



Energiebesparing door 2^e scherm bij onbelichte tomaat

Monitoring bij vier tomatenafdelingen met verschillende schermconfiguraties

Marcel Raaphorst

Rapport WPR-779

Referaat

Met monitoring bij vier kasafdelingen is onderzocht of een tweede scherm een interessante investering is voor teelten met onbelichte tomaat. Naast de aanschaf van een tweede scherm blijkt het warmteverbruik in grote mate te worden bepaald de streefwaarden voor temperatuur en luchtvochtigheid. Gebleken is dat een tweede scherm 3 tot 4,5 m³/m² per jaar bespaart en het piekverbruik met 15% terugdringt. Hierdoor is het energiescherm pas interessant als het naast energiebesparing ook teeltvoordelen biedt.

Abstract

The question whether a second screen is an interesting investment for tomato crops without supplemental lighting, is examined by monitoring four greenhouse departments. In addition to the purchase of a second screen, the heat use turns out to be mainly influenced by the settings for temperature and humidity. It has been found that a second screen saved 3 to 4.5 m³/m² per year and reduced the peak consumption of heat by 15%. This makes the second energy screen only interesting if it also gives advantages to the cultivation.

Rapportgegevens

Rapport WPR-779

Projectnummer: 3742157313

DOI nummer: 1018174/452684

Thema: Energie en Klimaat

Disclaimer

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Doelstelling	7
	1.2 Methode	7
	1.3 Kenmerkende verschillen tussen de afdelingen	7
	1.4 Leeswijzer van de figuren met 15-minutenwaarden	8
2	Kasklimaat	11
	2.1 Schermgebruik	11
	2.2 Kasttemperatuur	14
	2.2.1 Generatieve sturing	17
	2.2.2 Lichtafhankelijke temperatuursverhoging	17
	2.2.3 Temperatuurverschil boven en onder het scherm	19
	2.3 Planttemperatuur	20
	2.4 Luchtvochtigheid	20
	2.5 Raamstand	23
	2.6 Licht	25
	2.7 CO ₂	25
	2.8 Warmtegebruik	27
	2.8.1 Invloed van schermgebruik op verwarming	28
	2.8.2 Berekening k-Waarde	30
3	Rendement tweede scherm	33
4	Horizontale temperatuurverdeling	35
5	Conclusies en discussie	37
	5.1 Conclusies	37
	5.2 Discussie en leerpunten	37

Samenvatting

Het kasklimaat van vier afdelingen met onbelichte tomaat is gedurende een teeltseizoen gemonitord bij 3 verschillende tuinders. Met deze monitoring is onderzocht of een tweede scherm een interessante investering is voor teelten met onbelichte tomaat. De meest onderscheidende kenmerken van de vier afdelingen zijn weergegeven in Tabel a.

Tabel a

Schermtypen en tomatenras bij de vier gemonitorde afdelingen.

Afdeling:	Steegh1	Steegh3	VereijkenS1	Theeuwen5
Scherm 1	XLS17	Luxous	Luxous	SLS10 Ultra
Scherm 2	Luxous	Luxous	Geen	Luxous 1347 FR H2NO
Ras	Forticia	Forticia	Campari	Brioso

De bedrijven hanteerden verschillende scherminstellingen. Bij Theeuwen wordt het scherm ingezet op basis van de warmtevraag, terwijl Steegh en Vereijken het scherm vooral op de buitentemperatuur regelen, waarbij Steegh ook rekening houdt met de luchtvochtigheid. Overdag wordt bij alle bedrijven het scherm op basis van de globale straling langer open gehouden.

Uit de monitoring is gebleken dat een tweede scherm 3 tot 4,5 m³/m² per jaar, ofwel 9-14% bespaart op het warmtegebruik, afhankelijk van het aantal schermuren dat wordt gehanteerd. Het aantal schermuren van het tweede scherm varieerde van 1100 tot 1700, waarvan 100 tot 1000 uren volledig gesloten.

De afdelingen met een tweede scherm hebben 15 W/m² minder verbruikt tijdens het koudste etmaal, waardoor een 17 m³/ha.uur lagere gascapaciteit zou kunnen worden gecontracteerd. De k-waarde lag bij twee gesloten schermen 26 tot 38% lager dan bij één gesloten scherm. Verder is een analyse gemaakt van het verschil tussen de temperaturen boven en onder de schermdoeken. Hieruit blijkt de grote invloed van de schermstand op dit verschil.

Omdat de schermen overdag alleen bij lage lichtintensiteit zijn gebruikt hebben ze op jaarbasis slechts 0.6 tot 1.3% van het licht weggenomen. Tussen 5 december 2016 tot 21 januari 2017 betrof dit lichtverlies nog wel ±10% van het totale daglicht. Dit berekende lichtverlies is exclusief het licht dat de scherminstallatie in geopende toestand tegenhoudt.

Naast de analyse van het schermgebruik is gebleken dat de manier waarop met het kasklimaat wordt beheerst een nog grotere invloed heeft op het energieverbruik:

- Steegh heeft met name in de winterperiode een 1°C hogere etmaaltemperatuur dan de andere afdelingen. Theeuwen hanteert de hoogste DIF.
- Theeuwen werkt 's nachts met een vaste minimum raamstand van 3-5%, terwijl Vereijken en Steegh de luchtramen 's nachts minder frequent, maar wel verder openen. Hoewel de CO₂-meting bij de bedrijven niet erg betrouwbaar was, wijst het verloop van de concentratie over het etmaal erop dat Theeuwen de CO₂-concentratie 's zomers overdag 100-200 ppm hoger heeft kunnen houden. Dit heeft hij gerealiseerd door 's zomers overdag de raamstand te beperken en 's nachts meer te ventileren. De etmaaltemperatuur werd hiermee een 1°C hoger dan bij de andere afdelingen.
- De afdeling van Vereijken, die slechts een schermdoek heeft, gebruikt ongeveer 8 m³/m² meer aardgas dan de andere drie afdelingen. Dit verschil is meer veroorzaakt door het nastreven van een droger klimaat dan door het ontbreken van een tweede scherm.

Verder zijn bij de analyse een aantal relaties tussen klimaatfactoren gevonden die bij alle bedrijven optreden:

- De planttemperatuur is zowel bij Vereijken als Theeuwen 's morgens hoger en 's middags lager dan de kasttemperatuur.
- Alle bedrijven streven tot half mei naar een etmaaltemperatuur die hoger wordt naarmate er meer zonlicht is. In de zomer wordt gestreefd naar een zo laag mogelijke etmaaltemperatuur.
- Het VD is 's nachts in grote mate recht evenredig met het warmtegebruik.

Bij Theeuwen is in het voorjaar de horizontale temperatuurverdeling gemeten over de lengte van een pad. De verschillen zijn vergeleken met de klimaatinstellingen. Hierbij is geen betrouwbaar verband aangetoond tussen het gebruik van schermkieren en het ontstaan van koude plekken. De temperatuurverschillen in de kas van Theeuwen zijn wel structureel. In de buurt van het nokschot komt bij (gedeeltelijk) gesloten schermen koude lucht naar beneden, die waarschijnlijk met een nog lagere temperatuur bij de gevel binnen zou vallen als er geen nokschot was geweest.

Geconcludeerd wordt, dat de energiebesparing van het tweede scherm net niet voldoende is om de investering terug te verdienen (bij gelijkblijvende productie), en zeker niet als wordt aangenomen dat de schaduwwerking van de installatie leidt tot 2% productieverlies. De flexibele inzet van het tweede scherm en een homogeen en minder schraal kasklimaat in de winter zijn dan belangrijker argumenten dan de energiebesparing, om te investeren in een tweede scherm.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw, in het kader van het monitoringsproject dat gefinancierd wordt door Kas als Energiebron.

1 Inleiding

Schermdoeken zijn in de glastuinbouw een veelgebruikt middel om de kas te isoleren en daarmee te besparen op het warmtegebruik. Het overgrote deel van de Nederlandse glastuinbouw heeft dan ook een of meerdere schermen op het bedrijf geïnstalleerd. Een aantal niet-belichtende tomatentelers, waaronder tomatenkwekerij Theeuwen te Wellerlooi, heeft in 2016 ook geïnvesteerd in een tweede scherminstallatie. Theeuwen heeft ervaring met een vast folie dat tot maart geïnstalleerd is. Nadelen hiervan zijn, dat eventuele sneeuw moeilijk van het dek te stoken is en dat van maart tot mei geen warmte meer kan worden bespaard. Ook geeft een beweegbaar scherm volgens Theeuwen meer rust in de bedrijfsvoering dan een vast folie. Er hoeft immers niet meer te worden afgewogen wanneer het vaste folie moet worden verwijderd.

Om te bepalen wanneer een tweede scherm een rendabele investering is, wordt het schermgebruik, het kasklimaat en het energiegebruik van afdeling 5 bij Theeuwen gevolgd en vergeleken met drie afdelingen van twee andere bedrijven. Dit zijn afdeling 1 en 3 van kwekerij de Grenspaal (Steegh) en afdeling 1 van Someren 1 van Vereijken Kwekerijen (VereijkenS1). Hierbij heeft Steegh in beide afdelingen ook een dubbel schermdoek, waarvan afdeling 1 is voorzien van een installatie om buitenlucht in te blazen met warmteterugwinning. Someren1 heeft 1 schermdoek (zie Tabel 1). Bij Vereijken wordt een dubbel scherm wel op een ander bedrijf uitgevoerd in combinatie met ingeblazen lucht. Het bedrijf van Someren1 is volgens Vereijken te laag en te oud om rendabel in een extra scherm te investeren.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw, in het kader van het monitoringsproject dat gefinancierd wordt door Kas als Energiebron.

1.1 Doelstelling

Door het schermgebruik en het energieverbruik bij verschillende tomatenbedrijven te analyseren dient te worden bepaald of de extra toepassingsmogelijkheden en de energiebesparing van een tweede scherm rendabel kunnen zijn voor een tomatenteelt. Voor Theeuwen is deze doelstelling gehaald als met het energiedoek $4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ aan aardgasequivalenten wordt bespaard.

1.2 Methode

De klimaatdata (15 minuutsgegevens) van vier afdelingen zijn gedurende een jaar verzameld. Hieruit is per 15 minuten het warmtegebruik berekend en zijn deze data middels Matlab scripts tot grafieken verwerkt. Deze grafieken zijn tussentijds vier keer met de betrokken telers besproken. Verder zijn gedurende enkele maanden ten behoeve van metingen aan de horizontale temperatuurverdeling, draadloze sensoren (WiSensys) geplaatst en tot grafieken verwerkt.

1.3 Kenmerkende verschillen tussen de afdelingen

De vier afdelingen die zijn gevolgd hebben verschillende typen schermdoeken en luchtramen, zoals weergegeven in Tabel 1. Bovendien worden verschillende tomatenrassen geteeld en kan bij een afdeling buitenlucht worden ingeblazen. Deze factoren kunnen van invloed zijn op de klimaatinstellingen en het warmtegebruik. Zoals uit de tabel blijkt, zijn alle schermdoeken transparant, op het XLS17 doek van Steegh1 na.

Tabel 1

Onderscheidende kenmerken van de vier gemonitorde afdelingen.

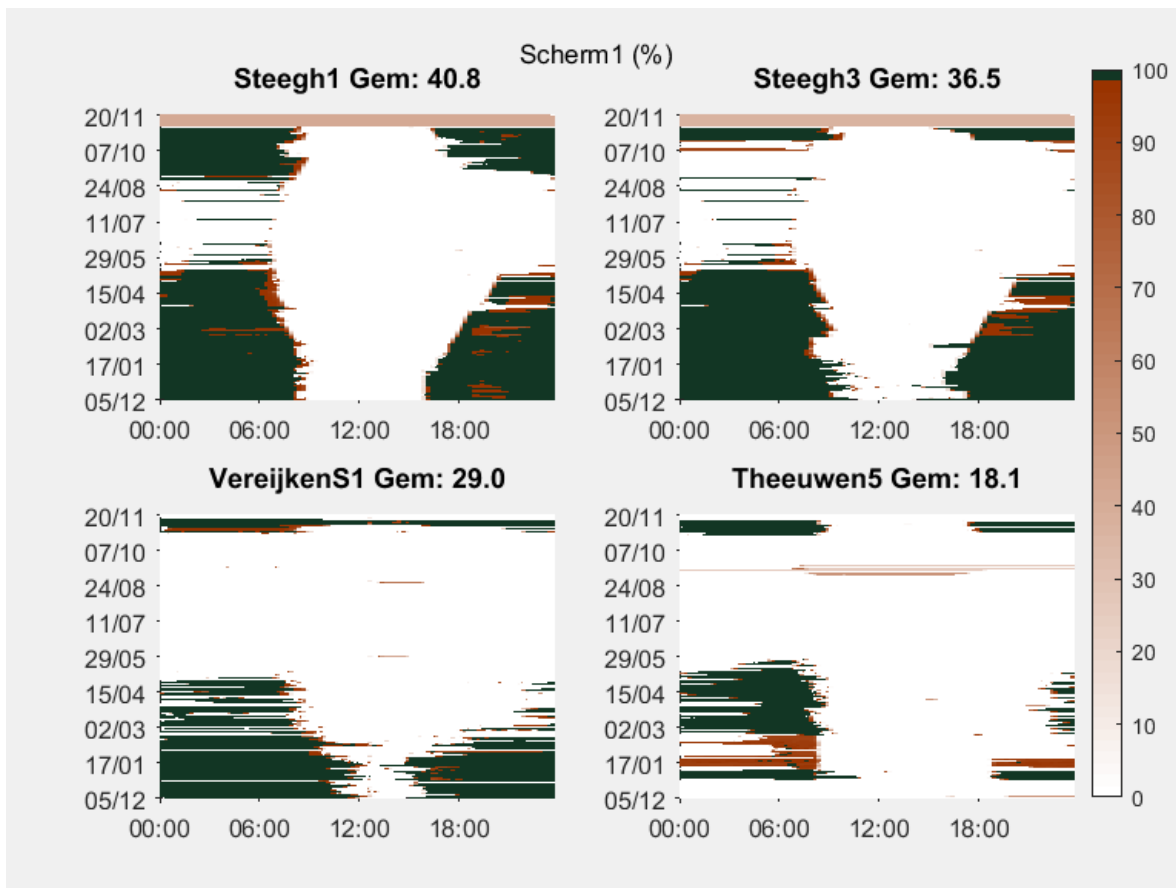
Afdeling:	Steegh1	Steegh3	VereijkenS1	Theeuwen5
Scherf 1	XLS17	Luxous	Luxous	SLS10 Ultra
Scherf 2	Luxous	Luxous	Geen	Luxous 1347 FR H2NO
Luchtinblaas	Ja	Nee	Nee	Nee
Ras	Forticia	Forticia	Campari	Brioso
Luchtramen	Enkel verlengd	Enkel verlengd	Dubbel	Enkel verlengd

Theeuwen heeft in de eerste maand van de teelt het nieuwe doek (Luxous 1347) als primaire scherm gebruikt. Daarna gaf hij er de voorkeur om het oude schermdoek (SLS10 Ultra) als primaire scherm in te zetten. Dit heeft twee redenen:

1. Het oude scherm is poreuzer. Doordat dit meer vocht doorlaat, hoeft minder vaak een schermkier in het eerste scherm te worden getrokken.
2. Het oude scherm ligt boven en sluit daardoor beter aan tegen de nokschotten.

