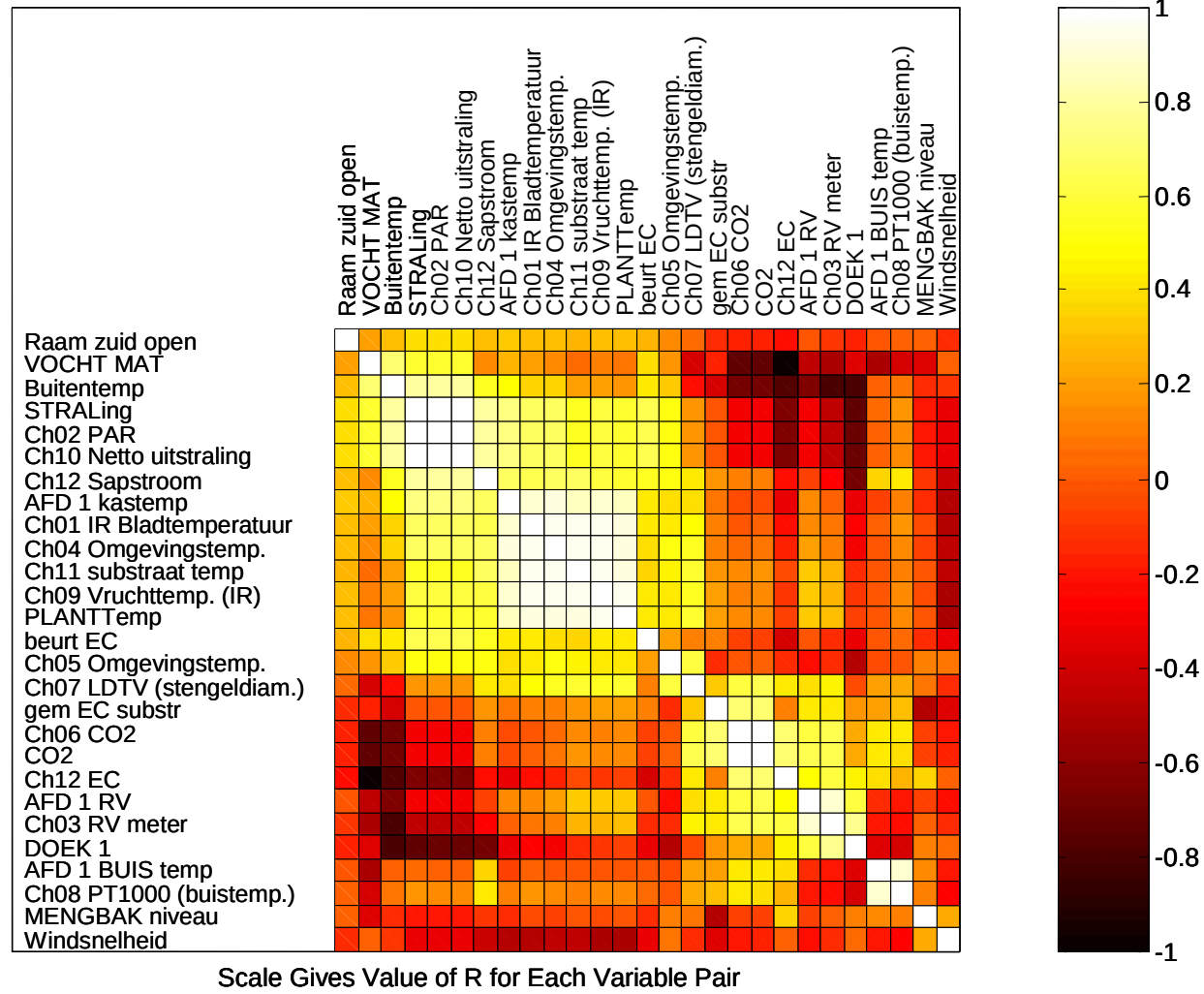
In het inmiddels lopende vervolg project “Uitbreiding en verdieping mogelijkheden, kansen en beperkingen van fytomonitoring” zal het volgende plan van aanpak worden gevolgd:

- Op 4 bedrijven, bij twee verschillende teelten (roos en paprika) zal net als in de fase van dit project, een teelt worden gevolgd (maximale monitoring met growlab apparatuur) zonder ingrijpen (geen sturing op meetgegevens). Er wordt dus in feite een “blinde” registratie van de parameters gedaan. Parameters die hierbij worden gemeten zijn grotendeels gelijk aan die van de eerdere meetsessies.
- Naast een globale analyse door plantfysiologen en teeltdeskundigen, zullen data met behulp van geavanceerde door TNO ontwikkelde data-analyse systemen worden geanalyseerd. Hierbij worden o.a. principale componenten analyses, variantie analyses, principale discriminatie analyse etc gebruikt. Deze analyses zullen zich richten op onder andere:
 - Analyses die zich richten op verschillen en overeenkomsten tussen verschillende teeltdagen bij hetzelfde gewas en dezelfde teler.
 - Analyses die zich richten op verschillen en overeenkomsten dezelfde teeltdagen bij verschillende telers.
 - Analyses die zich richten op verschillen en overeenkomsten tussen verschillende gewassen.
 - Analyses die zich specifiek richten op gebeurtenissen in de donker-periode of de licht-periode.
 - Analyses die zich richten “parameter” profielen die een “normaal” teeltverloop karakteriseren.
 - Analyses die zich richten op “incident” identificatie.
 - Analyses die zich richten op vast stelling van de minimale parameter set die noodzakelijk is voor modelering van de teelt situatie en/of teeltsturing.
- Met behulp van bovengenoemde analyse gegevens zal worden vastgesteld:
 - Welke (growlab/klimaat computer) parameters essentieel zijn voor gebruik in teelt-analyse en/of teeltsturing.
 - Met behulp van welke parameters direct verbeteringen in de teelt zijn te realiseren.
 - Met behulp van welke parameters en analyse kan een “incident” detectie systeem worden opgezet.
 - In welke vorm de parameters kunnen worden ingezet bij verbetering van de teelt-analyse en/of teeltsturing.
 - Welke stappen nog noodzakelijk zijn voordat zinvolle implementatie van dergelijke systemen tot stand kan komen.

