Pieken zonder Pieken

Paprikateelt in de 2SaveEnergy kas

Frank Kempkes, Arie de Gelder en Marcel Raaphorst

Rapport WPR-1007

Referaat

In de zoektocht naar reductie van het energiegebruik om de Nederlandse glastuinbouw in de toekomst fossielvrij te kunnen laten produceren, is de 2SaveEnergy kas al behulpzaam gebleken. Daarbij bleek het mogelijk een grote besparing ten opzichte van de praktijk te behalen zonder dat dit negatieve effecten op de productie had. Om het gebruik verder te reduceren is de isolatie van de kas verhoogd met een dubbel gealuminiseerd scherm en is door de toepassing van een warmtepomp bij het ontvochtigen ook latent warmteverlies verminderd. Het kasklimaat is op een energiezuinige manier geregeld en is gestuurd op de verhouding tussen lichtsom en etmaaltemperatuur. Belangrijk onderdeel in dit project is het sturen op een dagelijks maximaal energiegebruik om piekgebruiken te voorkomen. De maatregelen hebben het warmtegebruik verminderd. Daarbij is de productie van paprika lager dan verwacht maar hier is geen eenduidige oorzaak en verklaring voor te geven. De productkwaliteit viel niet mee, maar dat was dat teeltseizoen ook op de praktijkbedrijven het geval.

Abstract

In the search for the reduction of energy use to enable Dutch greenhouse horticulture to be producing fossil-free in the future, the 2SaveEnergy greenhouse has already proved helpful. In doing so, it proved possible to achieve a major saving on heat demand compared to commercial greenhouses without having negative effects on production. In order to further reduce the heat demand, the insulation of the greenhouse has been increased with a double aluminized screen. The application of a heat pump to dehumidify the greenhouse air has also reduced the latent heat loss. The greenhouse climate is controlled in an energy-efficient way and is based on the ratio between light and the average 24-hours temperature. An important part of this project is to maximize the daily energy use to prevent peak usage. The measures have reduced heat use. Production is lower than expected, but there is no clear cause and explanation for this. The product quality was not sufficient, but that was also the case for commercial greenhouses with sweet pepper in 2018.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1007

Projectnummer: 3742247500

DOI-nummer: 10.18174/528823

Thema: Klimaat en energie

Dit project is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma voor energiebesparing en verduurzaming in de glastuinbouw van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het onderzoek is uitgevoerd door WUR Glastuinbouw.

Disclaimer

© 2020 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 vervaelvoudigd, 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

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Probleemstelling	9
	1.2 Doelstelling van het project	10
	1.3 Projectuitwerking	11
2	Analyse gewasstuurmogelijkheden	13
	2.1 Vegetatieve en generatieve fase	13
	2.1.1 Temperatuurregimes tijdens de vegetatieve fase	13
	2.1.2 Temperatuurregimes tijdens de generatieve fase	13
	2.1.3 Temperatuurregimes vanaf het planten (vegetatieve en generatieve fase)	14
	2.1.4 Temperatuurintegratie	15
	2.1.5 Energieschermen	15
	2.2 Watergift en voeding	16
	2.3 Gewasontwikkeling	16
	2.4 Mogelijkheden om pieken in warmtegebruik te vermijden	16
	2.4.1 Verlengde opkweek	16
	2.4.2 Tijdelijk lage temperaturen realiseren	16
	2.4.3 Toepassen van positieve DIF	17
	2.4.4 Overdag zwaar isoleren door sluiten o.a. lichtdichte aluminium schermen	17
3	Proefinrichting	19
	3.1 Kasinrichting	19
	3.2 Watergift	19
	3.3 Teeltinrichting	20
	3.3.1 Plantregistratie	20
	3.3.2 Oogstwaarnemingen	20
	3.4 Vergelijking met de praktijk	21
4	Kasklimaat en energiehuishouding	23
	4.1 Kasklimaat	23
	4.1.1 Kasluchttemperatuur en luchtvochtigheid	23
	4.1.2 CO ₂ -concentratie	26
	4.2 Inzet van luchtramen, schermen en CO ₂	28
	4.2.1 Luchtramen	28
	4.2.2 Schermen	29
	4.2.3 CO ₂ -dosering	29
	4.3 Netto straling	30
	4.4 Gewas temperatuurmetingen Thermoview	32
	4.4.1 Effect van de schermstand op de temperatuur van het gewas	32
	4.4.2 Gewas temperatuur en condensatie	33

4.5	Energiehuishouding	34
4.5.1	Verwarming	34
4.5.2	Verwarming en CO ₂ dosering	36
4.5.3	Ontvochtiging door condensatie en naverwarming	36
4.5.4	Piekgebruiken	38
4.6	Watergift	38
4.7	Overzicht	40
5	Gewasgroei	41
5.1	Teeltverloop	41
5.1.1	Plantmetingen	45
5.1.2	Productie en kwaliteit	46
5.1.3	Vruchtkwaliteit en uitval door Fusarium	46
5.2	Bemesting en pH	47
6	Discussie en conclusies	49
6.1	Discussie	49
6.1.1	Teelt en productie	49
6.1.2	Klimaatbeheersing en energie	50
6.2	Conclusies	50
6.3	Aanbevelingen	51
6.4	Opmerkingen vanuit de BCO	51
6.4.1	Hoe zou je deze proef anders doen / waar liggen er nog kansen?	52
7	Literatuur	53
	Bijlage 1 Persuitingen	55

Voorwoord

Bij de ontwikkeling van de 2SaveEnergy kas heeft een laag energieverbruik vooropgegaan. Door aanpassingen aan de kas is het mogelijk gebleken het aardgasgebruik verder terug te dringen. Daar staat wel een toename in elektriciteitsgebruik en inkoop van zuivere CO₂ tegenover. Hoe kunnen we het klimaat ondanks al deze maatregelen toch zo sturen dat de effecten op de productie niet merkbaar zijn? Een planmatige teelt op basis van Het Nieuwe Telen waarbij een sterke focus op de verhouding lichtsom/etmaaltemperatuur per dag ligt, is hiervoor de basis. Een andere vraag is of het mogelijk is het piekgebruik terug te dringen of welke maatregelen er genomen kunnen worden om piekgebruiken terug te dringen.

Dit project, *Pieken zonder Pieken*, werd in het kader van het programma 'Kas als Energiebron' gefinancierd door het Ministerie van LNV en het Glastuinbouw Nederland.

Dank gaat uit naar Peter Geelen die een belangrijke aanzet heeft gegeven in de planmatige benadering van de teelt.

De proef is 2-wekelijks begeleid door de BCO bestaande uit de paprikatelers Alfons Slaman, Danny van der Spek, Pascal van de Sande en Luc van den Bosch.

Iedere 8 weken was er een grote BCO bijeenkomst waarbij Ard Ammerlaan, Roel Klapwijk, Sjaak Kester, Mark Zuidgeest, Marc Litjens en Hans van der Waal aansloten.

Frank Kempkes
Wageningen University & Research
juli 2020

Samenvatting

Door isolatie en gecontroleerde ontvochtiging met warmteterugwinning kan het warmtegebruik bij glastuinbouwbedrijven flink worden gereduceerd. De grootste besparing wordt echter bereikt tijdens de dagen met een geringe warmtevraag, terwijl op piekdagen procentueel minder wordt bespaard. Omdat op piekdagen het aanbod van fossielvrije warmtebronnen schaars is, is onderzocht welke maatregelen haalbaar zijn om het piekverbruik te verlagen.

Dit onderzoek is uitgevoerd in de 2SaveEnergy kas van Wageningen U&R Business Unit Glastuinbouw (WUR) in Bleiswijk met financiering vanuit het programma Kas als Energiebron. De 2SaveEnergy kas is zwaar geïsoleerd met een dubbelwandig kasdek en twee beweegbare scherminstallaties, waarvan één voorzien van een dubbel gealuminiseerd doek. De ontvochtiging vindt plaats door een luchtbehandelingskast met warmteterugwinning via een warmtepomp en heeft een debiet van ca. $16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$.

In de kas zijn paprika's (Maranello) geteeld van 27 december 2017 tot 18 november 2018. De piekverbruiken zijn zo veel mogelijk beperkt door het weg laten zakken van de kastemperatuur op dagen met een grote warmtevraag, meestal koude en donkere dagen, en dit te compenseren op zonnige dagen. Het warmtegebruik is hiermee beperkt gebleven tot $11 \text{ m}^3/\text{m}^2$ terwijl het piekverbruik (na een valse start) hooguit $0,105 \text{ m}^3/\text{m}^2$ etmaal was, waarmee de energiedoelstellingen van het project zijn behaald. Deze pieken traden op in januari, wanneer de zon nog weinig kracht had. Tijdens de relatief koudere perioden in februari en maart lag de piek lager.

Van de ingezette warmte is $3,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ afkomstig uit warmteterugwinning via de warmtepomp. Deze warmteterugwinning heeft niet bijgedragen aan het voorkomen van pieken. Daarvoor zou een aquifer nodig zijn, die de in de zomer geoogste warmte kan opslaan voor gebruik in de winter.

Ondanks het voorkomen van pieken, wijkt de gemiddelde etmaaltemperatuur in de winter nauwelijks af van het praktijkbedrijf. Wel zijn er in de winter grotere dag-nachtverschillen opgetreden. Verder is in de zomer een hogere temperatuur gerealiseerd doordat de sterk geïsoleerde kas 's nachts de warmte moeilijk kon afvoeren. De CO_2 -dosering is beperkt tot maximaal $100\text{-}125 \text{ kg/ha.uur}$, waardoor de CO_2 -concentratie gemiddeld lager lag dan die van het praktijkbedrijf en soms zelfs lager lag dan de buitenwaarde.

De productie ($31,6 \text{ kg/m}^2$), en met name de hoeveelheid eerste kwaliteit ($26,8 \text{ kg/m}^2$), was niet conform de verwachtingen. De belangrijkste aantastingen waren stengelfusarium, binnenrot en misvormde vruchten. Het is niet aan te geven of het streven naar het voorkomen van pieken deze kwaliteit heeft beïnvloed. De schade door stengelfusarium is waarschijnlijk pas ontstaan in april, en de misvormde vruchten zijn vooral opgetreden na een te warme periode waarin op vele praktijkbedrijven ook grote kwaliteitsproblemen ontstonden.

Aanbevolen wordt om in de winterperiode het piekmanagement te blijven hanteren en in de zomerperiode het kasklimaat te verbeteren door verneveling, en warmte te oogsten en op te slaan in een aquifer voor toepassing in de winter.

1 Inleiding

Bij Het Nieuwe Telen is de warmtebesparing vooral tot stand gekomen door het installeren van meer (tot 3) schermen en aanpassingen in het teeltregiem waaronder het zoveel mogelijk achterwege laten van de minimumbuis. Dit vele schermen gaat gepaard met fors lichtverlies. In plaats van schermen is het ook mogelijk een "permanente" hoge isolatie van de kas te bereiken door toepassing van een isolerend kasdek.

In 2013 is een deskstudie uitgevoerd naar de mogelijkheden van een glas-film kasconcept als een goedkoper alternatief voor een isolerend kasdek van (isolatie)glas (Kempkes, 2014). De resultaten van deze studie waren zo dat een consortium bestaande uit VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe en Boal Systems het glas-film kasconcept hebben uitgewerkt tot een kas en deze in het IDC energie bij Wageningen U&R glastuinbouw in Bleiswijk hebben gerealiseerd in de zomer van 2014. Na de realisatie van de kas is het concept verder als de 2SaveEnergy kas bekend geworden.

De ervaringen met de 2SaveEnergy kas met tomaat in 2015 (Kempkes, 2016) en komkommer in 2016 (Kempkes, 2018) hebben laten zien dat in deze kas met een energiegebruik van minder dan de helft van de gangbare praktijk, met een kleine inzet van zuivere CO₂, zeer goede producties bereikt kunnen worden. De ambities, "om in de in 2020 nieuw te bouwen kassen op economisch rendabele wijze netto klimaatneutraal te produceren, dus netto zonder de inzet van fossiele energie", zijn echter zeker nog niet bereikt. Ook kent het huidige lage gebruik altijd nog behoorlijk forse pieken in de wintermaanden zodat verlaging daarvan de inkoopkosten kan verlagen.

Analyse van de succesvolle komkommerteelt met een gebruik van bijna 18 m³/m² waarbij ruim 10 kg aanvullend zuiver CO₂ is gedoseerd, die op dagbasis niet uit rookgassen beschikbaar was, heeft laten zien dat veruit de meeste energie tijdens de donkere uren wordt gebruikt. In totaal is dit een gebruik van ruim 12 m³/m² welke tijdens de nacht in het buisrailnet is gegaan.

Het nachtgebruik kan middels isolatie verder verlaagd worden. Daarvoor is een beweegbaar scherm een goede oplossing (Poot, 2015). Een volledig gealuminiseerd scherm dat sluit als de globale straling onder de 5 W/m² komt, zou van het geprognosticeerde gebruik van de 2SaveEnergy kas voor de teelt met tomaat van 28 januari t/m 23 december, volgens modelberekeningen, verlagen van 15.7 naar 13.9 m³/m². In de NextGeneration kas (Zwart de, 2013) is al aangetoond dat ontvochtiging met een warmtepomp een hoger rendement geeft dan ontvochtiging met alleen warmteterugwinning (regain) omdat de latente warmte, toch ca. 50% van het warmteverlies, bij een warmtepomp binnen het kassysteem kan blijven (van Weel, 2016). Daarnaast: vooral door het in de ochtend dichter sturen naar de dauwpunttemperatuur van het gewas, is het verhogen van de temperatuur om uit de gevarenzone te komen een te trage actie. Een ontvochtigingssysteem dat gegarandeerd vocht onttrekt is dan een welkom aanvullend hulpmiddel. Deze aanpassingen zijn gebruikt in een tomatenteelt in de 2SaveEnergykas in 2017 met tomaat (Kempkes *et al.* 2018).