1.4 Leeswijzer van de figuren met 15-minutenwaarden

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van overzichten met 15-minutenwaarden. Bijvoorbeeld in Figuur 1 is weergegeven op welke momenten van de dag en van het teeltjaar de schermen zijn gesloten. Deze periode duurt van 5 december 2016 tot 20 november 2017, welke op de Y-assen van onder naar boven is uitgezet. Ieder uur van het etmaal is op de X-assen van links naar rechts uitgezet. De figuur bevat een titel (Scherf 1) en de eenheid (%) waarin de schermstand is weergegeven. Hieronder staan vier subfiguren met daarboven de namen van de afdelingen, en de gemiddelde schermstand over de gehele periode. Zo is de gemiddelde schermstand van scherm 1 bij Theeuwen5 18,1% en bij Steegh1 40,8%. Aan de rechterkant staat een kleurenkolom met daarin de betekenis van de kleuren in de figuren. Zo staat donkergroen voor een 100% gesloten doek en wit voor een schermstand van 0%. Aan de bruine tint is te zien of er gebruik is gemaakt van een schermkier. Bij de twee afdelingen van Steegh zijn de laatste 15 dagen lichtbruin. In deze periode vond bij Steegh een vervroegde teeltwisseling plaats. Omdat tijdens een teeltwisselingsperiode geen representatieve data kunnen worden verkregen is deze opgevuld met de gemiddelde waarden gedurende de teeltperiode van Steegh.



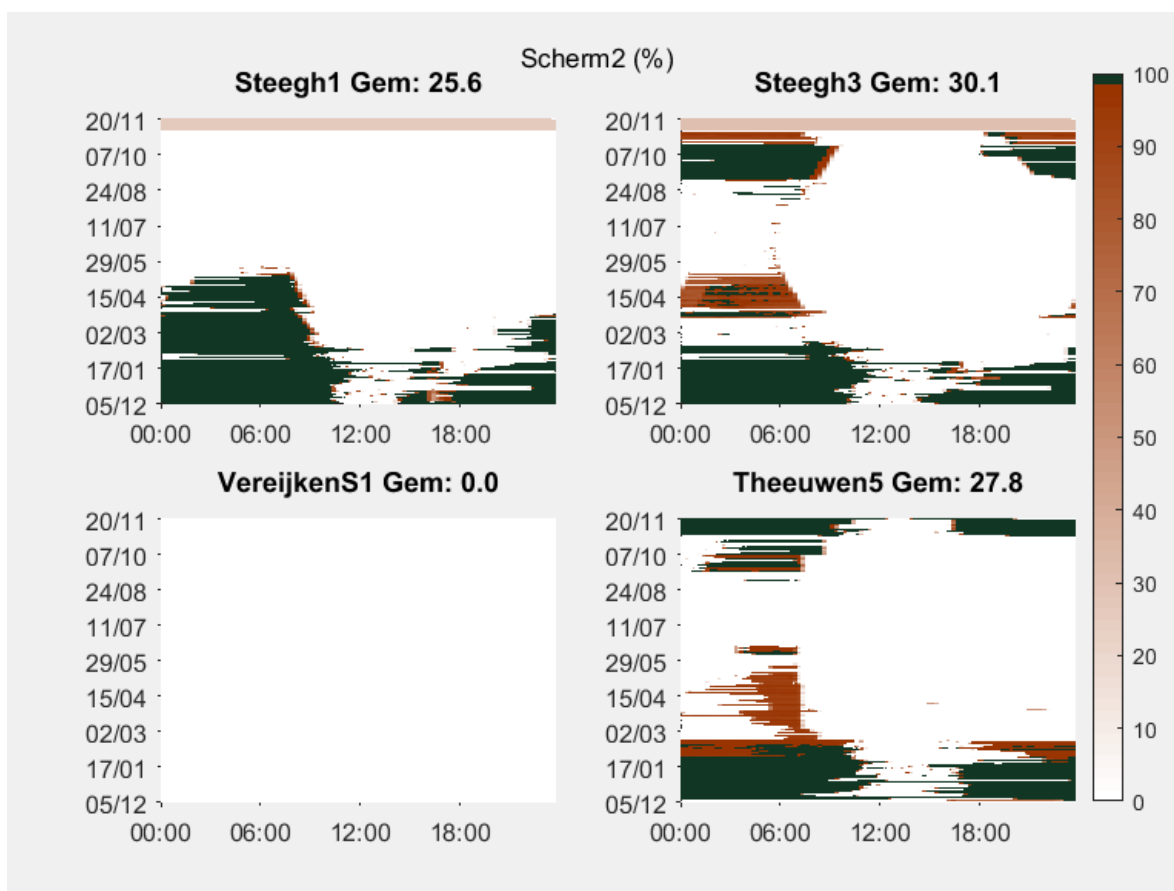
Figuur 1 15-minuutswaarden van de schermstand van scherm 1.

2 Kasklimaat

In dit hoofdstuk worden de verschillen in schermgebruik per afdeling weergegeven en de invloed daarvan op het kasklimaat en het warmtegebruik.

2.1 Schermgebruik

Scherf 1 (Figuur 1) en scherm 2 (Figuur 2) zijn bij de vier afdelingen op verschillende momenten ingezet. Scherm 1 van Steegh1 is gealuminiseerd, en omdat dat veel licht wegneemt, wordt deze alleen 's nachts ingezet. 's Nachts maakt Steegh het meeste gebruik van de schermen. In het najaar wordt het tweede scherm door Steegh3 vrijwel de gehele nacht ingezet (al of niet met schermkier), terwijl dat bij Theeuwen alleen in de nanacht gebeurt. Bij Theeuwen is scherm 2 gebruikt als primaire scherm en daardoor meer uren ingezet dan scherm 1.



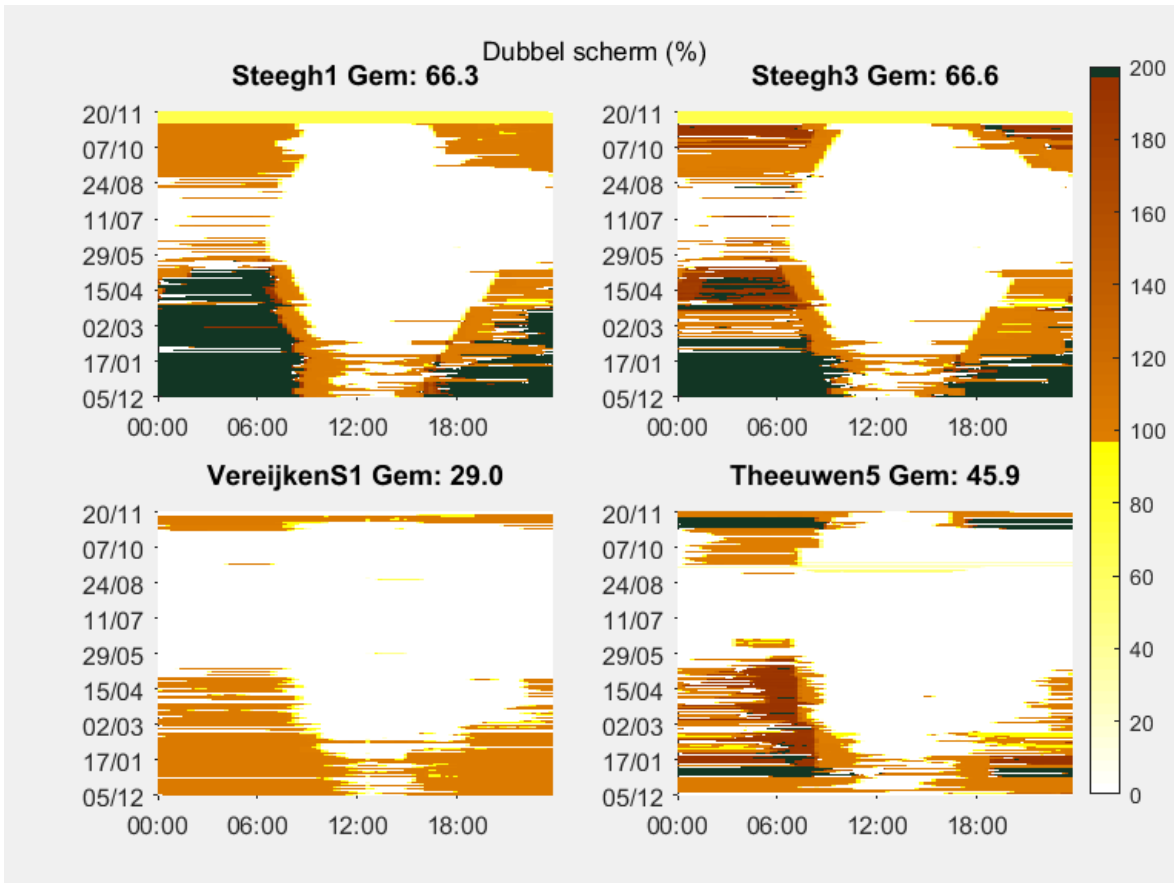
Figuur 2 15-minuutswaarden van de schermstand van scherm 2.

Een overall grafiek van beide schermen is weergegeven in Figuur 3 en een jaarbelastingduurkromme is te zien in Figuur 4. Ook daaruit blijkt dat Steegh zijn schermen vaker inzet dan Theeuwen. Zelfs bij Steegh3, waarin net als bij Theeuwen geen buitenlucht inblazende installatie aanwezig is, wordt 45% meer geschermd dan bij Theeuwen5. Bij Steegh 1 en 3 zijn beide schermen gedurende 1700 respectievelijk 1600 uren tegelijkertijd gebruikt, waarvan bijna 1100 uren 100% gesloten (hierbij zijn de laatste 16 dagen meegerekend alsof de schermen dan continu op 67% hebben gestaan). Bij Theeuwen zijn beide schermen gedurende 1100 uur tegelijkertijd gebruikt, waarvan 190 uren beide 100% gesloten. Hiermee kan worden gesteld dat het tweede (nieuwe) scherm bij Theeuwen niet veel is gebruikt. Een van de redenen hiervoor is dat Briosio gevoelig is voor scheuren. Een hoge luchtvochtigheid is een van de factoren die het risico op scheuren vergroot¹.

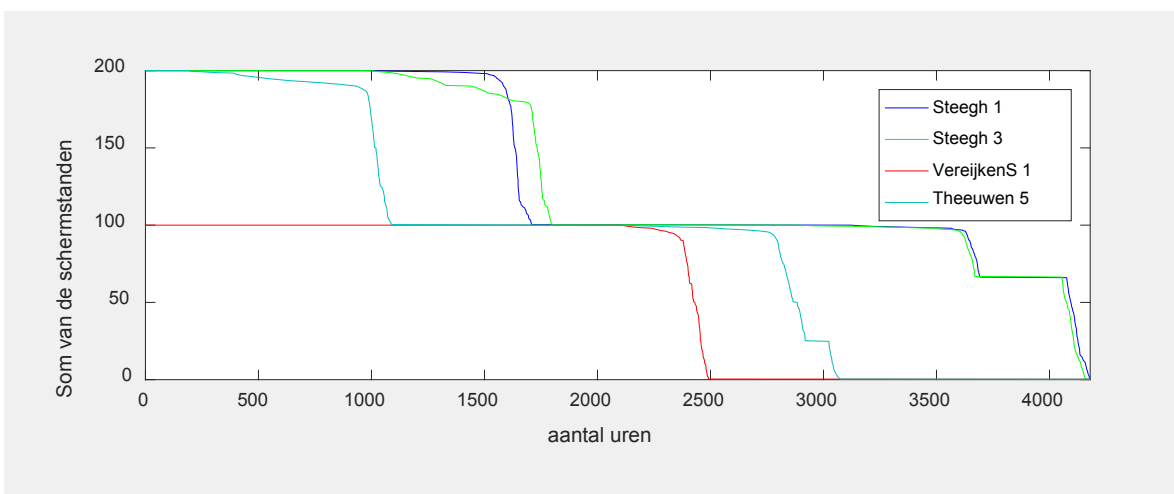
¹ Notitie van Buitelaar en Janse (1995), gepubliceerd in Raaphorst, M. (2005): *Optimale teelt in de gesloten kas : teeltkundig verslag van de gesloten kas bij Themato in 2004*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Glastuinbouw. Naaldwijk.

Tijdens de zomerperiode zijn de schermen door Theeuwen en Vereijken niet gebruikt omdat dan gestreefd wordt naar een lage etmaaltemperatuur. Een te hoge etmaaltemperatuur leidt tot een te zwak gewas. Bij Steegh is dat minder het geval omdat het ras Forticia beter gedijt bij een hogere temperatuur. Ondanks het streven naar een lage etmaaltemperatuur in de zomer, wordt de verwarming 's ochtends nog wel gebruikt (zie paragraaf 2.8). Dit wordt vooral gedaan om het gewas 'actief te maken' en om een te snelle temperatuurstijging door instraling met risico op natslag van de vruchten te voorkomen.

Vereijken gebruikt zijn enige scherm minder vaak dan dat Theeuwen en Steegh een scherm gebruiken.

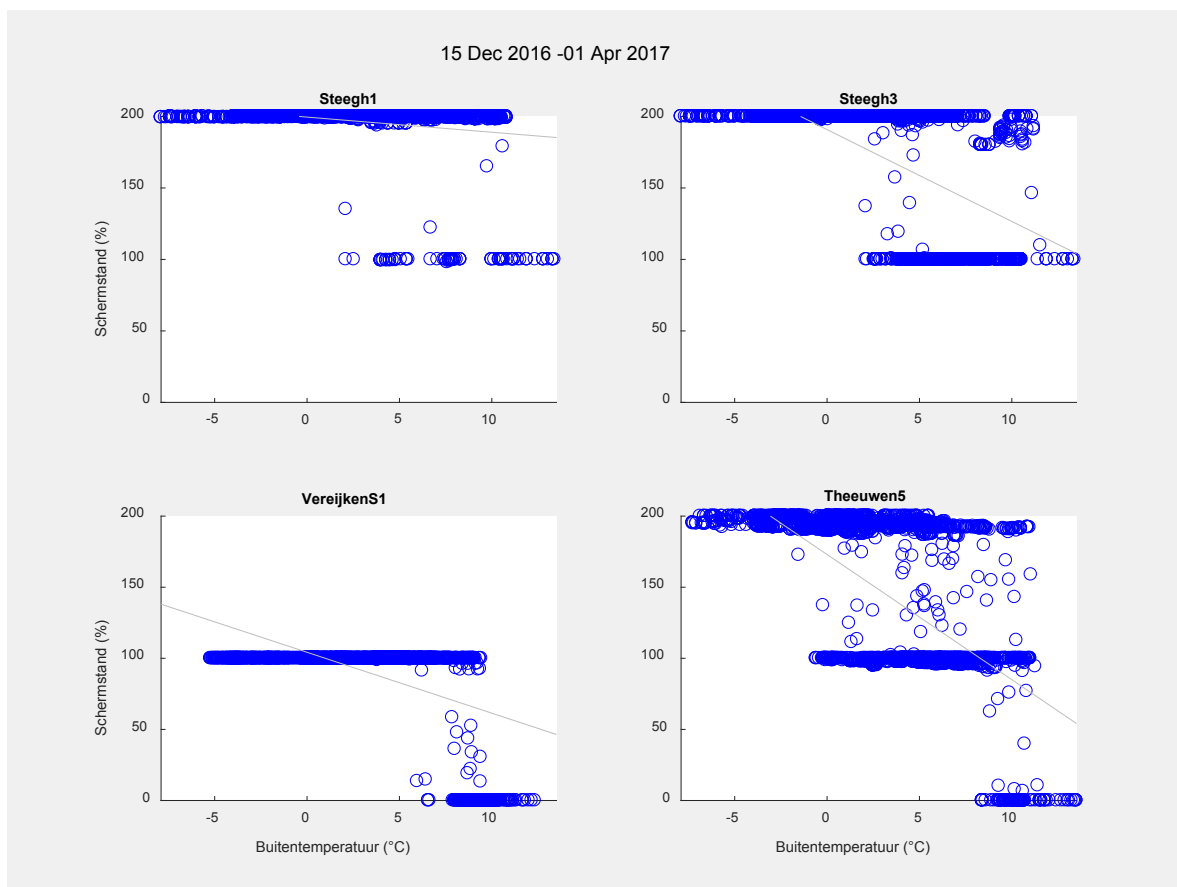


Figuur 3 15-minuutswaarden van de som van alle schermstanden.