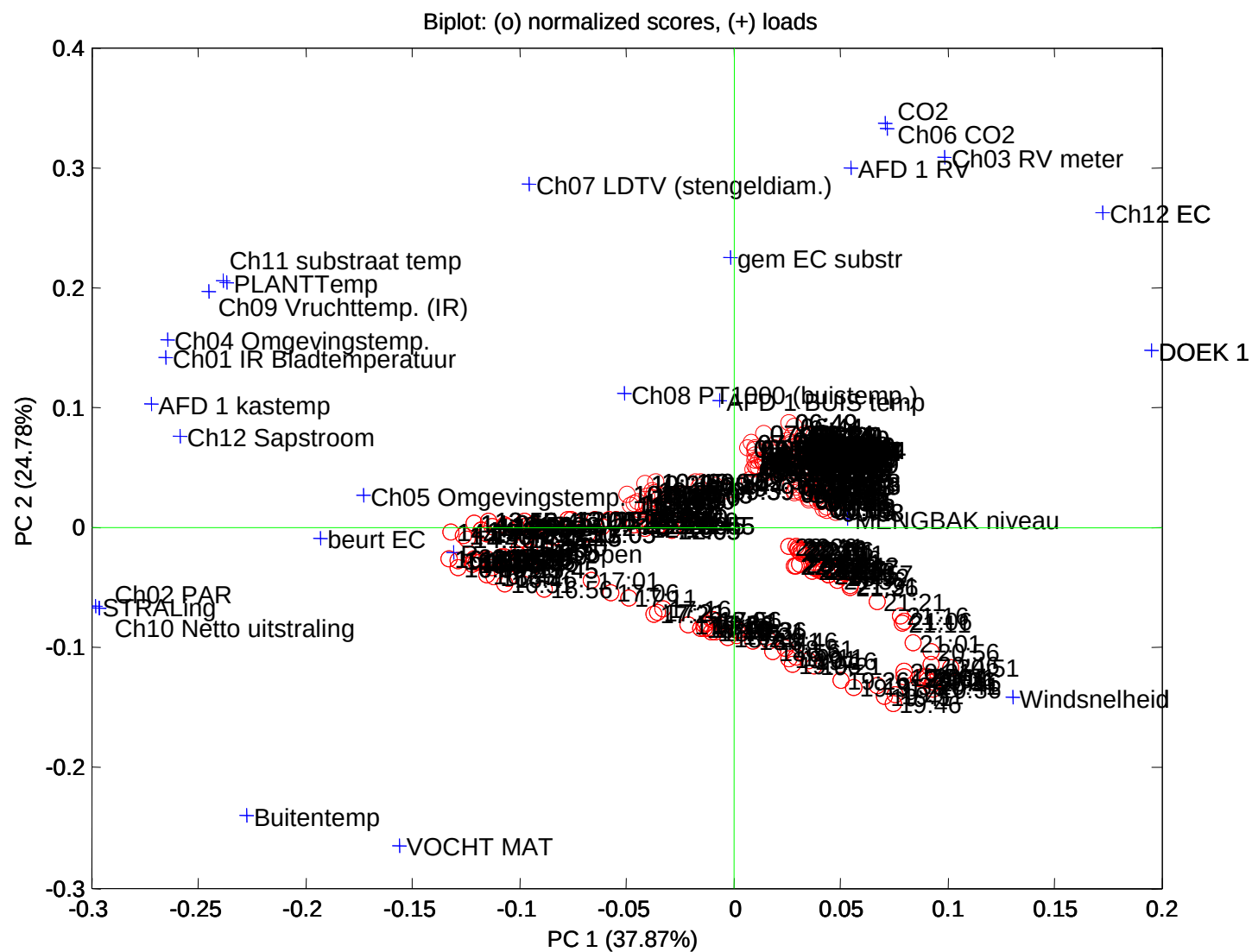
Appendix 1: Figuren op A4 formaat:

Figuur 1

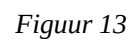
Correlation Map, Variables Regrouped by Similarity