1.1 Probleemstelling

De ervaringen met de 2SaveEnergy kas met tomaat in 2015 en 2017 en komkommer in 2016 hebben laten zien dat in deze kas met een energiegebruik van minder dan de helft dan de gangbare praktijk en een kleine additionele inzet van zuivere CO₂, zeer goede producties bereikt kunnen worden (Kempkes *et al.*, 2014 & 2016). De beschikbaarheid van CO₂, ook van externe bronnen, wordt naar de toekomst toe een meer beperkende factor. De doseerstrategie zal dan ook grote invloed hebben op het absolute CO₂ gebruik maar ook op het gewas. Het is van groot belang hierin het juiste evenwicht te vinden.

De proeven in het IDC energie, laten zien dat door het slim inzetten van hulpmiddelen als isolerende kasdekken, schermen en ontvochtigingsinstallatie het gebruik in voorjaar, zomer en najaar laag tot vrijwel nihil is, maar dat in de eerste twee teeltmaanden tot wel 30% van het jaargebruik wordt afgenomen (Kempkes *et al.* 2013, de Zwart 2015, de Gelder 2016). Daarnaast blijkt dat als naar de absolute gebruikspieken wordt gekeken, de 10% uren met de hoogste gebruiken, al een fors deel van de totale warmtevraag vertegenwoordigt. De piek wordt bij lage absolute totaalgebruiken relatief groter. Het grote nadeel van gebruikspieken is dat de installaties hierop gedimensioneerd moeten worden maar ook dat bij gebruik van alternatieve energiebronnen back-up installaties vaker aangesproken moeten worden. Kortom pieken zijn kostbaar.

Pieken in gebruik zullen altijd pieken in gebruik blijven, in welke mate isolatie ook wordt doorgevoerd. Een winderige "elfstedenweek" zal immers altijd voor veel warmteverlies van de kas blijven zorgen. De uitdaging ligt juist in het beheersen van de piek.

Het terugbrengen van pieken met behulp van isolerende maatregelen wordt in deze kas, waar al een dubbel dek en 3 beweegbare schermen zijn gemonteerd, vrijwel onmogelijk of onevenredig duur ten opzichte van de opbrengsten. Dat brengt ons op het punt om uiteindelijk toch concessies aan de teelt te moeten doen op momenten dat een bepaalde piek in het gebruik ontstaat. Een werkwijze die in de praktijk op vele bedrijven ongemerkt al enigszins is ingevoerd door de grenzen van het gascontract.

Als er concessies aan het "optimale" klimaat gedaan moeten worden, moet hier vanuit de gewaskundige kant adequaat op geanticipeerd worden met een aangepaste set klimaatmaatregelen en of gewasmanagement-maatregelen (Heij *et al.* 2004).

Naast alle isolatiemaatregelen van deze kas om energie te besparen, draagt ook de toepassing van de uitgangspunten van HNT bij aan de lage energiegebruiken. Hierdoor worden er geen of in zeer beperkte mate maatregelen getroffen om de verdamping van het gewas te stimuleren zoals in de praktijk nog veelvuldig gebeurt, wat tot aanpassing in de watergeefstrategie moet leiden. Discussie over watergeefstrategie is van alle dag maar vergt bij extreme isolatie en zonder gewas activerende maatregelen extra aandacht om in de opbouwfase van het gewas een krachtig wortelgestel te kunnen ontwikkelen. De proef 'HNT Paprika 2.0' (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2017) met discussiepunten als: watergeven op dagen met gesloten schermen, geen minimumbuis en start- en stoptijden in combinatie met het later openen en eerder sluiten van het scherm, is hier een voorbeeld van. In de praktijk gaat het watergeven vaak op basis van vuistregels welke door al deze veranderingen niet meer zo vanzelfsprekend hoeven te zijn. Flexibiliteit in klimaatsturing met al zijn schermgebruik, moet samengaan met flexibiliteit in de regeling van de watergift. In de kop van de plant kan dit vaak teruggezien worden door een lichte kleur. Bij onvoldoende wortelontwikkeling kan Boriumgebrek optreden.

1.2 Doelstelling van het project

Doorontwikkeling van een energiezuinig kas- en teeltconcept voor een paprikagewas om het absolute energiegebruik van een jaarrondteelt Paprika richting de 13 m³/m² te brengen, waarbij het dag gebruik op 0.12 m³/m² is gemaximaliseerd.

Teelttechnische doelstellingen

Het dag gebruik is gemaximaliseerd op 0.12 m³/m². Dit wordt gedemonstreerd in een "proof of principle" teelt. Pieken in energiegebruik kunnen verlaagd worden zonder gevolgen voor de teelt.

Door aanpassing van het klimaat en gewasmanagement wordt:

- Gestreefd de gewenste temperatuur te bereiken.
- Dichter op de vochtgrens gestuurd.
- Een opgelopen tekort aan graaduren gecompenseerd tot een termijn van 10 dagen.
- Eventuele knooppvorming bij vruchten met gewasmanagement opgelost.
- Als doelgewas is paprika genomen welke in een jaarrondteelt in de 2SaveEnergy kas is geteeld.

Energiedoelstellingen

- 60 % besparing op het warmtegebruik bij onbelichte teelten (referentie de gangbare tuinbouwpraktijk paprika/ glasgroenten) bij een gelijke productie en gewaskwaliteit.

Nevendoelstellingen

- Demonstratie en uitvoering van een kasexperiment in een proof of principle kas in het IDC in Bleiswijk op een schaal van 500 m².
- Watergeefstrategie afstemmen aan behoefte van gewas.
- Testen ontvochtigen met terugwinning van latente warmte.
- Beperken CO₂ gebruik.

1.3 Projectuitwerking

In een afzonderlijk project – Pieken voor de piek uit – is een bureaustudie gedaan naar de haalbaarheid van het teeltconcept voor het proof of principle project. Deze studie is als integraal onderdeel in dit rapport opgenomen (Hoofdstuk 2). Vervolgens is de kas ingericht voor de paprikateelt en de teelt gevolgd en bijgestuurd, dit wordt in de verdere hoofdstukken beschreven.

2 Analyse gewasstuurmogelijkheden

2.1 Vegetatieve en generatieve fase

Bij paprika wordt er in de 1^e fase van de teelt, ofwel in circa de eerste 6 weken, zoveel mogelijk gewerkt aan de plantopbouw, dus aan de vegetatieve groei. De plant is dan al door de splitsing heen die van nature ontstaat doordat de plant een eindknop heeft gevormd. De plant moet op dat moment zijtakken gaan vormen waarin op de 3^e of 4^e bladoksel een bloem moet ontwikkelen die kan zetten.

De plant moet nu eerst een fabriek vormen om vruchten te kunnen laten groeien. Er worden in deze fase relatief hoge temperaturen aangehouden om groeisnelheid te creëren en ongewenste zetting te voorkomen. In deze periode moet de wortelvorming goed zijn, omdat beperkte ontwikkeling van de wortels nadelig is voor de groei in de rest van het jaar. In deze fase worden al wel de knoppen aangelegd voor de bloei. Als de plant groot genoeg is en de lichtomstandigheden gunstiger zijn, wordt met name in de nacht een lagere temperatuur aangehouden en zullen als het goed is vruchtjes gaan zetten en uitgroeien.

Een koude periode ten gevolge van beperkingen op het piekgebruik zal zowel in de vegetatieve als in de generatieve fase voor kunnen komen. De effecten op de plant kunnen daarbij verschillend zijn.

2.1.1 Temperatuurregimes tijdens de vegetatieve fase

De temperatuur heeft een grote invloed op de vegetatieve groei. Een hogere temperatuur stimuleert de groei van de plant (Klapwijk, 1977; Nilwik 1981; Bakker en Van Uffelen, 1988).

Bakker en Van Uffelen (1988) onderzochten het effect van verschillende temperatuurniveaus bij 12 verschillende dag/nacht temperatuurcombinaties. Voor de vegetatieve groei bleek vooral de hoogte van de etmaaltemperatuur bepalend en was er geen effect van het temperatuurverschil tussen de dag en de nacht. Bij een toenemende etmaaltemperatuur was het plantgewicht en het aantal bladeren hoger. Zeven weken na het planten waren er per°C hogere temperatuur ongeveer 5 bladeren meer gevormd (Van Uffelen en Bakker, 1987).

De plantlengte en het bladoppervlak waren positief gecorreleerd met vooral de etmaaltemperatuur en in mindere mate met het dag/nachtverschil. De beste etmaaltemperatuur voor de vegetatieve groei lag tussen de 21 en 23°C (Bakker en Van Uffelen, 1988). Hierbij hoort wel dat er een gegeven lichtsom per dag en plantdichtheid is. Onder zomeromstandigheden met veel licht is de etmaaltemperatuur voor een goede groei hoger.

Als de (nacht)temperatuur voor de bloei laag is, bestaat een grote kans op de vorming van knoopvruchten, welke volgens Rylski (1973) niet voorkomen kan worden door na de bloei hoge temperaturen aan te houden. Knoopvruchten zijn vruchten die nauwelijks of geen zaden bevatten en vrij plat van vorm zijn. Ze ontstaan bij bloemen met een relatief grote bloembodem, hebben vaak een te lange stijl en/of bevatten geen of niet-levensvatbare stuifmeelkorrels (Polowick en Sawhney, 1985).

Worteltemperaturen van 24 tot 36°C bij eenzelfde ruimtetemperatuur van ca. 19/23°C tijdens de nacht en de dag) gedurende 8 weken na het planten, stimuleerden de vegetatieve groei, maar vertraagden de bloei en zetting. De hoogste LAI werd gerealiseerd bij een worteltemperatuur van 24 en 30°C. Een worteltemperatuur van 12°C gaf kleine misvormde vruchten, ofwel knopen (Gosselin en Trudel, 1986).

2.1.2 Temperatuurregimes tijdens de generatieve fase

Als de plant voldoende ontwikkeld is, kan er zetting plaatsvinden. Dit wordt in de praktijk gedaan door op dat moment de (nacht)temperatuur te verlagen. Als er dan voldoende licht en CO₂ is, zullen er genoeg assimilaten overblijven voor zetting en vruchtuigroei (Cochran, 1932).

In enkele onderzoeken zijn verschillende temperatuurregimes ingesteld vanaf het stadium dat planten mochten gaan zetten, dit was 6 à 8 weken na het planten (Van Uffelen, 1983; Maaswinkel, Janse en Elzo Kraemer, 1991). Bij minimale nachttemperaturen van 10, 12.5 en 15°C (bij gelijke dagtemperatuur) werd de 1^e oogst verlaat bij lage temperatuur, waren de vruchten grover, maar ze hadden geen invloed op de totaalproductie. Bij een lage nachttemperatuur was er wel een grotere kans op krimp/zwelscheurtjes (Van Uffelen, 1983).

Maaswinkel, Janse en Elzo Kraemer (1991) handhaafden in hun onderzoek 6 verschillende dag/nachttemperatuurcombinaties, namelijk dagtemperaturen van 21 en 24°C gecombineerd met nachttemperaturen van 15, 18 of 21°C. De behandelingen hadden geen invloed op de totaalproductie, maar een lagere etmaaltemperatuur gaf evenals in ander onderzoek grovere vruchten. Het percentage vruchten met zwelscheuren, vleugels (uitgegroeide honingklieren) en staartjes (niet afgestorven stijlkanaal van de bloem) nam af naarmate de dag- en nachttemperatuur hoger was. Door de hogere dag- en nachttemperaturen werd de houdbaarheid en smaak negatief beïnvloed. Bij een hoge dagtemperatuur was er meer kans op neusrot en zilvervlekken, maar dit laatste verschijnsel trad ook meer op bij een lagere nachttemperatuur.

2.1.3 Temperatuurregimes vanaf het planten (vegetatieve en generatieve fase)

Rylski en Spigelman (1982) onderzochten het effect van nachttemperaturen van 15, 18, 21 en 24°C bij een gelijke dagtemperatuur van 24°C. De laagste nachttemperatuur gaf de beste vruchtzetting, maar de vruchten bevatten het minste aantal zaden en waren vaak misvormd (knoperig en staartjes). Ook onderzochten zij het effect van verschillende dagtemperaturen bij een gelijke nachttemperatuur van 18°C. Een lage dagtemperatuur van 22°C gaf meer zaden per vrucht dan 25 en 28°C.

In het onderzoek van Bakker en Van Uffelen (1988) met 12 verschillende dag/nachttemperatuurcombinaties, werd de beste productie bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van 21 à 21.5°C gerealiseerd. Vooral een hogere etmaaltemperatuur in de range van 16.3 tot 23.8°C, verminderde het gemiddeld vruchtgewicht van klasse I vruchten. Een groter temperatuurverschil tussen dag en nacht had juist een wat positieve invloed op het gemiddeld vruchtgewicht. Bij een lagere etmaaltemperatuur kwamen er meer staartjes voor (Van Uffelen en Bakker, 1987).

Janse (1989) vond in hetzelfde onderzoek dat de houdbaarheid van paprika's gegroeid bij een 1°C hogere etmaaltemperatuur, met bijna één dag werd verkort. Bij lage etmaaltemperaturen van ongeveer 16°C was er wel een grotere kans op rotte vruchten in de naooogstfase. Dit is ook door Ottosen *et al.* (2002) gevonden. Per 5.5°C groter verschil tussen dag/nacht ook 1 dag korter houdbaar. Bij een hogere etmaaltemperatuur is de smaak minder, waarschijnlijk door een lagere refractie.

