



Paprikateelt in de hooggeïsoleerde VenLow Energy kas

H.F. de Zwart, A de Gelder, J. Hofland-Zijlstra en M. Noordam

Rapport GTB-1435

Referaat

Voor de realisatie van een energieneutrale glastuinbouw helpt het enorm wanneer kassen beter geïsoleerd zouden zijn. Dit geldt des te meer voor gewassen die warm geteeld worden, zoals de Paprika. De Venlow Energy kas met een dubbel glas kasdek en energiescherm is een voorbeeld van zo'n hoog-isolerende kas.

Dit verslag geeft het resultaat van een jaarrond teelt en vormt een ijkpunt voor de huidige stand van de techniek in de energiezuinige teelt van Paprika. Het toont de klimaatvereisten voor de teelt, en de mogelijkheden om dit klimaat energiezuinig en klimaatneutraal in te vullen. Dit laatste punt, klimaatneutrale invulling is niet in praktische zin getoetst, maar omdat van uur tot uur precies bekend is hoeveel energie- en CO₂ zijn ingezet is gemakkelijk te berekenen hoe deze resources op klimaatneutrale wijze ingevuld zouden kunnen worden. Het gebruik van zuivere CO₂ of CO₂ uit een andere externe bron is overigens essentieel voor een energieneutrale glastuinbouw. Zonder toevoer van CO₂ daalt de productie zeer sterk, vooral omdat er in energiezuinige kassen weinig gelucht wordt. Omgekeerd betekent de beperkte luchtuitwisseling met buiten ook dat er geen grote hoeveelheden CO₂ nodig zijn. Er is 25 kg CO₂ per m² gebruikt.

Met de productie van 32.5 kg klasse I aan rode Paprika per m² heeft het experiment laten zien dat de halvering van de warmtevraag ten opzichte van de praktijk niet ten koste is gegaan van productie en kwaliteit.

Abstract

In order to realise a horticultural sector that operates without the combustion of fossil fuel, the first step is to reduce the demand for heating by improving the insulation of greenhouses. This holds especially for crops that are grown at high temperatures, like sweet pepper. The Venlow Energy greenhouse with its double glass cladding and energy screen is a good example of such a highly insulated greenhouse.

This report presents the results of a one year cultivation and serves as a bench mark for the state of the art in energy conserving production of Sweet Pepper in the Netherlands. It shows the greenhouse climate conditions required, and the possibilities to meet these requirements with a low energy consumption and options to realise this from sustainable sources. The application of sustainable energy sources was not tested in practice, but since the exact resources (heat and CO₂) required from hour to hour were measured, it is easy to do the math on the amounts and capacities needed.

The application of pure CO₂ or CO₂ from another sustainable source is essential when aiming at a fossil energy free horticulture. Without external CO₂ the production will drop substantially, especially because an energy conserving greenhouse has typically a strongly reduced air exchange. But, for the same reason, the amount of CO₂ needed to increase the CO₂ concentration is quite limited, 25 kg/m² per year in this experiment.

With a production of 32.5 kg class I of red Sweet Pepper per m², the experiment has shown that halving the energy consumption compared to the general practice didn't reduced the production.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1435

Projectnummer: 3742212900

PT nummer: 20021

DOI nummer: 10.18174/413270

Disclaimer

© 2017 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

Wageningen UR Glastuinbouw 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

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Samenvatting	5
	Summary	7
1	Inleiding	9
2	Kasklimaat	11
	2.1 Inleiding	11
	2.2 Teelttemperatuur en energiegebruik	11
3	Teelt en productie	21
4	Gewasgezondheid	25
	4.1 Materiaal en uitvoering binnenrot onderzoek	26
	4.2 Resultaten	27
	4.3 Conclusies en discussie Binnenrot	30
5	Duurzame energie voor de verwarming	31
6	Conclusies en nabeschuwing	33

Samenvatting

De VenLow Energy kas is één van de onderzoekskassen van Het Innovatie en Democentrum-Energie. Het IDC-Energie heeft tot doel om nieuwe energiezuinige kasconcepten te beproeven en te demonstreren.

Een laag energieverbruik kan worden gerealiseerd door de kas een hoge isolatiewaarde te geven, in combinatie met het gebruik van een energiezuinige teeltstrategie.

De hoge isolatiewaarde van VenLow Energy kas is gerealiseerd door de toepassing van HR+ glas en een energiescherm. Daarnaast heeft de VenLow Energy kas een ontvochtigingssysteem waarbij de voelbare warmte uit de afgevoerde vochtige kaslucht voor 80% wordt teruggewonnen.

In voorgaande jaren zijn er steeds tomatenteelten in de kas geweest die ieder jaar een verder dalen energieverbruik hebben laten zien. De laatste tomatenteelt gebruikte $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en produceerde in het wat kortere teeltseizoen toch ruim $70 \text{ kg}/\text{m}^2$.

Het verbruik in de Paprika teelt kwam op $14.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ wat bijna anderhalf keer hoger is dan het verbruik in de genoemde tomatenteelt. Analyse van dit verschil liet zien dat vooral de vroege planting de forse toename van het verbruik oplevert. Een planting in de eerste week van december in plaats van in de 3^e week van januari leidde tot 3.8 m^3 extra gasverbruik. Een klein deel van het meerverbruik zat in de hogere temperatuur waarbij de paprika wordt geteeld.

De productie bedroeg $32.5 \text{ kg}/\text{m}^2$ klasse I rode paprika, gesorteerd bij een praktijktuinder. De productie ligt daarmee op top-teler niveau. Deze goede productie is gerealiseerd ondanks een bescheiden CO_2 -dosering van $25 \text{ kg}/\text{m}^2$. De ventilatieverliezen waren dan ook klein, omdat de structurele toepassing van de inzichten van Het Nieuwe Telen het openen van ramen uitstelde en/of beperkte. Indien de verwarming zonder fossiele brandstoffen zou worden gerealiseerd en er dus geen rookgassen beschikbaar zijn moet deze $25 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ volledig worden betrokken uit zuivere CO_2 . Als er wél rookgassen zijn kan 7 kg van de totale behoefte vanuit die rookgassen worden ingevuld. In dat geval zou er $18 \text{ kg}/\text{m}^2$ zijn ingekocht.

Naast de energiezuinige eigenschappen van de kas is het lage energieverbruik ook gerealiseerd door de energiezuinige teelttechniek. Dit omvat het uitgesteld luchten op temperatuur, het intensief gebruik van het scherm (3540 schermuren), het achterwege laten van een minimumbuis, en het accepteren van een hoge luchtvochtigheid (1000 uur boven de 90% en 2000 uur boven de 85% RV).

Een hoge luchtvochtigheid wordt altijd als risicovol beschouwd voor de kwaliteit van het product en bij Paprika is vooral binnenrot een gevreesd probleem. Binnenrot wordt veroorzaakt door de fusariumschimmel die via de bloemetjes de vrucht in groeit. In dit experiment is geen correlatie gevonden tussen de hoge luchtvochtigheid en binnenrot. Er zijn fusarium infecties waargenomen, maar die groeiden in de vruchten die uit de VenLowEnergy kas kwamen niet vaker uit tot binnenrot dan in de vruchten van een andere paprikakas van de onderzoekslocatie Bleiswijk. In die andere kas lag de luchtvochtigheid het jaar door zo'n 5%-punten lager. Het gewas had dus kennelijk een goede weerbaarheid tegen Fusarium.

Het lage warmteverbruik van de kas brengt een volledig energieneutrale Paprikateelt een stap dichterbij. Indien de kas met een elektrisch aangedreven warmtepomp zou worden verwarmd is $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ aan groene stroom genoeg. Als de warmtevraag wordt ingevuld vanuit een Geothermische warmtebron die water van $65 \text{ }^\circ\text{C}$ levert is een wateraanvoercapaciteit van $15 \text{ m}^3/(\text{ha uur})$ voldoende.

Summary

The VenLow Energy greenhouse is one of the research greenhouses of the Innovation and Democentre on Energy. The IDC-Energy aims on showing and testing new energy saving greenhouse concepts on semi-practical scale. In general, a low energy consumption can be realised by application of high insulation values, combined with an energy conserving growing strategy.

The high insulation of the VenLow Energy greenhouse is realised by the application of Argon-filled double glass with a low-emission coating. Apart from that, the greenhouse has an energy saving screen and a dehumidification unit that recovers 80% from the sensible heat loss when exchanging greenhouse air with outside air for dehumidification.

In earlier years, a number of tomato cultivations were carried out with an every year lower energy consumption. The last experiment ended with a conclusion that it is realistic to state that the Venlow Energy greenhouse can produce 70 kg of tomato per m² per year with not more than 10 m³/m² of natural gas equivalents.

In the present experiment, Sweet Pepper was grown at the expense of 14.5 m³ of gas equivalents per m² per year, which is substantially more than the consumption in the last tomato crop. Analysis of the data showed that the majority of the additional consumption was caused by the earlier planting of the Pepper. In order to have the first produce in March, the cultivation of Pepper had to start in the first week of December, where the tomato was planted in the 3rd week of January. This resulted in 3.8 m³/m² of additional gas. Only a small amount of the extra energy consumption could be attributed to the substantially higher temperature on which pepper is grown compared to tomato. In this, the high degree of insulation can be seen.

The production at the end of the season was 32.5 kg/m² class I of red sweet pepper. This means a production at the level achieved by the current top-growers. Apart from the heat demand, the production required 25 kg/m² of pure CO₂. This amount is quite moderate due to the energy conserving climate control strategy, comprising a limited opening of the ventilation windows due to the acceptance of high temperatures and humidities.

Apart from the high insulating properties of the glass and the reduced venting, the low energy consumption is also due to the intensive use of an energy screen. The screen was deployed for 3540 hours.

The high humidity in the greenhouse (1000 hours above 90% and 2000 hours above 85% RH) is normally considered to be a risk on the fruit quality. For pepper, internal fruit rot is one of the most observed quality problem. Internal Fruit Rot is caused by the Fusarium fungi which enters the fruit through the flowers. However, in this experiment, no correlation was found between growing at high humidity and Internal Fruit Rot. There were infestation of fusarium, but these did not evolved to Internal Fruit Rot. Apparently, the crop had a high resilience towards the growth of fusarium.

The low energy consumption brings a completely fossil energy free pepper production within reach. In case the heat would be supplied by an electrically driven heat pump, the consumption of green electricity for heating would be not more than 40 kWh/m² per year. In case a geothermal heat source would provide the heating required a supply capacity of 15 m³/(ha hour) would be sufficient, assuming that the geothermal heat comes at a temperature of 65 °C.

1 Inleiding

De verduurzamingsambities van de tuinbouwsector¹ zijn hoog en het onderzoeksprogramma Kas als Energiebron, gefinancierd door het ministerie van Economische zaken en LTO glaskracht, zet daarom veel middelen in om nieuwe ontwikkelingen die hierbij nodig zijn gestalte te geven en uit te dragen. Het Innovatie en Democentrum (IDC) is één van de instrumenten die hierbij ingezet worden. Dit centrum is vanaf de zomer van 2008 actief en toont nieuwe concepten voor energiezuinige kassystemen op semi-praktijkschaal.

Één van die concepten is de VenLow Energy kas. Deze kas kenmerkt zich door een kasdek met een heel hoge isolatiewaarde en gebruikt een energiezuinig ontvochtigingssysteem.

Een kas met een hoge isolatiewaarde is uitermate geschikt voor teelten die een hoge temperatuur nodig hebben. Onder de groentegewassen is de Paprika zo'n gewas. Met etmaaltemperaturen die het grootste deel van de teeltperiode ruim boven de 20 °C komt een hoge isolatiewaarde goed tot z'n recht.

Een experiment met paprika in de VenLowEnergy kas was echter nog niet eerder uitgevoerd.

Dit verslag laat zien dat een energieverbruik onder de 15 m³/(m² jaar), zonder concessies te doen aan productie en kwaliteit met zo'n hooggeïsoleerde kas reëel is.

Hoofdstuk 2 behandelt de details met betrekking tot het energieverbruik. Het gaat in op de relatie tussen teelttemperatuur en warmtevraag en beschrijft de werking en het resultaat van het ontvochtigingssysteem dat in de VenLowEnergyKas is toegepast.

Hoofdstuk 3 bespreekt de gewasproductie en de gewasparameters zoals zetting en plantbelasting. De teeltkundige ontwikkeling van het gewas is gedurende het hele experiment gevolgd door een groep praktijktuinders. Naar hun oordeel is de teelt praktijkconform verlopen. Dit betekent dat de energiezuinige klimaatregeling geen nadelige effecten heeft gehad voor de gewasproductie.

In hoofdstuk 4 wordt de gewasgezondheid besproken. Er is speciale aandacht besteed aan de binnenrotproblematiek, zowel naar de aanwezigheid van binnenrot, als naar de weerbaarheid van het gewas.