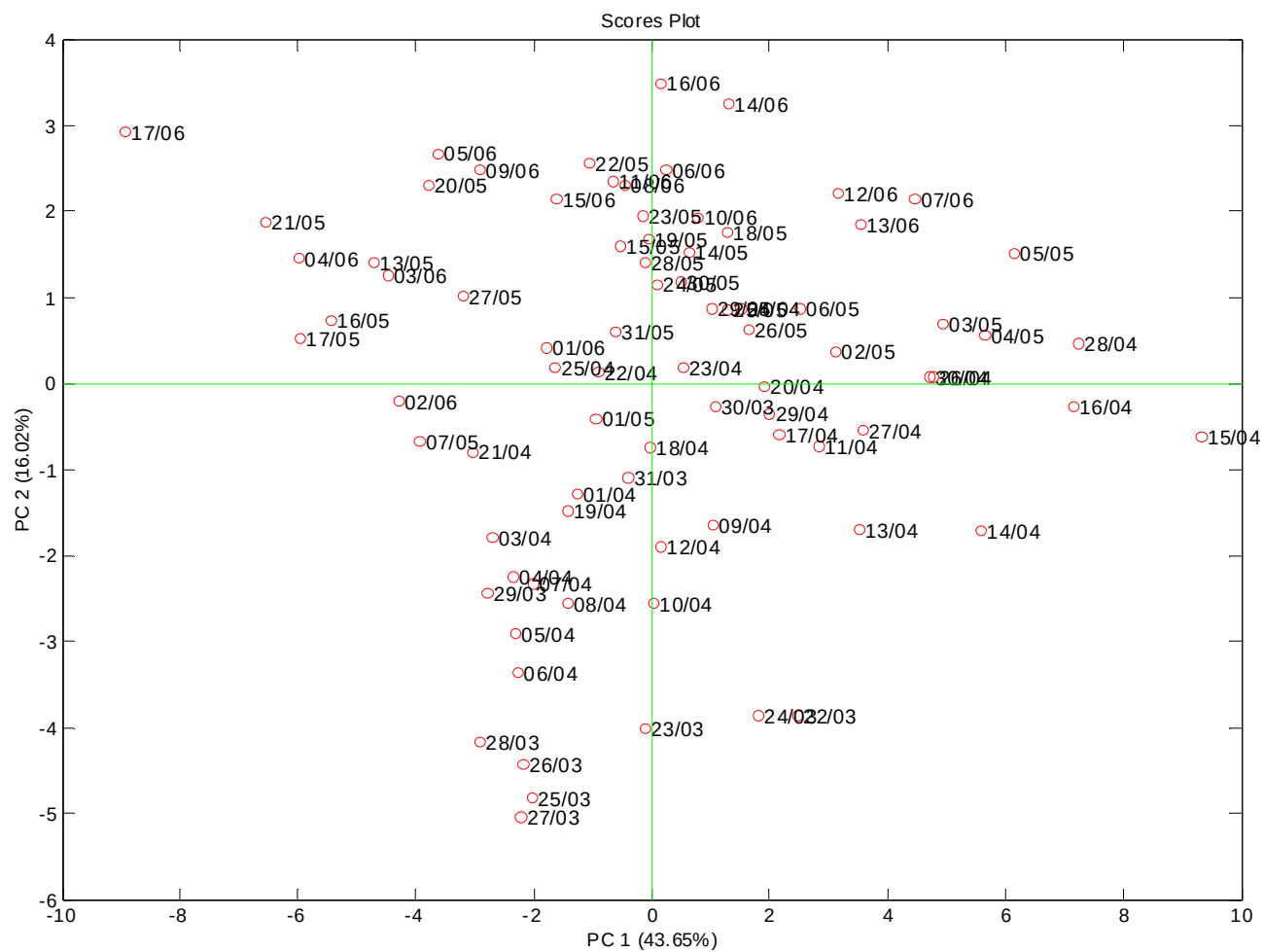




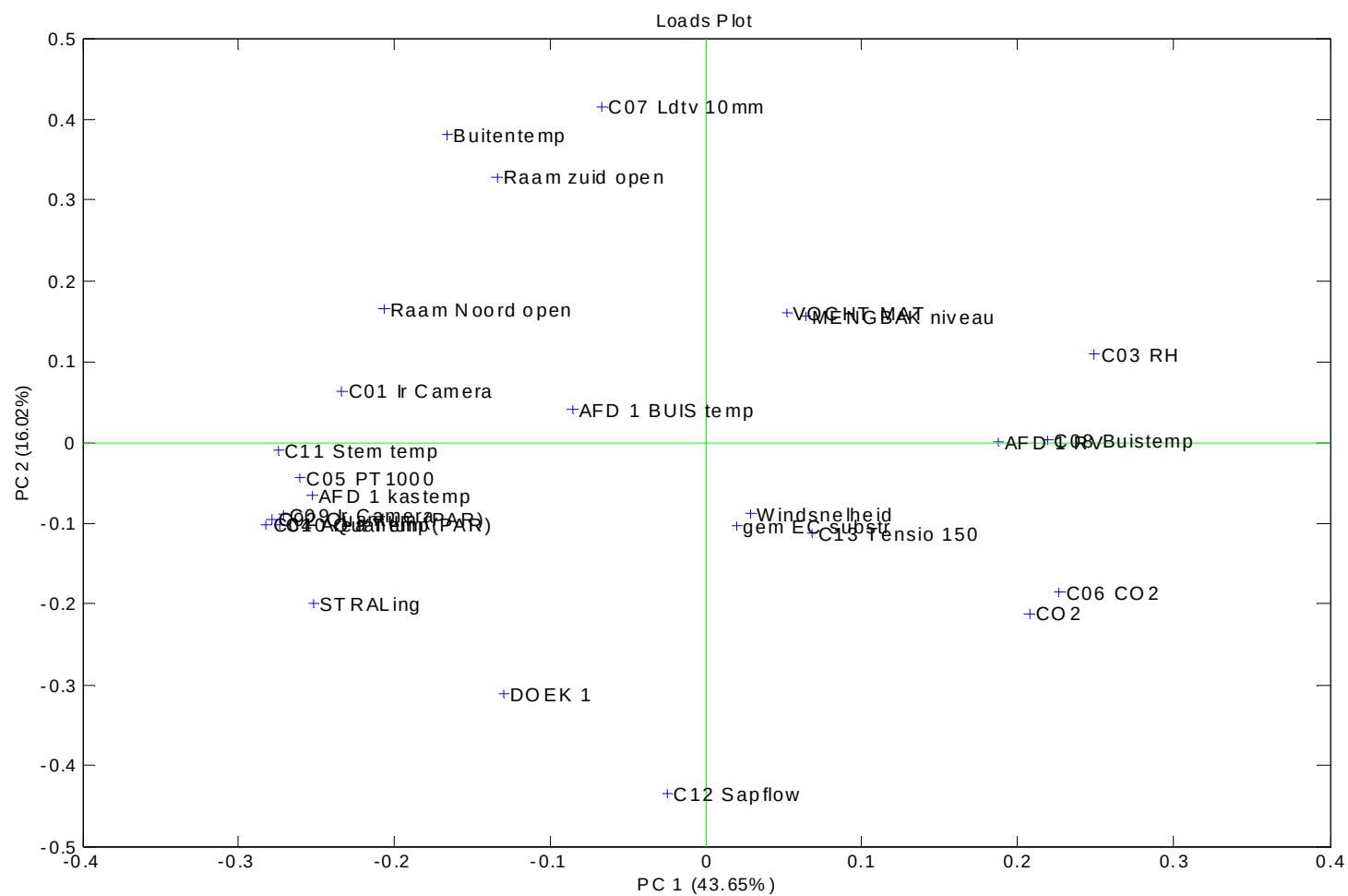


Figuur 12

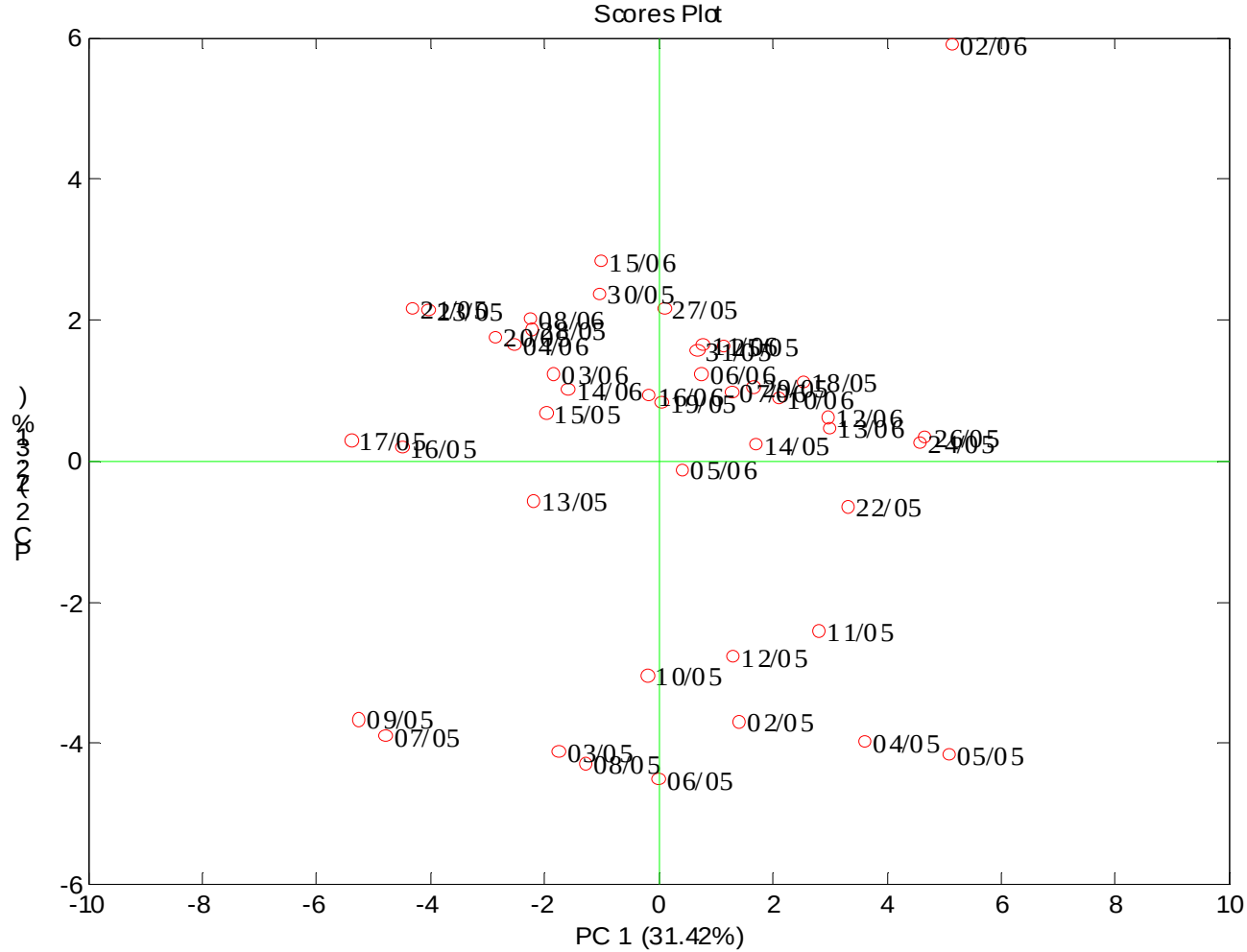




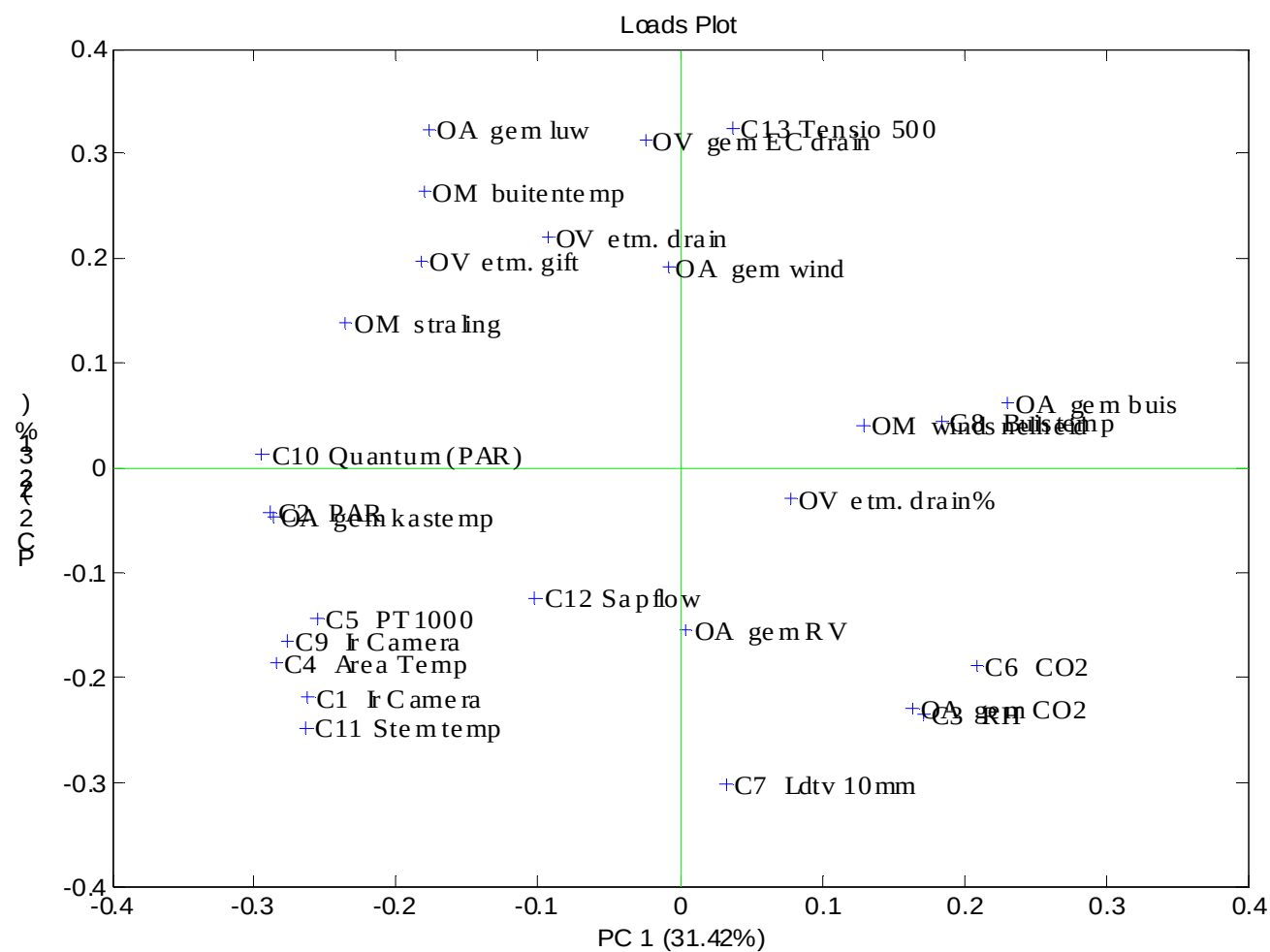
Figuur 14



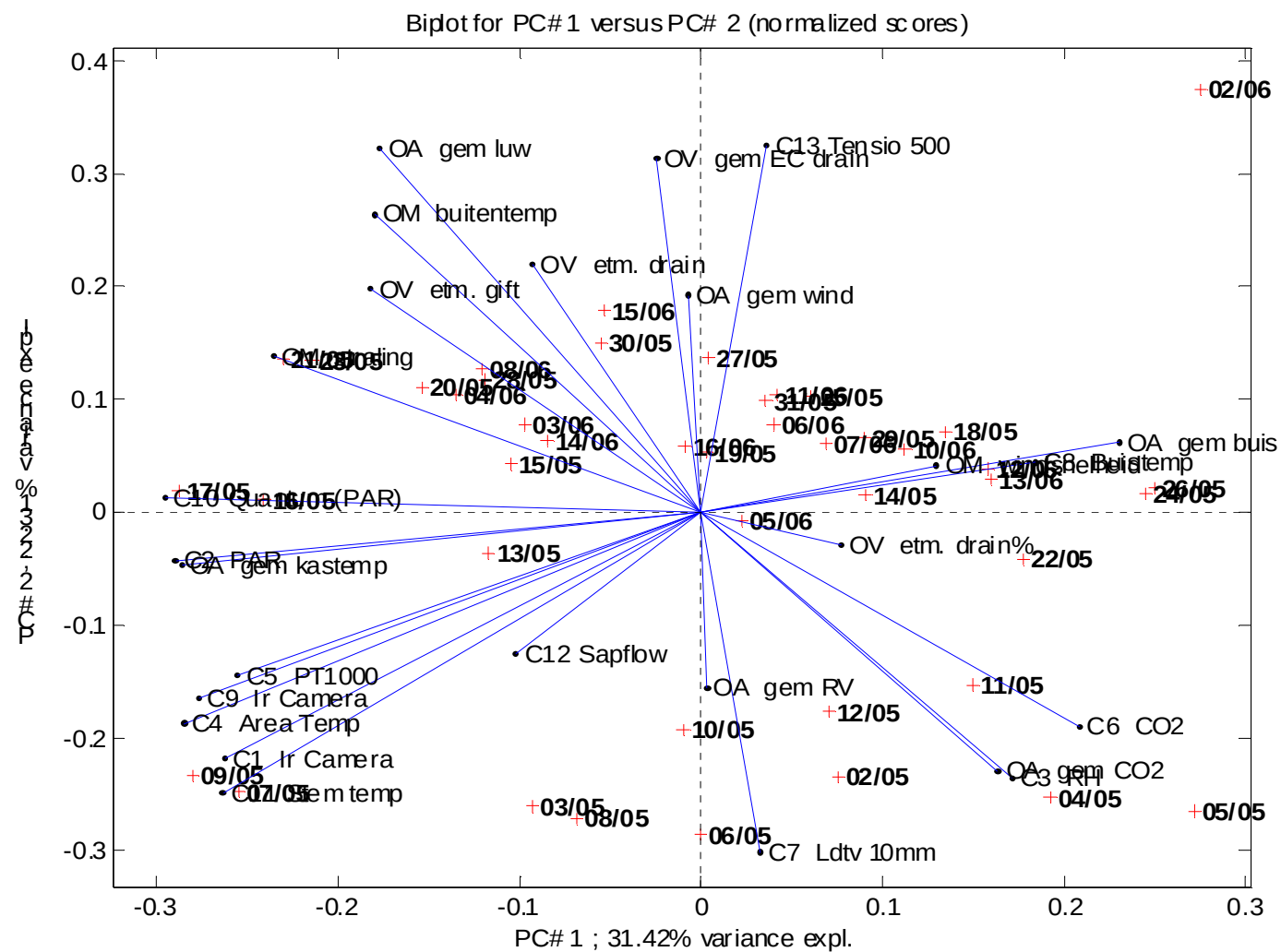
Figuur 15



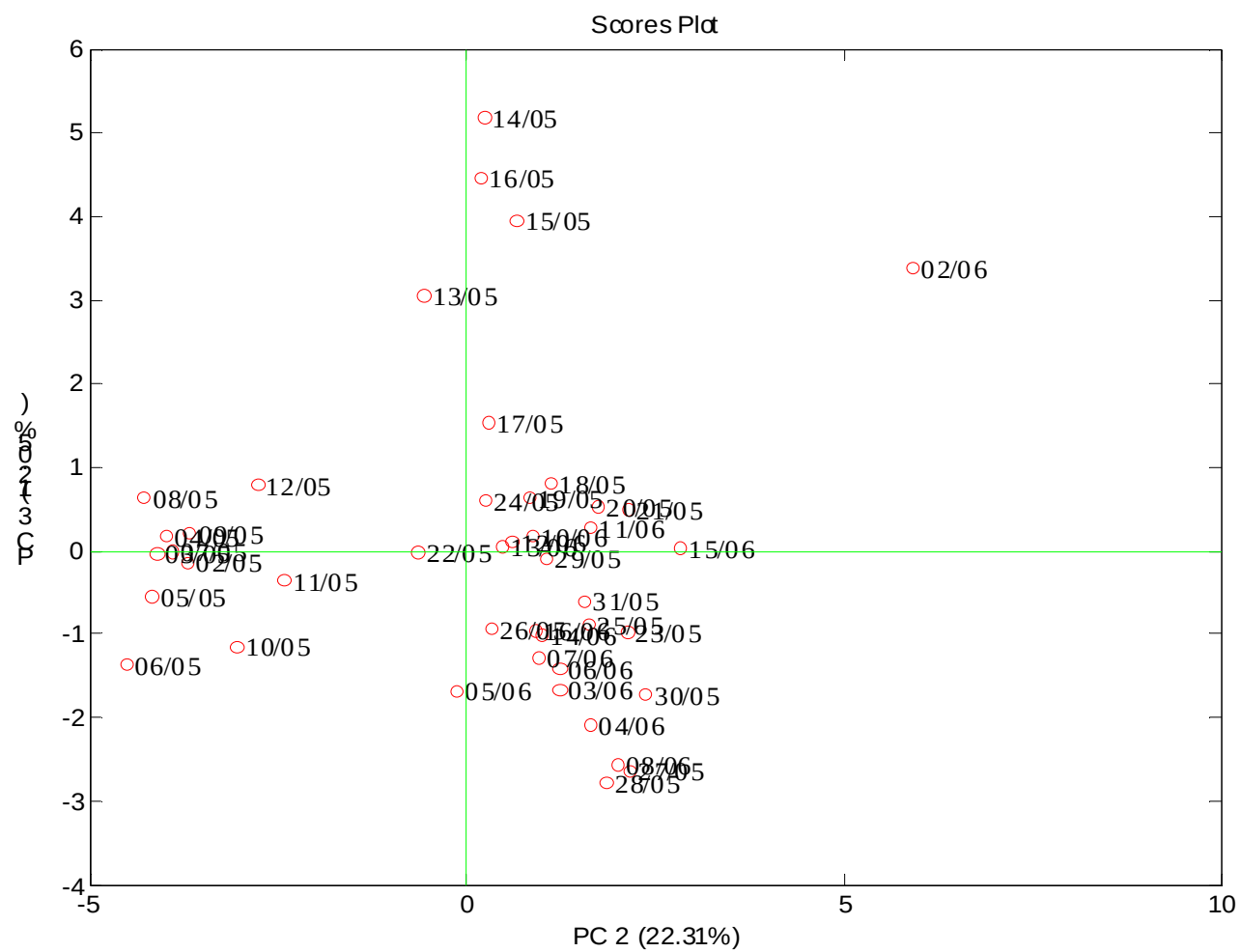
Figuur 18



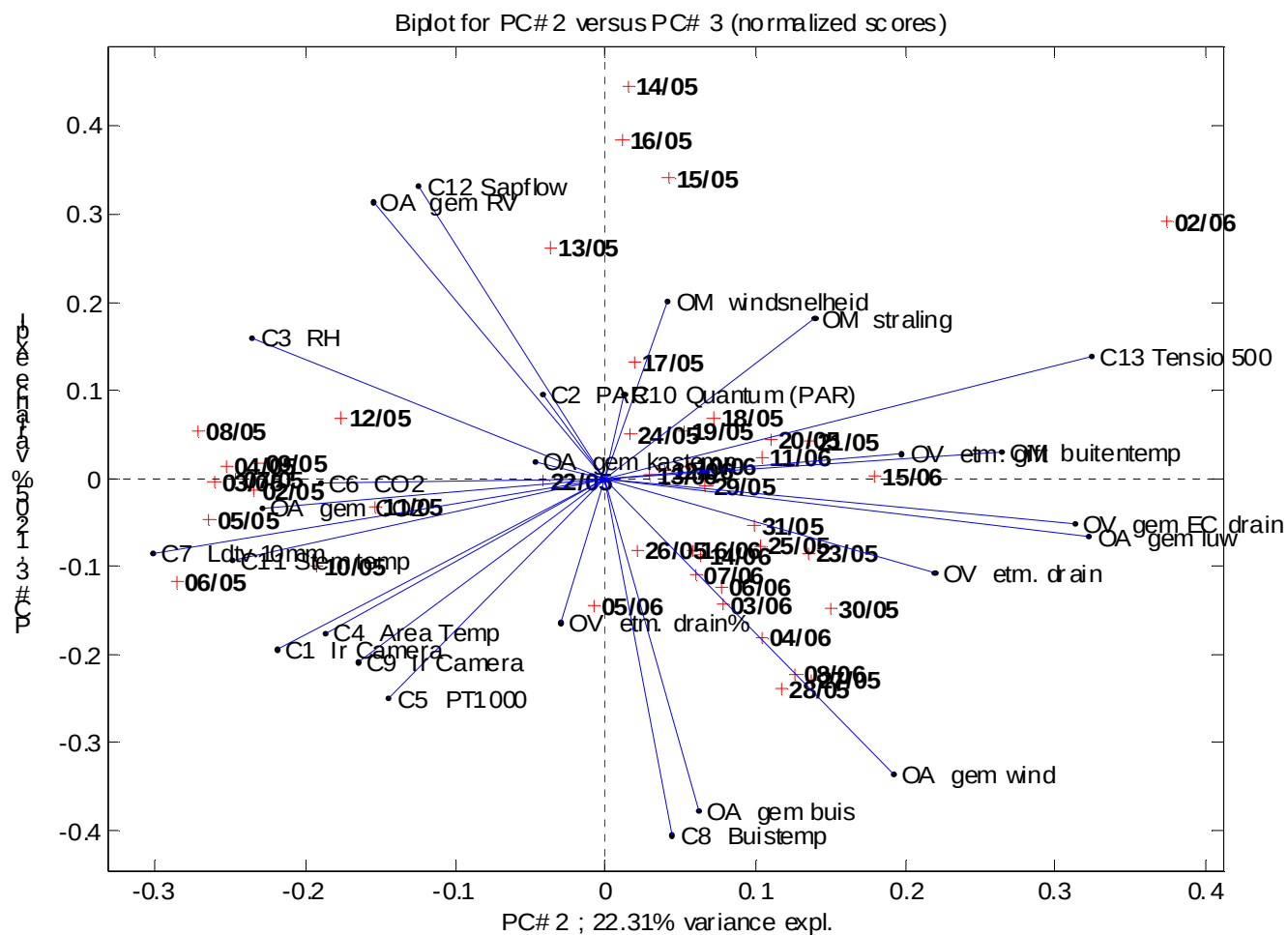
Figuur 19



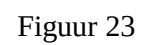
Figuur 20



Figuur 21



Figuur 22



Productieplafond Red Berlin mogelijk nog niet bereikt

Meer en meer gegevens komen vrij uit praktijksituaties met meetsystemen als de plantmonitor en phytomonitor. Het zoeken is nu naar methodes om die gegevens te kunnen gebruiken