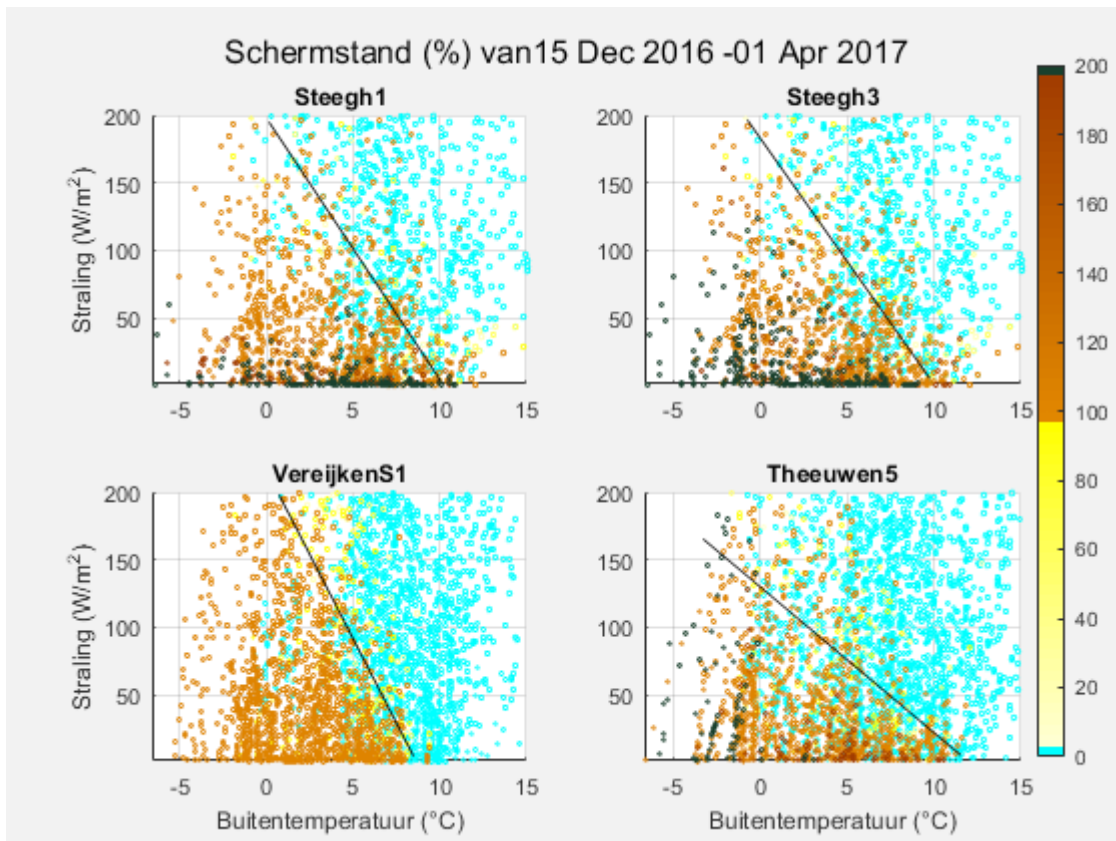
Figuur 4 Jaarbelastingduurkromme van het schermgebruik van 5 december 2016 tot 21 november 2017.

Doordat de scherminstellingen sterk afhankelijk zijn van de gewastoestand en het tijdstip van de nacht, is met name bij Steegh en Theeuwen geen duidelijk verband gevonden tussen de buitentemperatuur en de schermstand gedurende de nacht. Voor de uren na middernacht is dit verband iets duidelijker. Bij lage buitentemperaturen zijn de schermen vaker ingezet dan bij hoge temperaturen. Bij Vereijken ligt de temperatuurgrens tussen open en gesloten scherm dan rond 8-9°C, maar bij Steegh en Theeuwen variëren de temperatuurgrenzen gedurende het seizoen: het tweede scherm van Theeuwen wordt bij een buitentemperatuur tussen -2 en 12°C soms geopend en soms gesloten. Bij Steegh komt het 's nachts voor dat bij een buitentemperatuur van 9°C beide schermen gesloten zijn en dat bij een buitentemperatuur van 3°C slechts een scherm gesloten is. Die variatie is te zien in Figuur 5, waar de schermstand voor de 4 afdelingen is uitgezet tegen de buitentemperatuur 's nachts. De oorzaak van deze variatie bij Steegh is dat bij een hoge luchtvochtigheid is gekozen voor meer schermgebruik bij geopende luchtramen. Bij Theeuwen is het schermgebruik helemaal niet afhankelijk van de buitentemperatuur. Daar wordt geschermd op basis van de gevraagde buistemperatuur en het verschil tussen de gewenste en de gerealiseerde kasttemperatuur.



Figuur 5 Schermstand als functie van de buitentemperatuur tussen 1:00 uur en zonsopkomst van 15 december tot 1 april.

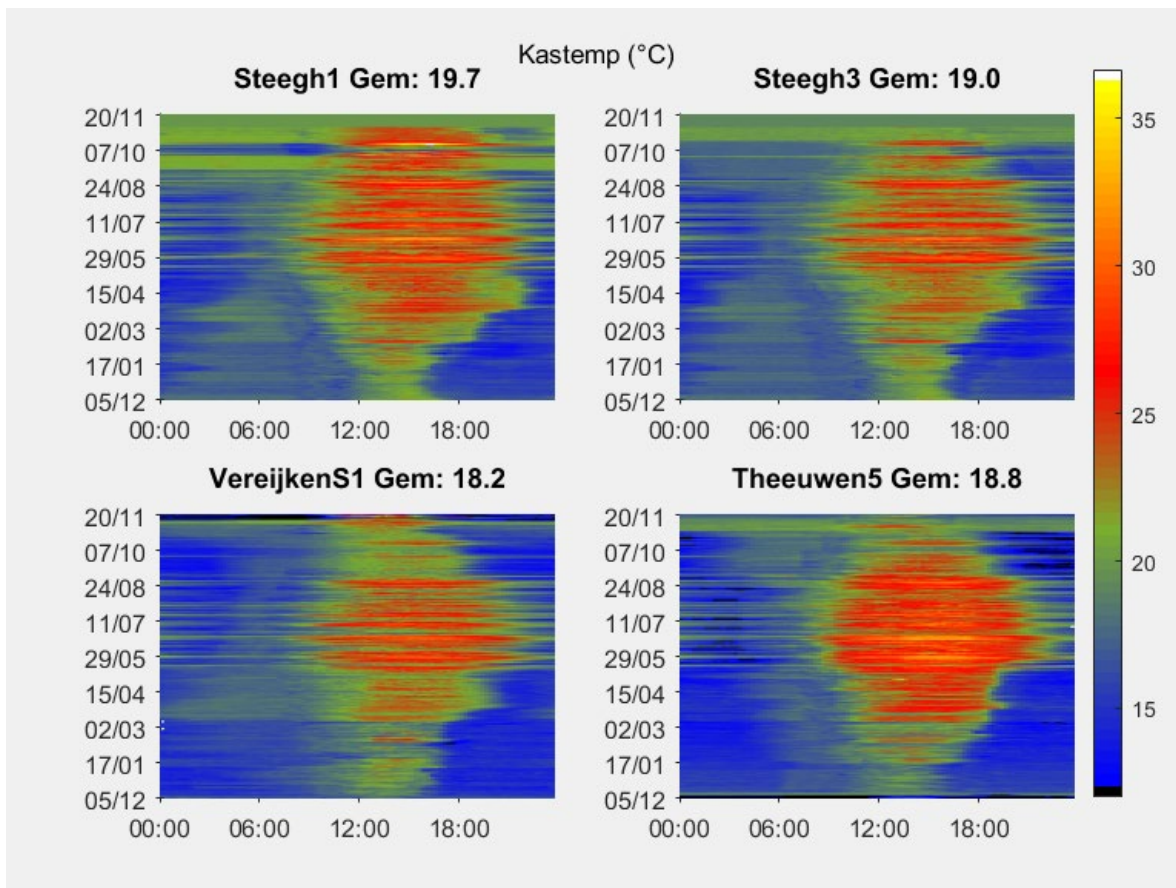
In Figuur 6 is alleen gekeken naar de dagsituatie. De buitentemperatuur en de hoeveelheid straling zijn tegen elkaar uitgezet, waarbij de schermstand wordt uitgedrukt in kleuren, waarbij blauw staat voor geopende schermen, bruin voor een enkel gesloten scherm en zwart voor twee gesloten schermen. Hierin is een lijn geplaatst op de grens tussen geopende schermen en een gesloten scherm. Die grens ligt bij een buitentemperatuur van $\pm 9^{\circ}\text{C}$, waarbij deze grens afneemt met $\pm 1^{\circ}\text{C}$ per 20 W/m^2 straling. Bij Theeuwen wordt het scherm bij hogere instraling eerder geopend.



Figuur 6 Schermstand overdag als functie van de buitentemperatuur en de hoeveelheid straling van 15 december tot 1 april (blauw staat voor geopende schermen, bruin voor een enkel gesloten scherm en zwart voor twee gesloten schermen).

2.2 Kastemperatuur

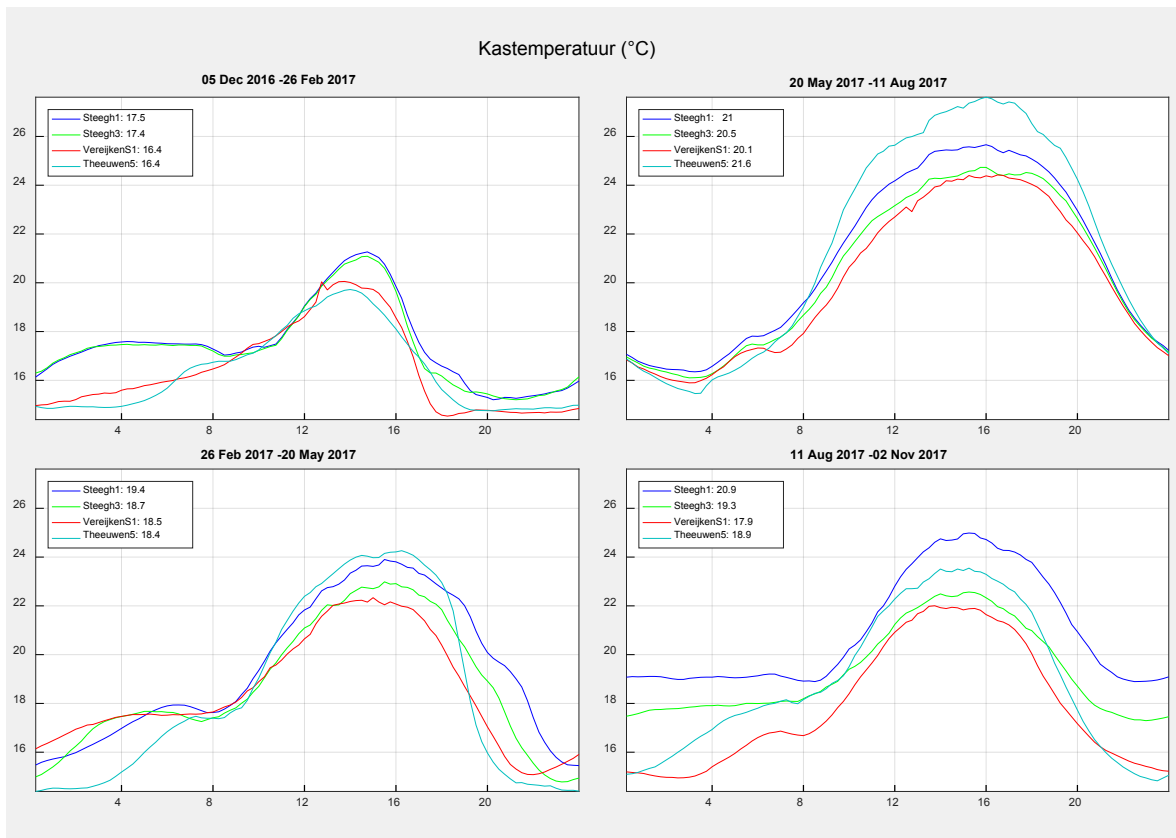
Kijkend naar de kastemperaturen (zie Figuur 7 en Figuur 8) valt op dat deze met 19,7°C gemiddeld het hoogst is bij Steegh1. Hier is de kastemperatuur in september sterk verhoogd om de tomaten sneller af te laten rijpen voor de vervroegde teeltwisseling. Bij Steegh worden middelgrote trostomaten geteeld, die beter bij een hogere temperatuur gedijen dan de fijnere cocktailtomaten van Theeuwen (Brioso) en Vereijken (Campari).



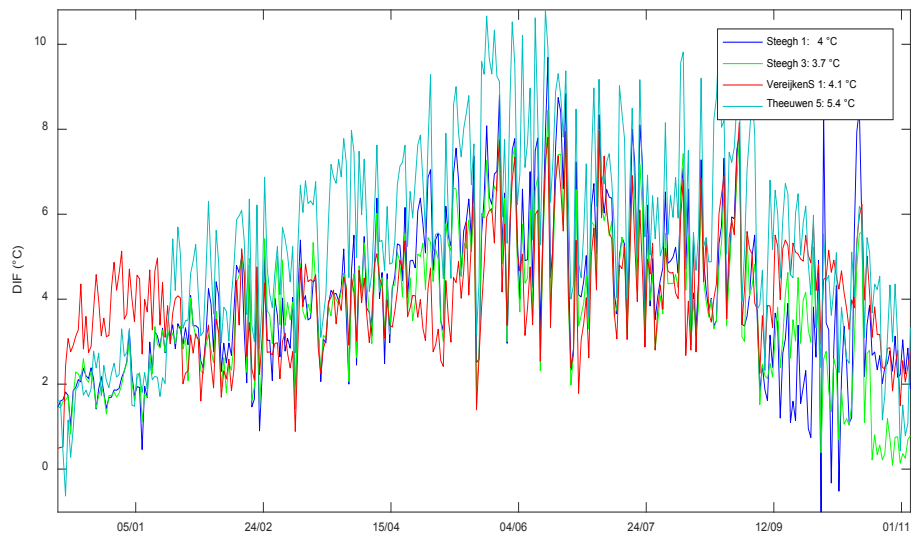
Figuur 7 15-minuutswaarden van de kasttemperatuur.

Het tweede verschilpunt is de hogere DIF bij Theeuwen. De DIF is het verschil tussen de gemiddelde dagtemperatuur en de gemiddelde nachttemperatuur. De DIF is ook apart weergegeven in Figuur 9. Bij Theeuwen is vanaf eind januari een hogere dagtemperatuur en een lagere nachttemperatuur aangehouden. Dit heeft als doel het gewas generatiever te maken.

Vooral in het voorjaar (zie Figuur 8, cyclisch etmaalgemiddelde van 26 februari tot 20 mei) is de kasttemperatuur bij Theeuwen in de voornacht veel sneller gedaald dan bij de andere afdelingen. Gemiddeld daalde de kasttemperatuur in die periode 6°C binnen een uur. Bij Vereijken is vooral bij de start van de teelt een relatief hoge DIF aangehouden.



Figuur 8 Cyclisch etmaalgemiddelde kasttemperatuur (°C) voor vier verschillende periodes in het seizoen.



Figuur 9 Verloop van de DIF (°C) bij de vier afdelingen.