Het advies van Bakker en Van Uffelen (1988) is om onder Nederlandse omstandigheden etmaaltemperaturen van 21 à 21.5°C bij dag/nachtverschillen (DIF) van 7 à 9°C te realiseren.

De ervaring leert dat te lage nacht temperaturen (<15°C) leidt tot knoopvruchten. Dit zijn bloemen met een grote bloembodem, die niet aborteren maar ook weinig zaad zetten.

Proeven waarin zeer hoge temperaturen zijn gehanteerd (33°C) laten zien dat bloemen aborteren (Marcelis, 2004) of slechte kwaliteit pollen geven (Erickson en Marckhart, 2002)

In het Nieuwe Telen paprika (Gelder *et al.* 2011) kwam de productie later op gang door matige zetting in januari en vorming van knoopvruchten die gerelateerd werden aan lage temperatuur door lage buistemperaturen (max buis 45°C, terwijl praktijk 55°C is) en koud weer. De buis was begrensd op 45°C terwijl de praktijk standaard 55°C als maximum hanteert. Dit heeft dan gevolgen voor de temperatuur in de kas en voor het directe effect van de straling naar het gewas en dek. De effecten van straling en luchttemperatuur zijn niet uit elkaar gehaald.

2.1.4 Temperatuurintegratie

In een onderzoek van Ottosen *et al.* (2002) werd m.b.v. het klimaatbeheersingssysteem Intelligrow het klimaat gestuurd afhankelijk van de instraling. Bij donker weer was de temperatuur maximaal 15°C en bij zon maximaal 30°C. Er werd geen voornacht toegepast, waardoor de warmte binnenbleef. Bij het koudste klimaat waren de bloemblaadjes het sterkst en bleven deze lang aan de vruchten hangen, waarop in de naoogstfase gemakkelijk Botrytis ontwikkelde en rotte vruchten ontstonden. Bij de laagste temperatuur ontstonden ook veel knopen, maar er was minder kans op neusrot. De standaardtemperatuur met D/N 21/19°C gaf de hoogste opbrengst.

Op basis van hun onderzoek trekken Bakker en Van Uffelen (1988) de conclusie dat een paprikaplant gemakkelijk over minstens een dag de temperatuur kan integreren.

Door Heij, Kersten en Messelink (2004) is in 2001 een onderzoek uitgevoerd, waarbij tijdelijk lage etmaaltemperaturen gedurende 5 of 10 dagen, in de daarop volgende dagen werden gecompenseerd door een temperatuurverhoging van maximaal 3°C toe te passen. Het aantal graaduren kwam hierbij gelijk uit met de controle behandeling. De eerste reeks temperatuurbehandelingen werd in het vegetatieve stadium uitgevoerd, namelijk 10 dagen na het planten. In het generatieve stadium gebeurde dit in de andere afdelingen in week 7. Er werd daarbij geen vruchtsnoei bij 1^e zetsel toegepast om effecten van behandelingen zichtbaar te maken. Bij het rode ras Special had het tijdelijk verlagen van de temperatuur in het vegetatieve stadium, gevolgd door temperatuurcompensatie, een negatieve invloed op de lengtegroei. Bij het gele ras Fiësta was dit niet te zien. Bij beide rassen was er geen duidelijk effect van temperatuurbehandelingen in het generatieve stadium op zowel lengtegroei als productie en kwaliteit te zien. Ook waren er geen betrouwbare effecten op de productie in de periode van planten (eind november) tot half juni.

In hetzelfde rapport concludeert Messelink, dat op basis van de beschikbare gegevens uit de literatuur, een tijdelijke temperatuurverlaging niet ongunstiger uit lijkt te vallen voor de natuurlijke vijanden dan voor de plaagorganismen.

Pressman *et al.* (2006) beschrijven dat onder Israëlische omstandigheden een hoge dagtemperatuur (36°C) het negatieve effect van een lage nachttemperatuur (10°C) kan voorkomen.

Buwalda *et al.* (2009) hebben de temperatuur gebruikt om middels extremere verschillen in de relatie licht/temperatuur de zetting van paprika te sturen. In de daaraan voorafgaande literatuurstudie stelt Buwalda dat de range van 12 tot 27°C fysiologisch veilig zou zijn voor paprika in de winter.

2.1.5 Energieschermen

Het aanhouden van een vast scherm tot half februari gaf een hogere productie dan schermen tot eind maart. Een vast scherm tijdens de vruchtuigroei gaf minder zwelscheurtjes, maar meer stip. Bij lang schermen (tot eind maart) kwamen er minder vruchten met staartjes voor, wat mogelijk het gevolg was van minder uitstraling en daardoor een hogere gewastemperatuur. De gewasverdamping werd in dit onderzoek met ongeveer een derde verminderd (Van Uffelen, 1983).

In de onderzoeken met paprika in 2016 op het Improvement Centre en bij Wageningen U&R in de VenlowEnergy kas zijn de schermdoeken veel gebruikt, waarbij vooral in de morgen de doeken langer gesloten bleven, zonder dat dit leidde tot productieverlies of kwaliteitsproblemen met het ras Maranello (De Gelder *et al.* 2017; De Zwart *et al.* 2017). In deze experimenten is de etmaaltemperatuur nooit laag geweest, maar op een normaal niveau van meer dan 19°C gehandhaafd.

In een onderzoek uitgevoerd in 2001, is gedurende een lange periode met verschillende schermstrategieën gewerkt. Het één of enkele dagen per week sluiten van een geperforeerd AC-foliescherm (lichtreductie bij sluiting van ca. 21%) had nauwelijks of geen invloed op de lengtegroei, productie of kwaliteit (Heij, Kersten en Messelink, 2004).

Door te schermen ligt de luchtvochtigheid vaak op een hoger niveau. Bakker (1989) vond dat bij een hogere VPD in de nacht, er bij paprika meer bloemen en vruchten werden gevormd, terwijl overdag een lagere VPD de vruchtzetting en het aantal zaden per vrucht verhoogde.

2.2 Watergift en voeding

In het begin van de teelt wordt de mat volledig gevuld met water om de wateropneembaarheid van de steenwolmat hoog te krijgen. De eerste actie is daarna de mat draineren zodat al het vrije water weg kan lopen. Vervolgens moet de plant door wateropname het watergehalte van de mat verlagen tot ca. 70%. In de eerste dagen wordt er zeer beperkt watergegeven, namelijk één kleine beurt op een zonnige dag en geen water op een donkere dag, totdat het vochtgehalte is gedaald tot de gewenste 70%. In deze periode is de EC in de mat ca. 4 en kan zelfs iets oplopen. Dit is voor de zetting en bloei goed. Hierin is verder weinig te sturen. Wel moet worden opgelet dat in een periode met lage temperatuur er niet te veel water wordt gegeven en in een periode met hogere temperatuur zo nodig extra water wordt gegeven. Een te droge mat (<70%) met een hoge EC is ongunstig, maar ook een te vochtige mat (>80%) is ongewenst.

2.3 Gewasontwikkeling

De ontwikkeling van een plant wordt mede bepaald door hoe groot de plant is en de plantbelasting op dat moment. Als een plant niet zet op de 3^e of 4^e oksel, zie je vaak een overmatig vegetatieve groei wat de zetting daarna ook weer bemoeilijkt, omdat de ontwikkelde bloemen niet 'sterk' genoeg zijn. Het sturen van het gewas in de winter moet er daarom wel op gericht zijn om zetting van één vrucht per stengel in uiterlijk het 4^e oksel te realiseren.

2.4 Mogelijkheden om pieken in warmtegebruik te vermijden

2.4.1 Verlengde opkweek

Een mogelijkheid om het energiegebruik in het begin van de teelt te beperken is de planten lang bij de plantenkweker te laten staan, dus een verlengde opkweek te realiseren. Bij de plantenkweker staan er immers veel meer planten per m², wat in koude periodes energie bespaart. De pieken in het warmtegebruik worden dan in feite wel verplaatst naar de plantenkweker.

In de laatste fase van de opkweek zullen de planten ruimer gezet moeten worden dan wat de huidige praktijk is. Het transport van de planten zal meer ruimte vergen. Bij grote planten is er na het planten een aanzienlijke kans op een minder goede beworteling in de mat. Bij paprika is een goede beworteling cruciaal voor het verdere verloop van de teelt. De ervaring is dat planten die in de eerste fase van de teelt niet goed in het substraat zijn doorgeworteld, veelal het hele jaar achter blijven in groei en productie. Dit is uiteraard ongewenst. De mogelijkheid van verlengde opkweek lijkt dus maar beperkt.

2.4.2 Tijdelijk lage temperaturen realiseren

De etmaaltemperatuur is van grote invloed op de ontwikkelingssnelheid van het gewas. Een lage temperatuur tijdens de vegetatieve fase, dat is in de eerste 6 à 8 weken na het planten, zal de gewasgroei reduceren en mogelijk leiden tot ongewenste vruchtzetting. De vraag is of temperatuurcompensatie dit voorkomt. In eerder onderzoek leek er alleen bij een rood ras een wat negatieve invloed op de lengtegroei te zijn. Wel lijkt er een effect op de ontwikkeling van de bloemen. Een te lage temperatuur in verhouding tot het licht geeft grove bloemen, die slecht zetten. Als de gewenste etmaaltemperatuur niet gerealiseerd wordt lijkt het zelfs beter een deel van het licht weg te schermen om de bloemen niet "te sterk" te maken.

Dezelfde behandelingen uitgevoerd tijdens de generatieve fase leken niet van invloed op gewasgroei, productie of kwaliteit.

Uit de literatuur blijkt dat bij lagere (etmaal)temperaturen er een grotere kans is op het ontstaan van vruchtafwijkingen zoals knopen en vruchten met vleugels, krimp/zwelscheurtjes en staartjes. Een lage temperatuur tijdens de uitgroei vergroot ook de kans op rot in de naoogstfase. Als echter direct na een relatief korte periode met een te lage temperatuur, dit gecompenseerd wordt door een hogere temperatuur aan te houden, is de verwachting dat het optreden van deze vruchtafwijkingen mee zal vallen of niet voor zal komen.

Het handhaven van tijdelijk lage temperaturen met direct daarna temperatuurcompensatie, lijkt dus zowel in het vegetatieve als generatieve mogelijkheden te bieden voor toepassing in het experiment in de 2SaveEnergy kas. Waarbij vlak voor de ontwikkeling van de eerste bloem enig lichtverlies is te accepteren om de bloem niet te groot te laten worden.

2.4.3 Toepassen van positieve DIF

Door een goede isolatie m.b.v. verschillende schermen in de nacht zou het tijdelijk handhaven van een hogere temperatuur in de nacht dan overdag (een zgn. positieve DIF), gunstig zijn om pieken in het warmtegebruik te voorkomen. Een langdurige periode met een hogere nacht- dan dagtemperatuur zal o.a. de lengtegroei verminderen (Bakker, 1988) en zal leiden tot meer ademhaling, dus verbranding van assimilaten (Toki, Ogiwara en Aoki, 1978), met mogelijk productieverlies tot gevolg.

Het lijkt aannemelijk dat slechts een paar dagen een omgekeerde temperatuur tijdens de dag en de nacht handhaven, van weinig invloed zal zijn op de groei en productie.

2.4.4 Overdag zwaar isoleren door sluiten o.a. lichtdichte aluminium schermen

Er zijn hierbij 2 extreme situaties met lage buitentemperaturen mogelijk: donker/bewolkt, regenachtig weer versus zonnig, koud weer met veel wind.

De verwachting is dat bij zwaar bewolkt weer het mogelijk moet zijn de verschillende schermen 1 à 2 dagen te sluiten, omdat de natuurlijke instraling beperkt is. Zeker als dit gecombineerd wordt met het aanhouden van lage temperaturen, dus door planten 'in de ijskast te zetten'. Een te hoge luchtvochtigheid kan via de ontvochtiging worden verlaagd.

Anders wordt het bij zonnig weer, omdat men zoveel mogelijk wil profiteren van het licht. Hierbij zou alleen het doorzichtige doek gesloten en een wat lagere temperatuur aangehouden kunnen worden om pieken in het gebruik te minimaliseren. Hierdoor zou er in de vegetatieve fase wel ongewenste vruchtzetting plaats kunnen vinden. De gezette vruchtjes zouden dan later weer handmatig moeten worden verwijderd.

3 Proefinrichting

3.1 Kasinrichting

De 2SaveEnergy kas is in 2014 gebouwd. De jaren dat de kas in gebruik is kunnen ook als een duurzaamheidstest van het concept gezien worden.

De kas is van een venlo type met een tralieligger van 9.60 en 4.8 meter kappen. De kas van 19.6 x 23 meter met een goothoogte van ruim 5.5 meter kent veel geveleppervlak. Om de condensatie (ontvochtiging) tegen de gevel (kanaalplaat) te verminderen, is de gevel voorzien van een vast folie zodat de kas en ontvochtiging meer conform praktijk gaan opereren.

Naast het dubbele scherm is een tweede beweegbaar scherm geïnstalleerd. Omdat de kas al een dubbel dek heeft is gekozen voor de maximale isolatie in de nacht waarin ook het grootste deel van het energiegebruik ligt. Daarbij is het dubbele scherm voorzien van een gealuminiseerd doek met een hogere isolatiewaarde (Svensson, TEMPA 8672 D FB). Overdag kan dan met het enkele transparante scherm (Svensson, Luxous 1347FR) tegen beperkt lichtverlies toch nog extra isolatie worden verkregen. Met het oog op condensatie op het doek en druipt van het dek is gekozen het transparante doek onder te leggen.