voor de klimaatregeling en de planning van de teelt. Uit een nog lopend onderzoek blijkt, dat bij een installatie met 14.000 lux het productieplafond bij Red Berlin wordt bereikt.

Door Edwin van der Knaap

Edwin van der Knaap is adviseur bij DLV Adviesgroep 06-26542406

In de praktijk loopt een onderzoek naar de integratiemogelijkheden van plantmonitor-sensoren in de bedrijfsvoering (zie ook kader 'Onderzoeksproject'). Hoe kan een teler de meetgegevens gebruiken bij het bepalen van de belichtingsstrategie of de manier waarop hij met een krijtscherm moet omgaan? Uit de grote hoeveelheid metingen die zijn verricht, zijn nu al praktische conclusies te trekken. Een belangrijk en snel toepasbaar resultaat gaat over de lichtniveaus en de lichtsom die een gewas kan benutten.

Meerproductie

Op een van de rozenbedrijven die zijn betrokken bij het onderzoek, hangen belichtingsinstallaties samen goed voor 10.000 lux. De productie is gedurende vijftien weken gemeten en na correctie voor het snee-effect blijkt die productie met iedere megajoule (MJ) PAR-lichtsom (zie kader 'PAR-licht') 10 g toe te nemen tot maximaal 1.000 g per periode per m² bij een totale lichtsom van 25 MJ per m² per week. Grotere lichtsommen geven geen meerproductie.