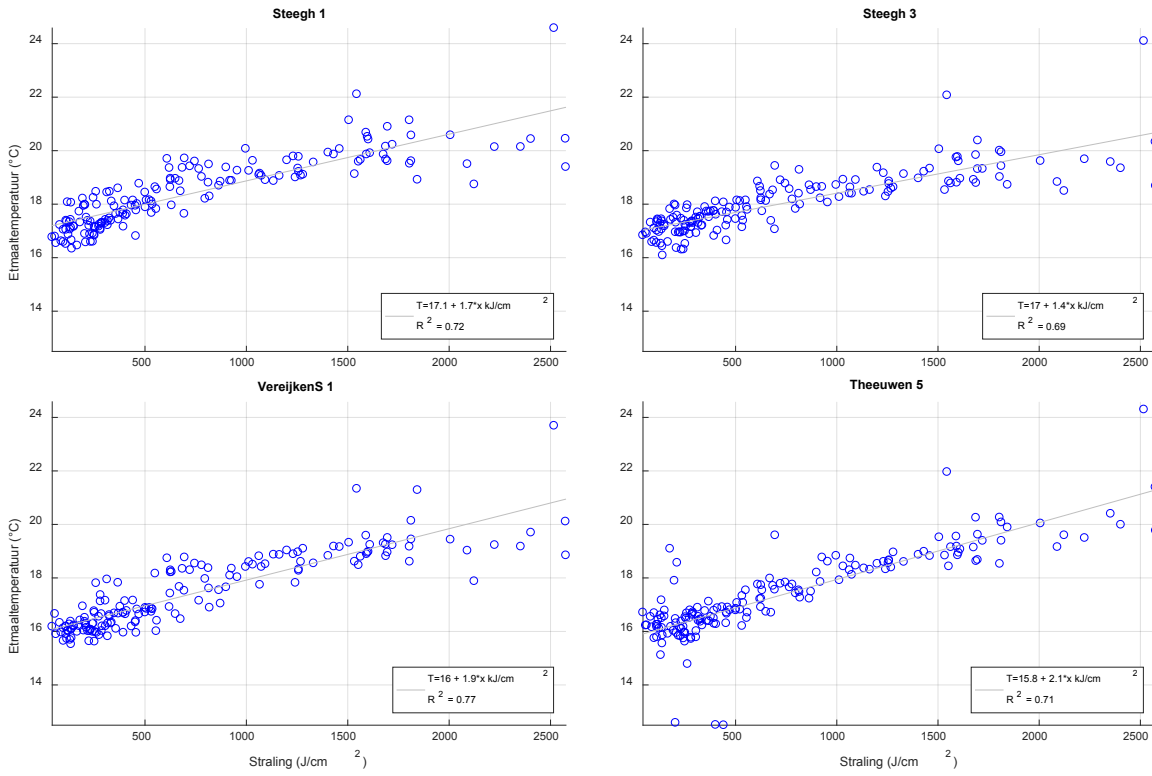
2.2.1 Generatieve sturing

Bij tomatentelers wordt het scherm in de avond (voornacht) minder vaak ingezet dan bij andere gewassen. Dit is bedoeld om het gewas generatiever te sturen. Een generatieve start is vooral van belang bij groeikrachtige rassen en bij 1:1 geënte tomaat. Het enten geeft meer groeikracht, wat zich vooral uit in groter blad (vegetatieve groei). De extra groeikracht komt vooral van pas tijdens de zomerperiode en het najaar, als bij hoge temperaturen, een afnemende hoeveelheid licht, een steeds langer wordende stengel en een hoge plantbelasting het gewas kan verzwakken. In de winterperiode en het voorjaar, bij een toenemende hoeveelheid licht, produceert het jonge gewas al voldoende blad, terwijl de plantbelasting dan nog vrij laag is. Gebruikelijke generatieve sturingsacties in de praktijk zijn onder andere het vergroten van temperatuurschommelingen, het verhogen van de EC, het verlagen van de irrigatiefrequentie en het verhogen van de CO₂-concentratie. Met name het vergroten van de temperatuurschommelingen kost meer energie, als 's avonds veel warmte wordt afgelucht, die dan tijdens de nacht weer moet worden bijgestookt.

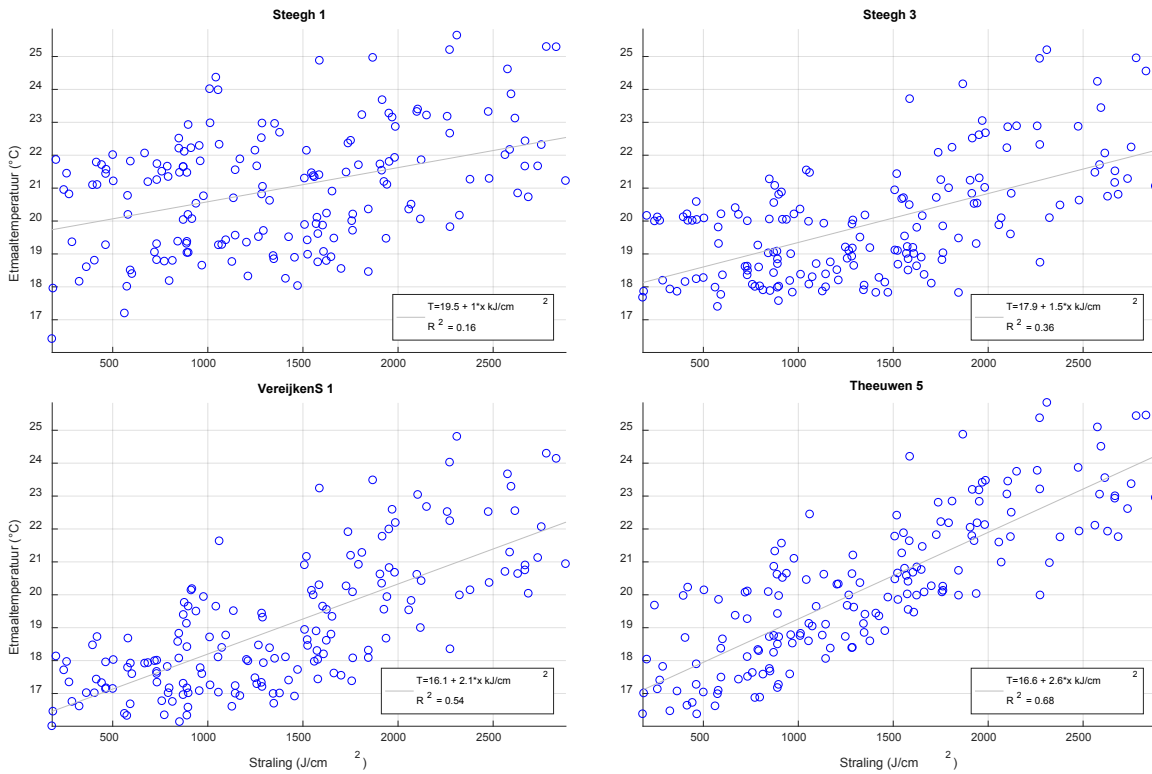
2.2.2 Lichtafhankelijke temperatuursverhoging

Alle afdelingen hanteren een lichtafhankelijke temperatuursverhoging. Het doel daarvan is het in balans houden van de vraag (warmte) en het aanbod (licht) van assimilaten. Hierbij is door de telers opgemerkt dat bij Campari (Vereijken) de temperatuursverhoging over meerdere dagen mag worden uitgespreid, terwijl de temperatuursverhoging bij Briosio (Theeuwen) alleen voor het eerstvolgende etmaal effect heeft. De relatie tussen globale straling en kasttemperatuur is het duidelijkst in de winter en het voorjaar (zie Figuur 10) omdat in de zomer de kasttemperatuur grotendeels bepaald wordt door buitentemperatuur en instraling. Bij Theeuwen is de lichtafhankelijkheid dan het grootst met 2,1°C lichtverhoging per 1000 J/cm².dag. Bij Steegh is deze minder groot (1,4 tot 1,7°C lichtverhoging per 1000 J/cm².dag). In de zomer (in 2017 na 22 mei) wordt geen lichtverhoging meer toegepast, maar wordt de kasttemperatuur zo laag mogelijk gehouden om het gewas niet te veel uit te putten. Het verlagen van de etmaaltemperatuur wordt dan gelimiteerd door de buitentemperatuur. De verhouding tussen licht en temperatuur is dan veel minder constant (zie Figuur 10).

06 Dec 2016 -21 May 2017



22 May 2017 -04 Nov 2017

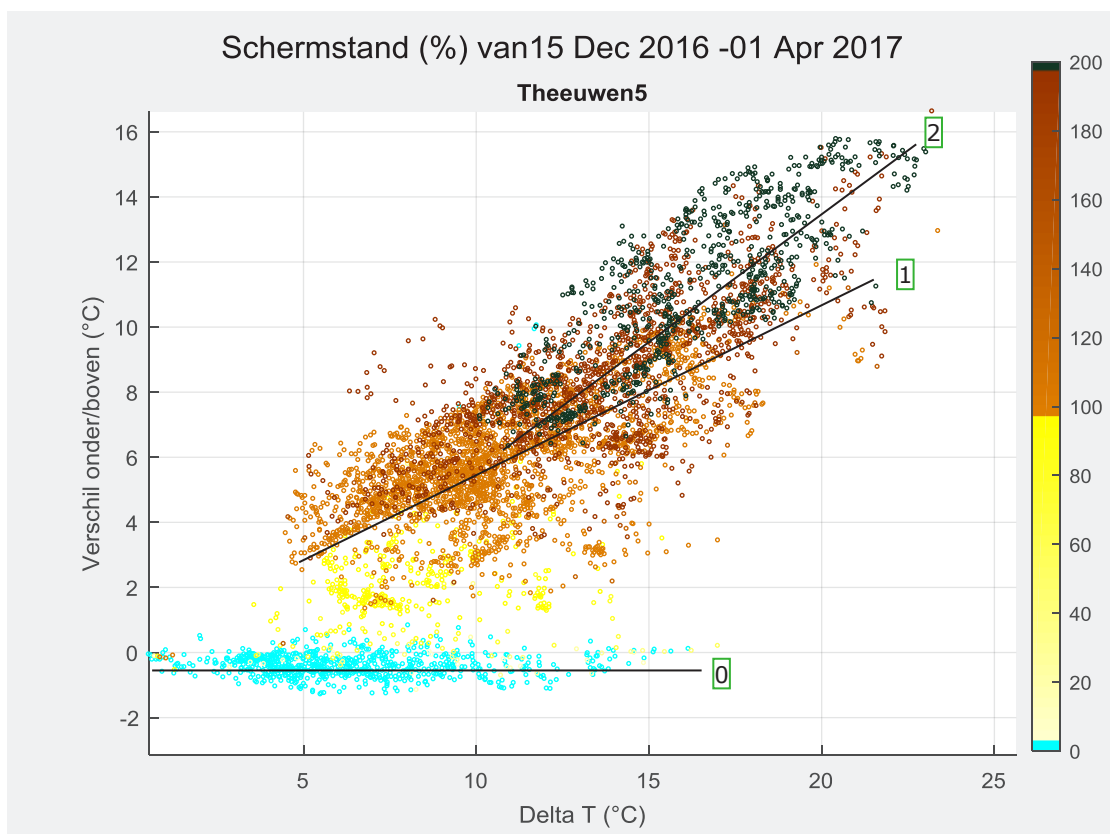


Figuur 10 Verhouding tussen globale straling en kasttemperatuur in het voorjaar (boven) en de zomer (onder).

2.2.3 Temperatuurverschil boven en onder het scherm

Het verschil in temperatuur onder het scherm en boven de schermen is een indicator van de isolatiewaarde van de schermen. In Figuur 11 is dit verschil uitgezet tegen het verschil tussen kas-en buitentemperatuur (delta T) gedurende de nacht (straling lager dan 10 W/m^2). In de figuur zijn twee extra lijnen geplaatst die de trend aangeven voor een enkel gesloten scherm en voor 2 gesloten schermen. Hieruit blijkt dat bij een delta T van 20°C het verschil tussen onder en boven een dubbel scherm nog ongeveer 14°C is. Bij een enkel scherm zou dat verschil $\pm 11^\circ\text{C}$ zijn. Deze cijfers lijken te wijzen op de isolatiewaarde van $11/20=55\%$ bij 1 gesloten scherm en van $14/20=70\%$ bij 2 gesloten schermen. Hierbij is echter geen rekening gehouden met de raamstand en de invloed van de schermen op uitstraling en verlies aan latente warmte (vocht), dus deze waarden mogen niet als absolute besparingspercentages worden gezien maar slechts als indicator. In paragraaf 2.8 wordt de energiebesparing door schermen op een andere wijze berekend, namelijk door de k-Waarde te berekenen.

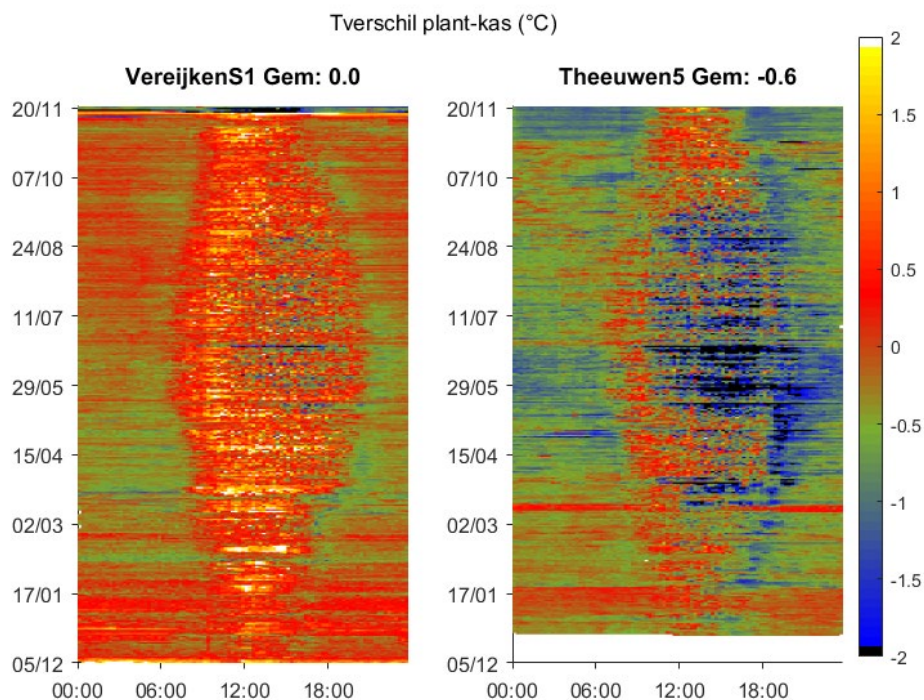
Volgens Figuur 11 geven schermkieren (geel) een veel kleiner temperatuurverschil tussen boven en onder het scherm. Dit gaat dus ten koste van de energiebesparing, al zal het schermdoek ook in de kierstand nog wel de uitstraling naar het kasdek blokkeren. Bij een open scherm (blauw) is de temperatuur boven het scherm (uiteraard) vrijwel gelijk aan die onder het scherm.



Figuur 11 Temperatuurverschil 's nachts tussen boven en onder het scherm bij Theeuwen uitgezet tegen het temperatuurverschil tussen kas- en buitenlucht (delta T), waarbij de kleur de schermstand aangeeft.