Een energiezuinige kas is natuurlijk een goede stap in de richting, maar om te kunnen spreken van een energieneutrale teelt zal het resterende energieverbruik duurzaam moeten worden ingevuld. Hoofdstuk 5 toont de mogelijkheden daartoe en presenteert de ordegrrootte van de capaciteiten die daarvoor nodig zijn indien een kas zou worden gebruikt zoals de VenLow Energy kas.

Hoofdstuk 6 bespreekt de belangrijkste conclusies uit dit onderzoek.

¹ De concrete ambities voor 2020 zijn:

- (a) nieuw te bouwen kassen zijn in 2020 energieneutraal
- (b) een reductie van de jaarlijkse CO₂-emissie naar 3.6 Mton (dat is een reductie van 48% t.o.v. 1990) en
- (c) de verhoging van het aandeel duurzame energie naar 20%

2 Kasklimaat

2.1 Inleiding

De VenLow Energy kas heeft in voorgaande jaren een elk jaar dalend energieverbruik laten zien. In 2011 was de energievraag 17.0 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar. In 2012 was dat 15.9 m³ per m² per jaar (Kempkes, 2013), in 2013 14.5 m³/(m² jr) en in 2014 was het energieverbruik minder dan 10 m³/(m² jaar). De dalende trend in de energieverbruikscijfers is gerealiseerd door steeds intensiever te schermen, bij een steeds hogere luchtvochtigheid te telen en door zoveel mogelijk met het licht mee te telen, waarmee wordt bedoeld dat de kasluchttemperatuur hoog mag oplopen bij veel licht en laag mag blijven op donkerder dagen. Het zeer lage verbruik in 2014 werd ook gerealiseerd door een late planting (3^e week januari) en doordat 2014 een historisch warm jaar was.

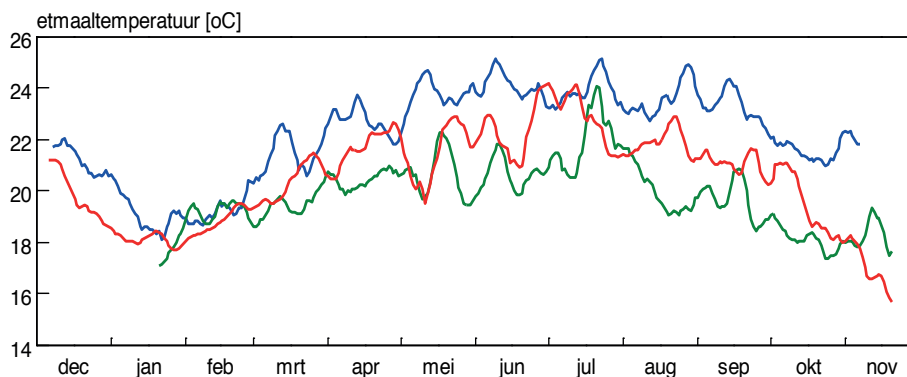
De energieverbruiken zijn over de hele linie laag doordat de VenLow Energy kas met HR+ isolatieglas is gedekt en een ontvochtigingsinstallatie met warmteterugwinning gebruikt.

De eerder gevolgde teelten betroffen echter allemaal een onbelichte tomatenteelt en, onder de groenteteelten wordt de tomaat relatief koud geteeld. Een paprikateelt vraagt hogere temperaturen en daarom is in de aanloop naar het voorliggend project de verwachting geschetst dat, uitgaande van een 1.5 graden warmere teelt en een langere teeltduur het verbruik voor een paprikateelt op 13 m³/m² jaar zou uitkomen. Het uiteindelijk energieverbruik is op 14.5 m³/(m² jaar) uitgekomen, iets hoger dan verwacht dus.

In dit hoofdstuk worden de energieverbruiksgegevens getoond en van enige uitleg voorzien. Uiteraard speelt de gekozen teelttemperatuur en het luchtvochtigheidsbeleid daarin een belangrijke rol. Het temperatuurbeleid is wekelijks besproken met praktijktuinders en adviseurs, na observatie van het gewas. Deze begeleidingscommissie bestond uit: Ard Ammerlaan, Maikel van der Berg, Danny van der Spek en Cees Vijverberg. Ook Jeroen Zwinkels en in de tweede helft van het jaar ook Stephan Hendriks, teeltadviseurs van Delphy, hebben bijgedragen aan de formulering van het teeltbeleid. Tenslotte hebben de teeltmanagers bij het Improvement Centre (Rick van der Burg) en bij Wageningen University & Research Glastuinbouw (Kees Scheffers) en de onderzoeker Arie de Gelder bijgedragen aan de wekelijkse bijstellingen van het toegepaste kasklimaat, de watergift, de bemesting en de benodigde teelthandelingen.

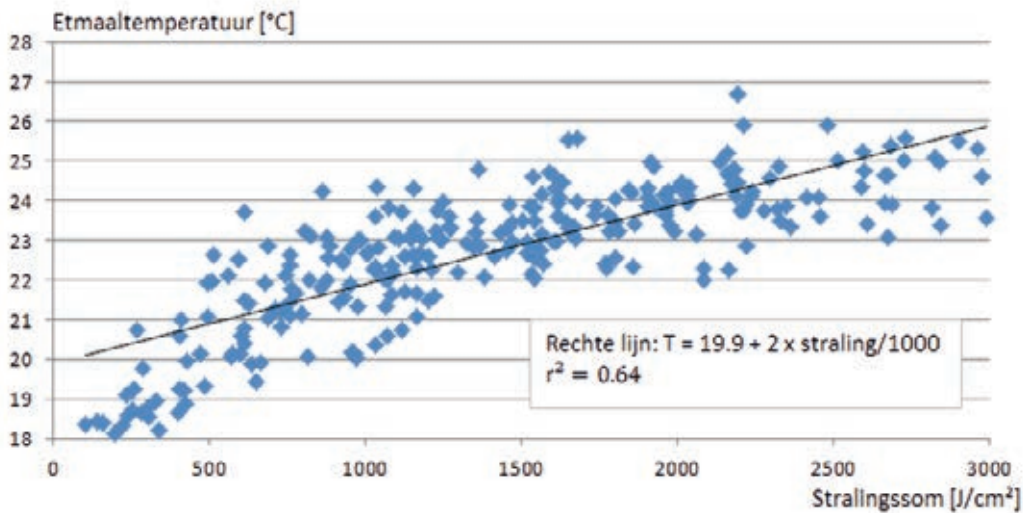
2.2 Teelttemperatuur en energiegebruik

De energiebesparingsprestatie van de VenLowEnergy kas is tot nu toe steeds bestudeerd aan de hand van de tomaat. Tomaat wordt echter kouder geteeld dan paprika, wat goed te zien is in onderstaande grafiek.



Figuur 2.1 Etmaaltemperatuur in de paprikateelt in 2016 (blauw) en in de tomatenteelt in 2014 (groen). De rode lijn is de etmaaltemperatuur die in 2010 is gehanteerd in het project Het Nieuwe Telen in de paprika. Om de grafiek beter leesbaar te maken is gebruik gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde filter van 7 dagen.

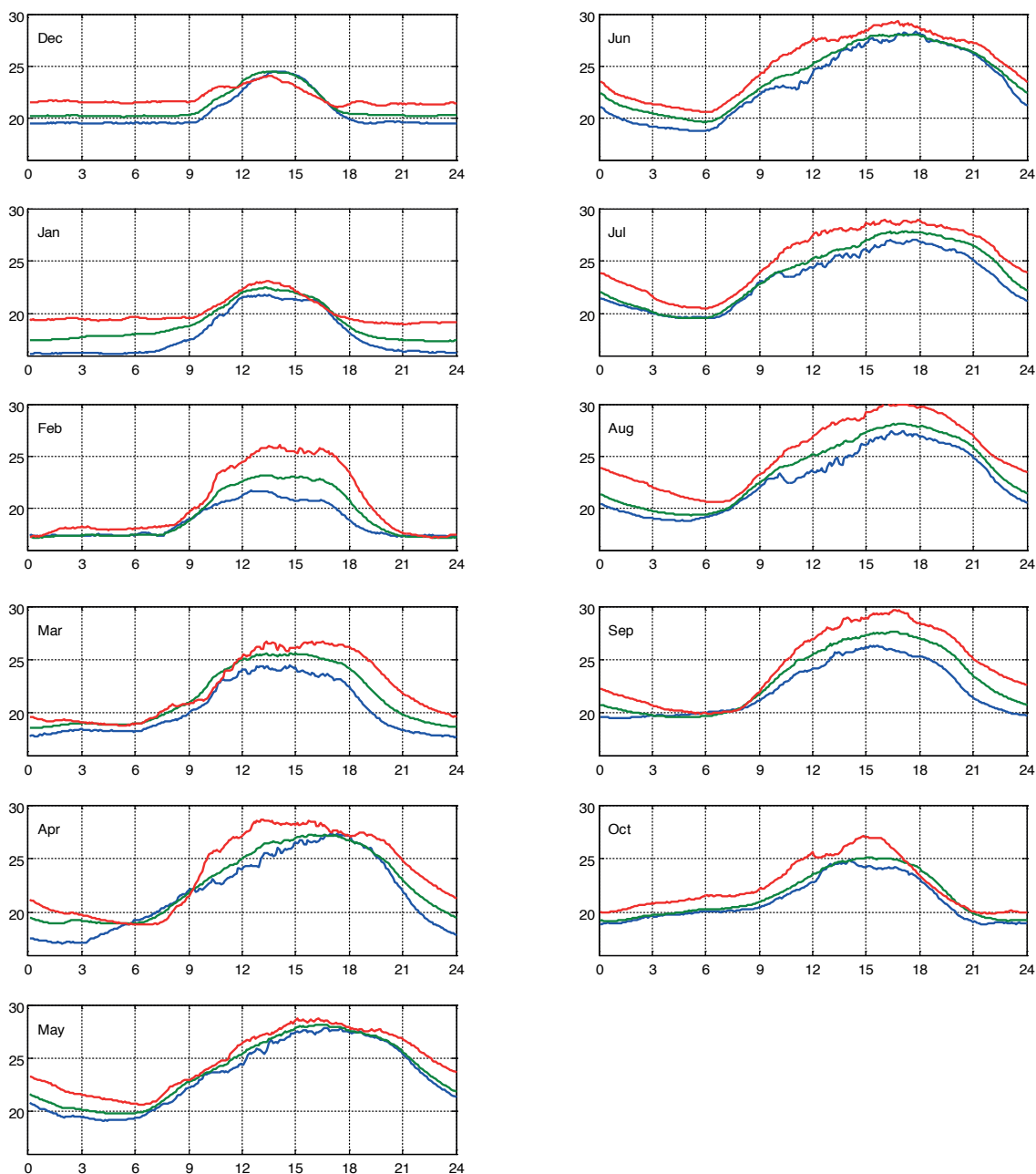
De hoge etmaaltemperaturen, met name in de zomer, zijn gerealiseerd door het openen van de ramen lang uit te stellen. Dit is gedeeltelijk vanwege de energiezuinige klimaatregelaar instellingen (een hoge ventilatielijn en een lage stooklijn), maar is ook ingegeven door het sterven om een hoge lichtintensiteit te laten samengaan met een hoge etmaaltemperatuur. Onderstaande figuur toont de licht-temperatuur-relatie over de periode van 1 februari tot het eind van de teelt. De temperaturen van de eerste twee maanden van de teelt zijn niet meegenomen omdat in die opkweek-fase de tuinder met de instelling van de teelt-temperaturen probeert een gewenste plant-architectuur te realiseren. Pas later, als de plant in het productieve stadium komt wordt er meer vertrouwd op een sterke relatie tussen licht en temperatuur om de plant in balans te houden.



Figuur 2.2 Relatie tussen etmaaltemperatuur en starlingssom over de periode van 1 februari tot 15 oktober

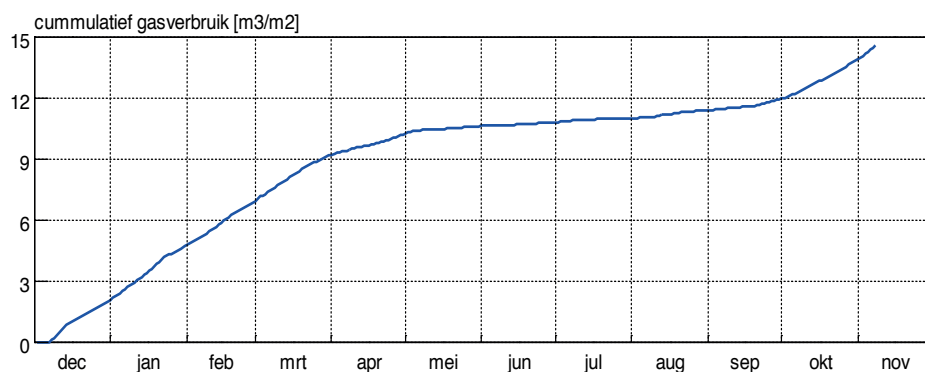
De instellingen leiden in de zomer tot forse verschillen tussen nacht en dag, wat te zien is in onderstaande grafieken met het cyclisch etmaalverloop per maand. In iedere grafiek staat het gemiddelde temperatuurverloop over het etmaal, het temperatuurverloop gedurende de koudste periode van 5 dagen en het verloop gedurende de warmste periode van 5 dagen.