De kas is voorzien van een actieve ontvochtigingsunit met een warmtepomp welke van energiemeters is voorzien om naast het voelbare warmteverlies ook het latente warmteverlies tijdens ontvochtigingsuren te kunnen oogsten. De condensflow uit de ontvochtigingsunit wordt verzameld en gemeten. Het warmteoverschot welke de warmtepomp tijdens het ontvochtigen produceert wordt bij gebrek aan opslagcapaciteit direct in de buisrail gestopt.

Er is een massflowmeter geïnstalleerd (Bronkhorst F-201AV) om de CO₂-dosering nauwkeurig te kunnen monitoren en sturen.

De kas is ingericht met 13 teeltgoten waardoor de gootafstand op een krappe 1.60 meter uitkomt. Voor de paprikateelt 2018 is ten opzichte van de laatste tomatenteelt in 2017 alleen het goten systeem aangepast zodat op dubbele teeltgoten kan worden geteeld, met een dubbelrijen systeem, totaal 24 goten.

3.2 Watergift

Beperking van de verdamping door andere watergeefstrategie kan bijdragen aan minder energiegebruik. In de kas zijn 3 regelgroepen voor watergift aangelegd. Bij de start van de teelt moet de wortelvorming maximaal zijn. Dit wordt in de praktijk bereikt door de mat snel na de start voldoende te draineren en beperkt water te geven. In deze proef is naast deze praktijkstrategie die op twee kraanvakken wordt gebruikt een nog drogere strategie gebruikt. Daarbij wordt nog minder watergegeven op momenten dat er normaal water wordt gegeven. Tijdens de teelt zijn tussen de twee vakken die normaal gestart zijn verschillen gehanteerd in start en stoptijd van de watergift. De beurtgrootte en stralingsafhankelijkheid zijn gelijk gehouden. Hierdoor zou dit kraanvak gemiddeld wat droger moeten zijn en minder drain hebben dan het standaard geteelde kraanvak. Het vak dat relatief droog is gestart kreeg tijdens de teelt de normale watergeef strategie. De EC van de voeding is in alle vakken gelijk gehouden.

Waargenomen is of er tussen de vakken duidelijke verschillen in bladkwaliteit en productie zijn ontstaan die wijzen op verschillen in wortelactiviteit.

3.3 Teeltinrichting

Dubbele teeltgoten per carrousel van planten en dubbele rijen systeem per teeltgoot. De planten worden op 3 stengels per plant gehouden.

- Ras : Maranello.
- Zaaidatum : 8 november 2017.
- Plantdatum : 27 december 2017.
- Plantdichtheid : 6,7 planten/m².
- Toppen einde teelt : Kop uit plant op 18 september 2018.
- Ruimdatum : 18 november 2018.

In Figuur 1 is een Overzicht van de kas kort na het planten, getoond.

Figuur 1 Overzicht van de kas kort na het planten.

3.3.1 Plantregistratie

Wekelijks zijn de volgende ontwikkelingsparameters geregistreerd:

- Lengtegroei.
- Aantal gezette vruchten.
- Plantbelasting.

3.3.2 Oogstwaarnemingen

Het gemiddelde vruchtgewicht werd berekend op basis van het gewicht en aantal vruchten binnen twee velden met waarnemingsplanten. De kiloproductie is gemeten in 4 andere veldjes van elk 4.8 m² (totale oppervlakte 19.2 m²), omdat het doen van wekelijkse gewasmetingen bijna altijd een negatieve invloed heeft op de productie. Deze productiemetingen zijn een betere weergave van de realiteit.

Vruchtkwaliteit

De houdbaarheid van de vruchten is bepaald op 11 mei, 13 juni, 26 juli, 30 augustus en 3 oktober 2018.

Binnenrot

Vanaf 11 augustus zijn op regelmatige tijdstippen vruchten opengesneden en beoordeeld op gezondheid, zwarte zaden en binnenrot.

3.4 Vergelijking met de praktijk

De teelt in de 2Saveenergykas is vergeleken met een praktijk bedrijf. De zoektocht naar zo'n bedrijf was gezien de late teeltstart niet eenvoudig. Dit bedrijf is uiteindelijk gevonden in het Westland. Door de verouderde klimaatcomputer konden de klimaatgegevens vooral op dag en soms zelfs maar op week basis vergeleken worden. Uiteindelijk zijn productie, klimaat en energiegebruik vergeleken.

4 Kasklimaat en energiehouding

4.1 Kasklimaat

4.1.1 Kasluchttemperatuur en luchtvochtigheid

Na een relatief koude start volgt de gemiddelde kasluchttemperatuur per week in de 2SaveEnergy kas die van het praktijkbedrijf, Figuur 2. In de zomer ligt deze gemiddeld ruim 1°C boven die van het praktijkbedrijf. Het maximale weekverschil is 1,6°C in week 26. In die periode had de 2SaveEnergy kas dus onvoldoende mogelijkheden om de zonnewarmte af te voeren. In het najaar ligt de kastemperatuur juist onder die van het praktijkbedrijf. Het maximale weekverschil is -2°C in week 40.

Figuur 2 Gerealiseerde kasluchttemperatuur van de 2SaveEnergy kas (2Save) en het praktijk bedrijf (Pb) gebaseerd op de weekgemiddelden.

Na de vegetatieve fase tot 20 januari 2018 wordt gestreefd naar een etmaaltemperatuur die afhankelijk is van de hoeveelheid straling. In Figuur 3B is de verhouding tussen de hoeveelheid globale straling en de gewenste temperatuur weergegeven met een groene stippellijn. De gerealiseerde temperaturen bij de verschillende hoeveelheden globale straling per etmaal zijn als rode stippen weergegeven. De blauwe lijn stelt een regressielijn voor die een fit maakt tussen gerealiseerde straling en etmaaltemperatuur. Deze regressielijn is iets steiler dan de gewenste lijn, ($19^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$ voor iedere $\text{kJ}/\text{cm}^2.\text{etmaal}$), wat betekent dat bij lage lichtintensiteiten een te lage temperatuur is aangehouden, en bij hoge lichtintensiteiten een te hoge temperatuur.

In Figuur 3A zijn de gewenste en gerealiseerde temperaturen chronologisch weergegeven. Daar waar er een verschil van meer dan 1°C is, is een groene stip geplaatst. In totaal is de etmaaltemperatuur 21 maal lager geweest dan de streef temperatuur minus 1°C , en 41 maal hoger geweest dan de streef temperatuur plus 1°C .

Figuur 3 Gewenste en gerealiseerde etmaaltemperatuur (°C), en met groene stippen de dagen aangegeven wanneer het verschil groter was dan 1°C [A]. Gerealiseerde etmaaltemperatuur uitgezet tegen de hoeveelheid globale straling buiten (J/cm²), inclusief regressielijn en gewenste verhouding tussen straling en etmaaltemperatuur.

Het verschil tussen de dagtemperatuur en de nachttemperatuur (DIF) is alleen in de eerste twee maanden duidelijk hoger dan bij het praktijkbedrijf (zie Figuur 4). Daarna varieert het verschil in DIF van -1 tot +1°C.

Figuur 4 Verloop van het gemiddelde dag/nacht temperatuurverschil (DIF in °C) per week bij de 2SaveEnergy kas en het praktijkbedrijf.

In Figuur 5 is voor de 2SaveEnergy kas de maximum en de minimum temperatuur per etmaal weergegeven. De variatie in de maximum temperatuur is groter dan die van de minimum temperatuur.

Figuur 5 Verloop van de dagminimum en dagmaximum kasluchttemperatuur tijdens de teelt van de 2SaveEnergy kas.

Het verloop van het dagmaximum VD vertoont extremere pieken dan die van de dagmaximum temperatuur. Met name op 27 juli, als de kasluchttemperatuur piekt op 35°C piekt het VD op 24 g/m³.

Figuur 6 Verloop van de dagminimum en daggemiddelde VD tijdens de teelt van de 2saveEnergy kas.

In Figuur 7 is van de kastemperatuur en het VD een cyclisch gemiddeld etmaal van de maand augustus weergegeven. Het verloop van het VD volgt die van de kastemperatuur. Als de temperatuur daalt, kan de lucht minder vocht bevatten. Als er dan weinig vocht wordt afgevoerd, daalt het VD. Alleen in de avond is bij een dalende temperatuur een opleving van het VD te zien. Die opleving kan worden verklaard doordat de luchtramen in de vooravond zo dicht mogelijk worden gehouden. Hiermee wordt vocht en warmte in de kas gehouden. Daarna gaan de luchtramen verder open (zie Figuur 11). Doordat de nog warme vochtige lucht dan wordt afgevoerd daalt de kastemperatuur verder, maar stijgt het VD.

Figuur 7 Cyclisch gemiddelde VD (g/m³) en temperatuur (°C) tijdens de maand augustus van de 2SaveEnergy kas.

Ook over het hele jaar gezien blijkt het VD een vergelijkbaar figuur op te leveren als de kastemperatuur (zie Figuur 8). Ook hier blijken de pieken van het VD iets later op de dag te liggen dan die van de kastemperatuur, en daalt 's avonds de temperatuur sneller dan het VD. Verder valt op dat tot eind maart het VD 's nachts hoog blijft, terwijl de nachttemperatuur wel laag is. Dat is de invloed van het stoken, dat in die periode vooral wordt gebruikt om de kastemperatuur bij een lage buitentemperatuur op peil te houden, terwijl het jonge gewas nog niet veel verdampt en het VD hoog blijft.

Figuur 8 Verloop van het VD (g/m^3) en temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) van de 2SaveEnergy kas.

4.1.2 CO_2 -concentratie

Het setpoint in de 2SaveEnergy kas was op 700 ppm ingesteld en de gemiddelde gerealiseerde CO_2 -concentratie overdag lag altijd tussen 500 en 710 ppm. Het praktijkbedrijf had met name tot eind mei en na half juli een veel hogere concentratie overdag (zie Figuur 9).

Figuur 9 Gemiddelde CO_2 concentratie tijdens de lichtperiode van de 2SaveEnergy kas, het praktijkbedrijf, weergegeven als een weekgemiddelde.

Op sommige momenten is de CO_2 -concentratie in de 2SaveEnergy kas lager dan buiten (zie de blauwe vlekken in Figuur 10 boven). Dat zou betekenen dat de CO_2 -opname op die momenten hoger is dan de gedoseerde 100(maximum tot begin juni) of 125 kg/ha.uur (zie Figuur 10 onder). Omdat dat niet waarschijnlijk is, mag worden getwijfeld aan de nauwkeurigheid of de representativiteit van de CO_2 -sensoren.

Figuur 10 Verloop van de CO₂ concentratie ten opzichte van de buitenwaarde (ppm; boven) en de CO₂-dosering (kg/ha.uur; onder) in de 2SaveEnergy kas.

4.2 Inzet van luchtramen, schermen en CO₂

4.2.1 Luchtramen

In Figuur 11 zijn de luwzijdige en windzijdige raamstanden weergegeven. De windzijdige ramen worden pas vanaf begin april geopend. De gemiddelde raamstand is 24.2% respectievelijk 15,8% geweest.

Figuur 11 Verloop van de raamstand (%) luwzijdig en windzijdig.

Uit Figuur 12 blijkt dat gedurende meer dan 4354 uren de luchtramen zijn gebruikt om vocht of warmte af te voeren. Dat betekent dat deze gedurende 44% van de teeltduur gesloten zijn geweest.

Gedurende 503 uren is de som van beide raamstanden meer dan 180% geweest en gedurende meer dan 200 uren waren beide raamzijden maximaal geopend. Je kunt hiermee stellen dat in die 200 uren een hogere ventilatiecapaciteit gewenst zou zijn.

Figuur 12 Belastingduurkromme gedurende 7728 teelturen van de som van de windzijdige en luwzijdige raamstand.

De luchtramen in de 2SaveEnergy kas zijn van het type doorlopende nokluchting. De totale geprojecteerde raamopening is vergelijkbaar met enkele luchtramen van een kas met 1.67 m glas in een 5 meter tralie. Ook tijdens eerdere proeven is gebleken dat afhankelijk van de windrichting de ventilatie-efficiëntie niet altijd optimaal is.

4.2.2 Schermen

Het aluminiumscherm en het heldere scherm hadden een gemiddelde stand van 43,8 respectievelijk 63,8% (zie Figuur 13). Het heldere scherm is in de zomer ook overdag ingezet om het felste zonlicht te temperen. In de zomerperiode zijn de schermen zelden 100% gesloten geweest, zodat vocht beter kon worden afgevoerd. De schermen zijn ook nadrukkelijk ingezet om de uitstraling van het gewas in de avond en nacht te minimaliseren. Het schermgebruik is veel hoger dan van het praktijkbedrijf (zie Figuur 14). Het praktijk bedrijf had de beschikking over 1 transparant beweegbaar energiescherm en van af de teeltstart tot eind januari een vast scherm.

Figuur 13 Inzet van de schermen tijdens de teelt in de 2SaveEnergy kas.

Figuur 14 Inzet van de schermen in uren per week bij 2Save en op het praktijkbedrijf.

4.2.3 CO₂-dosering

De CO₂-dosering loopt redelijk gelijk op met de hoeveelheid globale straling (zie Figuur 15). In het voorjaar is relatief minder CO₂ nodig dan in het najaar omdat door de lagere buitentemperatuur minder hoeft te worden geventileerd en daardoor minder CO₂ verloren gaat. Ook heeft dit te maken met de maximale doseercapaciteit, die vanaf 7 juni is verhoogd van 100 naar 125 kg/ha.uur (zie Figuur 10 onder). Tijdens de teelt is er in totaal 25.7 kg CO₂ gedoseerd.