2.3 Planttemperatuur

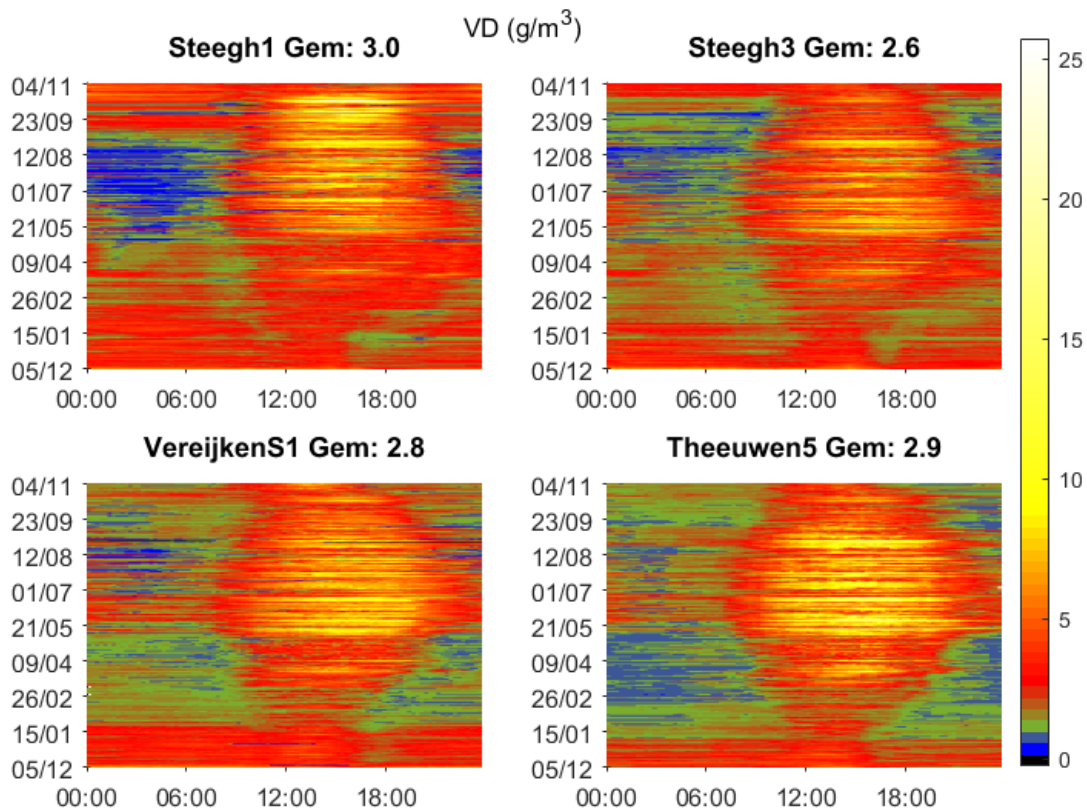
Alleen Theeuwen en Vereijken hebben een planttemperatuur meter. Bij Vereijken is de planttemperatuurmeter overdag meestal hoger dan de kasttemperatuur. Bij Theeuwen is dat niet altijd het geval en kan de planttemperatuur overdag wel meer dan 2°C onder de kasttemperatuur liggen (zie Figuur 12). Dit is te verklaren doordat de planttemperatuurmeter bij Theeuwen niet de kop van het gewas meet, maar meer de lager gelegen plantendelen. Voor beide afdelingen is het opvallend dat de planttemperatuur vooral 's ochtends hoger is dan de kasttemperatuur, terwijl de plant in de loop van de dag koeler wordt ten opzichte van de kaslucht. 's Middags wordt de kasluchttemperatuur meer beïnvloed door de nog warme en droge buitenlucht die via de verder geopende ramen binnenkomt. Door stimulering van de verdamping door deze droge lucht blijft de planttemperatuur dan zichtbaar onder de kasluchttemperatuur.



Figuur 12 15 minuutswaarden van het verschil tussen planttemperatuur en kasttemperatuur (°C).

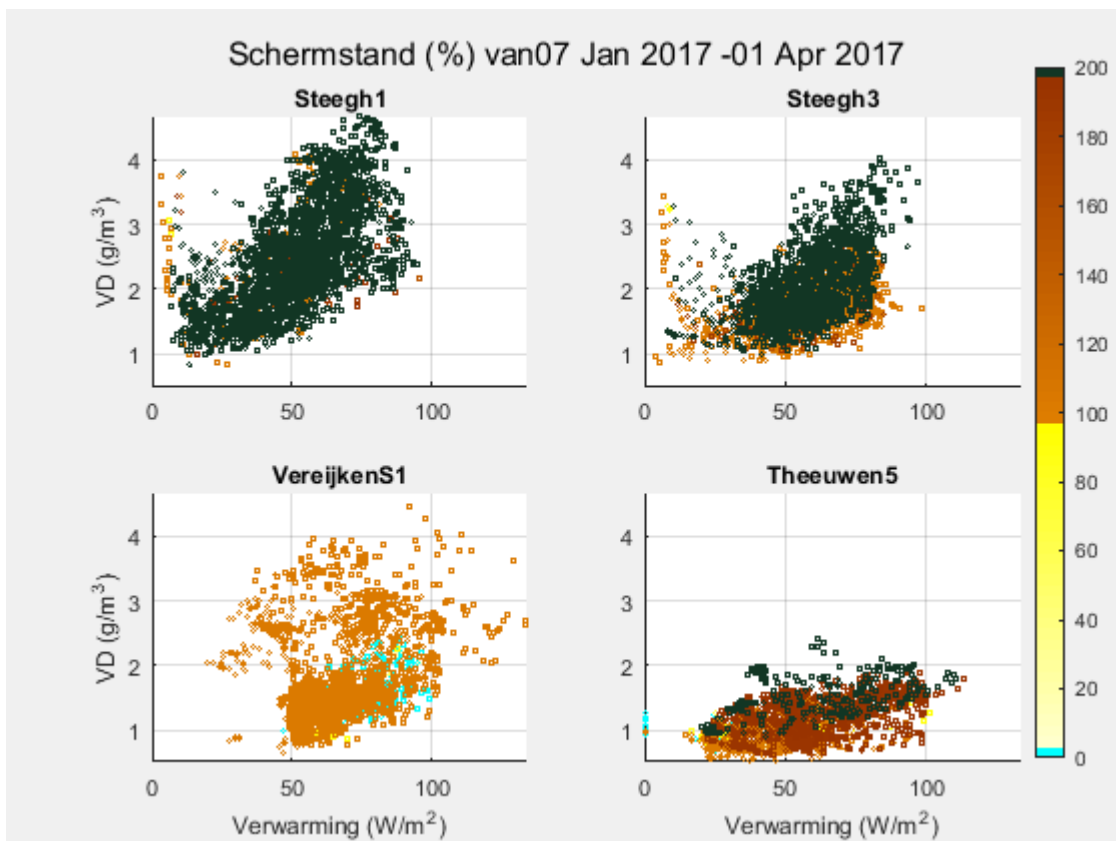
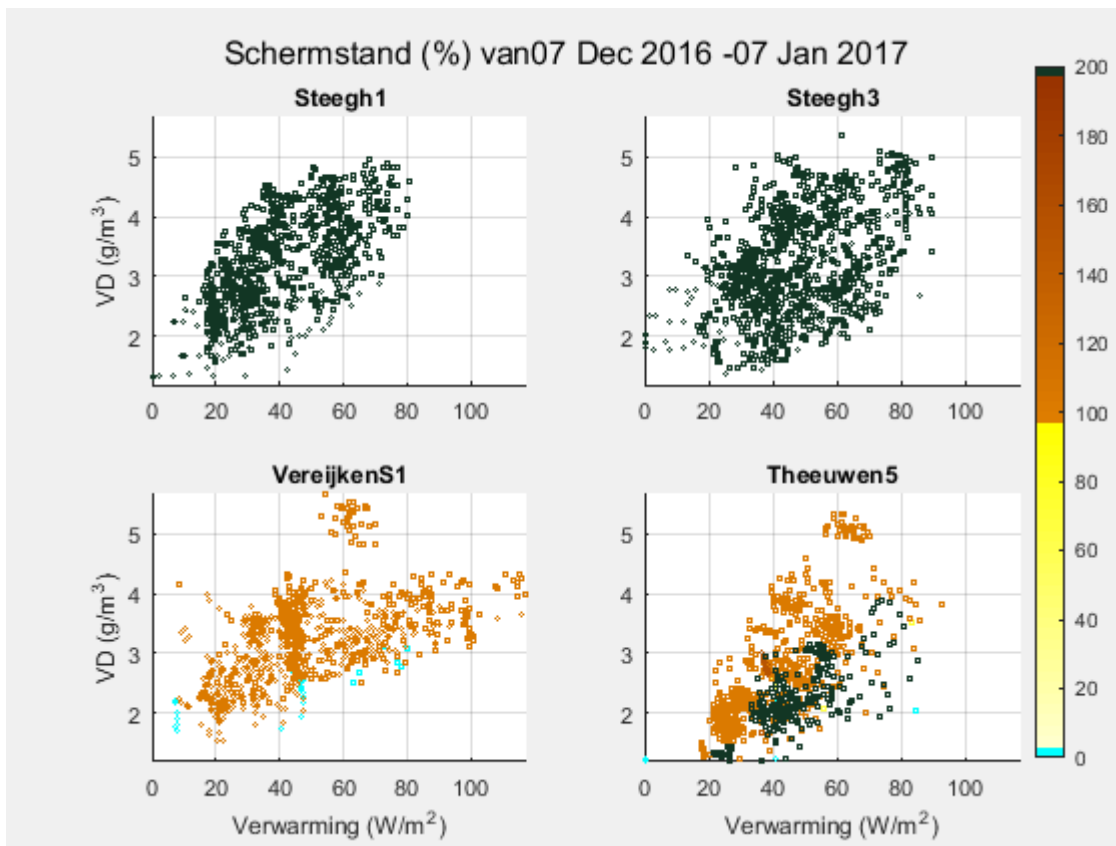
2.4 Luchtvochtigheid

In Figuur 13 is voor de vier afdelingen het verloop van het vochtdeficit (VD in g/m³) weergegeven. Hieruit blijkt dat Steegh in het voorjaar 's nachts een hoger VD hanteerde dan Vereijken en vooral Theeuwen, terwijl Steegh juist in de zomerperiode 's nachts lage VD's liet zien. Het lage VD in de nachten tijdens de zomerperiode bij Steegh komt overeen met meer schermgebruik, minder windzijdige luchting en ±30% minder warmtegebruik (zie Figuur 20).



Figuur 13 15 minuutswaarden van het VD (g/m^3).

Als alleen naar de nachtwaarden (van middernacht tot zonsopkomst) wordt gekeken (zie Figuur 14), dan is er een duidelijk verband tussen verwarming en vochtdeficit te zien. Dit verband is niet altijd gelijk. Zo verdampt het gewas in het begin van de teelt minder, waardoor ook hogere VD's te zien zijn. Later worden de VD's geleidelijk lager. Bij Theeuwen is de daling van het VD na 7 januari extreem: voor 7 januari is het VD 's nachts bij 60 W/ m^2 verwarming gelijk aan van $\pm 2,5 \text{ g}/\text{m}^3$ bij twee gesloten schermen en $\pm 4 \text{ g}/\text{m}^3$ bij een gesloten scherm. Na 7 januari komt het VD nauwelijks meer boven de $2 \text{ g}/\text{m}^3$, ongeacht de schermstand. Deze verandering is veroorzaakt doordat de meetbox toen is verplaatst van goothoogte naar de kop van het gewas.

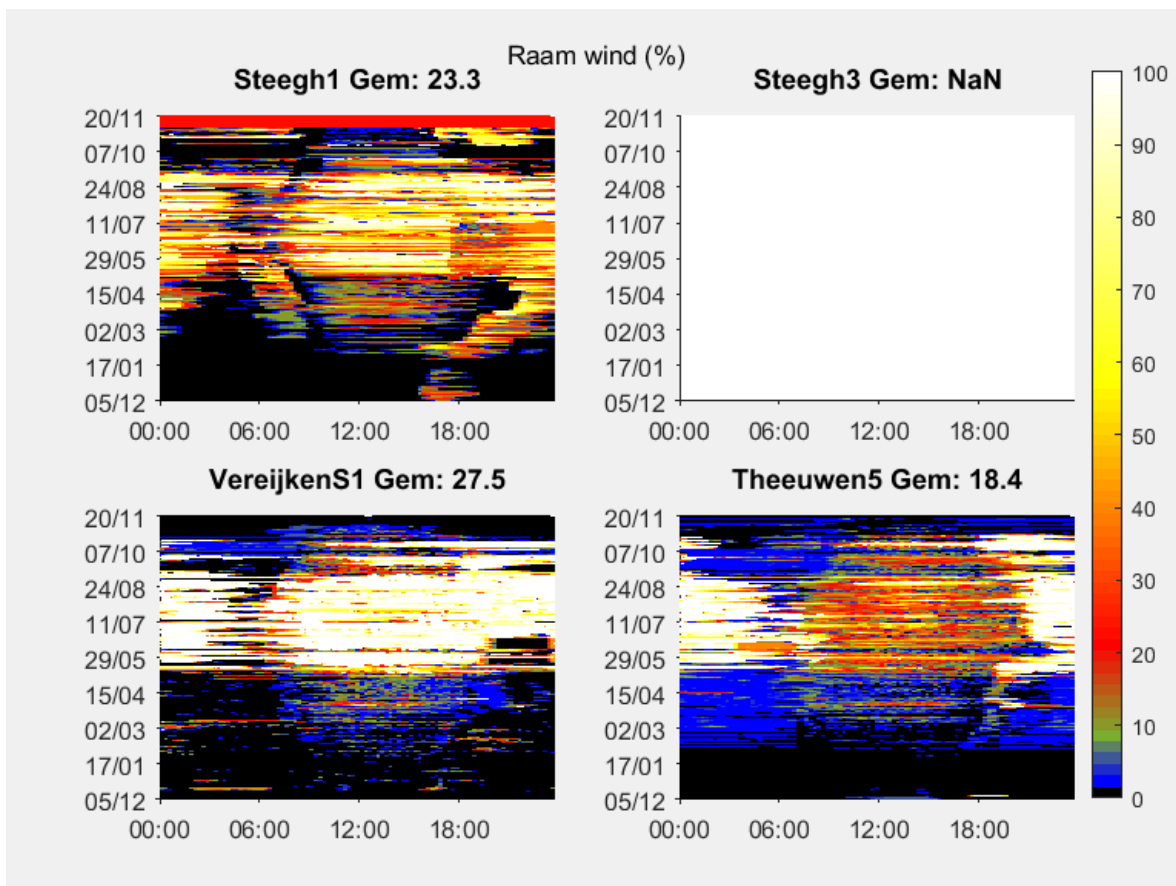
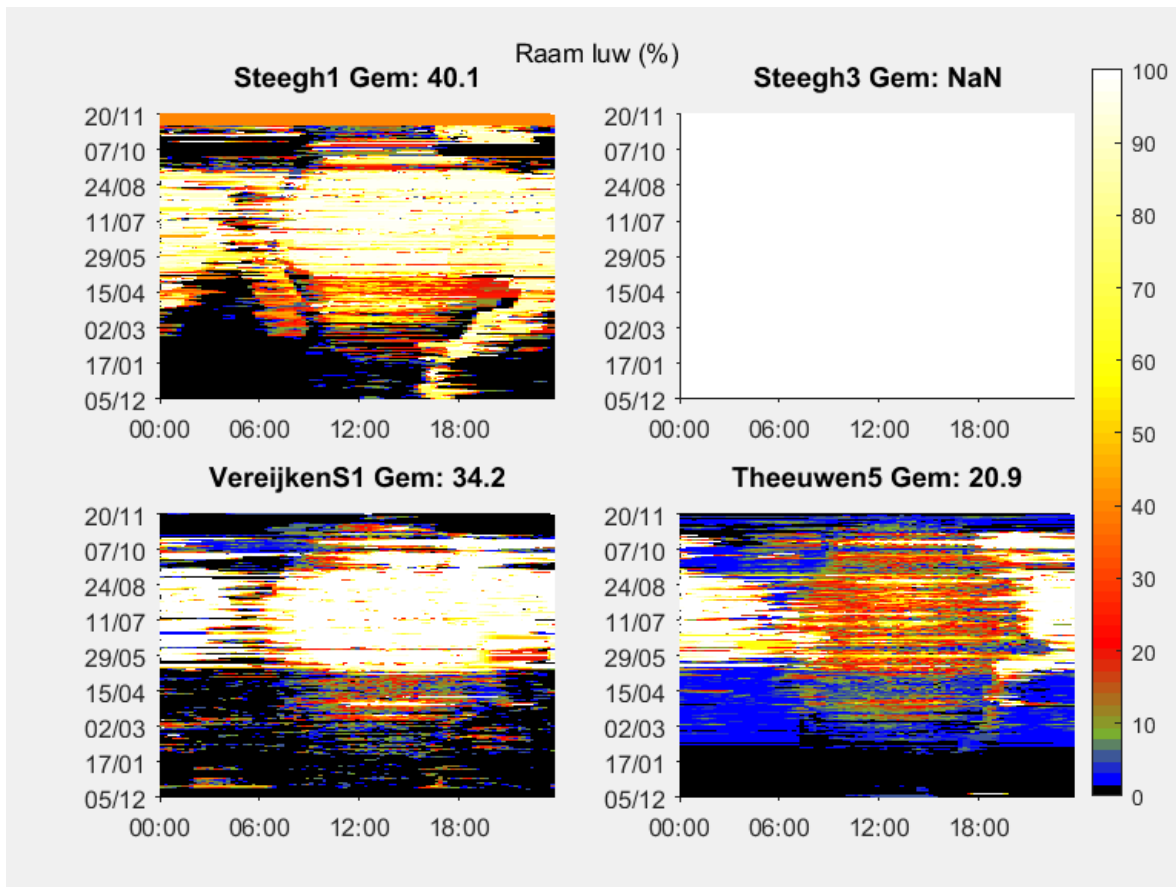


Figuur 14 Figuren waarin het VD (g/m^3) van middernacht tot zonsopkomst is uitgezet tegen de ingezette verwarming (W/m^2). De kleur van de stippen geeft de schermstand aan.