De grafieken laten ook zien dat de afkoeling in de nacht vrij langzaam verloopt. Ook dit heeft bijgedragen aan het lage energieverbruik omdat de verwarming 's nachts dan pas laat hoeft te worden aangezet.



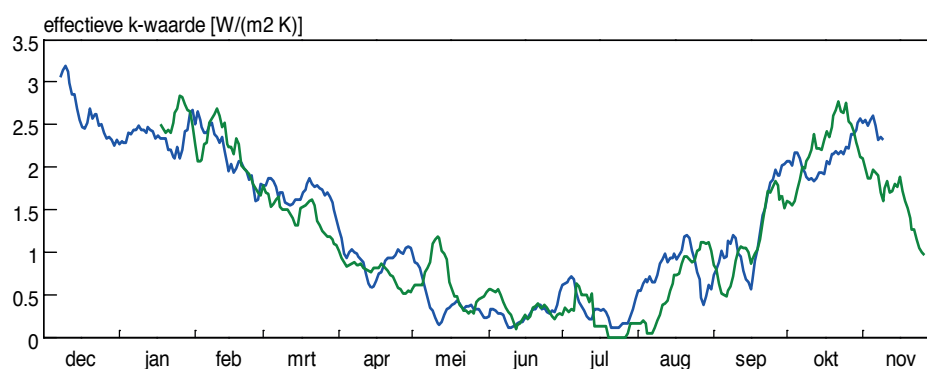
Figuur 2.3 Cyclisch gemiddeld temperatuurverloop in de verschillende jaren. De grafieken tonen steeds het gemiddelde verloop over de maand (groen), het gemiddeld verloop over de koudste periode van 5 dagen (blauw) en over de warmste periode van 5 dagen (rood).

De aanzienlijk hogere temperatuur dan die in de tomatenteelt gehanteerd wordt leidt natuurlijk tot een hogere warmtevraag. Figuur 2.4 toont het gerealiseerde verbruik in deze paprikateelt. Deze lijn is gecorrigeerd voor het gevelverlies wat in de kleine proefkas onevenredig groot is. Het getoonde verbruik is dat wat een kas met de dek-eigenschappen en installatie van de proefkas op een groot bedrijf (4 ha of meer) zou hebben vertoond. Aan het eind van de teeltperiode, op 7 november, was er 14.5 m³ aardgas per m² voor de verwarming ingezet.



Figuur 2.4 Cumulatief gasverbruik van de paprikateelt in de VenLow energy kas, waarbij het gemeten gasverbruik gecorrigeerd is voor het onevenredig grote verlies van de gevel in de kleine proefkas.

Deze 14.5 m³ aardgas is hoger dan de 13 m³ die in het projectvoorstel werd verwacht. Dit heeft vooral te maken met de nóg hogere temperatuur dan waarvan uitgegaan was. Voor de inschatting was gebruik gemaakt van de resultaten uit de eerdere proef met Het Nieuwe Telen Paprika² waar de etmaaltemperatuur door de bank genomen zo'n 1 tot 1.5 graad hoger lag dan bij de laatste tomatenteelt in de VenLow Energy kas. Gedurende de proef bleek echter dat het gewas voor een goede plantbalans etmaaltemperaturen rond de 22 tot 24 °C nodig had, waarmee de etmaaltemperatuur 2 tot 3 graden boven de laatste tomatenteelt kwam te liggen. De hogere teelttemperaturen zijn zonder aarzelingen toegepast omdat van de VenLow Energy kas bekend is dat deze een lage effectieve k-waarde heeft. Dit betekent dat, een hoge temperatuur weinig extra verwarmingsvermogen kost. Het verloop van de effectieve k-waarde wordt getoond in Figuur 2.5. De k-waarde is het kental dat wordt berekend door het temperatuurverschil tussen kas en buitenlucht te delen door het verwarmingsvermogen. Wanneer dit kental wordt bepaald uit de etmaalgemiddelde kasluchttemperatuur, de etmaalgemiddelde buitentemperatuur en het etmaalgemiddelde verwarmingsvermogen wordt een effectieve k-waarde verkregen.



Figuur 2.5 Effectieve k-waarde, berekend door het gemiddeld verwarmingsvermogen per dag te delen door het verschil in etmaaltemperatuur in en buiten de kas. De k-waarde is berekend voor de paprikateelt in 2016 (blauw) en de tomatenteelt in 2014 (groen). Om de grafiek beter leesbaar te maken is gebruik gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde filter van 7 dagen.

² Gelder, A. de, M. Warmenhoven, M. Grootsholten en J. Zwinkels, 2011, Nieuwe Telen Paprika, Wageningen, Rapport GTB-1103

Figuur 2.5 laat zien dat ondanks de twee verschillende teelten en verschillende jaren, de effectieve k-waarde redelijk overeenkomt. Het grote verschil tussen zomer en winter komt doordat in de zomer de kas vooral door de zon wordt verwarmd, wat wel een temperatuur-verhoging oplevert, maar geen stookenergie kost, en in de winter vooral met de verwarming wordt gerealiseerd.

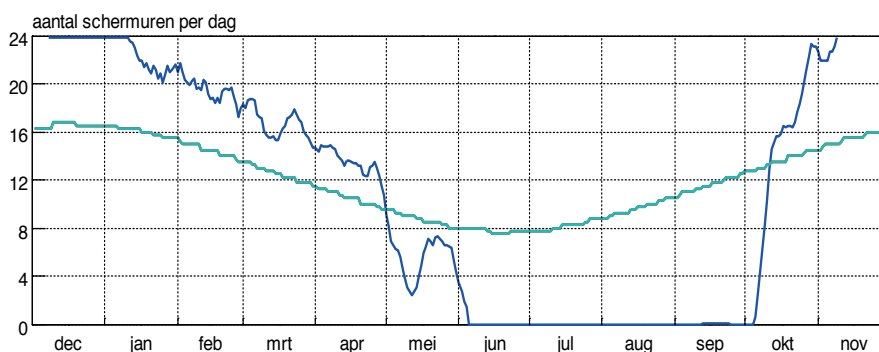
De effectieve k-waarde van de VenLow Energy kas is laag in vergelijking met die van andere kassen. In de rapporten over het monitoringproject, waar met dezelfde formule ook effectieve k-waardes worden getoond zit de effectieve k-waarde vaak ruim boven de 4 en wordt een waarde onder de 3 W/(m² K) al als zeer zuinig gekwalificeerd. De VenLow Energy kas zit zelden boven de 3 en zit het grootste deel van het jaar ruim onder de 2 W/(m² K).

Wanneer aan de hand van de effectieve k-waarde van de kas in 2016 wordt berekend hoeveel aardgas er nodig is geweest om de hogere temperatuur ten opzichte van de tomatenteelt van 2014 te realiseren dan blijkt dat die aanzienlijk hogere etmaaltemperatuur niet meer dan 2 m³ aardgas per m² heeft gekost.

De eerdere plantdatum, 7 dec in plaats van 17 januari heeft veel meer gas gekost, 3.8 m³/m². Het iets eerder stoppen met de paprikateelt (op 7 november in plaats van op 25 november) heeft weer een kleine kuub gas bespaard.

Waar dus gesteld is dat de Venlow Energy kas voor een tomatenteelt in een gemiddeld Nederlands jaar aan 10 m³ aardgas equivalenten voldoende zou hebben³ zou een verbruik van 15 m³/m² voor de langere en warmere paprikateelt ook nog als een normale waarde gezien moeten worden. De gerealiseerde 14.5 m³ is dus, gegeven de hogere teelttemperatuur van Paprika geheel in lijn met de prestaties die van deze kas verwacht mogen worden.

Het lage energieverbruik van de VenLow Energy kas komt behalve van het gebruik van HR+ glas ook door het intensief gebruik van het scherm. Omdat de VenLow Energy kas met een balansventilatiesysteem is uitgerust hoeft hetscherm niet vocht en/of luchtdoorlatend te zijn zodat er gewerkt is met een dicht foliescherm. Onderstaande figuur toont het aantal schermuren per dag dat het scherm is toegepast. Over de teelt gerekend waren dit 3540 schermuren.



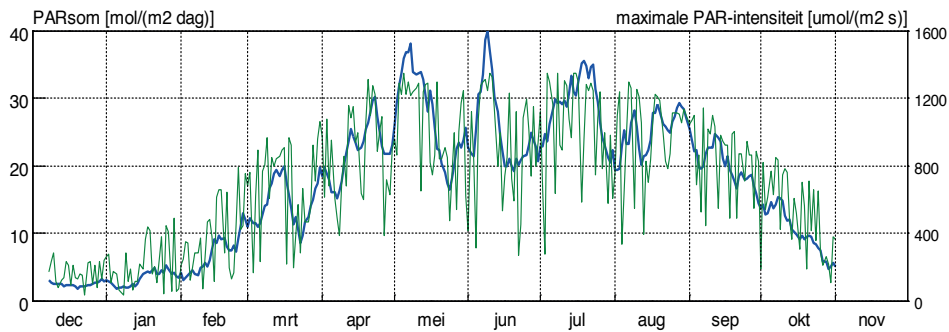
Figuur 2.6 Aantal schermuren per etmaal (donkerblauwe lijn). De grafiek toont ook het aantal nacht-uren per etmaal (lichtblauw). Voor een betere leesbaarheid zijn de gegevens gefilterd met een 7-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

In Figuur 2.6 is goed te zien dat in de eerste maand het scherm de hele dag dicht is gehouden en dat pas vanaf half januari het scherm in het midden van de dag werd geopend. Tot aan mei toe werd het scherm in de ochtend en/of aan het eind van de middag gesloten, wat gemakkelijk kan worden afgelezen uit de vergelijking van het aantal schermuren met het aantal dag-uren. Vanaf juni tot september is het scherm niet gebruikt omdat de kas ook zonder scherm nauwelijks gestookt hoefde te worden. Vanaf oktober gaat het gasverbruik weer oplopen (zie Figuur 2.4) en vanaf toen is er weer een schermstrategie gevolgd zoals in het voorjaar.

³ H.F. de Zwart, J. Janse en F.L.K. Kempkes, 2015, Tomatenteelt in de hooggeïsoleerde VenLow Energy kas, Wageningen, Rapport GTB-1366

Het scherm is niet gebruikt als schaduw scherm. Ook is er geen krijt op de kas toegepast. Ondanks het feit dat daardoor al het zonlicht tijdens zonnige dagen is toegelaten zijn is er maar weinig vruchtverbranding opgetreden. Van de zomerproductie is 6% van de vruchten om verschillende redenen als 2^e kwaliteit gekwalificeerd.

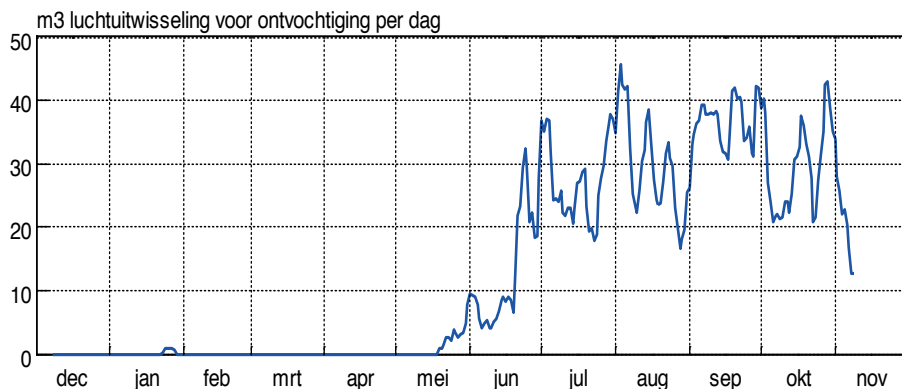
Een deel van de verklaring voor het feit dat een schaduw scherm in de zomer niet nodig is geweest is de wat lagere lichttransmissie van de VenLow Energy kas ten opzichte van standaard glazen kassen. Ondanks het gebruik van anti-reflectie coatings is de overall lichttransmissie van het kas, gemeten op gewasniveau 65%. Dit is een beetje lager dan de lichttransmissie van een moderne enkelglas kas, waar op gewasniveau 70% tot 73% wordt gemeten. De lichtintensiteiten bij geopend scherm blijven daardoor wat lager. Onderstaande figuur laat de PARsom per dag op gewashoogte zien en de gemiddelde PAR-intensiteit op het lichtste uur van de dag.