Figuur 15 Dagelijkse CO₂ dosering in de 2SaveEnergy kas (kg/ha.dag) vergeleken met de hoeveelheid globale straling buiten (J/cm².dag).

Van het praktijkbedrijf zijn geen gegevens over de gedoseerde CO₂ hoeveelheid beschikbaar.

4.3 Netto straling

In de 2SaveEnergykas is een vierdelige netto-stralingsmeter in het midden van het vak geplaatst, Figuur 16. Daarmee kan zowel de kortgolvlige als de langgolvlige straling naar boven (uitgaand) en naar beneden (inkomend) worden gemeten. Met kortgolvlige wordt hier de straling bedoeld met een golflengte van 300 tot 3000 nm. De langgolvlige straling meet binnen het gebied van 4500 tot 45000 nm.

Figuur 16 Netto stralingsmeter in de 2SaveEnergy kas.

In Figuur 17 zijn de metingen weergegeven van 24 tot en met 28 augustus. Ook zijn de schermstanden weergegeven. Uit de figuur blijkt dat overdag de inkomende kortgolvlige straling (donkerblauw) verreweg de grootste component is. Van de uitgaande straling blijkt de langgolvlige straling (veelal emissie van het gewas) iets groter te zijn dan de kortgolvlige straling (veelal reflectie van het gewas).

Figuur 17 De 4 stralingscomponenten (W/m^2) en de 2 schermstanden (%) van 24 tot en met 28 augustus.

In Figuur 18 zijn voor twee verschillende perioden alle stralingscomponenten bij elkaar opgeteld, waardoor de netto straling wordt vergeleken met de schermstand. Hierbij is gefocust op de donkerperiodes, waardoor de netto straling overdag buiten het bereik van de grafiek (-30 tot 10 W/m^2) valt. Voor de periode in maart (onderste grafiek) is duidelijk te zien dat het effect van het transparante energiescherm duidelijk kleiner is dan van het gealuminiseerde scherm. Als het gealuminiseerde scherm sluit neemt de netto straling duidelijk toe (minder negatief). De uitstraling is bij alleen gesloten energiescherm dan groter dan de instraling en kan dan netto -20 tot -30 W/m^2 bedragen. Dit is gelijk aan de straling tussen twee zwarte lichamen met een temperatuurverschil van $3,5$ tot $5,5^\circ\text{C}$. Bij geringe convectie kan de plant dan dus enkele graden onder de kastemperatuur uitkomen.

Als het gealuminiseerde scherm 100% gesloten is dan stijgt de netto straling naar -10 tot -5 W/m^2 . Voor de periode in augustus (bovenste grafiek) zijn dezelfde verschijnselen waargenomen, al is de netto straling dan minder sterk negatief. Het kasdek is dan immers warmer en straalt dan meer langgolvlige straling naar beneden, wat de uitstraling naar boven grotendeels compenseert.

De figuur maakt wel duidelijk dat het moment van sluiten grote invloed heeft op de uitstraling en daarmee de planttemperatuur.

Figuur 18 De netto straling (W/m^2) gemeten in de kas boven het gewas en onder de eventuele schermen, in de perioden 24 tot en met 28 augustus (boven) en 24 tot en met 28 maart (onder) bij verschillende schermstanden ($\times 10\%$, 0 is open 10 is volledig gesloten).

4.4 Gewastemperatuurmetingen Thermoview

Met behulp van een thermo grafische camera (Testo) is de gewastemperatuur gemeten. De vruchttemperatuur ten opzichte van de planttemperatuur is nader bekeken. Dit verschil blijkt tussen de 2 tot 3°C te liggen. Bij de beelden is te zien dat de grond (pad richting is oost-west) zelfs 's ochtends nog ruim 1°C warmer is dan het gewas en dus warmte aan het gewas afgeeft. Overdag is dat andersom. De schermen zijn 's nachts gebruikt en er is een schermkier toegepast. Het verschil tussen planttemperatuur en bodemtemperatuur zou sterker zijn als er niet zou zijn geschermd omdat dan meer uitstraling naar het dek plaatsvindt en het bovenste gedeelte van het gewas nog kouder wordt. Bij een praktijkbedrijf (enkel glas) zonder scherm zou het effect nog groter zijn geweest.

Figuur 19 Opnamen van het gewas in RGB (links), warmtebeeld (midden) en een grafiek met het verloop van de hoeveelheid straling (rechts) voor de middag (boven), avond (midden) en ochtend (onder van 29 op 30 mei 2018).

4.4.1 Effect van de schermstand op de temperatuur van het gewas

De gewastemperatuur is ook gemeten met een infraroodmeter. Deze meting is in Figuur 20 vergeleken met de kasluchttemperatuur. Voor de momenten dat dit verschil groter is dan 7°C dan is verondersteld dat de meting niet correct is en is dit in de figuur met een witte vlek weergegeven. Uit de figuur blijkt dat het gemiddelde verschil op jaarbasis 0,0°C is, maar ook dat de verschillen erg groot kunnen zijn. Verder is in de ochtend de planttemperatuur meestal hoger dan de kasluchttemperatuur. Dit temperatuurverschil is 's ochtends groter dan in de middag. 's Ochtends is de kaslucht namelijk nog relatief koud en wordt deze verwarmd door het door de zon beschenen gewas en afgekoeld door koude buitenlucht. 's Middags is de door de luchtramen binnenkomende buitenlucht warmer en droger, en kan de kas zich alleen koelen door het verdampende gewas. Het verschil in planttemperatuur en kasluchttemperatuur wordt dan kleiner.

's Avonds is de planttemperatuur juist lager dan de kasluchttemperatuur. Er komt dan weinig of geen warmte meer van de zon en het gewas koelt af door verdamping en ook door uitstraling naar het kouder wordende kasdek.

Figuur 20 Verloop van het verschil tussen de gemeten planttemperatuur en de kasluchttemperatuur (°C).

4.4.2 Gewastemperatuur en condensatie

Om de momenten te bepalen waarop het risico op condensatie het grootst is, is de planttemperatuur vergeleken met de dauwpuntstemperatuur. Omdat de gemeten planttemperatuur een gemiddelde is van de temperatuur van verschillende plantendelen en mogelijk ook kasconstructiedelen die allen bijdragen aan dit gemiddelde, moet deze vergelijking slechts worden gezien als een indicatie voor het risico op condensatie. In Figuur 21 is te zien dat dit risico het grootst is aan het begin van de avond. Een donkerblauwe vlek geeft aan dat de planttemperatuur onder de dauwpuntstemperatuur ligt, en dat er dan dus waarschijnlijk condensatie plaatsvindt.

Figuur 21 Overzicht van het verschil tussen de planttemperatuur en de dauwpunttemperatuur (°C). Op de witte plekken in april, en tijdens de perioden voor 15 januari, tussen 7 en 16 oktober en op 2 november zijn geen planttemperatuur metingen geregistreerd.

4.5 Energiehuishouding

4.5.1 Verwarming

De verwarming van de 2SaveEnergy kas is opgesplitst in een aparte regelbare buisrail- en gevelverwarming. Omdat de kas klein is, zijn de gevelverliezen onevenredig groot. De gevelverwarming heeft alleen tot taak het gevelverlies te compenseren. Indien dat perfect gebeurt, is het voor de buisrailverwarming alsof de kas oneindig groot is. Bij een kas van 4 ha. vormen de gevels rond de 10% van de kasomhulling. Om een realistisch beeld van de totale warmtevraag te maken wordt het warmtegebruik van de buisrail met ca. 10% verhoogd. Daarbij worden een aantal checks & balances in acht genomen.

De warmtevraag van het ondernet is met vijf methoden bepaald (zie Figuur 22).

- Gemeten met een warmtemeter gedeeld door het bruto kasoppervlak (453 m²).
- Berekend met het verschil tussen berekende buistemperatuur en de kastemperatuur.
- Berekend met het verschil tussen de gemiddelde buistemperatuur (aanvoer en retour) en de kastemperatuur. Hierbij zijn de momenten zonder berekende buistemperatuur niet meegeteld.
- Berekend met het verschil tussen de aanvoertemperatuur en de retourtemperatuur.
- Gemeten, aangepast aan de invloed van de gevelverwarming en de buisverwarming vanuit de warmtepomp.

De eerste vier methoden geven een vergelijkbaar beeld te zien. Dit is buiswarmte zonder de warmte van de warmtepomp (geleverd als naverwarming aan de ingeblazen lucht, of als warmteoverschot aan het ondernet). Bovendien moet voor een vergelijking met de praktijk rekening worden gehouden met te compenseren gevelverliezen ($\pm 10\%$).

Dat is gedaan bij de vijfde methode. Bij de gemeten warmtevraag is 10% opgeteld omdat de gemeten warmte geen rekening houdt met gevelverwarming. Bovendien is een correctie op de warmtevraag toegepast, voor de momenten waarop de warmtepomp de buisrail nuttig heeft verwarmd buiten de warmtemeter van de buisrailverwarming om maar via de warmtemeting van de warmtepomp. Hiermee is een iets hoger verbruik bepaald, met name in de zomerperiode (van half mei tot half september).

Figuur 22 Vijf methoden om de buisverwarming te bepalen (MJ/m².dag) met in de legenda het jaarverbruik in aardgasequivalenten per m².

De totale hoeveelheid warmte per bruto m² die in de buisrail is gestopt, opgeteld met de hoeveelheid warmte die door de warmtepomp is gegenereerd, wordt weergegeven in Figuur 23. Hierin zijn de gevelverliezen nog niet opgenomen. Bij de inzet van de warmtepomp voor ontvochtiging ontstaat een warmteoverschot omdat er bewust gekozen is om de ingeblazen lucht tot op slecht de kasluchttemperatuur +1°C terug te verwarmen nadat deze eerst door het koude water van de warmtepomp tot onder het dauwpunt was gebracht. Er wordt nadrukkelijk voor gekozen om niet meer dan 1°C boven de kasluchttemperatuur na te verwarmen om geen problemen met de horizontale temperatuurverdeling te creëren. De warmte van de warmtepomp wordt dan voor ca. 50% benut als naverwarming van de ingeblazen lucht. De rest wordt alsnog altijd gelijktijdig alsnog in de buisrail gestopt. Van deze rest kan niet alle warmte worden beschouwd als nuttig. In deze casus is nuttige warmte uit de warmtepomp gesteld als de warmte die is ingezet op de momenten dat de gevelverwarming ook warmte heeft gegeven (dit is als het buiten kouder is dan binnen) en als de hoeveelheid globale straling lager is dan 200 W/m². Hierbij blijkt dat van de 1,8 m³/m² warmtepompwarmte naar de buisrail 1,3 m³/m² als nuttig wordt beschouwd en 0,5 m³/m² als overschot dat moet worden afgelucht. Deze 0,5 m³/m² zou normaliter prima op een later tijdstip via een warmtebuffer ingezet kunnen worden, alleen is daar in dit project niet in voorzien.

Als de eerste teeltweek (waarin nog een onjuiste temperatuurstelling is gehanteerd) niet wordt meegeteld, is het piekverbruik per etmaal beperkt gebleven tot 3,3 MJ/m².etmaal, ofwel 0,105 m³/m².etmaal aan aardgasequivalenten.

Figuur 23 De verwarming (MJ/(bruto m².dag)) via de buisrail en naverwarming, en de vernietigde warmte, met in de legenda het jaarverbruik in aardgasequivalenten per m².

Om een vergelijking te maken met het praktijkbedrijf, is bij de 2SaveEnergy kas het aangepaste warmtegebruik uit Figuur 22 opgeteld bij de naverwarming (zie Figuur 23) per bruto kasoppervlak (453 m²). Ten opzichte van het praktijkbedrijf is dit warmtegebruik de eerste week niet veel lager (zie Figuur 24). Pas als er in januari een koude periode aanbreekt, worden de verschillen groot. Uiteindelijk komt het warmtegebruik uit op 10,9 m³/m². De opgegeven cijfers van het praktijkbedrijf komen uit op 30,1 m³/m².

Figuur 24 De warmte-input over de gehele teelt van de 2SaveEnergy kas (onderbuis+naverwarming) en van een praktijkbedrijf (Pb).

4.5.2 Verwarming en CO₂ dosering

Indien ervan wordt uitgegaan dat de buisrailverwarming (dus zonder naverwarming en inclusief gevel) ca. 8 m³/m², door een ketel wordt geleverd, kan worden berekend hoeveel van de rookgassen uit deze ketel beschikbaar is voor de CO₂-dosering. Dit is in Figuur 25 weergegeven. Omdat de grootste warmtevraag in de winter optreedt, en de grootste CO₂-vraag in de zomerperiode, blijkt de hoeveelheid nuttig aan te wenden CO₂ uit de rookgassen slechts 4,1 kg/m² te bedragen. Het verschil tussen dosering en benut zal als zuivere CO₂ ingekocht moeten worden. Als wordt verwarmd met een WKK, waarbij twee keer zo veel CO₂ per eenheid warmte wordt geproduceerd, zou 5,3 van de beschikbare 30,2 kg/m² CO₂ nuttig kunnen worden aangewend.

Figuur 25 Hoeveelheid beschikbare CO₂ indien de warmtevraag van de buisrail met een ketel wordt geproduceerd, de dagelijkse CO₂ dosering (kg/m².dag) en de uit de rookgassen benutte CO₂.

4.5.3 Ontvochtiging door condensatie en naverwarming

Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp was 9,6 kWh/m². Verreweg het meeste daarvan is gebruikt in het najaar. Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp loopt vrijwel parallel aan de hoeveelheid ontvochtiging door de LBK (zie Figuur 26 links). Voor iedere liter condens is gemiddeld 0,86 kWh elektriciteit nodig geweest. De verhouding condensatie-energie/elektrische energie komt daarmee uit op een gemiddeld rendement van 129%. Dit rendement ligt in de zomer lager dan in het najaar, waarschijnlijk omdat dan een groter deel van de koeling uit de warmtepomp opgaat in het afkoelen van de kaslucht dan in het condenseren van het vocht uit die kaslucht.