2.5 Raamstand

Tot eind januari zijn de luchtramen 's nachts vrijwel altijd gesloten (zie Figuur 15). Steegh1 (van Steegh 3 zijn geen raamstanden verzameld) doet de luchtramen alleen tijdens het eerste gedeelte van de nachtperiode (wijd) open. Dit is bedoeld om het gewas generatief te maken. De rest van de nacht houdt Steegh de ramen dicht. Bij Theeuwen zijn de ramen tijdens de voornacht veel minder wijd open, terwijl Vereijken de ramen tijdens de voornacht niet gebruikt.

Vanaf eind januari opent ook Theeuwen tijdens de voornacht de luchtramen en houdt hij gedurende de rest van de nacht een kleine minimum raamkier aan. Steegh heeft dan ook tijdens de nanacht (vroeg morgen) een hogere raamstand bij twee gesloten schermdoeken. Dit heeft als doel om bij een oplopende kastemperatuur voldoende vocht af te voeren, zodat er minder risico is op het natslaan van de (koudere) vruchten. Omdat de vruchten bij Steegh groter zijn dan bij Theeuwen en Vereijken, is het risico op natslag van de vruchten ook groter. Vereijken zet gedurende de nacht slechts af en toe een raamkier, maar de ramen zijn meestal gesloten. Vanaf half mei gaan bij alle bedrijven 's nachts de luchtramen wijd open. Alles is dan gericht op het verlagen van de etmaaltemperatuur. Theeuwen gaat de luchtramen dan overdag juist temperen. Dit heeft als voordeel dat overdag meer CO₂ in de kas blijft (zie paragraaf 2.7). Het heeft ook tot gevolg dat de DIF en daarmee de etmaaltemperatuur bij Theeuwen groter wordt (zie Figuur 8 en Figuur 9). In het najaar daalt de buitentemperatuur en blijven de luchtramen vaker dicht. Hier begint Steegh vroeger mee dan Vereijken en Theeuwen, mede doordat een hogere kasluchttemperatuur moet worden aangehouden om de vruchten eerder af te laten rijpen in verband met de vroege teeltwisseling.

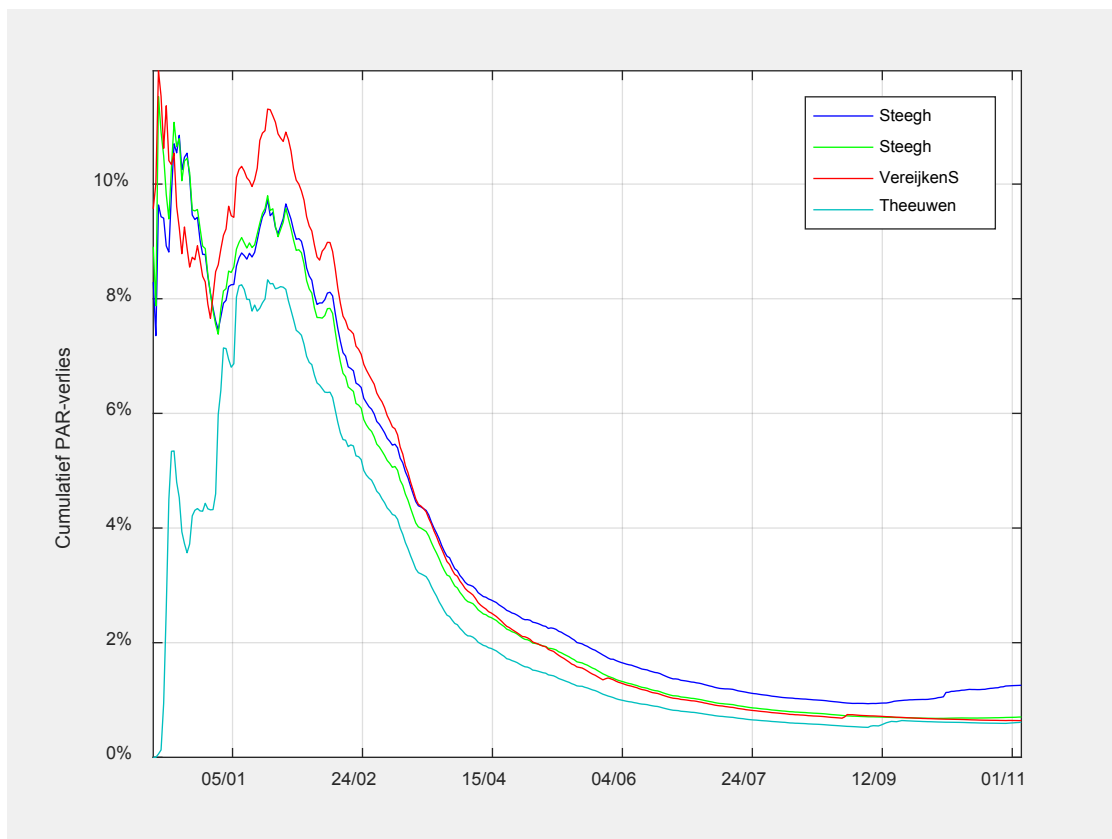


Figuur 15 15 minuutwaarden van de raamstanden luwe zijde en windzijde (waarden van Steegh 3 ontbreken).

2.6 Licht

In Figuur 3 is te zien dat gedurende de winterperiode overdag, Vereijken zijn enige scherm vaker heeft ingezet dan dat Theeuwen zijn twee schermen heeft gebruikt. Als hier dieper op wordt ingegaan kan worden berekend wat de impact is op de hoeveelheid licht op het gewas. Gerekend is met een lichttransmissie van 80% voor de heldere schermen en 24% voor het XLS17 doek van Steegh1. Het lichtverlies door schermen tussen 5 december en 21 januari bij Steegh1, Steegh3, VereijkenS1 en Theeuwen5 komt hierbij neer op 9.5%, 9.5%, 11.2% en 8.3%. Op jaarbasis komt het lichtverlies door het schermgebruik neer op respectievelijk 1.3%, 0.7%, 0.6% en 0.6%. Dit lichtverlies komt grotendeels op het conto van het eerste scherm. Het tweede scherm is overdag minder uren ingezet.

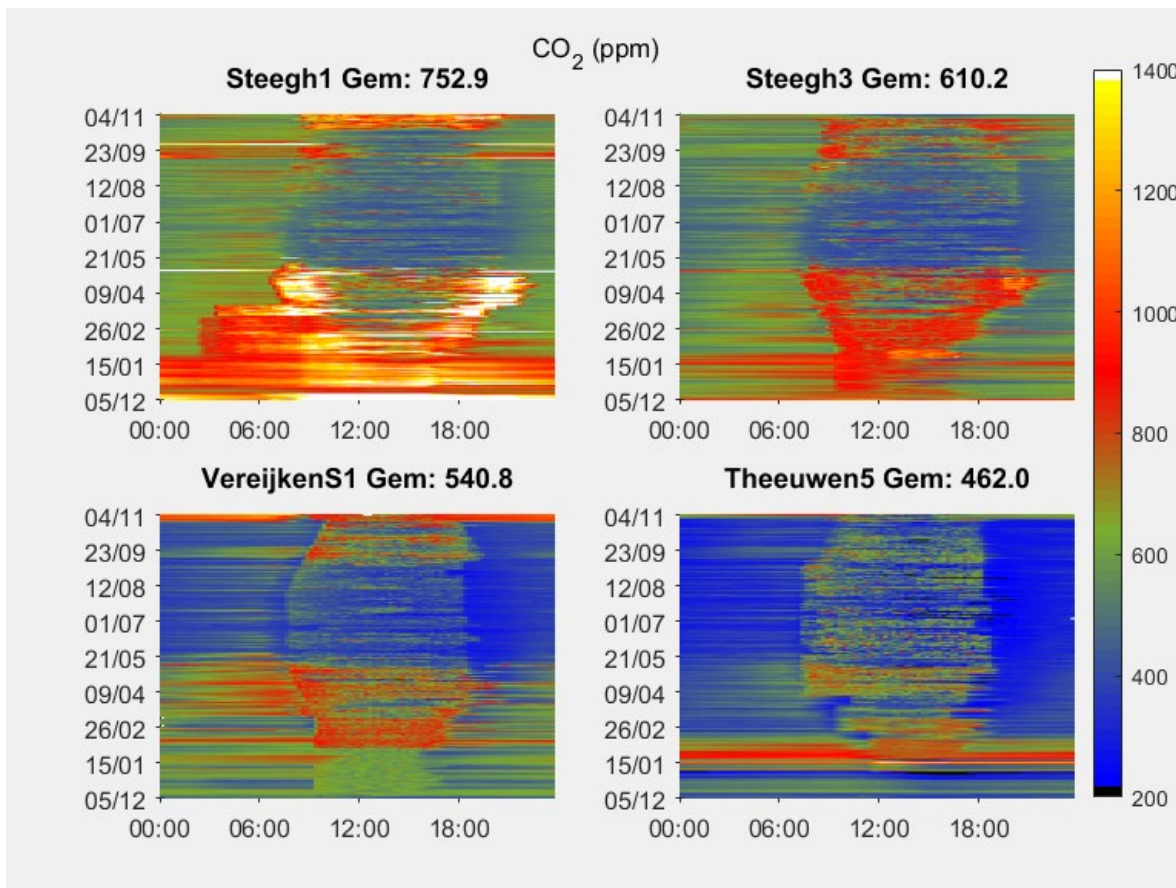
Uitgaande van een sterke relatie tussen lichtsom en productie bij tomaat, kan worden aangenomen dat het schermgebruik zal leiden tot meetbaar productieverlies in het voorjaar, maar dat deze in de totale jaarproductie nauwelijks meer zal zijn te herkennen. De invloed van het lichtverlies door de extra scherminstallatie (meestal wordt uitgegaan van $\pm 2\%$) zal op jaarbasis een grotere invloed hebben op de productie.



Figuur 16 Cumulatief PAR verlies vanaf 5 december 2016 door gebruik van schermen als deel van de cumulatieve beschikbare PAR bij geopende schermen.

2.7 CO₂

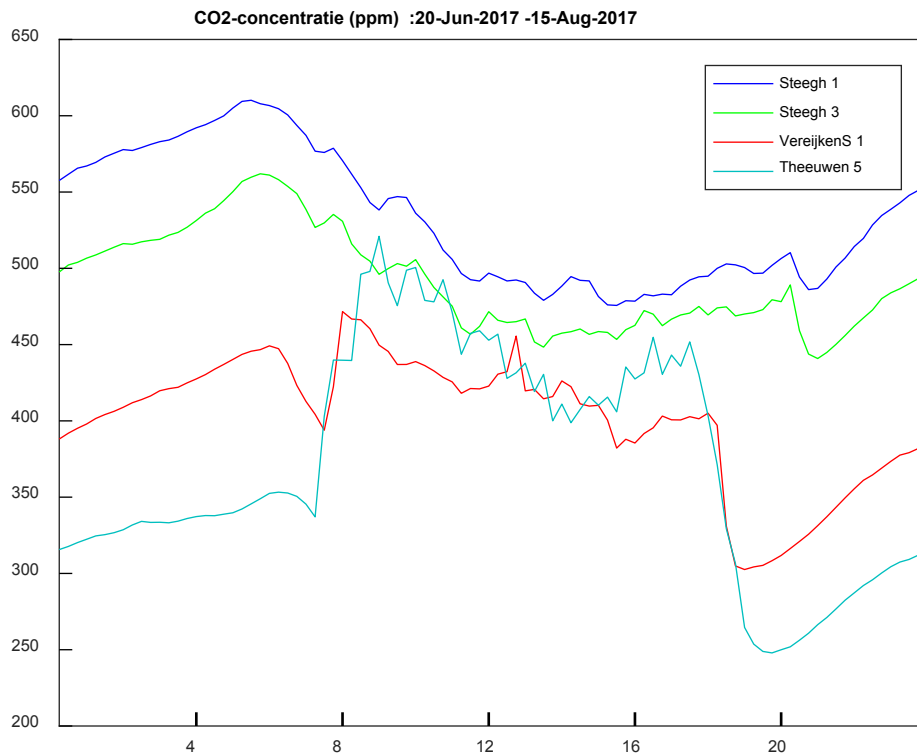
De CO₂ concentratie (in de grafieken gemaximeerd op 1400 ppm) is het hoogst bij Steegh1. Dit geldt met name gedurende de winter omdat deze is gekoppeld aan een belichte afdeling. Bij Theeuwen zakt de CO₂-concentratie soms naar 200 ppm. Bij Theeuwen loopt de CO₂-concentratie 's nachts ook nauwelijks op, wat mede kan zijn veroorzaakt door de minimum raamstand die na 6 februari is ingesteld.



Figuur 17 15-minuutswaarden van de CO₂-concentratie (gemaximaliseerd op 1400 ppm en geminimaliseerd op 200 ppm).

In de periode van 20 juni tot 15 augustus is bij alle bedrijven nauwelijks geschermd en zijn de ramen 's nachts vrijwel altijd geopend geweest (zie Figuur 18). Over deze periode is het cyclisch etmaalgemiddelde van de CO₂-concentratie weergegeven in Figuur 18. Hieruit blijkt de CO₂-concentratie bij zowel Vereijken als Theeuwen in de avond weg te zakken tot respectievelijk 300 en 250 ppm. Dit zijn bijzonder lage waarden voor een situatie met geopende ramen. Bij Theeuwen komt de concentratie gedurende de hele nacht niet boven de buitenwaarde (± 410 ppm) uit, wat doet vermoeden dat in ieder geval bij Theeuwen, maar waarschijnlijk ook bij Vereijken de CO₂-sensoren niet goed zijn geïjkt. Met de gemeten waarden lijkt het alsof Steegh hogere CO₂-concentraties aanhoudt dan Theeuwen en Vereijken, maar als de gemeten waarden zodanig zouden worden gecorrigeerd dat rond middernacht alle CO₂-concentraties gelijk worden gesteld, dan heeft Theeuwen overdag een CO₂-concentratie gerealiseerd die 100-200 ppm hoger ligt dan bij Steegh en Vereijken.