Figuur 2.7 PARsom (blauw, vet, linker y-as) en maximale lichtintensiteit (groen, dun, rechter y-as) op gewashoogte per dag. Voor een betere leesbaarheid is de PARsom gefilterd met een 7-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

Naast het gebruik van dubbel glas en een scherm is de derde reden voor het lage energieverbruik van de VenLow Energy kas het feit dat er voor de ontvochtiging een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning wordt gebruikt. Met dit ventilatiesysteem wordt de aangezogen buitenlucht opgewarmd vanuit de afgevoerde vochtige kaslucht waardoor 80% van het voelbare warmteverlies wat met de ontvochtiging gepaard gaat teruggewonnen wordt.

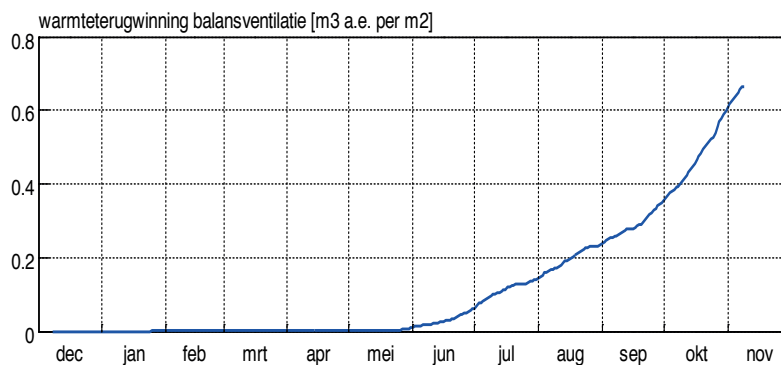
De ontvochtiging werd aangezet als het verzadigingsdeficit in de kas onder de 1.8 gram/m³ zakt, en weer uitgezet als die boven de 2.2 gram/m³ uitsteeg. Binnen dit traject werd het ventilatortoerental geregeld. Onderstaande figuur toont het aantal m³ buitenlucht dat per dag door de ontvochtigingsunit werd ingeblazen.



Figuur 2.8 Hoeveelheid buitenlucht die per dag voor de ontvochtiging is ingeblazen.

Opvallend in deze figuur is dat de ontvochtigingsinstallatie pas vanaf mei vocht is gaan afvoeren. In een praktijkkas op ha-schaal zou dit waarschijnlijk al eerder in het jaar begonnen zijn. De ontvochtigingsbehoefte in de VenLow Energy kas is namelijk wat kleiner dan in de praktijk omdat het relatief grote gevelopervlak en de vrije ligging van de vrij kleine kas tot een relatief groot lekverlies leidt.

De warmte-terugwin installatie heeft ervoor gezorgd dat de ingeblazen kaslucht werd opgewarmd met de uitgaande warme en vochtige kaslucht. Buitenlucht-inblaas systemen zonder warmteterugwinning zouden de buitenlucht hebben opgewarmd naar de temperatuur van de stooklijn. Aan de hand van de 5 minuten gegevens van buitentemperatuur, kasluchttemperatuur, stooklijn en ventilatorstand kan gemakkelijk worden berekend hoeveel energie er door de warmte-terugwinning is bespaard. Onderstaande grafiek toont de hoeveelheid warmte die zo is teruggewonnen.

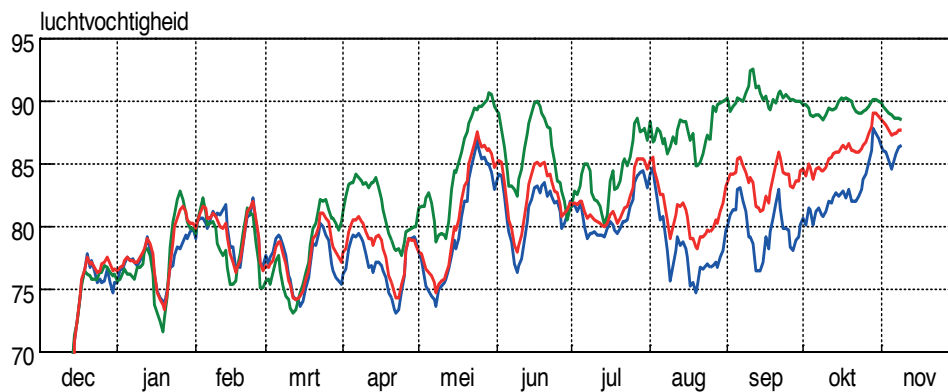


Figuur 2.9 Warmteterugwinning door het balansventilatiesysteem.

De warmte-terugwinning blijkt niet meer dan 0.7 m^3 aardgas equivalenten per m^2 per jaar te bedragen. Dit is weinig, wat vooral te maken heeft met de hoge luchtvochtigheid die in deze teelt getolereerd werd, maar uiteraard ook door het feit dat de ontvochtiging pas vanaf eind mei nodig werd. In een praktijkkas met eenzelfde ontvochtigingssysteem en eenzelfde regelstrategie voor de luchtvochtigheid in de kas zou de warmte-terugwin installatie misschien 1 tot 1.5 m^3 aardgas equivalenten hebben bespaard.

Dit blijft een kleine hoeveelheid, wat komt doordat telen bij een hoge luchtvochtigheid niet alleen het aantal m^3 kaslucht dat voor de ontvochtiging uitgewisseld moet worden beperkt, maar er ook voor zorgt dat er per m^3 luchtuitwisseling relatief veel vocht wordt afgevoerd. Bovendien remt een hoge luchtvochtigheid de vochtproductie.

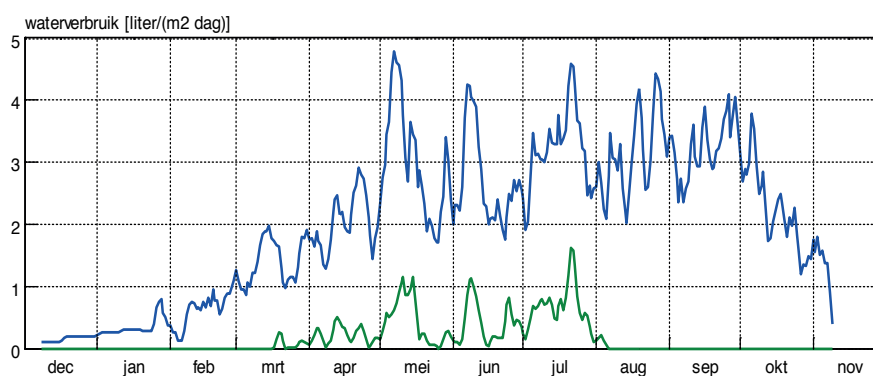
Onderstaande figuur toont luchtvochtigheid in de kas gedurende de teelt



Figuur 2.10 Luchtvochtigheid door het teeltseizoen van de Paprika in de VenLow Energy kas. De luchtvochtigheid overdag (blauw) ligt altijd wat lager dan de luchtvochtigheid 's nachts (groen). De etmaalgemiddelde luchtvochtigheid is met de rode lijn weergegeven. Om de grafiek beter leesbaar te maken is gebruik gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde filter van 7 dagen.

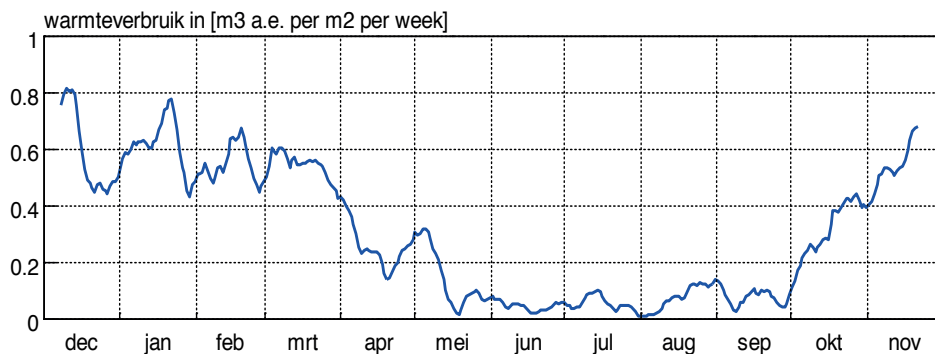
De eerste dagen na planten is de verdampingscapaciteit van het jonge plantje klein maar al snel zakt de luchtvochtigheid niet meer onder de 75%. Tot laat in het voorjaar is de luchtvochtigheid van de buitenlucht laag en, gecombineerd met de hoge kasluchttemperatuur blijft de luchtvochtigheid ook 's nachts onder de 90%. Vanaf mei wordt de nachtelijke luchtvochtigheid hoger en gaat de ontvochtigingsinstallatie ook aan. (zie Figuur 2.8) . Overdag ligt de luchtvochtigheid gemiddeld tussen de 80 en 85%. Lage waarden worden dan voorkomen door verneveling toe te passen. Het effect van de verneveling is goed te zien wanneer vanaf augustus de verneveling uitgezet wordt. (Dit uitzetten van de verneveling was ingegeven door de lage vruchtzetting die in die tijd werd waargenomen).

Onderstaande figuur toont het aantal liters water wat via het gewas is verdampt en wat via de verneveling is toegediend. Tijdens warme perioden in de zomer leverde de verneveling ongeveer 20% van de totale hoeveelheid die door het gewas werd verdampt en zorgde daarmee voor een substantieel aandeel in de koeling van de kas.



Figuur 2.11 Waterverbruik in de kas door het gewas (blauw) en door de verneveling (groen). Om de grafiek beter leesbaar te maken is een voortschrijdend gemiddelde filter van 3 dagen toegepast.

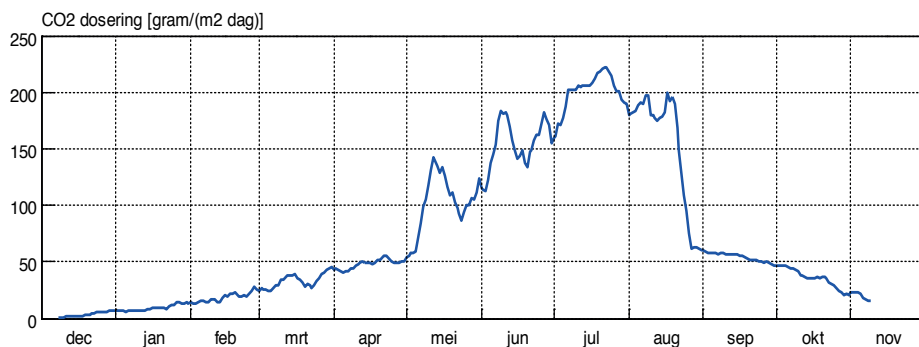
De energie-efficiënte kas, in combinatie met de energiezuinige gebruikswijze leiden tot een het lage energieverbruik, wat in onderstaande grafiek met weekgemiddelden goed is te zien. Vooral het zomerverbruik is zeer laag (0.05 tot 0.1 m³/m² per week). Dit heeft enerzijds te maken met het feit dat er geen minimum buis wordt gebruikt, en anderzijds met een rustig stookgedrag, waarbij de kas in de ochtend vooral door de zon wordt opgewarmd.



Figuur 2.12 Warmtevraag van de VenLowKas in de Paprikateelt van 2016. De warmtevraag is inclusief het gevelverlies, uitgaande van een kas op praktijkschaal. Om de grafiek beter leesbaar te maken is gebruik gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde filter van 7 dagen.

De geringe warmtebehoefte maakt dat er weinig rookgassen zijn voor CO₂-dosering, vooral in de zomer. Een energiezuinige teelt zoals in de VenLow Energy kas zal dus afhankelijk zijn van externe CO₂-levering. CO₂-dosering is daarmee een schaars goed en daarom is bij aanvang van de proef gesteld dat er niet meer dan 25 kg CO₂ zou worden gedoseerd.

Onderstaande figuur toont de gerealiseerde dosering.

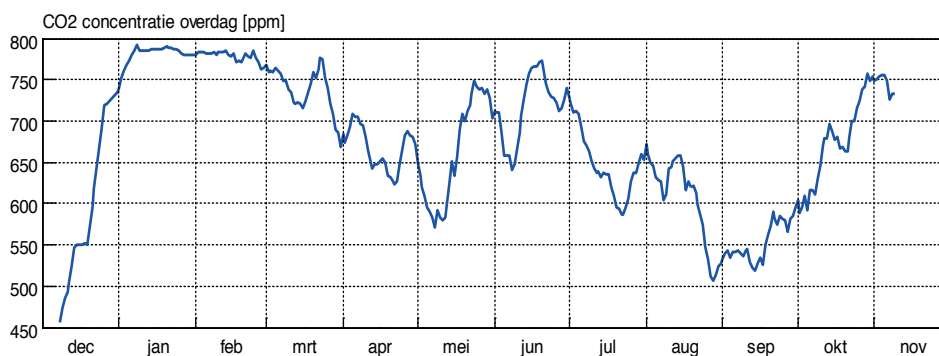


Figuur 2.13 CO₂-dosering in de VenLowKas in de Paprikateelt van 2016.