Figuur 26 Dagelijks verloop van het totale elektriciteitsverbruik (kWh) ten behoeve van de warmtepomp en van de hoeveelheid condens (kg) die door ontvochtiging via de LBK is opgevangen. Eenheden per bruto kasoppervlak (453 m²).

De naverwarming is ingezet op de momenten waarop is ontvochtigd. Daardoor geeft het overzicht in Figuur 27 rechts een vergelijkbaar beeld als de condensopvang van de LBK (links). Als in Figuur 27 wordt gekeken naar de momenten dat condenswater is opgevangen door de luchtbehandelingskasten, dan blijkt dat vooral in de ochtend te zijn. Voor 20 maart is de condenswateropvang niet gemeten en op 0 gesteld. Na augustus neemt de duur en de hoeveelheid condensopvang door de LBK toe. De totale condenswateropvang door de LBK is berekend op $\pm 11,2$ liter per m² bruto oppervlak (453 m², zie Figuur 26). De condensatie tegen het kasdek en de gevel is niet gemeten.

Figuur 27 Verloop van de condensopvang (g/m².uur) en de naverwarming (W/m²) in de LBK.

4.5.4 Piekgebruiken

De doelstelling van het maximale piekgebruik van warmte is voor dit project gesteld op $0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dag}$ aan aardgasequivalenten, ofwel $3,8 \text{ MJ}/\text{m}^2.\text{dag}$. Deze warmte wordt echter niet egaal verdeeld over het etmaal in de kas gebracht. Dat zou dan namelijk neerkomen op een warmtegebruik van $44 \text{ W}/\text{m}^2$. Figuur 28 laat zien dat de warmtevraag van de buisrail aan het einde van de nacht en het begin van de ochtend veel hoger is, tot soms zelfs meer dan 100 W per m^2 . De naverwarming is hier niet bij meegenomen omdat deze niet door een ketel hoeft te worden geleverd. Indien een bedrijf wordt aangesloten op een warmtevoorziening met een lage capaciteit, zal het moeten zorgen voor een dagbuffer.

Figuur 28 Overzicht van het warmtegebruik (W/m^2) via de onderbuis over de gehele teelt.

4.6 Watergift

De wateropname is berekend door de gemeten drain van de watergift af te trekken. De wateropnamen van de drie kraanvakken zijn in Figuur 29 vergeleken met hoeveelheid straling. Deze blijken redelijk parallel met elkaar te lopen, al is de verhouding wateropname/straling in het najaar hoger dan in het voorjaar. Dit kan zijn veroorzaakt door een grotere bladmassa in het najaar, maar ook doordat het kasdek dan minder koud is. Het gewas verliest dan minder warmtestraling en raakt dan relatief meer warmte kwijt door verdamping. Van de drie verschillende watergift strategieën is bij kraan 2 de hoogste wateropname gemeten. De gemiddelde gemeten wateropname is $634 \text{ l}/\text{m}^2$.

Figuur 29 Opmname (watergift +/- drain) van drie kranen, vergeleken met de hoeveelheid globale straling buiten, als gemiddelde over 4 dagen.

De watergift en drain van kraanvak 1 zijn in Figuur 30 getoond. Uit de figuur zou opgemaakt kunnen worden dat er in januari geen water is gegeven, dat is niet het geval maar in januari zijn alleen handmatig beurtjes gegeven die onder de detectiegrens van het systeem zitten.

Figuur 30 Gemeten watergift en drain in l/m².dag van kraanvak 1.

Het verloop van de verdamping is gemeten met behulp van een weeggoet. In Figuur 31 en Figuur 32 is daar een cyclisch gemiddelde van weergegeven. Het verloop van de verdamping is vergeleken met de straling in de kas. Hiermee is rekening gehouden met 60% lichttransmissie door het kasdek en 74% lichttransmissie door het heldere scherm. Figuur 31 betreft een lange periode. Hieruit blijkt dat de verdamping in de namiddag relatief laag is ten opzichte van de hoeveelheid straling. In Figuur 32 die een kortere periode in mei betrof, is dit verschijnsel minder duidelijk te zien. Wel komt naar voren dat de verdamping wordt verlaagd op het moment dat de schermen overdag worden gesloten (herkenbaar aan de dip in de globale straling).

Figuur 31 Cyclisch gemiddeld etmaal van 1 maart tot en met 15 oktober 2018, van de globale straling (gecorrigeerd op transmissie kasdek en scherm) en de gemeten verdamping.

Figuur 32 Cyclisch gemiddeld etmaal van 2 tot en met 13 mei 2018, van de globale straling (gecorrigeerd op transmissie kasdek en scherm) en de gemeten verdamping.

4.7 Overzicht

In Tabel 1 is een overzicht gemaakt van de belangrijkste energie en massastromen (exclusief gewas en productie) in de 2SaveEnergy kas. Het warmtegebruik via de buizen, vertaald naar een praktijkbedrijf van 4 hectare komt neer op 69 kWh/m². Als daarbij de naverwarming via de slurven wordt opgeteld dan is het totale warmtegebruik 97 kWh/m². Om volledig fossielvrij te telen en de kas met een warmtepomp (COP geschat op 4) te verwarmen, dan zal hiervoor (97/4=) 24,3 kWh/m² elektriciteit voor nodig zijn. Daarbij moet nog het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren (nu bepaald op 2,8 kWh/m², maar als meer warmte moet worden geogst, zal ook meer ventilatorvermogen nodig zijn) worden opgeteld.

Tabel 1

Energie- en massa stromen 2SaveEnergy kas tijdens de teelt 2018.

Bron	hoeveelheid		opmerking
Elektriciteitsgebruik	kWh/m²		
Warmtepomp (WP)	9,6		per bruto m ²
ventilatoren	2,8		
Totaal	12,4		
Warmte	kWh/m²	m³ae/m²	
via actieve stook buisrail	69	7.9	incl. 10% gevel
productie door WP	32	3,6	
Gebruikt voor naverwarming koelblok	16	1,8	
Van WP naar buisrail (nuttig)	11	1,3	Dus zonder 0,5 m ³ /m ² warmteoverschot
Totaal warmtegebruik teelt	97	11,0	buisrail + warmtepomp
CO₂	kg/m²		
Gedoseerd	25,7		
Beschikbaar uit rookgas	15,6		Op jaarbasis
CO ₂ ingekocht	21,6		Door seizoen mismatch ≠ gedoseerd - beschikbaar
Water	l/m²		
Gift	1022		
Gewasopname	634		
Drainpercentage	38%		
Condensaat uit LBK	11		

5 Gewasgroei

5.1 Teeltverloop

Tweewekelijks hebben vertegenwoordigers van de begeleidingscommissie onderzoek (BCO) de proef bezocht en is het gewas kritisch bekeken. De telers gaven adviezen over klimaatinstellingen en andere teeltzaken. Hieronder worden per teeltmaand in het kort een aantal zaken t.a.v. het gewas besproken, dit betreft zowel de opmerkingen van de leden van de BCO als andere opgemerkte zaken.

December

Gestart wordt met een normale temperatuur strategie en 500 ppm CO₂. Voor de gewasbescherming wordt gestart met 3x Vertimec en 3 uur per nacht zwavel verdamping.

Bij de ventilatie moet er rekening mee worden gehouden dat de luchtramen in deze kas pas effectief opengaan bij ca 8% raamstand. Bij harde wind (storm) gaan de luchtramen gemakkelijk op een minimum raamstand open.

Januari

De planten zijn eind 2017 de kas ingegaan. Dit is ca 3 weken later dan de meeste praktijkbedrijven, al komen plantingen eind december/begin januari geregeld voor. De ontwikkeling van de plant in het begin is goed.

In de tweede helft van januari is de nacht temperatuur verlaagd om de bloemen sterk genoeg te laten worden om te zetten. Overdag met instraling wordt de kas gemakkelijk warm. De dosering van de CO₂ is verhoogd naar 700 ppm.

Na het planten is, naast alle aandacht voor het zo goed mogelijk ontwikkelen van de plant, ook gepoogd met een dag maximum van 0.12 m³/m²/dag de teelt rond te kunnen zetten. De eerste wintermaand (januari, begin februari) zijn we ongeschonden doorgekomen. De warme buitencondities zorgen niet voor echte piekgebruiken.

Februari

In de 3^e oksel wordt de 1^{ste} vrucht per stengel aanhouden. Stand van gewas is goed. Gezien de zetting en stand van het gewas zou de temperatuur wat omhoog mogen. De sturing op energiegebruik wordt geregeld via de maximum buistemperatuur. De buisbegrenzing dag en nacht is 32°C, in deze kas ligt een dubbel 51 mm buisrailnet. Met de kennis van de voorgaande weken wordt de maximumbuis in de nacht (start bij zon_onder) op 22°C ingesteld en wordt deze van 4 uur voor zon_op tot zon_op met 3°C per uur verhoogd tot 34°C.

Het gewas is goed ontwikkeld in de afgelopen 2 weken. Er hangen aan de meeste planten 3 goede vruchten. Er zijn nog wel verschillen in grootte door het moment van zetten, maar dat is normaal.

Bloemen zijn grof, ook in de praktijk makkelijke zetting. In sommige oksels zitten vruchten tegen een knoop aan. De regelmaat is nog erg mooi maar wel kort geschakeld. De kop is mooi fris, de vlekkerigheid in de kop is verdwenen.

Een natuurlijke koudeperiode volgde eind februari begin maart. Aan het eind van die koude week was het energiegebruik slechts 0.54 m³/m². Per dag is dit gemiddeld maar 0.08 m³/(m².dag). Er was dus eigenlijk helemaal geen piek die week, de zon deed het werk en warmde de kas overdag sterk op.

Kwamen er dan geen pieken voor? Dat wel: zaterdag 3 februari 2018 is een voorbeeld daarvan. Buiten 2°C, winderig en vele winterse buien. Het daggebruik 0.1 m³/(m².dag) was toen hoger dan op de koudste en winderigste dag van de koude periode.

Met de BCO is er een discussie over de etmaaltemperatuur en de maximumtemperatuur. De laatste zonnige dagen varieert deze in de praktijk tussen 19.6 en 21, in deze proef tot 21.3. De luchtlijn stond nog altijd op 27, dat is nu aangepast, tussen 2 uur voor zon_op tot 5 uur na zon_op loopt de ventilatielijn op van 20 tot 27°C. Bij een te snelle stijging van de kasluchttemperatuur wordt middels een verschil "berekende vruchttemperatuur-dauwpunt" er tot 2°C van de ventilatielijn afgehaald om natslag te voorkomen. Wel 18 nacht en 21°C dag aanhouden.

Plant staat donker genoeg, wel opvallend vaak wat tekenende lichte vlekjes in het blad. Monsternamen van mat gaf EC 1.6 bij een gift van 3.7 met PH van 7. Het blijkt dat de EC regeling bij de start niet goed is geweest. Daardoor is bij de teeltstart de EC te laag geweest. Aan het gewas is dit op wat vlekkerigheid na niet goed te zien.

Eind februari werd opgemerkt dat de afbloei niet snel is, en dat de zetting een rem heeft gezet op de vegetatieve groei. Voor een late planting is de plantbelasting aan de lage kant. Het blad is klein en de onderlinge plantvariatie is sterk toegenomen. Een week later wordt over de plantbelasting echter opgemerkt dat die best hoog is en het de vraag is of de plant dit wel trekt.

Maart

De belasting van het gewas is zwaar door gebrek aan licht ten opzichte van het aantal groeiende vruchten. Er is weinig groei in de kop van het gewas. Op advies van de telers wordt per plant één vrucht groen gesneden. Daarna herstelt het gewas naar meer groei. Eind maart beginnen de eerste vruchten te kleuren. De laatste vruchten van het tweede zetsel zijn soms scheef. Een teken dat aan het eind van die periode van zetting de plant al te zwaar belast was om nog goed uitgroeiende vruchten te geven. Selectief de scheve vruchten weg dunnen is aan te raden. De bloemen zien er sterk genoeg uit om weer zetting te krijgen. De kop mag nog wel iets voller. De vraag is wel of de dunne en donker koppen gevolg zijn van hoge maximale temperaturen of gebrek van verdampend vermogen. Dit zou dan vooral in de kop van het gewas moeten zijn, want water beschikbaarheid is geen probleem.

Telers zijn terughoudend m.b.t. de maximale dagtemperatuur al is de vraag wel of het gaat om de maximale temperatuur of de hoogte van de etmaaltemperatuur. De meesten vinden 28°C te hoog. Later in het seizoen komt daar nog de beperkte luchtcapaciteit van deze kas en de doorlopende nokluchting die bij bepaalde windrichting de uitwisseling in de kas nog meer beperkt. Suggestie is daarom om onder die omstandigheden te spelen met de luwzijde/windzijde opening om de luchtstroom meer de kas in te dwingen. Naast de maximale temperatuur speelt vooral de snelheid van de stijging een rol. In de ochtend moet de opwarming eerder beginnen en liefst geleidelijk lopen.

April

De groei lijkt weer terug te komen in het gewas. Er waren wat grove bloemen, maar daarna weer normaal met goede zetting. Over de stand van het gewas is men tevreden. De kop liet mooie bloemen zien. Aandachtspunt is het snel oplopen van de temperatuur in de morgen met veel zon.

De zijtakken worden getopt op de 2^{de} oksel en hierbij wordt gelijk het bloemetje mee getopt. Uit de eerste oksel wordt het vruchtje weggehaald. Aan de hoofdtak mag alles blijven zitten.