De doseercapaciteit bij Steegh, Vereijken en Theeuwen was midden op de dag respectievelijk 150, 144 en 124 kg/ha.uur. Hiermee is de doseercapaciteit van Theeuwen zelfs nog iets lager dan van Steegh en Vereijken, wat nog meer aangeeft dat de raamstand grote invloed heeft op het CO₂-verlies.



Figuur 18 Cyclisch etmaalgemiddelde van de CO₂-concentratie tussen 20 juni en 15 augustus.

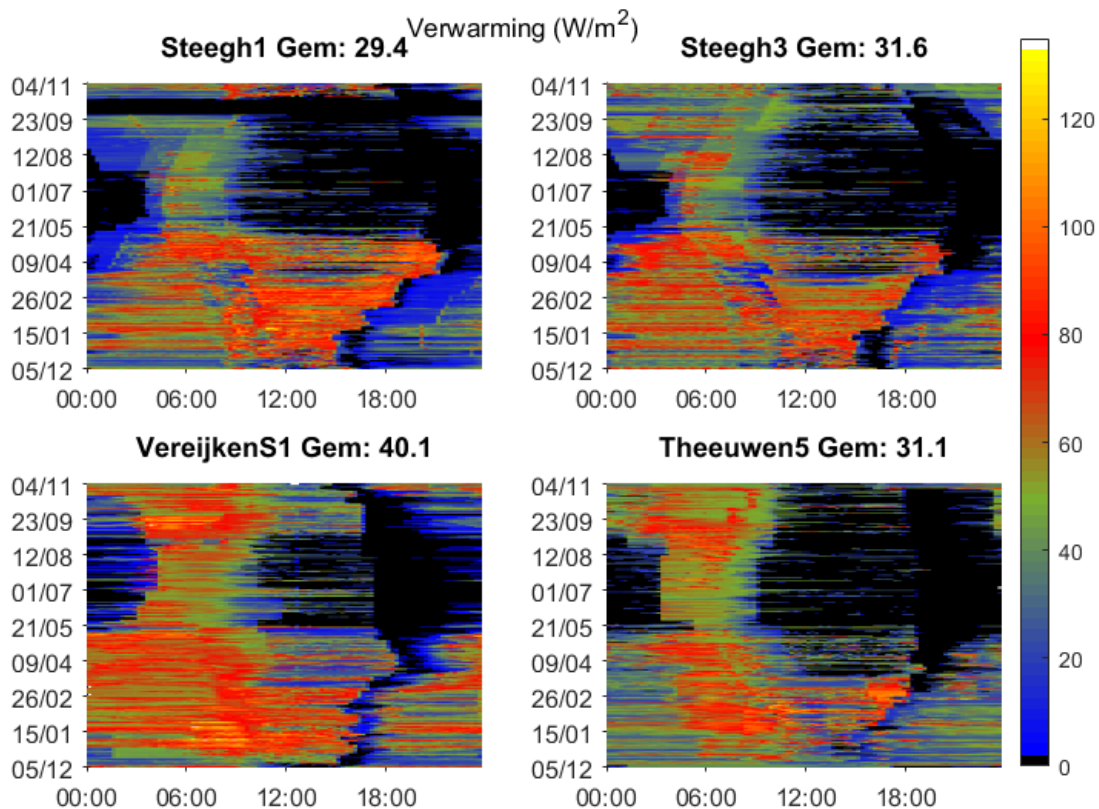
De relatief hoge CO₂-concentratie bij Theeuwen overdag, laat zien dat het gesloten houden van de luchtramen overdag veel CO₂ in de kas houdt.

2.8 Warmtegebruik

Het warmtegebruik is berekend gebaseerd op het verschil tussen de berekende buistemperatuur en de kasttemperatuur, hierbij rekening gehouden met de buisdiameter. Het gemiddelde warmtegebruik blijkt het hoogst bij Vereijken. Ook heeft Vereijken het hoogste piekverbruik. Bij Steegh en Theeuwen ligt het piekverbruik op een etmaalgemiddelde van 70 W/m², terwijl dat bij Vereijken 85 W/m² is (zie Figuur 20). Dit verschil is toe te schrijven aan het ontbreken van een tweede scherm bij Vereijken.

Het totale gasverbruik bij Steegh1 wordt deels verlaagd door de teeltwisseling rond 1 oktober. Voor die tijd ligt het gasverbruik bij Steegh1 en Steegh3, ondanks de 1°C hogere nachttemperatuur, op vrijwel hetzelfde niveau als bij Theeuwen5. Hoewel Steegh1 gebruik maakt van lucht/lucht warmtewisselaars, die latente en voelbare warmte van uitgaande kaslucht terugwinnen, heeft dat niet geleid tot een zichtbaar lager warmtegebruik dan bij Steegh3.

De warmte wordt in de zomerperiode en het najaar bij alle bedrijven hoofdzakelijk in de uren rondom zonsopkomst ingezet (zie Figuur 19). In de winter wordt ook veel warmte overdag ingezet. Dit heeft bij Steegh en Theeuwen ook te maken met de generatieve sturing (zie paragraaf 2.2.1) waarbij de kasttemperatuur gedurende de dag wordt verhoogd, om deze vervolgens in de avond snel te doen dalen.



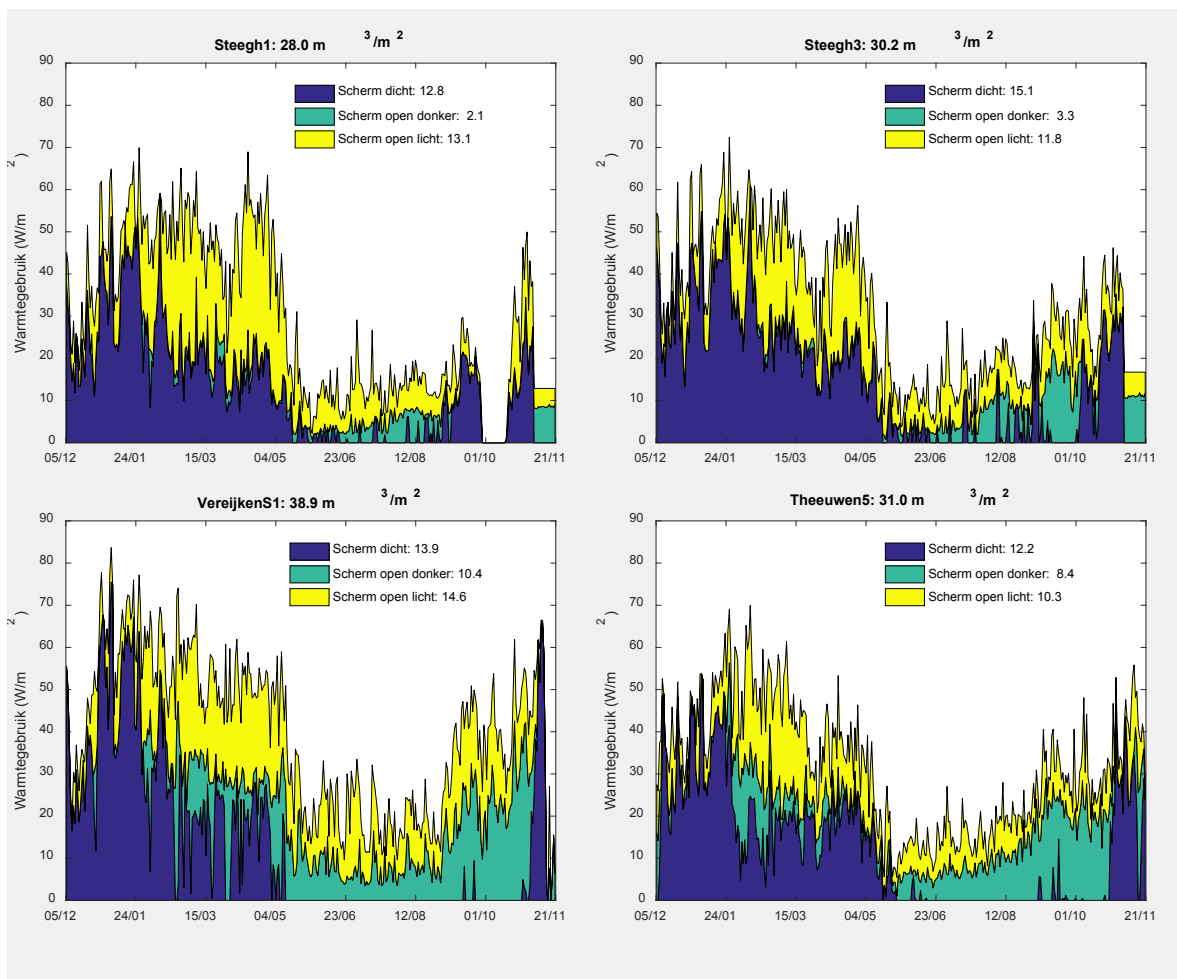
Figuur 19 15-minuutswaarden van de berekende verwarming.

2.8.1 Invloed van schermgebruik op verwarming

Om een indruk te geven of het economisch interessant is om in een extra schermdoek te investeren, is in Figuur 20 een onderscheid gemaakt tussen het warmtegebruik tijdens de geschermdde en de ongeschermdde uren. Hierbij is een schermstand van 100% in een van de schermen beschouwd als grens tussen geschermd en ongeschermd. Extra isolatie kan warmtegebruik alleen verminderen op de momenten dat er geschermd wordt. Het warmtegebruik blijkt over het hele jaar hoger te zijn over de ongeschermdde dan over de geschermdde tijd. Bij Vereijken was het warmtegebruik tijdens ongeschermdde uren zelfs $10,4 + 14,6 = 25 \text{ m}^3/\text{m}^2$, maar bij Steegh3 was dit slechts $3,3 + 11,8 = 15,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Dit geeft ook aan dat energiebesparing door schermen meer wordt bepaald door het gebruik dan door de isolatiewaarde van het scherm.

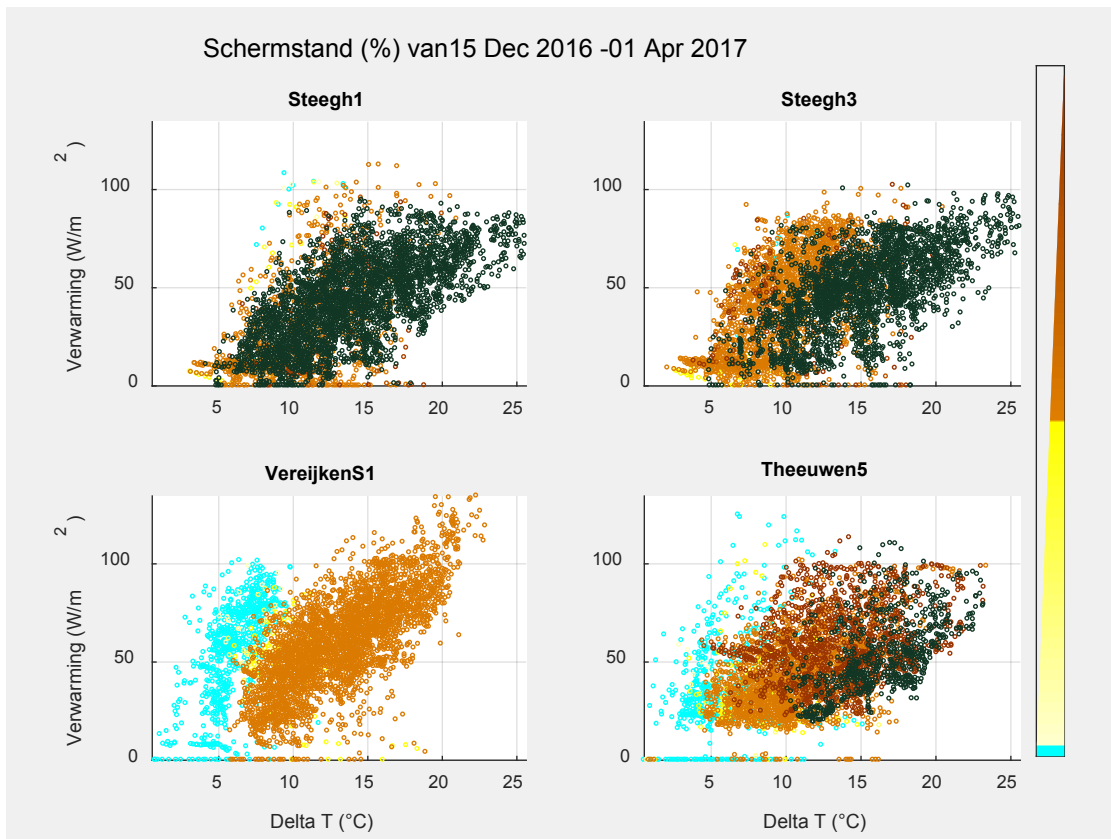
Het verschil in warmtegebruik tussen enerzijds Steegh en anderzijds Vereijken en Theeuwen wordt voor een belangrijk deel bepaald tijdens de donkerperiode. Bij Steegh wordt niet veel verwarmd als tijdens de donkerperiode het scherm is geopend ($2,1$ of $3,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$). Bij Vereijken en Theeuwen is dat $10,4$ respectievelijk $8,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Dit verschil betreft met name tijdens de zomerperiode.

Alleen in de maanden december tot februari, wanneer veel schermuren gemaakt zijn, wordt veel meer warmte gebruikt tijdens de geschermdde tijd. Dat is dus de periode waarin een extra schermdoek de meeste besparing kan leveren. Tijdens de zomerperiode zijn weinig schermuren gemaakt, maar is het warmtegebruik nog steeds aanzienlijk. Investeren in een extra schermdoek zal dit warmtegebruik niet verlagen.



Figuur 20 Verloop van het berekende warmtegebruik (W/m^2) gemiddeld per etmaal.

Het hogere piekverbruik bij Vereijken is ook te zien in Figuur 21. Hier is per 15 minuten de hoeveelheid verwarming uitgezet tegen het verschil tussen kas- en buitentemperatuur (delta T). Vereijken blijkt een $\pm 5^\circ C$ minder grote deltaT te kunnen bereiken dan Steegh, terwijl het piekverbruik aan warmte soms 40% hoger lag. Verder is duidelijk te zien dat door het volledig sluiten van dubbele schermen (zwarte stippen) minder warmte nodig is per $^\circ C$ deltaT dan bij een schermkier (gele stippen) of geopende schermen (blauwe stippen).



Figuur 21 Verwarming tussen middernacht en zonsopgang, uitgezet tegen het verschil tussen kas- en buitentemperatuur (delta T). De kleur van de stippen geeft de schermstand aan.

2.8.2 Berekening k-Waarde

De energiebesparing van een tweede scherm kan worden uitgedrukt in het warmteverlies per eenheid temperatuurverschil tussen kastemperatuur en buitentemperatuur (k-Waarde in $W/m^2 \cdot ^\circ C$). Het warmteverlies is bepaald door het berekende warmtegebruik. Deze is gecompenseerd voor temperatuursverandering in de kas, rekening houdend met een warmtecapaciteit in de kas ter waarde van 10 kg water per m^2 . Bij een temperatuursverhoging van bijvoorbeeld $1^\circ C$ per 15 minuten wordt dan $10 \text{ kg}/m^2 \cdot 4018 \text{ J}/\text{kg} / 900 \text{ sec} = 44 \text{ W}/m^2$ van het warmtegebruik afgetrokken.

Door het warmteverlies te delen door het verschil tussen de kastemperatuur en de buitentemperatuur (deltaT) wordt de k-Waarde berekend. Voor de vier bedrijven is de gemiddelde k-Waarde berekend voor de volgende situaties (zie Tabel 2):

- Een scherm is 100% gesloten, het tweede scherm is volledig open.
- Een scherm is 100% gesloten, het tweede scherm is gedeeltelijk gesloten.
- Twee schermen zijn 100% gesloten.