In het begin van de teelt was de kas nagenoeg dicht en nam het jonge gewas weinig CO₂ op. Ook stond in het begin de doseercapaciteit laag (50 kg/ha uur). Omdat met deze instelling eind april nog maar 3.5 kg per m² was gedoseerd en de concentratie overdag erg laag begon te worden is de doseercapaciteit in mei verhoogd naar 120 kg/(ha uur) en in juni nog verder verhoogd naar 150 kg/(ha uur). In figuur 2.14 is goed te zien dat met de verruiming van de capaciteit de concentratie in mei en juni overdag weer rond de 700 ppm kon worden gehouden. In de maand juli liep de gemiddelde concentratie terug. De warme buitenomstandigheden maakte in die periode gemiddeld grote raam-openingen nodig, waardoor de verliezen van CO₂ groot waren. In augustus was de CO₂-concentratie ook laag omdat in die periode de verneveling niet werd gebruikt (zie ook bespreking van Figuur 2.9).

Eind augustus is de doseercapaciteit weer verlaagd naar 50 kg/(ha uur) omdat de hoeveelheid gedoseerde CO₂ het gestelde maximum van 25 kg/(m² jaar) dreigde te gaan overschrijden. Dit is duidelijk terug te zien in de lage concentraties van eind augustus en in september. Naar het eind van de teelt komt de concentratie wel weer langzaam hoger te liggen omdat de lager wordende buitentemperaturen en afnemende kracht van de zon ervoor zorgen dat de ramen steeds minder open hoeven.

Met de ingestelde doseercapaciteiten is er in deze teelt precies 25 kg/m² gedoseerd.



Figuur 2.14 CO₂-concentratie in de VenLowKas in de Paprikateelt van 2016. De getoonde concentratie is de gemiddelde waarde van de dagperiode (meer dan 50 W/m² globale straling). Voor de leesbaarheid is de lijn wat afgevlakt met een 7-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

Er is nog geen uitgekristalliseerde strategie ontwikkeld voor de optimalisatie van de doseercapaciteit door het jaar heen. In de huidige teelt zijn er een paar keer forse veranderingen in doseercapaciteit aangebracht om op de beoogde 25 kg/m² aan het eind van de teelt uit te komen. Mogelijk had een iets andere strategie (bijvoorbeeld 80 kg/(ha uur) tot half mei, dan 120 kg/(ha uur) tot eind augustus en dan weer 80 kg/(ha uur) tot het eind van de teelt een iets hoger rendement van de gedoseerde CO₂ opgeleverd. Er zijn op dit moment echter geen goed gevalideerde modellen beschikbaar die hier uitsluitsel over kunnen geven.

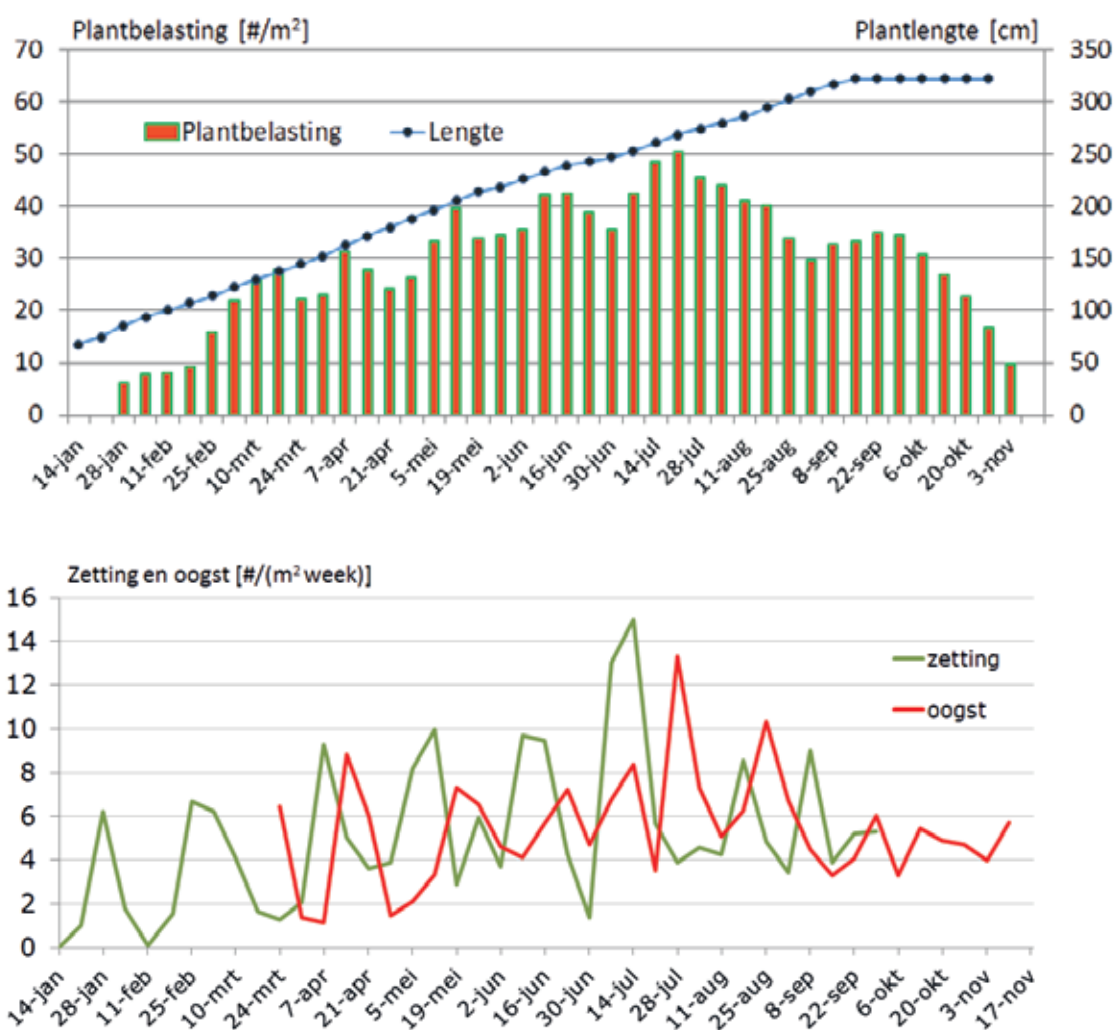
Zeker is wel dat het gestelde maximum (25 kg/m²) ertoe zal leiden dat in de zomer de concentratie overdag gemiddeld rond de 675 ppm zal uitkomen.

In het experiment is alle CO₂ door middel van zuivere CO₂ toegediend. Dit zal bij gebruik van warmtepompen of geothermie als duurzame energiebron voor de verwarming (zie hoofdstuk 5) ook in praktijk ingezet worden. Indien echter een kas als de VenLowEnergy kas met een ketel wordt verwarmd, al dan niet gestookt met groen gas, zal een basisdeel van deze CO₂ vanuit de rookgassen kunnen worden ingevuld. Bij vergelijking van het dagelijkse aanbod met de dagelijkse vraag naar CO₂ blijkt dat er dan nog 18 kg/m² aan zuivere CO₂ moet worden aangevoerd.

3 Teelt en productie

In dit experiment is gebruik gemaakt van het rode Paprikaras Maranello van Enza. De planten zijn op 20 oktober gezaaid en op 7 december de kas in gegaan. Er is geplant met een dichtheid 2.2 planten per m² (2 planten per substraatmat, en 1 mat per 1.15 meter uit elkaar in een dubbel goot-systeem). Elke plant is direct vanaf het begin twee keer vertakt, zodat er uiteindelijk 6.6 stengels per m² stonden. De planten zijn met een 4-gewasdraden systeem opgehangen om een goede lichtonderschepping te kunnen krijgen. Vanaf 14 januari is begonnen met een wekelijkse registratie van lengtegroei, zetting, vruchtabortie en oogst aan 24 planten., verdeeld over 2 telvakken (24 planten = 24 koppen = 8 plantblokken = 4 substraatmatten). Gedurende de teelt is op de gebruikelijke manier water gegeven, wat betekent dat het drainpercentage rond de 30% lag en dat de EC van het drainwater rond de 4.5 mS/cm is gehouden.

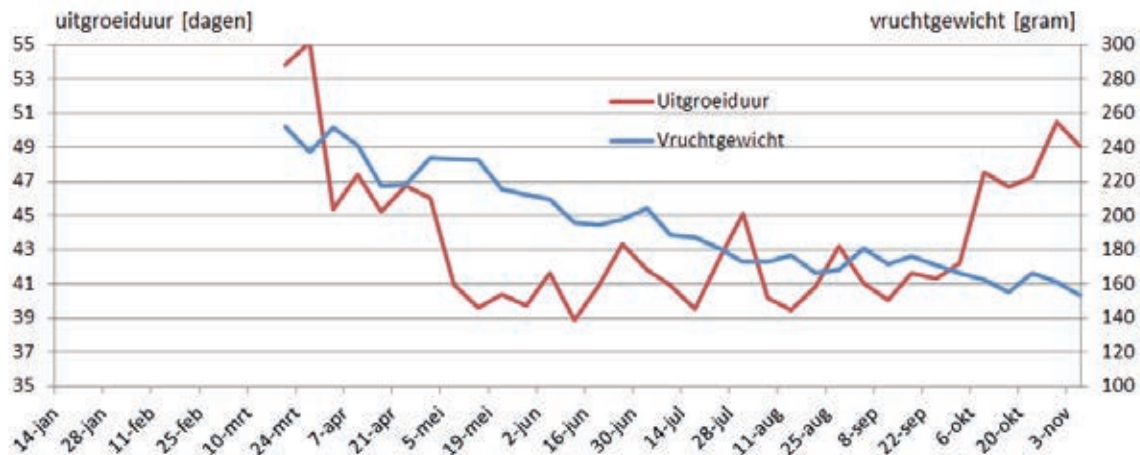
Onderstaande grafieken tonen de lengtegroei, de plantbelasting, de zetting en de oogst van vruchten over het teeltseizoen.



Figuur 3.1 Gegevens over de gewasontwikkeling van de Paprika in de VenLow Energy kas in 2016.

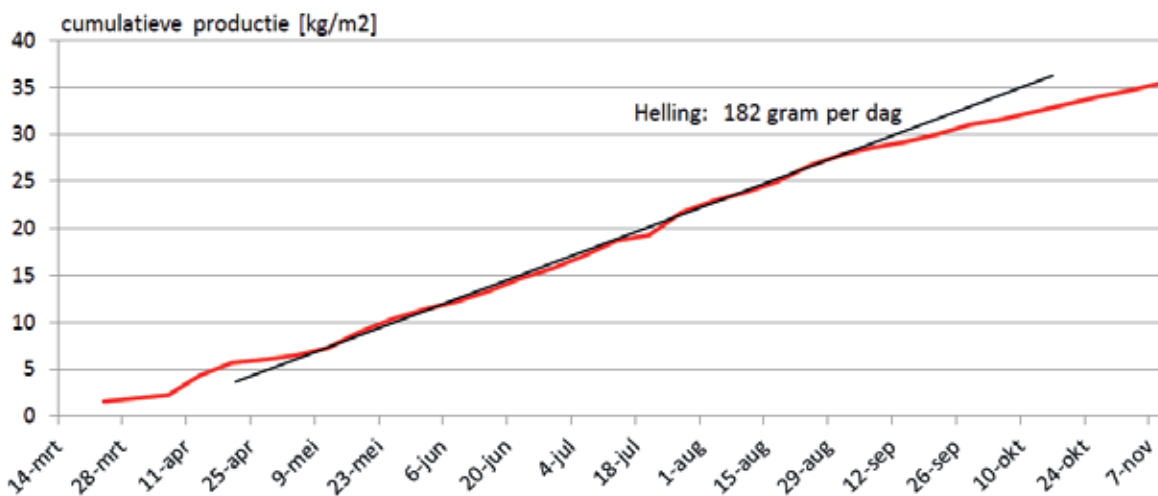
De teelt vertoont het typische fluctuerende patroon van de paprikateelt, waarbij weken met een groot aantal geogste vruchten worden afgewisseld door weken met een kleiner aantal geogste vruchten.