In de periodes 1 en 2 was de lichtsom van de assimilatiebelichting met het natuurlijke licht lager dan 25 MJ. Vanaf periode 3 was de natuurlijke straling groot genoeg om samen met de belichtingsinstallatie van 10.000 lux die 25 MJ en de circa 1.000 g per m² per periode te bereiken. In periode 5 en 6 nam ondanks het krijtscherm, de in de kas gemeten lichtsom verder toe. Desondanks bleef de productie steken bij 1.000 g per m².

Plafond bij 13 kg

De CO₂-dagwaarde bleef tijdens de meetperiodes boven 700 dpm gehandhaafd. Die hoge waarden waren onder andere mogelijk, omdat de betrokken teler deel uitmaakt van een clusterproject. Ook de andere omstandigheden als de temperatuur, de luchtvochtigheid en de voedingstoestand van het gewas waren vergelijkbaar met praktijksituaties.

De gegevens over de oogstgewichten zijn daarna vergeleken met de cijfers die een aantal andere vooraanstaande Red Berlin-kwekers hadden gerealiseerd. Binnen die groep telers, die verspreid zitten onder het klantenbestand van verschillende adviseurs van DLV Adviesgroep, bleek dat niemand structureel boven de 1.000 g per m² per periode aan veilbaar product produceerde. Geconfronteerd met deze bevindingen concludeerden de onderzoekers, dat voor Red Berlin, in het huidige teeltsysteem, 25 MJ PAR per m² per week nodig is om 1.000 g per m² per periode te produceren. Bij minder dan 25 MJ PAR per m² per week bleek de productie lineair te zijn aan het lichtniveau.