Omdat bij Vereijken slechts een scherm aanwezig is, is daar maar 1 situatie doorgerekend.

Om verstoringen van andere factoren uit te sluiten zijn de momenten met deels geopende luchtramen niet meegenomen voor de berekening van de gemiddelde k-Waarde. Alleen de momenten met gesloten luchtramen zijn dus meegenomen voor de analyse.

Uit Tabel 2 blijkt dat de k-Waarde bij 1 gesloten schermdoek varieert tussen 3.8 en $4.4 \text{ W}/m^2 \cdot ^\circ C$, terwijl deze bij 2 gesloten schermdoeken 26 tot 38% lager ligt ($2.5 - 3.0 \text{ W}/m^2$). Het warmtegebruik ligt dus $\pm 50\%$ hoger bij 1 gesloten scherm dan bij 2 gesloten schermen. Op basis van het warmtegebruik tijdens de schermuren met dubbel scherm is berekend dat Steegh en Theeuwen respectievelijk 15 en 10% meer aan warmte zouden gebruiken als zij slechts een scherm zouden hebben gehad. Aangezien het jaarlijkse jaarverbruik bij Steegh en Theeuwen rond de $30 \text{ m}^3/m^2 \cdot \text{jaar}$ ligt, betreft de warmtebesparing van het tweede scherm dus respectievelijk 4,5 en $3 \text{ m}^3/m^2 \cdot \text{jaar}$.

Tabel 2

Gemiddelde k -Waarden ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) voor kassen met verschillende combinaties van schermstanden, bij gesloten luchtramen.

	Een scherm 100% gesloten	Tweede scherm gedeeltelijk gesloten	Twee schermen 100% gesloten	Vershil een of twee schermen
Steegh1	4.1	3.2	2.5	38%
Steegh3	4.4	3.5	3.0	31%
VereijkenS1	4.4			
Theeuwen5	3.8	3.4	2.8	26%

3 Rendement tweede scherm

Berekend is dat het tweede scherm bij Steegh en Theeuwen respectievelijk 4,5 en 3 m³/m².jaar (in aardgas equivalenten) heeft bespaard op warmte. Een besparing van 4 m³/m².jaar levert bij een aardgasprijs van 0,20 €/m³ een besparing van 0,80 €/m².jaar. Door verlaging van de gecontracteerde aardgascapaciteit met 17 m³/ha.uur kan verder nog 0,09 €/m².jaar worden bespaard.

Een extra scherminstallatie met energiedoek kost bij nieuwbouw ongeveer 5 €/m². Bij een afschrijvingspercentage van 14%, een onderhoudspercentage van 5% en 2% rente, komen de jaarkosten van de scherminstallatie neer op 1.05 €/m². Deze kosten worden net niet gedekt door de besparingen. Als met het lichtverlies van de scherminstallatie (in geopende toestand) een productieverlies van 2% (± 1 €/m²) wordt gerekend dan blijkt het tweede scherm niet rendabel voor onbelichte tomaat. Daar staat tegenover dat het beweegbare scherm rust geeft bij de bedrijfsvoering en door een minder schraal klimaat in de kas een betere weggroei geeft. Ook zal een dubbel scherm bij lage buitentemperaturen leiden tot een homogener klimaat, wat pleksgewijze vochtproblemen kan voorkomen. Deze factoren zijn moeilijk in euro's uit te drukken omdat de schade van inhomogeniteit of vochtproblemen ieder jaar en op ieder bedrijf weer anders kan zijn. Hiermee is het lastig om een harde uitspraak te doen over het rendement van het tweede scherm en biedt deze studie alleen berekeningen over energiebesparing, lichtverlies en investeringskosten. Voor een afweging tot investeren in een tweede scherm zal een tomatenteler ook het mildere en homogenere kasklimaat en de rust in het management mee moeten wegen.

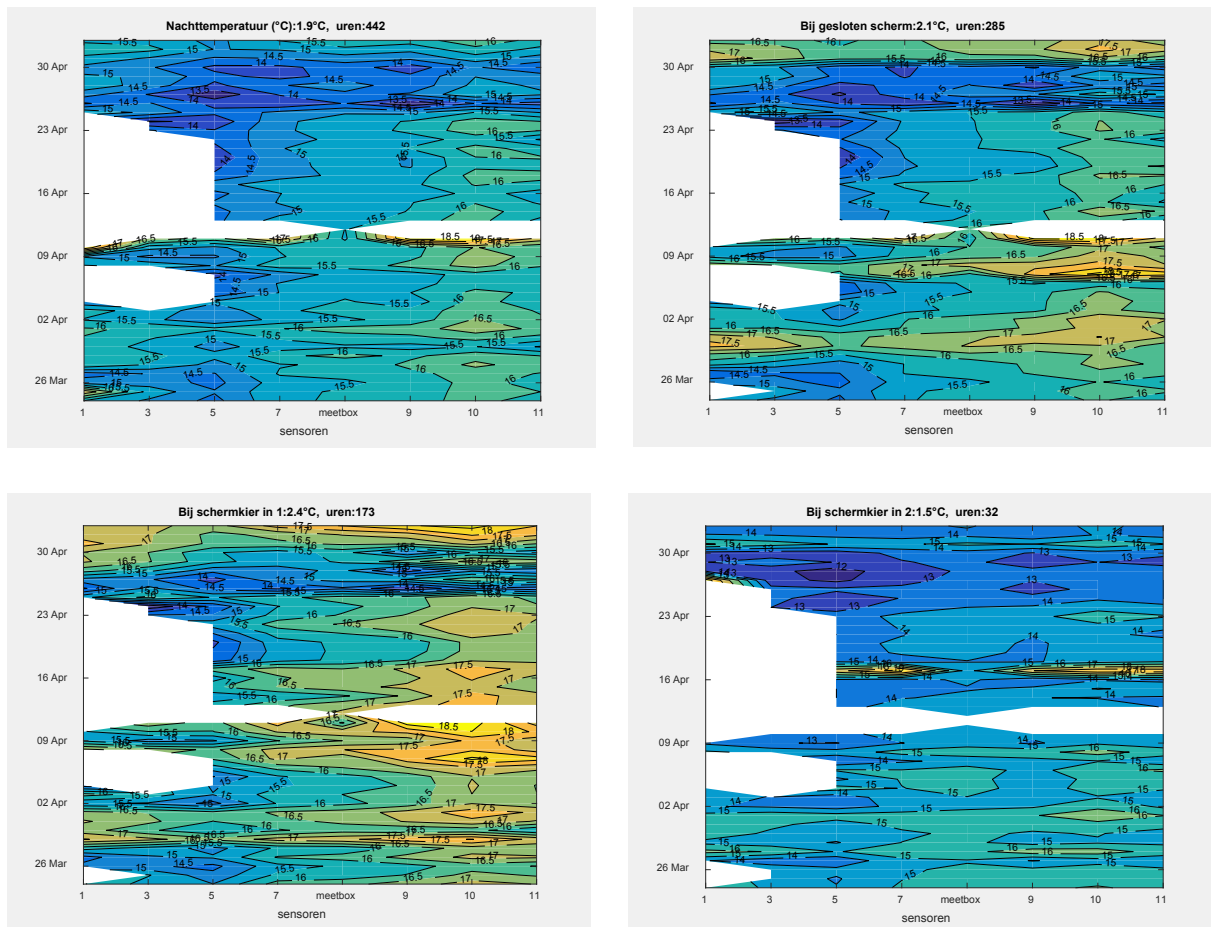
4 Horizontale temperatuurverdeling

Theeuwen ziet aan het gewas dat de horizontale temperatuurverdeling te wensen over laat. Mogelijk zou dit zijn veroorzaakt door gebruik van schermkieren, . Daarom zijn draadloze sensoren opgehangen in een pad bij de meetbox en is onderzocht of de temperatuurverdeling wordt beïnvloed door de schermstanden.

Sensor 1 hangt bij de gevel en sensor 11 bij het middenpad. Hiervan zijn grafieken gemaakt over de gemiddelde nachttemperatuur van die sensoren en de meetbox (die vlak bij sensor 7 hangt). Soms bleek het signaal van de sensoren bij de gevel te zwak voor een afstand van 100 m en is de temperatuur niet geregistreerd (witte vlekken in de grafieken van Figuur 22).

Grafiek linksboven geeft de gemiddelde temperatuur aan gedurende 442 nachturen. Het gemiddelde verschil tussen de warmste en de koudste sensor per dag was 1,9°C. Grafiek rechtsboven geldt alleen voor de uren dat er 1 scherm 100% gesloten was (258 uren). Hierbij is het gemiddelde verschil tussen de warmste en de koudste sensor iets hoger (2,1°C). De grafiek linksonder geldt voor de gevallen dat er een schermkier zat in het oude scherm en de grafiek rechtsonder voor de 173 uren dat in het nieuwe scherm een kier zat. Dat is het moment van opstoken in de nanacht en ook van de grootste temperatuurverschillen in de kas. Er kan uit deze gegevens niet worden geconcludeerd wat de invloed is van schermkieren op de temperatuurverdeling.

De warmste plek is structureel bij sensor 10 en de koudste plek is bij sensor 5. Boven sensor 5 is een nokschot aanwezig. Dat is waarschijnlijk de verklaring voor deze koude plek. De koude lucht boven het scherm komt hier waarschijnlijk door het scherm naar beneden. Bij het wegnemen van het nokschot zou de koude plek waarschijnlijk heviger worden en opschuiven richting de gevel.



Figuur 22 Overzicht van de horizontale temperatuurverdeling van gevel (sensor1) naar middenpad (sensor 11) van Theeuwen5 van 25 maart tot 4 mei voor 4 situaties: Gedurende de gehele nacht (linksboven), bij minimaal een gesloten scherm (rechtsboven), bij een gedeeltelijk gesloten scherm 1 (linksonder) en bij een gedeeltelijk gesloten scherm 2 (rechtsonder).

5 Conclusies en discussie

5.1 Conclusies

De vraag of een tweede scherm interessant is voor de tomatenteelt kan niet alleen worden beantwoord door de energiebesparing van het scherm te bepalen. Het doel van Theeuwen was het verlagen van het gasverbruik met $4 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Het verbruik van Theeuwen is berekend op $31 \text{ m}^3/\text{m}^2$ tegenover $38,9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ voor Vereijken. Dit verschil van $7,9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ is echter voor hooguit $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ veroorzaakt door het extra schermdoek. Dat is bepaald door het warmtegebruik te berekenen voor de uren dat er meer dan twee schermen zijn gebruikt en dat te vermenigvuldigen met 50%. Volgens de k-Waarde bepalingen is het warmteverbruik met 1 scherm namelijk 50% hoger dan met 2 schermen.

De rest van het verschil in het warmtegebruik tussen Theeuwen en Vereijken is te verklaren doordat Theeuwen een hogere DIF en een hogere luchtvochtigheid accepteert.

Naast de besparing op het totale warmtegebruik is ook het piekverbruik gedaald dankzij het dubbele schermdoek. Deze verlaging was gemiddeld over het etmaal namelijk $15 \text{ W}/\text{m}^2$, ofwel $\pm 17 \text{ m}^3/\text{ha.uur}$ lager dan bij Vereijken met een enkel schermdoek.

Het tweede doek bij beide afdelingen van Steegh heeft $4,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bespaard ten opzichte van een enkel doek. Het verschil met de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bij Theeuwen is te verklaren door een intensiever gebruik van schermen en een hoger aangehouden kasttemperatuur.

De k-waarde van de kassen van Theeuwen en Steegh ligt bij twee gesloten schermen 26 tot 38% lager dan bij één gesloten scherm.

Tussen de telers zijn grote verschillen in strategie voor de schermen en de luchtramen wat veel invloed heeft op het verschil in energieverbruik tussen de telers.

Het tweede scherm bij Theeuwen is gedurende 1100 uren gebruikt, terwijl dat bij Steegh 1600-1700 uren is geweest. Theeuwen werkt 's nachts met een vaste minimum raamstand van 3-5%, terwijl Vereijken en Steegh de luchtramen 's nachts minder frequent, maar wel verder openen.

Omdat de schermen overdag alleen bij lage lichtintensiteit zijn gebruikt hebben ze samen op jaarbasis slechts 0.6 tot 1.3% van het licht weggenomen. Hierbij is het lichtverlies door de scherminstallatie in geopende stand niet meegenomen). Tussen 5 december 2016 tot 21 januari 2017 betrof dit lichtverlies nog wel $\pm 10\%$.

Bij Theeuwen is in het voorjaar de horizontale temperatuurverdeling gemeten over de lengte van een pad. De verschillen zijn vergeleken met de klimaatinstellingen. Hierbij is geen betrouwbaar verband aangetoond tussen het gebruik van schermkieren en het ontstaan van koude plekken. De temperatuurverschillen in de kas van Theeuwen zijn wel structureel. In de buurt van het nokschot komt bij (gedeeltelijk) gesloten schermen koude lucht naar beneden, die waarschijnlijk met een nog lagere temperatuur bij de gevel binnen zou vallen als er geen nokschot was geweest.

5.2 Discussie en leerpunten

1. Naast energiebesparing zijn er meerdere factoren die bepalen of het investeren in een tweede beweegbaar scherm zinvol is. Volgens Theeuwen geeft het meer rust dan bij gebruik van een dubbel folie, dat voorheen meestal tot half februari werd aangehouden. Na die periode kan een beweegbaar scherm nog wel worden ingezet. Daarnaast kan er bij een beweegbaar scherm meer zonlicht worden toegelaten omdat deze bij voldoende licht kan worden geopend.
2. Het aantal schermuren is bij Theeuwen beperkt gebleven om scheuren te voorkomen. Een hoge luchtvochtigheid zou scheuren in de hand werken. In de literatuur (<http://www.tuinbouw.nl/sites/default/files/documenten/00026393.pdf>) wordt scheuren ook aan vele andere factoren geweten, met name het verschil in zettingssnelheid van de eerste en de laatste trosbloem.

3. In de zomer wordt minder geschermd om de kasttemperatuur laag te houden. Bij een hoge kasttemperatuur wordt het gewas zwakker, omdat het zich sneller ontwikkelt dan dat er assimilaten beschikbaar zijn. Bij een lagere stengeldichtheid zou een snellere gewasontwikkeling juist wel welkom zijn. Omdat met een tweede scherm zonder veel extra warmte een hogere temperatuur kan worden aangehouden zouden dus ook minder stengels te hoeven worden aangehouden. Dit geeft een besparing op de arbeidskosten.
4. Schermen houden warmtestraling tegen en zijn daarmee (in combinatie met geopende ramen en eventueel een schermkier) een effectief middel om met zo min mogelijk warmteverlies de luchtvochtigheid te beheersen. Desondanks wordt het gebruik van schermen (al of niet met een kier) beperkt omdat de beperkte uitstraling ervoor zorgt dat de gewaskop relatief warmer wordt ten opzichte van de vruchten van het gewas. Volgens tuinders is dit soms niet gewenst in verband met een te hoge ontwikkelingssnelheid ten opzichte van de afrijpingsnelheid. Om alleen de vruchten op temperatuur te brengen wordt dan (op)gestookt met open schermen.
5. Hoewel de CO₂-meting bij de bedrijven niet erg betrouwbaar was, wijst het verloop van de concentratie over het etmaal erop dat Theeuwen de CO₂-concentratie 's zomers overdag 100-200 ppm hoger heeft kunnen houden. Dit heeft hij gerealiseerd door 's zomers overdag de raamstand te beperken en 's nachts meer te ventileren. De etmaaltemperatuur werd hiermee een 1°C hoger dan bij de andere afdelingen.
6. De planttemperatuur is zowel bij Vereijken als Theeuwen 's morgens hoger en 's middags lager dan de kasttemperatuur.

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



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-779

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.