Het gemiddeld vruchtgewicht begon hoog, maar liep gedurende de teelt langzaam af. De uitgroei duur van de vruchten nam af bij toenemende lichtbeschikbaarheid in het voorjaar en liep weer op bij afnemend licht.



Figuur 3.2 Uitgroei duur en gemiddeld vruchtgewicht in de Paprikateelt in de VenLow Energy kas in 2016.

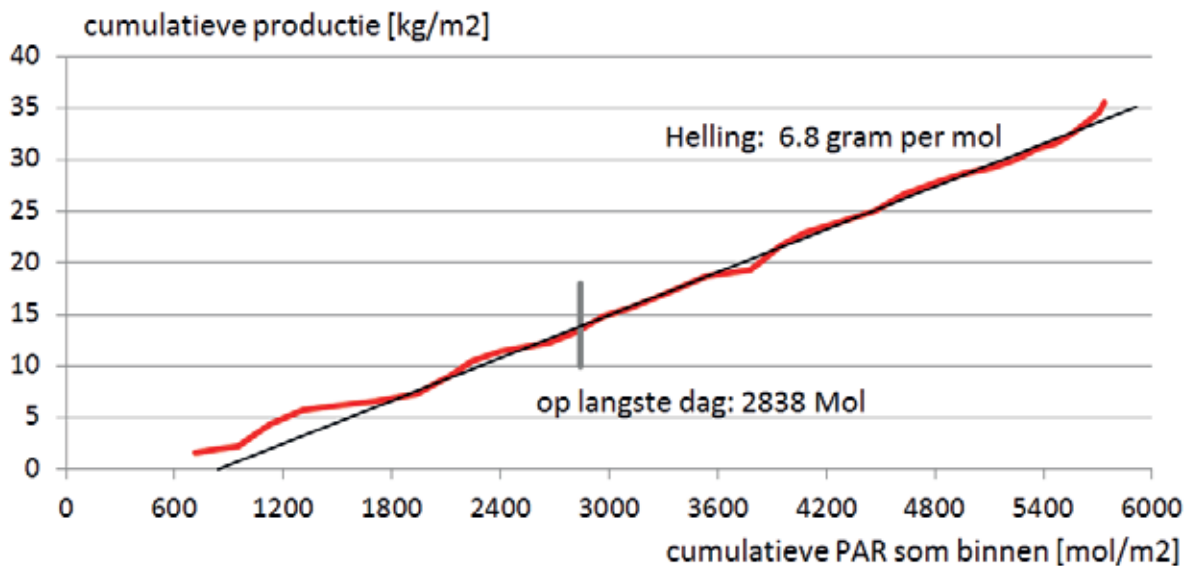
Bij beëindiging van de teelt op 11 november 2016 was er in totaal 35.2 kg/m² geoogst. Dit is het gewicht wat gemeten is direct na de oogst uit vier carrousel's in het midden van de kas. Het verloop van de cumulatieve oogst is weergegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Cumulatieve productie van de Paprikateelt in de VenLow Energy kas in 2016 in de tijd.

De eerste oogst was op 24 maart en het duurde tot begin mei voordat de oogst goed op gang kwam. Vanaf dat moment is de oogst gestaag opgelopen met een gemiddelde paprika-productie van 182 gram per m² per dag. Het gemiddeld vruchtgewicht in deze periode was om en nabij 170 gram/vrucht en de vruchten hadden gemiddeld 45 dagen nodig om van gezette vrucht tot oogstbare vrucht uit te groeien.

Vanaf eind augustus vakt de productie af. Dit is helemaal toe te schrijven aan de afnemende lichtintensiteit, want als de cumulatieve productie wordt uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheid licht die het gewas aangeboden heeft gekregen, krijgen we de onderstaande grafiek.



Figuur 3.4 Cumulatieve productie van de Paprikateelt in de VenLow Energy kas in 2016 uitgezet tegen de cumulatieve lichtsom (PAR-licht) die het gewas is aangeboden vanaf de plantdatum.

Wanneer niet de tijd, maar de cumulatieve lichtsom op de x-as wordt gezet blijkt de lichtsom (binnen in de kas) een veel consistentere verklarende variabele voor de gewasproductie. Het gewas maakt vrijwel de hele teelt door 6.8 gram Paprika uit iedere mol PAR-licht die het gewas aangeboden krijgt. Alleen de eerste 6 kilo en de laatste 3 kilo voldoen niet aan die relatie. De eerste kilo's komen er moeilijker vanaf omdat het jonge gewas dan nog in de opbouwphase is. De productie in gram/mol is dan lager. De laatste kilo's worden met minder licht geproduceerd (meer gram/mol) omdat in die periode de top uit het gewas is gehaald en er dus geen assimilaten meer naar de aanmaak van nieuwe vruchten hoeven. De assimilaten gaan dan vooral naar de laatste vruchten.

Figuur 3.4 laat ook zien dat er geen sprake is van een afnemende plant-efficiëntie na de langste dag. Het merendeel van de productie wordt na de langste dag geproduceerd. Een soortgelijke constatering is in de voorgaande tomatenproeven in de VenLow Energy kas gedaan.

Als *et al.* sprake zou zijn van een veranderende helling van de lijn tussen licht en productie, en er twee rechte lijnen in de grafiek zouden worden getrokken dan loopt de tweede lijn (na de langste dag) steiler dan de eerste lijn (tot de langste dag).

De bovengetoonde productiegegevens zijn verkregen uit de totale productie uit twee carrousel (14% van het oppervlak van de proefkas) en bevat zowel 1^e als 2^e kwaliteit vruchten. De productie uit de hele kas is ook geregistreerd met behulp van de sorteermachine van een praktijktuinder. Deze sorteermachine kwam op een totaalproductie van 34 kg/m², waarvan 1.5 kg/m² als 2^e kwaliteit beoordeeld. De productie aan klasse-I rode paprika bedroeg dus 32.5 kg/m², wat door de tuinders die het project hebben begeleid als een zeer goed productieresultaat is gekwalificeerd.

4 Gewasgezondheid

De teelt in de VenLow Energy kas heeft geen grote problemen ten aanzien van de gewasgezondheid gekend. Vlak na aanplant is twee maal Previcur als preventieve behandeling tegen wortelziektes met het druppelwater meegegeven en in de eerste maand is een preventieve behandeling tegen thrips uitgevoerd (4x Vertimec toegediend in een maand tijd).

Gedurende de teelt is er iedere nacht zwavel verdampt als preventieve maatregel tegen schimmelvorming. In het jonge gewas werd er gedurende 2 uur per nacht met één verdampertpot zwavel verdampt. Later in de teelt werd het aantal uren opgehoogd tot 6 uur verdampen vanaf september tot het eind van de teelt.

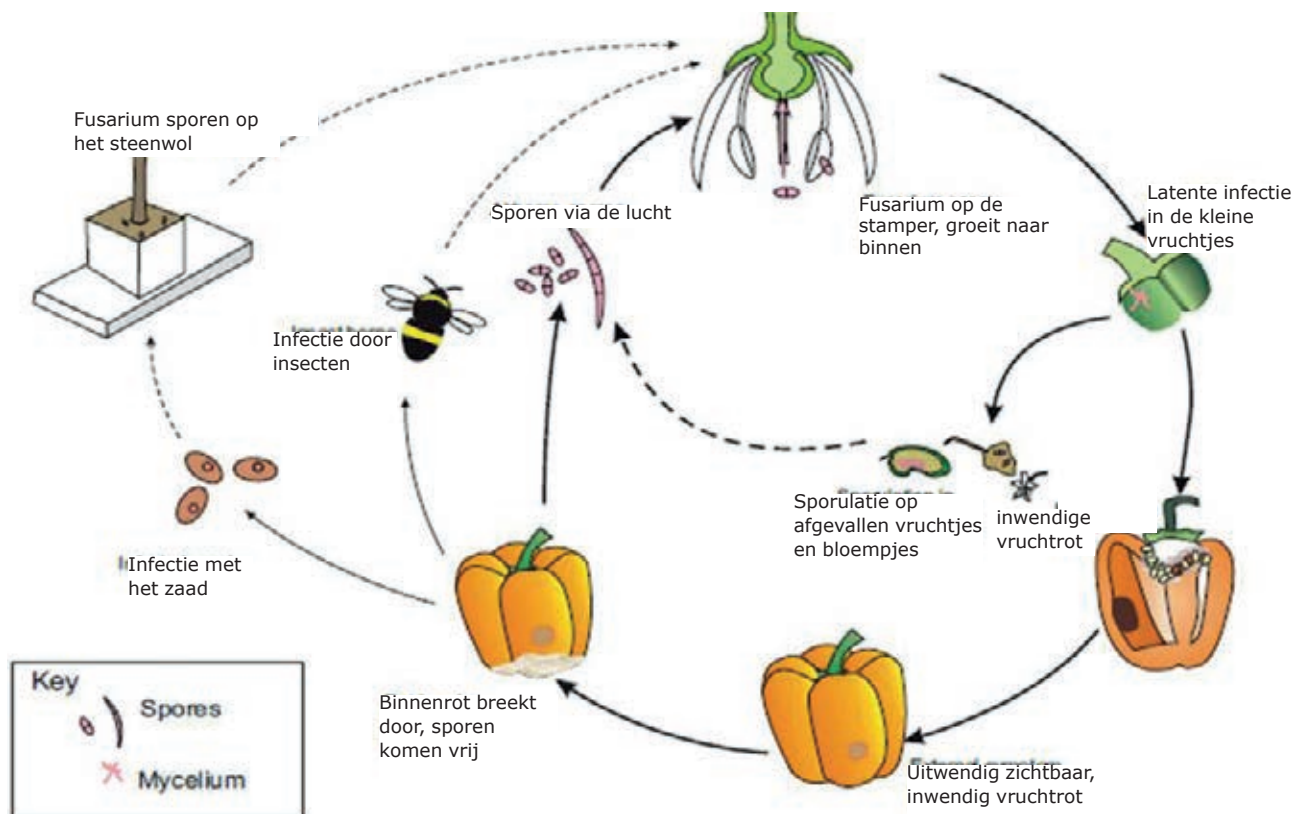
Eind juni was er een ernstige aantasting van spint. Dit is behandeld met Floramite

Ook werd er in juni wat Mucor geconstateerd in de bloemen. Hier is 2x tegen gespoten met Serenade.

Als biologisch bestrijder tegen witte vlieg is Amblyseius swirskii uitgezet. Deze heeft de witte vlieg er goed onder kunnen houden, behalve in september. Toen is er twee keer met Admiral tegen witte vlieg gespoten.

In augustus is er tenslotte Pirimor met de watergift gedruppeld tegen boterbloemluis en eind augustus met Nocturn gespoten tegen rupsen.

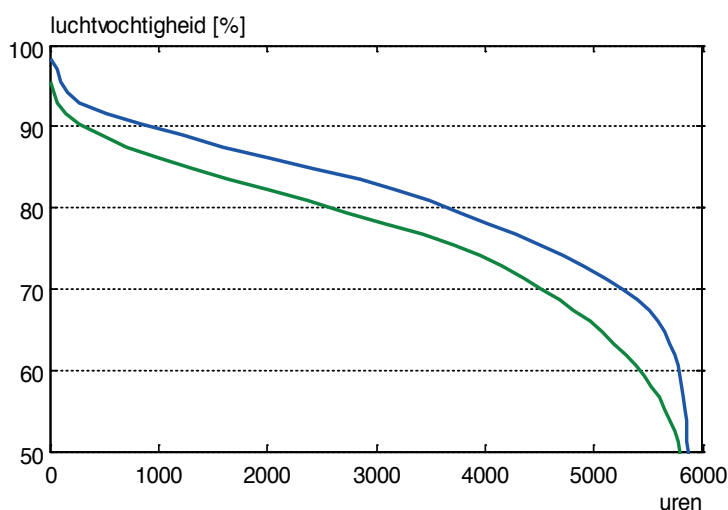
Een belangrijk aandachtspunt in het experiment was de het voorkomen van binnenrot. Binnenrot komt voort uit de aantasting van de bloem met Fusarium. Als de omstandigheden gunstig zijn kunnen Fusarium schimmels via de bloem de vruchtbeginsels infecteren en vervolgens symptomen van inwendig vruchtrot veroorzaken (Figuur 4.1). Een beginnende aantasting is niet aan de buitenkant te herkennen, maar is pas te beoordelen als de vruchten worden doorgesneden. Aan de binnenkant is dan wit-roze schimmelpluis te zien.



Figuur 4.1 Levenscyclus van *Fusarium lactis* als veroorzaker van inwendig vruchtrot (pers.comm. Tim O'Neill & Sarah Mayne, ADAS, UK).

In de VenLow Energy Kas is bij een hoge luchtvochtigheid geteeld en het vermoeden is dat dit weliswaar energiezuinig is, maar tot een belangrijke toename van de aantasting van vruchten door binnenrot kan leiden.