Mei

Het gewas staat er volgens de telers goed op. Een goede, niet te hoge plantbelasting, grove vruchten en voldoende groei in de kop. De zetting zou wat meer mogen zijn.

Eind mei wordt geconstateerd: een mooie lengte, fris ogend gewas ondanks hoge temperatuur, voldoende belasting, verdeling van de vruchten matig. Ondanks de hoge zetting 2 weken terug blijft de groei goed.

Op een zonnige dag wordt het energie doek effectief voor 87% gesloten om verbranding van vruchten te voorkomen. Dat lukt prima want we zien geen verbrande vruchten en dit zorgt ervoor dat het vocht in de kas op een acceptabel niveau blijft. De planten blijven verdampen met goed geopende huidmondjes en kunnen dus CO₂ opnemen.

De overgang van een scherm om straling te verminderen om verbranding van vruchten te voorkomen naar niet schermen tegen verbranding vraagt dan extra aandacht.

Een ander aandachtspunt bij het schermen tegen vruchtverbranding, is dat de vruchttemperatuur gemiddeld lager blijft immers de vrucht ontvangt minder warmtestraling of zoals het in de BCO werd verwoord "de afrijping is traag wat niet gunstig is voor zetting". Daarmee ontstond een dilemma. We willen de vruchten niet laten verbranden, daarvoor gaan we schermen, maar dit is ongunstig voor de afrijping. Er gekozen voor het schermen en dan maar iets langere uitgroei duur. Argumenten daarvoor:

Als de stralingssom wat achter blijft, door bewolking is de etmaaltemperatuur toch al snel 1 a 2°C te hoog. De warme nachten eind mei zorgen niet echt voor afkoeling.

Wat doe je dan met de schermen in de nacht? Ga je toch schermen tegen uitstraling? Er is voor gekozen van wel, ook al is de uitstraling van het gewas naar het dek niet hoog, door het dubbele dek. De onderlaag van het dek, de ETFE film, is niet koud, dus is er ook niet veel uitstraling. In de nacht sluiten de twee schermen vanaf zon- onder voor 70%. Pas als de kastemperatuur de verwarmingstemperatuur nadert op een paar tienden daarboven gaat het energiescherm volledig dicht. Eerder sloot het scherm al 2°C boven de verwarmingstemperatuur, maar die grens is toch dichterbij op de verwarmingstemperatuur gelegd omdat dan door de hoge isolatiegraad de kas vrijwel niet meer afkoelt en de etmaaltemperatuur aan de hoge kant blijft.

Een laatste discussie punt is de CO₂ concentratie of dosering. We doseren 100 kg/(ha.uur). In de proef meten we midden op de dag vaak een CO₂ concentratie die dicht bij de buitenwaarde ligt. Dat betekent dat we weinig ventilatie verlies hebben en het gewas dus vrijwel alles moet opnemen. De groei zou als de concentratie hoger zou zijn (rond de 600 ppm) beter moeten zijn, maar het CO₂ verlies is dan ook groter. Gaan we meer zuivere CO₂ doseren (dus inkopen) dan is daarvan een groot deel direct verloren. Een discussie punt is daarbij of het belangrijker is om te kijken naar de hoeveelheid gedoseerde CO₂ of naar de concentratie. Het eerste is een praktijk geluid, terwijl het tweede de stelling is vanuit onderzoek.

De warme meimaand gaf voldoende stof tot nadenken over de beste teeltstrategie voor Paprika.

Juni

Eind juni wordt gemeld dat in de afgelopen twee weken de zetting goed geweest is. Ook is er voldoende geoogst. Er wordt nu twee keer per week geoogst. De etmaaltemperaturen (lager gemiddelde) zijn beter in lijn met de lichtsom dan de twee weken terug.

In de avond wordt vanaf nu bij het afluchten alleen gebruik gemaakt van de luwe zijde. De wind zijde ventilatie temperatuur wordt in die periode verhoogd.

De nachttemperatuur mag iets lager komen. De stook en ventilatie lijnen zullen nog 1°C verlaagd worden. Er is gespoten tegen spint. Dit goed blijven volgen.

Er wordt opgemerkt dat er te vroeg tegen instraling wordt geschermd. Dit wordt aangepast. De etmaal temperatuur op donkere dagen is te hoog, daarom met een sterkere afkoeling in de voornacht (direct na zon- onder) gaan werken.

Juli

Ondanks de hoge temperaturen staat het gewas er goed op: een goede stevige kop. Plantbelasting is ook prima: ca. 7 vruchten per stengel, ofwel rond de 40 vruchten/m². Vruchten ogen wat rommelig. De vorm van de vruchten is minder dan in de praktijk.

Wel wordt er een enkel neusje/brandvlek gevonden, maar dit is niet verwonderlijk gezien het weer en het komt ook in de praktijk voor. Diversiteit van de stengels onderling is groot.

Op behoorlijk veel vruchten zijn calciumstippen te zien.

Voor een betere bladbedekking van de bovenste vruchten niet tekort erop zitten met het toppen van zijdscheuten: blad sparen.

In verband met luis wordt geadviseerd om Plenum te druppelen.

Er zijn nogal wat dode takken die door Fusarium zijn aangetast. Deze verwijderen om infectiebronnen weg te nemen. Er zijn een paar planten met wortelfusarium. Even aankijken of ze het redden en anders weghalen. Gezien de voorspelde tropische dagen 's morgens ventilatietemperaturen verlagen.

Augustus

Kop van gewas oogt goed. Zorg dat alle rommel/neusrot er bij gewaswerk uit gehaald wordt. Neusrot komt ook in praktijk voor.

Zetting voldoende. Als we langer dan 1 november willen doorgaan zorgen dat de plantbelasting niet te hoog wordt, zodat er nog wat ruimte blijft voor late zetting.

Schermbanden zouden s morgens vroeger gesloten kunnen worden om warmte buiten te houden. Dat doen we nu niet meer, verwachting is dat de temperatuur gaat dalen.

Voor de rupsen bestrijden wat nodig is. Dat is niet anders dan praktijk.

September

Plantbelasting soms nog hoog, daarom geen zetting. Teelt kan nog wel door tot eind november hetgeen praktijk conform is bij een plantdatum van 27 december.

Witte vlieg vergt aandacht.

Vruchtvorm is niet ideaal. Heeft dit met Maranello of hoge temperatuur te maken?

Veel neusrot gehad eind augustus. Dit uit zich in een week met 50% klasse II, daarvoor 30%. Op de meeste praktijkbedrijven zijn in de periode ook grote kwaliteitsproblemen geweest.

Advies van de telers is nu de kop uit de planten en toppen, zodat er nog ca 4 vruchten per stengel zetten en uitgroeien.

De druppel EC is relatief laag! Deze aanpassen naar boven de 2.

Bij bespuiting tegen witte vlieg en rupsen uitvloeier gebruiken. Nu onacceptabel veel residu op vruchten zichtbaar.

In kraanvak 1 behoorlijk wat planten met fusarium op de splitsing. Discussie is waar deze fusarium vandaan komt. Wat is er anders geweest dan in 2016 en 2017. Is het de watergift, of het activeren? De doorgesneden vruchten met gekleurd zaad waren prima volgens de telers.

Oktober

Gewas staat er nog altijd fris bij, geen bladval, kleur van gewas in kop is goed

De laatste zetting is voldoende geweest en lekker regelmatig. Het weer zat daarvoor mee. Veel meer zetting hoeft niet, want die vruchten worden dan niet groot.

De temperatuur in de nacht hebben wij nog op 17°C staan. Telers zetten hem vaak hoger om snellere afrijping van de laatste vruchten te bereiken. Omdat wij tot half november door kunnen is dat nog niet nodig. We kunnen wel hoger en met de schermen dicht zal dat niet veel energie kosten en voor de luchtvochtigheid in de nacht mogelijk net iets gunstiger zijn. RV iets lager en met de warmtepomp ook makkelijker te sturen.

De plagen zoals trips, spint en rupsen zijn onder controle. Er zit nog wel wat boterbloemluis waartegen behandeld moet worden, advies is een rookpot te plaatsen. Van een vorige bespuiting, mix van Plenum en Ortiva met uitvloeier is er toch opvallend wat residu te zien. Wit is goed bestreden, geen rupsjes meer te zien.

Twee weken geleden werd opgemerkt dat er wel geregeld fusarium op splitsing van de plant was te zien. Vooral op bepaalde plekken in de kas. Dat is wel een aandachtspunt en komt overeen met het feit dat we meer binnenrot hebben gezien. Aantasting van fusarium neemt niet toe. Er is ook geen toename van verkleuring op de stammen te zien.

Binnenrot is de laatste weken vrijwel niet als schimmel in de vrucht waargenomen, wel vruchten met zwart/gekleurd zaad.
De vruchtvorm is beter dan in de zomer.

Klimaat aanpassen zodat warmte niet meer afgelucht wordt door luchtlijn gedurende de dag richting de 25°C te laten lopen en pas 's morgens weer terug te laten gaan
Water rustig aan blijven doen, 15 a 20 % drain aanhouden, pas echt tegen het einde teelt gift drastisch terug schroeven, niet nodig om dat geleidelijk af te bouwen.

5.1.1 Plantmetingen

Wekelijks zijn de lengtegroei, het aantal gezette vruchten en de plantbelasting bij gehouden. Als vergelijk zijn gegevens verkregen van een praktijkbedrijf met vergelijkbare plantdatum en cultivar.
Figuur 33 laat de lengtegroei en de cumulatieve plantlengte zien. Opvallend is dat na week 10 er een gemiddeld constante lengtegroei is. Meestal is de lengtegroei min of meer het tegenovergestelde van de zetting. Na een periode van zetting is de lengte groei minimaal. Dat lijkt hier niet het geval. Al is de zetting in de 2SaveEnergy kas wel constanter dan een praktijkbedrijf.

Figuur 33 Lengtegroei per week en plantlengte cumulatief.

Figuur 34A toont de zetting van de 2SaveEnergy kas (2Save) en een praktijk bedrijf (P) opvallend is dat de zetting bij de WUR later op gang komt en na week 13 minder ver terugvalt dan het praktijk bedrijf. Blijkbaar is het verschil in ontwikkeling tussen de planten groter in de 2SaveEnergy kas waardoor het gemiddelde vlakker wordt.

Figuur 34 Zettingsverloop gedurende de teelt (A) en plantbelasting in aantal per m^2 (B).

De plantbelasting (Figuur 34B) is in de eerste 24 weken in de praktijk hoger dan in de 2SaveEnergy kas echter de plantbelasting loopt 5 weken langer door. Het verschil bij de start van de teelt is opmerkelijk omdat de begeleidende telers vonden dat de plantbelasting in maart in de 2SaveEnergykas al hoog was.

De telers merkten op dat door het vele schermen de uitgroei duur mogelijk langer werd, maar in vergelijking met gegevens uit 2015 is hierin geen grote afwijking te zien en blijft tot enkele dagen beperkt (Figuur 35).

Figuur 35 Uitgroei duur in dagen in vergelijking met de teelt in 2015.

5.1.2 Productie en kwaliteit

Het gemiddeld vruchtgewicht ligt vooral in het begin hoger in de 2SaveEnergy kas dan op een praktijkbedrijf (Figuur 36A). De 2SaveEnergy kas eindigt op net geen 27 kg kwaliteit I (Figuur 36B). Daarbij moet bij de 2SaveEnergy kas wel worden gerekend met 4.8 kg/m² als kwaliteit II geoogst product. Als die mee worden genomen is de productie 31.6 kg/m². In de BCO bespreking zijn als mogelijke oorzaken voor de relatief lage productie genoemd de lichttransmissie van de kas, het intensief schermen tegen verbranding en een hoge etmaal temperatuur. Vergelijken met het Praktijkbedrijf (Pb) ligt de productie een stuk lager. De data van het praktijkbedrijf geven een productie aan van 36,5 kg/m². Dit is een zeer hoge productie voor rode paprika. In Figuur 36B is te zien dat het grootste verschil tussen 2Save en Pb tijdens en na de zomerperiode ontstaat.

Figuur 36 Vruchtgewicht gemiddeld per week in gram per vrucht (A) en cumulatieve productie in kg per m² (B).

5.1.3 Vruchtkwaliteit en uitval door Fusarium

De houdbaarheid van de vruchten is 5 keer bepaald, Tabel 2. De gemiddelde houdbaarheid is goed. Zeker aan het einde van de teelt. Op 13 juni geoogste vruchten vertoonden een sterke mate van binnenrot/zwart verkleurde zaden.

Tabel 2

Houdbaarheid van vruchten uit de 2SaveEnergykas in de loop van de tijd.

Inzet	aantal	gemiddelde houdbaarheid in dagen	aantal binnenrot
11 mei 2018	15	12.8	2
13 juni 2018	15	9.6	12
26 juli 2018	22	14.4	3
30 aug 2018	22	17.6	4
03 okt 2018	15	17.7	1

Vanaf 11 augustus 2018 zijn 11 keer vruchten direct na de oogst doorgesneden. Van de in totaal 610 vruchten was 84% gezond, 12% had zwarte zaden en 4% had binnenrot. De eenmaal aanwezig aantasting van binnenrot verdween niet. Er was in de 11 weken dat dit is gedaan geen trend waarneembaar van af of toename van de mate van aantasting.