De grens van 25 MJ zal tussen cultivars vast verschillen. Het percentage geproduceerde biomassa dat niet veilbaar is, is mede bepalend voor de resultaten wanneer verschillende cultivars worden vergeleken.

Bij een cultivar als Red Berlin is een belichtingniveau van 10.000 lux dus voldoende om vanaf periode 3 de vereiste 25 MJ aan te houden. Om een vlakke productiefilm te krijgen, met een maximale productie ook in de periodes 1 en 2 is een belichtingsinstallatie van 12.000 tot 14.000 lux nodig. Hierbij is het productieplafond circa 13 kg per m² per jaar (13 periodes met 1.000 gram per periode). Die 14.000 lux zijn niet altijd nodig. Als de instraling 1.000 J per cm² per dag is, dan is tien uur aanvullend belichten met 6.000 lux in een moderne kas al voldoende.

De bevindingen met Red Berlin mogen niet regelrecht worden doorgetrokken naar andere rozencultivars. Uit de ervaringen van grote groepen telers blijkt, dat over het algemeen geldt dat belichten boven de 8.000 lux alleen rendabel is bij rode cultivars. Hogere lichtniveaus gaan gepaard met hogere kosten voor het inkopen van stroom of met problemen met de overtollige hoeveelheid warmte. Die extra kosten moeten worden goedgemaakt door extra opbrengsten en dat is in de regel makkelijker met rode cultivars.

Plafond nog hoger

Mogelijk dat telers in de toekomst beter in staat zijn het aangeboden kunstlicht en de hoeveelheid zonlicht beter op de behoefte van het gewas af te stemmen en zo het rendement nog wat naar boven bij te stellen. Wellicht dat de benutting van de hoeveelheid licht verder omhoog kan door hoogteverschillen aan te brengen in het teeltsysteem. In elk geval moeten telers streven naar een betere algehele bewaking van het teeltproces en moeten ze investeren in systemen waarbij ze in staat zijn gelijke omstandigheden aan te bieden aan alle planten in de kas.

De aanpassingen kunnen gevolgen hebben voor de infrastructuur zoals verwarmingssystemen, schermdoeken en watergeefsystemen. De klimaatregeling moet verder worden verfijnd door meer voorwaardenscheppend te regelen in plaats van als teler, op uur- of dagbasis verandering in de kasklimaat of gewasstand een actie te plegen. Met behulp van weersvoorspellingen kan de teler de etmaaltemperatuur en de belichtingsuren baseren op de te verwachte lichtsom en de gemeten lichtsom in de kas.

Het onderzoek met betrekking tot de integratiemogelijkheden van plantsensoren kan mogelijk meer of andere meetwaarden opleveren waarmee de teler beter kan ingrijpen op het regelproces.

PAR-licht

Belangrijk voor het onderzoek was het meten van de som aan PAR-licht en het effect daarvan op de teeltprestatie. PAR staat voor Photoactive Radiation. Dit is het gedeelte van de straling die een plant gebruikt voor de fotosynthese. PAR-licht ligt in het golflengtegebied tussen 400 en 700 nanometer. Het aandeel PAR uit zonlicht gemeten onder glas, kan volgens PPO Naaldwijk variëren tussen gemiddeld 46,5% in periode 5 en 54,2% in periode 13 en hangt af van de stand van de zon en de bewolgingsgraad. Bij onbewolkte omstandigheden met een felle zon is het aandeel PAR-licht lager. Ook reflectie van zonlicht op het kasdek heeft een meetbaar effect op de hoeveelheid licht die in de kas doordringt. Bij directe instraling dringt er minder zonlicht in de kas door. Tijdens bewolkt weer dringt het diffuse zonlicht door minder reflectieverliezen juist beter in de kas.

Onderzoeksproject

De gebruikswaarde van een reeks plantmonitor-sensoren wordt dit jaar onderzocht op vier bedrijven. De sensoren meten de sapstroom, de planttemperatuur en het krimpen en zwellen van stengeldelen (ldtv). In de omgeving van de plant worden de lichthoeveelheid (micromol per m² per seconde), de CO₂, de vochtspanning in de mat, de EC en de temperatuur van de mat gemeten. Gekeken wordt naar de integratiemogelijkheden van de meetwaarden in de

bedrijfsvoering van twee rozen- en twee paprikabedrijven. DLV Adviesgroep, TNO Plantenwetenschappen en Grow science b.v. voeren onderzoekproject uit. Hoewel het project nog niet is afgerond, zijn er nu toch al de eerste bevindingen met de lichtmeting in een rozenkas.

Naast voldoende licht is een goede CO₂-voorziening en een optimale verdeling van knippunten en bladverdeling van groot belang. Deze zaken krijgen in de project dan ook aandacht. Vierrijen-systemen garanderen de beste ruimte- en lichtbenutting. Het van snee telen maakt het gewas minder kwetsbaar voor teeltfouten en klimaatswisselingen. Verder wordt de lichtbenutting hier door bevorderd. Het zuurstofgehalte in de mat, dat sterk samenhangt met de mattemperatuur, is een in de praktijk onderbelicht aandachtspunt. Ook zijn er aanwijzingen dat de mineralenopname sterk negatief wordt beïnvloed door mattemperaturen boven de 28°C.

Samenvatting

In het onderzoek naar de integratiemogelijkheden van plantmonitor-sensoren is gebleken, dat er tot een lichtsom van 25 MJ een sterke relatie is met de productie. Op basis van de eerste resultaten lijkt het productieplafond bij Red Berlin op 13 kg per m² te liggen. Daarvoor is een belichtingsinstallatie van maximaal 12.000 tot 14.000 lux nodig. Het optimaliseren van de andere groeifactoren kan het plafond wellicht nog wat hoger leggen.