Het ontstaan van schimmelaantasting is een combinatie van de aanwezige infectiedruk en de weerbaarheid van de plant tegen deze schimmel. Omdat er altijd wel enige aantasting door schimmels in een teelt optreedt is er een vergelijking gemaakt tussen de aantasting die in de VenLow Energy kas werd gevonden met de aantasting die in een andere kas werd waargenomen. In die andere kas, eveneens op de onderzoekslocatie van Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw in Bleiswijk werd ook Paprika geteeld. In deze 'referentiekas' werden experimenten gedaan met een gesloten waterkringloop in de paprikateelt. Uit beide kassen zijn op vier tijdstippen (mei, juni, aug en sept) vruchtbeginsels verzameld en beoordeeld op inwendige uitgroei van Fusarium ten opzichte van een referentiekas. In de referentiekas is duidelijk minder vochtig geteeld, wat blijkt uit onderstaande belastingduurkromme voor de relatieve luchtvochtigheid.



Figuur 4.2 Belastingduurkromme van de luchtvochtigheid in de VenLow Energy kas (blauw) en in de referentiekas (groen).

Omdat naast ziektedruk ook plantweerbaarheid een rol speelt zijn er ook plantendelen met bloemen uit de kas verzameld en kunstmatig geïnfecteerd om de gewasgevoeligheid te beoordelen.

4.1 Materiaal en uitvoering binnenrot onderzoek

Natuurlijke infectiedruk in jonge vruchtbeginsels

Om zicht te krijgen op de natuurlijke aanwezige infectiedruk in de beide kassen zijn jonge vruchtbeginsels verzameld die circa 1-2 weken oud waren. Sporen die op de bloem landen, zijn in staat om binnen enkele dagen (2-5) van de stamper of de meeldraden door te groeien naar het vruchtbeginsel. Door het vruchtbeginsel na uitwendige desinfectie uit te platen op een selectieve voedingsbodem voor Fusarium is goed te onderscheiden welke vruchtjes schoon zijn of besmet zijn geraakt met Fusarium. Eénmaal besmette vruchten zijn niet meer te genezen. Hooguit is de ontwikkelingssnelheid te vertragen door vruchten kouder te zetten.

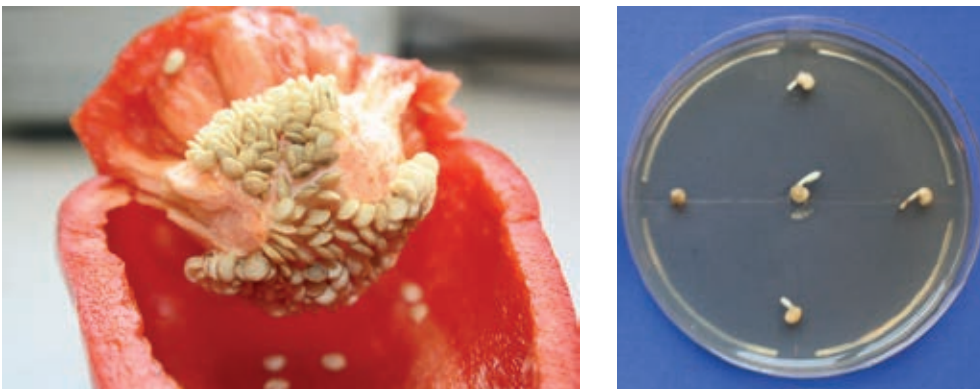
De monitoring van vruchtbeginsels is vier keer uitgevoerd (mei, juni, aug, sept). Per keer zijn 50 jonge vruchtbeginsels verzameld van ca 1-2 weken oud. Deze worden random verzameld uit de hele kas. Als referentie worden ook vruchtbeginsels verzameld uit het paprikagewas in de Emissieloze kas (plantdatum 7 januari 2016 uit rij 8 en 9). De vruchtjes zijn na desinfectie op selectief voedingsmedium geplaatst en in een stoof weggezet bij 25 °C. Na drie tot vier dagen is de eerste Fusarium uitgroei bepaald. De eindbeoordeling is na 14 dagen uitgevoerd. Uitgroei van andere schimmels is eveneens genoteerd, voor zover deze gemakkelijk te herkennen waren aan de groeiwijze.

Gevoeligheid van bloemen na kunstmatige infectie

Uit de kas zijn in mei en juni ook gewasscheuten met bloemen verzameld. Deze werden op een buis met water geplaatst om de bloemen vervolgens te besmetten met *Fusarium* sporen ($1 \cdot 10^4$ sporen/ml). Na 6 dagen zijn de vruchtbeginsels geoogst, uitwendig gedesinfecteerd, op specifiek voedingsmedium uitgeplaat en weggezet in een broedstoof bij 25 °C. Per keer zijn 50 gewasscheuten verzameld, van zowel de Venlow kas als de referentie.

Zaadtest

Na de eerste beoordelingen van volgroeide, rijpe vruchten waren er verkleurde zaden zichtbaar. Hiervan zijn een aantal witte (30) en verkleurde zaden (50) uitgeplaat en beoordeeld op uitgroei van *Fusarium*. In de eerste test waren alle zaden vooraf gedesinfecteerd (0,5% actief chloor). Er was sprake van volledige doding van schimmelgroei en er werd geen uitgroei van *Fusarium* waargenomen. In de tweede test werd de helft van de zaden niet gedesinfecteerd en de andere helft met een lagere dosering van chloor (0,25% actief chloor).



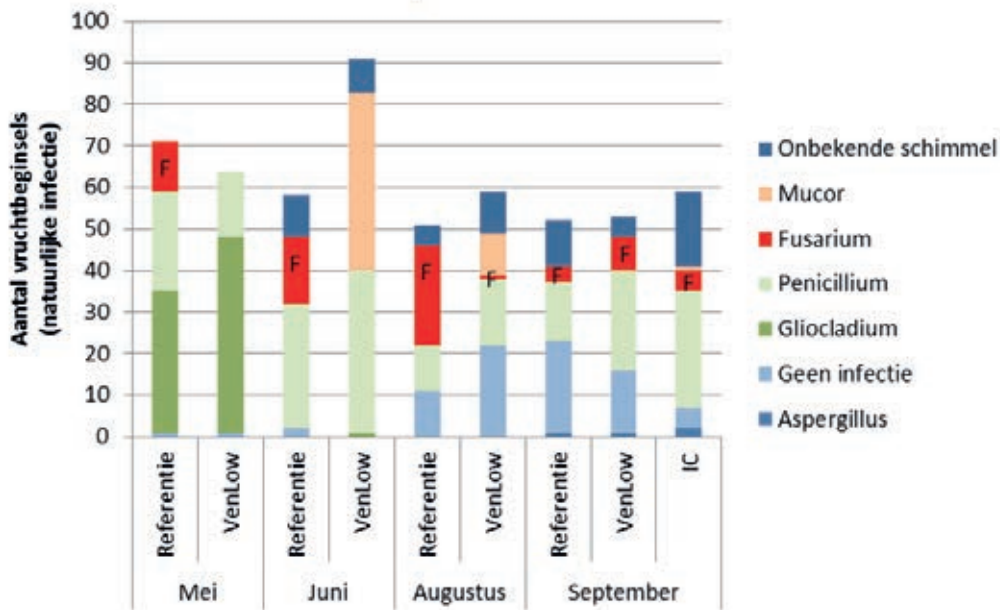
Figuur 4.3 Foto links: een foto van een paprika met verkleurde paprikazaden. Foto rechts: slechte kieming van bruinkleurige zaden op een petrischaal met wateragar (Foto's: Marianne Noordam).

4.2 Resultaten

Natuurlijke infectiedruk in jonge vruchtbeginsels

In de Venlow Energy kas was in de eerste meting van mei geen uitgroei te zien van *Fusarium* in de vruchtbeginsels, terwijl in de referentiekas wel bij een aantal vruchten *Fusarium* uitgroei (Figuur 3.8). Opvallend was dat er veel kolonies met *Gliocladium* (nieuwe naam: *Clonostachys rosea*) werden aangetroffen. Deze schimmel wordt ook als commerciële antagonist ingezet. Ook uit eerder onderzoek blijkt dat deze actief de groei van *Fusarium* kan remmen bij lage sporendichtheden. Deze antagonistische schimmel is echter spontaan in het gewas opgekomen en niet actief via teelthandelingen toegevoegd.

Natuurlijke infectie



Figuur 4.4 Natuurlijke infectiedruk van vruchtbeginsels uit de Venlow Energy Kas, IC kas en een referentieafdeling in mei, juni, augustus en september 2016.

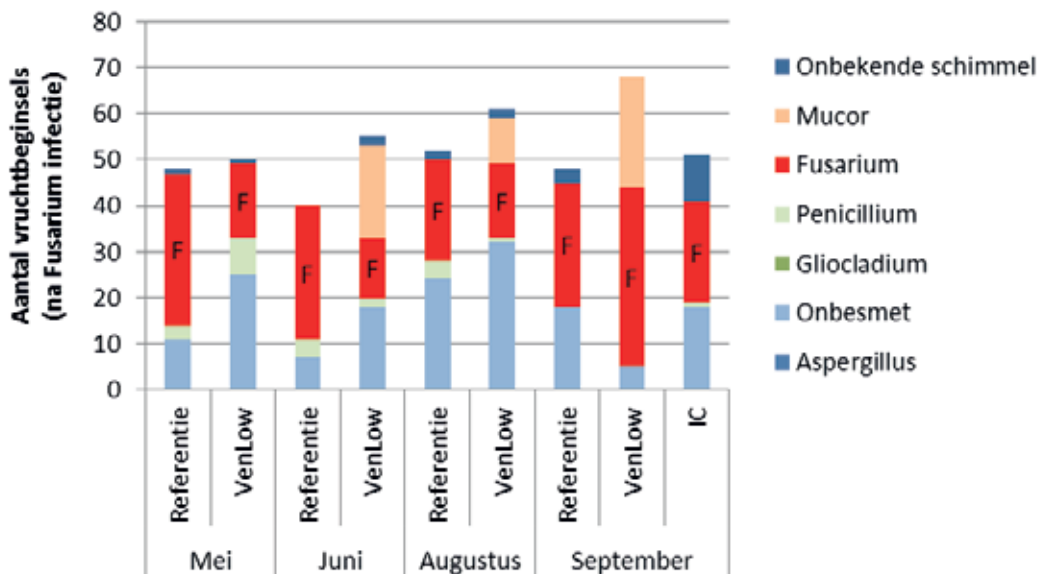
In de tweede meetronde van juni blijven de vruchtbeginsels uit de VenlowEnergy kas vrij van Fusarium infectie, terwijl de aanwezigheid van Fusarium in de referentie kas toeneemt. Echter de vruchtjes vertonen wel een hoge mate van uitgroei van Mucor kolonies. Dit komt overeen met de zichtbare druk van Mucor die in deze periode ook in de kas waarneembaar is.

In augustus neemt de Fusarium druk nog verder toe in de referentiekas, terwijl deze in de Venlow Energy kas nog steeds zo goed als afwezig blijft. De uitgroei van Mucor neemt weer af, met name omdat er bestrijdingsmiddelen tegen deze aantasting zijn ingezet. Op het einde van de teelt in september zijn er enkele vruchten met uitgroei van Fusarium en wordt er een paar keer Aspergillus aangetroffen in alle proeflocaties. Dit is een schimmel die goed kan groeien op zetmeelrijke voedingsbodem en onder (voedselarme) vochtige condities.

Gevoeligheid van paprikabloemen na kunstmatige infectie

De paprikabloemen die kunstmatig zijn besmet met Fusarium lactis en onder geconditioneerde omstandigheden zijn weggezet laten opmerkelijke verschillen zien (Figuur 3.9). In de referentiekas groeit het merendeel van de Fusarium die is aangebracht op de bloem goed door naar de vruchtbeginsels, in beide meetrondes. In de Venlow Energy Kas is de uitgroei van Fusarium uit de vruchtbeginsels in mei veel geringer, slechts 50% ten opzichte van de referentie afdeling. In juni zien we eveneens een geringe uitgroei van het aantal vruchtbeginsels met Fusarium. Tegelijkertijd vinden we ook in deze test een grote hoeveelheid vruchtbeginsels waar Mucor uitgroeit. Het is de vraag in hoeverre de aanwezigheid van Mucor de doorgroei van Fusarium naar de vruchtbeginsels remt. In september lijkt er een kantelpunt bereikt en neemt het aantal vruchtjes met Fusarium en Mucor uitgroei toe ten opzichte van de referentieteel en de teelt die bij het IC is gemonitord.

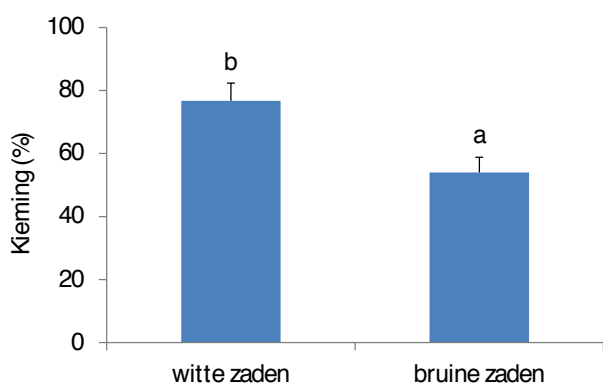
Na Fusarium infectie



Figuur 4.5 Ontwikkeling van schimmelgroei in jonge vruchtbeginsels na kunstmatige besmetting van bloemen met *Fusarium* uit de VenLow Energy Kas, IC kas en een referentieafdeling in mei, juni, augustus en september 2016.

Zaadtest

In de eerste test werd na volledige desinfectie met 0,5% actief chloor geen schimmelgroei meer waargenomen. Vervolgens is nog wel een beoordeling gedaan op het aantal zaden dat kiemde. Het kiemingspercentage lag ruim 40% lager bij de verkleurde zaden.



Figuur 4.6 Gemiddeld percentage van gekiemde paprikazaden op basis van uitwendige zaadkleur. De verschillende letters op de kolommen geven significante verschillen aan tussen zaadkleuren ($P < 0.05$, Tukey's test).

In de tweede test werd bij de witte zaden opnieuw geen enkele schimmelgroei waargenomen. Terwijl bij de bruinkeurige zaden een natuurlijke uitgroei voorkwam van zowel *Trichoderma* als *Penicillium* soorten in zowel de ontsmette als de niet ontsmette zaden. Slechts bij 1 zaadje uit de partij van 25 zaden die niet ontsmet was, werd een *Fusarium* infectie gezien. Verschillende *Trichoderma* soorten zijn in staat om *Fusarium* schimmels te remmen.

4.3 Conclusies en discussie Binnenrot

Dit oriënterende onderzoek om grip te krijgen op het ontstaan van binnenrot heeft tot een aantal conclusies geleid.

In de Venlow Energy Kas wordt in de kritische periode van mei, juni geen natuurlijke druk gevonden van Fusarium op de bloemen en in de vruchtbeginsels ten opzichte van de referentieteelt. Kennelijk zijn de omstandigheden tot die tijd ongunstig voor de natuurlijke opbouw van Fusarium sporen.

Eind augustus wordt de eerste observatie gedaan en in september neemt de natuurlijke infectiedruk iets toe, maar het gemiddelde infectieniveau ligt genomen over het hele seizoen steeds lager dan in de referentieteelt. De omstandigheden in de Venlow Energy Kas hebben niet alleen de opbouw van sporen beperkt, maar hadden ook een gunstige invloed op de gevoeligheid van de bloemetjes voor infectie. Wel is er in juni een sterke ontwikkeling van Mucor waargenomen. Dit is een andere schimmelaantasting die met succes met een paar bespuitingen is bestreden.

In witte zaden wordt geen Fusarium groei aangetroffen, maar in verkleurde zaden is dat risico wel aanwezig. De natuurlijke aanwezigheid van andere schimmels in verkleurde zaden zoals Trichoderma lijkt de uitgroei van Fusarium te remmen.

Blijkbaar is de relatie tussen luchtvochtigheid en schimmeldruk niet zo sterk als vaak gedacht wordt. Mogelijk komt dit ook doordat in een goed isolerende kas de uitstraling beperkt is en daarmee de temperatuurverschillen in het gewas klein blijven. Hierdoor is er minder kans dat er condensatie, ondanks de hoge luchtvochtigheid. De vermindering van uitstraling kan ook bevorderend werken voor de verdamping vanuit de kop van het gewas. Hiervan wordt vermoed dat dit positief uitwerkt op de toevoer van nutriënten naar de uitgroeiende nieuwe plantonderdelen die daarmee sterker en weerbaarder worden.

Om een duidelijker beeld te krijgen van de relatie tussen klimaat, sporendruk, plantweerbaarheid en het ontstaan van binnenrot zouden er experimenten op kleine schaal moeten worden uitgevoerd waarbij actief fusariumsporen worden verspreid om de ontwikkeling van de schimmel en de uiting in de vorm van aangetaste vruchten te kunnen bestuderen.

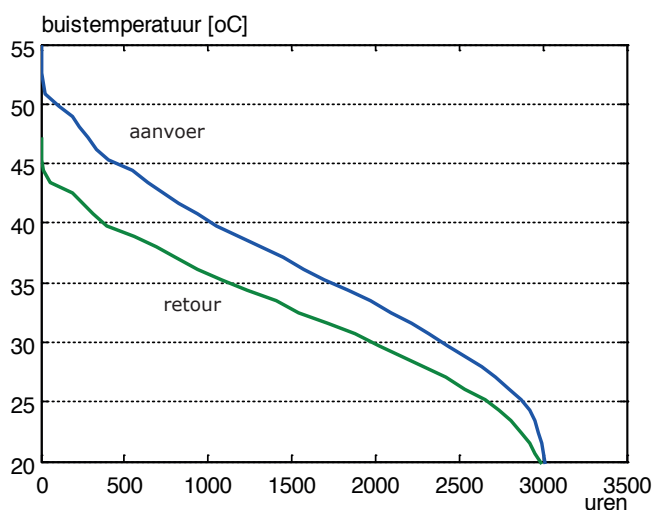
5 Duurzame energie voor de verwarming

Het uiteindelijke doel van energiezuinige kassen zoals de VenLow Energy kas is om te komen tot een teeltsysteem dat onafhankelijk is van fossiele energie. De VenLow Energy kas kan daar invulling aan geven door de warmtevraag in te vullen vanuit een geothermie-bron, vanuit een ketel die met biogas, groen gas of met biomassa wordt gestookt of door middel van verwarming met een warmtepomp.

Voor ketels die met een duurzame bron worden gestookt kan gesteld worden dat deze een eenvoudige vervanging vormen voor de standaard tuinbouwketel. Afgaande op Figuur 2.12 zou zo'n ketel een capaciteit moeten hebben van 500 kW per ha (het hoogste punt van figuur 2.12 komt overeen met een vermogen van 410 kW/ha, maar een iets grotere capaciteit zal nodig zijn om extreme koude te kunnen opvangen).

Indien de kas met duurzame energie zou worden verwarmd uit een geothermie-bron of met een warmtepomp, dan is het van belang dat het verwarmingsvermogen bij lage watertemperaturen kan worden geleverd.

Hiervoor zou het verwarmend oppervlak van het verwarmingsnet kunnen worden vergroot, maar het huidige verwarmingsnet van een standaard systeem op basis van 2 51-ers per 1.6 m padbreedte kan ook al met lage watertemperaturen volstaan. Onderstaande figuur toont de belastingduurkromme van de watertemperaturen die in deze Paprikateelt zijn gebruikt.



Figuur 5.1 Belastingduurkromme van de benodigde watertemperatuur in het verwarmingsnet van de VenLow Energy kas in de Paprikateelt van 2016.

De benodigde buis temperatuur komt praktisch nooit boven de 50 °C en de verwarming wordt gedurende 3000 uur per jaar gebruikt. Twee-derde van de tijd waarop de verwarming werd gebruikt was de buis temperatuur minder dan 40 °C.

De buis temperaturen zouden nog verder verlaagd kunnen worden door het aantal of de buisdiameter te vergroten. De lage benodigde buis temperaturen maken dat een warmtepomp met een hoge COP zou kunnen werken en een aansluiting op een geothermische warmtebron een relatief kleine capaciteit zou kunnen hebben.

Met een ketelhuissimulatieprogramma, een programma waarmee kan worden doorgerekend welke capaciteiten nodig zijn om een gegeven warmtebehoefte met verschillende soorten energievoorziening in te kunnen vullen, is berekend dat bij een aanvoerwatertemperatuur uit een geothermische bron van 65 °C een aanvoercapaciteit van 15 m³/(ha uur) voldoende zou zijn om de kas voor 95% uit duurzame bron te verwarmen.

Hetzelfde programma berekent dat indien de kas verwarmd zou worden met een warmtepomp een elektrisch aandrijfvermogen van 150 kW voldoende zou zijn. Zo'n warmtepomp gebruikt natuurlijk elektriciteit. Bij een gemiddelde COP=4, zou het elektriciteitsverbruik voor de verwarming op 32 kWh/m² per jaar uitkomen. Een warmtepomp heeft behalve elektriciteit voor de aandrijving ook een (laagwaardige) energiebron nodig. Er zijn allerlei bronnen die hiervoor in aanmerking komen, zoals water uit een kanaal in de buurt, of een Warmte/Koude opslagsysteem dat in de zomer geladen wordt met overtollige warmte uit de kas. Zo'n aquifersysteem heeft in dat geval een capaciteit nodig van ongeveer 40 m³/(ha uur). Het stroomverbruik voor de warmteverzameling, het laden en ontladen van zo'n warmte/koude opslag is minder dan 10 kWh/(m² jaar), zodat de behoefte aan groene stroom voor de verwarming van een energieneutrale Paprikateelt in een kas zoals de VenLow Energy kas ongeveer 40 kWh/m² per jaar zou bedragen.

6 Conclusies en nabeschuiving

De VenLow Energy kas maakt het mogelijk om met een zeer lage warmte-input een uitstekende productie te realiseren. Voor een korte tomatenteelt (plantdatum 3^e week januari en ruimdatum eind november) is een verbruik van 10 m³/(m² jaar) met deze kas goed haalbaar. Voor de Paprikateelt, die langer duurt (begin dec tot begin november) en beduidend hogere temperaturen nodig heeft, gebruikt deze kas iets minder dan 15 m³/(m² jaar).

Het geringe warmteverbruik, met name in de zomer, maakt dat de CO₂-dosering vooral vanuit alternatieve bron gerealiseerd moet worden. In de afgelopen teelt is 25 kg/m² per jaar toegediend. Indien een kas zoals de VenLow Energy kas geheel uit duurzame bron zou worden verwarmd (geothermie of een warmtepomp) dan zou deze volledige hoeveelheid in de vorm van zuivere CO₂ moeten worden aangevoerd. Als de kas met een traditionele ketel wordt verwarmd is de behoefte aan zuivere CO₂ iets kleiner, maar omdat de grootste vraag naar CO₂ in de zomer is en de CO₂ uit rookgassen dan zeer beperkt is er in dat geval 18 kg zuivere CO₂/(m² jaar) nodig.

Behalve door het energiezuinige kasontwerp, is het lage energieverbruik ook gerealiseerd door het toestaan van een hoge luchtvochtigheid. Deze hoge luchtvochtigheid heeft geen negatief effect gehad op de gewasproductie of de gewasgezondheid en ook de binnenrot-problematiek was in de VenLowEnergy kas niet groter dan in een kas, waar Paprika bij een lagere luchtvochtigheid werd geteeld.

Er zijn ook geen nadelen van het intensieve gebruik van schermen, of het dubbele kasdek die samen zorgen voor hogere temperaturen in de kop van het gewas, op de vruchtzetting. De vruchtzetting bleef gewoon op peil, waardoor de productie geheel aansluit bij de hoog-productieve praktijktuinders.

Er is 32.5 kg aan rode paprika, klasse I geoogst en nog 1.5 kg 2^e klasse.

Het lage warmteverbruik van de kas brengt een volledig energieneutrale Paprikateelt een stap dichterbij. Indien de kas met een elektrisch aangedreven warmtepomp zou worden verwarmd is 40 kWh/(m² jaar) aan groene stroom genoeg. Bij dit stroomverbruik is het verbruik wat nodig is om een warmte/koude opslagsysteem te vullen en te legen inbegrepen.

Als de warmtevraag wordt ingevuld vanuit een Geothermische warmtebron die water van 65 °C levert zal een wateraanvoercapaciteit van 15 m³/(ha uur) een dekkingsgraad van 95% opleveren. Overigens zal bij gebruik van een geothermische warmtebron de neiging om buiten de koudste perioden van het jaar wat meer te stoken moeilijk te onderdrukken zijn. Een geothermische bron geeft vooral vaste lasten vanwege de benodigde aansluitcapaciteit. Als die warmwater-aanvoerleiding er eenmaal ligt zijn de kosten van extra verwarming erg laag, zodat bij het geringste vermoeden van een positief effect van een intensievere teelt op de productkwaliteit voor en vergroting van de warmte-input gekozen zal worden.

Het feit dat er geen problemen met een verhoogde ziektedruk of met de vruchtkwaliteit zijn waargenomen maakt dat de grens voor de luchtvochtigheid mogelijk nóg wat hoger zou kunnen worden ingesteld zonder daar nadelen van te ondervinden.

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.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1435

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort WUR 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.