In het teeltverloop in juli (paragraaf 5.1) is opgemerkt dat er veel fusarium voorkwam op het begin van de stengels en in september veel op de splitsing. De aantasting in juli zou wel eens goed samen kunnen hangen met de aantasting door binnenrot begin juni van de vruchten. Het ontstaan van de fusarium aantasting moet dan al in april/mei zijn geweest. Blijkbaar zijn toen de omstandigheden in de kas gunstig geweest om fusarium aantasting te laten ontstaan. Als mogelijke oorzaken zijn genoemd dat relatieve vochtigheid in de ochtend soms te snel op liep en te laat de temperatuur van de kas werd verhoogd.

Omdat in deze kas uitstraling vrijwel nihil is door het type dek en door het intensief schermen moet de aantasting zijn bevorderd door andere omstandigheden.

5.2 Bemesting en pH

In de proefopzet is uitgegaan van 3 mogelijke watergeefstrategieën (zie ook paragraaf 4.6). Die zijn ook nagestreefd maar in productie, groei en substraatanalyses zijn geen verschillen te zien. Een aspect dat niet optimaal is verlopen is de bemesting. Bij de start is door een technische fout met een lage EC begonnen (Figuur 37). Er werd bij het druppelen schoon water meegezogen met het water uit de dagvoorraad. Dit werd niet gezien aan het gewas, maar heeft mogelijk wel enige invloed gehad. Ook de bemesting met het sporenelement ijzer is niet optimaal geweest. Er werd extra ijzer gegeven, maar in de matanalyses werden lage ijzer waardes gevonden (Figuur 38). Pas na 30 mei nam de ijzer concentratie toe. Dit heeft niet met het kassysteem te maken, maar is een onderdeel van de watervoorziening.

Figuur 37 pH en EC waarden van de substraatanalyses.

Figuur 38 Concentratie van de elementen Fe en Mn in de substraatanalyses.

6 Discussie en conclusies

6.1 Discussie

6.1.1 Teelt en productie

De teeltresultaten in de 2SaveEnergy kas voor paprika zijn minder aansprekend vergeleken met de eerdere resultaten voor tomaat en komkommer. De mindere teeltresultaten uiten zich in een lagere productie aan kwaliteit I vruchten. Een relatief hoger percentage vruchten was misvormd. Een voorbeeld van deze misvormingen is te zien in Figuur 39. De uitgroei van de vrucht is niet mooi regelmatig. Dit trad vooral op bij de laatste vruchten van een zetsel, wat wijst op een gebrek aan assimilaten bij de hoge temperaturen waarin de vruchten ontwikkelen.

Figuur 39 Voorbeeld van vruchtmisvorming.

De bladeren zijn vanaf het begin wat aan de kleine kant, maar zijn wel tot aan het einde van de teelt groen gebleven over de hele lengte van de plant. De kwaliteit van het product laat ruimte voor verbetering zien. Waar in eerdere proeven vrijwel nooit binnenrot optrad, liep het percentage binnenrot in de laatste meting op tot meer dan 10%. Of, en zo ja, hoe deze binnenrot een relatie heeft met de gekozen teeltwijze is onduidelijk maar hier moeten wel verbeterlagen gemaakt worden.

De productie liep redelijk door, is geen topper en er zijn geen duidelijk aanwijsbare redenen voor dit “gewone” resultaat. Het gewas staat er sterk op en toont duidelijk een vegetatieve stand maar weet de productie niet helemaal te bereiken die je zou verwachten. In de eindbespreking werd opgemerkt dat de plant te klein geweest zou zijn voor de eerste zetting en er daarna bloemen en vruchtbeginsels verspeeld werden. Mede daardoor is de plant het hele jaar uit balans geweest.

Bij het teeltverloop en de plantmetingen is aangegeven dat er veel stengelfusarium optrad. Op 25 september was nog 91.5% van de planten gezond, 2.2% van de planten toonde een aangetaste plek, bij 4.2% van de planten was een of meer stengels dood en 2.1% planten waren alle stengels dood. Ruim 8% zieke of dode planten heeft natuurlijk een negatief effect op de productie aan het einde van de teelt. Dit is in proeven in 206 en 2017 niet opgetreden en hoger dan normaal voor de praktijk.

Zonder precies het moment van ontstaan van Fusarium te kunnen aanwijzen is bij vruchtkwaliteit al opgemerkt dat dit waarschijnlijk in april/mei is geweest. Die periode is er door de BCO ook op gewezen op de noodzaak tot opstoken en stijgsnelheid van kasluchttemperatuur die niet te snel mag gaan.

6.1.2 Klimaatbeheersing en energie

In een zomer als in 2018 wordt er om het klimaat op vochtgebied nog enigszins vast te houden veel geschermd. Dat gaat ten koste van licht welke door de dekconstructie van deze kas toch al niet tot de toppers behoort. Daarnaast is het kasdek in droge omstandigheden hoog diffuus. De vegetatieve groei kan mogelijk wat meer generatief gestuurd worden door eerder in de nacht kouder te gaan en minder te schermen.

Er zijn in februari twee koude periodes geweest. Zeker de 2^{de} koude periode eind februari heeft het gewas wel zijn temperatuur (etmaal) gehad, door overdag op te warmen (met zonlicht) naar ongeveer 28°C, met koude nachten en zeer beperkt opstoken naar de dag om niet te pieken. Hierdoor zijn grote dag/nacht verschillen gerealiseerd. Het voorkomen van pieken in gasverbruik is in december/januari lastiger te realiseren dan in maart wanneer de zonkracht meehelpt om de kas op te warmen.

6.2 Conclusies

Een eigenschap van de 2SaveEnergy kas is dat bij instraling in het voorjaar de temperatuur van de kas snel en hoog kan oplopen. Er vindt minder energie-uitwisseling via het kasdek plaats. Gevolg is dat dit moet worden opgevangen door de ventilatie strategie.

De 2SaveEnergy kas maakt voor de paprika teelt dit jaar de verwachtingen met betrekking tot het energiegebruik meer dan waar. Het energiegebruik in 2018 is uitgekomen op 11 m³/m², terwijl het praktijkbedrijf waarmee is vergeleken, op ruim 30 m³/m² uitkomt.

De beschikbaarheid van zuivere CO₂ heeft het warmtegebruik waarschijnlijk sterk verlaagd. Terwijl de praktijk in de zomer wekelijks toch zeker 0.3 m³/m² gebruikt, is bij 2 SaveEnergy geen aardgas verstookt om CO₂ te doseren. Overigens is ook de dosering van zuivere CO₂ bij de 2SaveEnergy kas beperkt gebleven met een behoudende maximale doseercapaciteit van 125 kg/(ha.uur). Indien de benodigde warmte met een aardgasketel zou zijn opgewekt, dan zou daar 4,1 van de gedoseerde 25,7 kg uit kunnen worden gehaald.

De doelstelling om gebruikspieken te voorkomen is dit teeltseizoen gehaald. Daarbij is wel het leermoment geweest dat de gebruikspieken (op dagbasis) vaak helemaal niet in een koude periode vallen maar juist in perioden met somber weer met wind en neerslag bij temperaturen rond de 0°C. De natuur helpt dan binnen het etmaal niet om met de zon de kas gratis op te warmen. De ervaringen met de pieken hebben ook laten zien dat dit gewastechnisch (nog) niet tot problemen heeft geleid en het dus zeker tot de mogelijkheden behoort om pieken op te vangen.

6.3 Aanbevelingen

De warmtepomp in deze kas die de ontvochtiging garandeert, hoeft door de kleinere vochtproductie van de paprika ten opzichte van de tomaat die vorig jaar beproefd is, minder te doen. Gevolg daarvan is dat de warmtepomp minder ingezet kan worden waardoor er naar verhouding meer warmte via de ketel moet worden ingebracht. In de verduurzamingsslag die gemaakt moet worden om de kas klimaatneutraal te kunnen laten functioneren, zal de bijdrage van de WP juist verder moeten worden verhoogd. Dat kan enerzijds met een aangepaste vochtstrategie in de kas (het lage VD setpoint richting 2.5 in plaats van 1.8) maar anderzijds door een additionele energiebron voor de warmtepomp te creëren. Dat zou in dit geval een aquifer kunnen zijn met geoogste warmte. Voor de dimensionering van het systeem is het lage absolute verbruik van deze kas een goed uitgangspunt. Zo is de benodigde warmte-inbreng in deze teelt nog geen 100 uur groter dan 60 W/m² geweest en slechts 3 dagen was de gemiddelde warmteafgifte groter dan 40 W/m². Dagen met een grote warmtevraag zijn in het algemeen niet direct de dagen met een grote ontvochtigingsvraag wat de noodzakelijkheid van een alternatieve voedingsbron van de WP vergroot. Op jaarbasis zou bij een resterende warmtevraag van de kas van ca. 10 m³/m² een kleine 70 kWh/m² aan warmte geoogst moeten worden en in een aquifer opgeslagen. Door de warmtepomp op uren met een kasluchttemperatuur van meer dan 25°C (dit jaar al meer dan 1200 uur) in te zetten om de kas te koelen, kan met een koelcapaciteit van 60 W/m² al voldoende warmte geoogst worden.

In de vervolgstappen om een niet belichte groententeelt als paprika toch klimaatneutraal in te vullen zijn de te nemen vervolgstappen:

- Verdere doorvoering van het piekmanagement om een vlakke warmtevraag te creëren.
- De warmtepomp meer uren in te zetten op ontvochtigingsvraag met (hopelijk) positieve effecten op vruchtkwaliteit.
- De warmtepomp ook inzetten om warmte te oogsten en in een aquifer op te slaan om een alternatieve warmtebron voor de warmtepomp te creëren.
- Minder schermuren overdag maken ten behoeve van zonwering maar het klimaat (vocht) met verneveling op peil te houden en daarmee de potentiële productie een boost te geven.

Met deze maatregelen moet het mogelijk worden om een paprikateelt met de inzet van rond 25 kWh/m² (exclusief elektriciteit voor ventilatoren en overige bedrijfsstroom) aan groene stroom klimaatneutraal te maken.

6.4 Opmerkingen vanuit de BCO

De teelt is intensief gevolgd door een enthousiaste BCO. In deze paragraaf de belangrijkste punten die vanuit de BCO naar voren zijn gebracht.

- Pieken vermijden, dan moet je accepteren dat je lagere temperaturen hebt dan gewenst. Die kunnen onbalans in de plant creëren.
- Het is toch belangrijk om te hoge dag/nacht verschillen en een te hoge etmaaltemperatuur te voorkomen.
- Andere gewassen zoals tomaat en komkommer gaan makkelijker met een onbalans om.
- Opwarmen in de ochtend is belangrijk voor de groei en ter voorkoming van binnen-rot. Er is toch een aantal kuub gas nodig om het temperatuurverloop gelijkmatiger te laten verlopen.
- Het is moeilijk om de productie met het praktijkbedrijf te vergelijken, juist omdat deze teler een hoge productie realiseert. Er is echter voor dit bedrijf gekozen, omdat er maar 3 dagen plantdatum verschil tussen zit. Geadviseerd wordt om de productie niet te vergelijken in de rapportage.
- Voor klimaatvergelijk is dit bedrijf wel goed te gebruiken.
- Mogelijk dat het wegschermen van het licht in de zomer niet nodig had geweest. Het diffuse kasdek laat al 10% minder licht door en geeft juist een goede spreiding van het licht.
- Het is belangrijk om bij een late planting eerst een goed gewas neer te zetten.
- Tjibbe geeft aan dat er bij deze proef zowel 2Save kas (met isolatielaag), maar ook HNT is toegepast. Misschien soms te veel variabelen.

6.4.1 Hoe zou je deze proef anders doen / waar liggen er nog kansen?

- Normale plantdatum, temperatuur minder hoog op laten lopen en de warmtepomp meer laten ontvochtigen. Vooraf goede strategie bepalen voor een goede plantopbouw.
- De teelt juist later laten starten, begin januari bijvoorbeeld en dan misschien wel het eerste zetsel verwijderen, zodat rond week 7 / 8 de eerste zetting zal plaatsvinden. De zonkracht neemt dan snel toe en wordt de temperatuur in de kas eerder gehaald zonder pieken in gasverbruik. Zonder zetting kan wellicht eenvoudiger op temperatuur toegegeven worden. Zo kan misschien wel geteeld worden zonder pieken en met een plant die in balans is.

7 Literatuur

- Bakker, J.C. en J.A.M. van Uffelen, 1988.
The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of glasshouse sweet pepper. Neth. J. Agri. Sci. 36:201-208.
- Bakker, J.C., 1989.
The effects of air humidity on growth and fruit production of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Hort. Sci. 64:41-46.
- Buwalda, F.; Haghuis, P.; Kempen, J.; Gurp, H. van; Bouten, P.; Baas, R. 2003.
Integratie van gewasontwikkeling in kasklimaatregeling bij vruchtgroenten. PPO Nr. 576
- Buwalda, F.; Zwart, F. de; Henten, E. van; Gelder, A. de; Hemming, J.; Bontsema, J.; Lagas, P.; Mark, C. van der 2009.
Energiezuinige teeltsturing bij paprika : proof of principle : testen van dynamische optimalisatie als methode om doelgerichte sturing van de teelt te combineren met energiebesparing. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw Nr. 238
- Cochran, H.L., 1932.
Factors affecting flower and fruit setting in the pepper. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 29:434-437.
- Dieleman, J.A. ; Gelder, A. de; Janse, J. ; Eveleens-Clark, B.A. ; Lagas, P. ; Elings, A. ; Qian, T. ; Steenhuizen, J.W. ; Biemans, R., 2012.
Temperatuurstrategieën in geconditioneerde kassen: Effecten op groei, ontwikkeling en onderliggende processen bij tomaat. (Rapporten GTB 1123) - 86 p.
- Dieleman, J.A.; Raaijmakers, E.; Meinen, E., 2005.
Temperatuuronderzoek bij tomaat :effect van een tijdelijke temperatuurverlaging (DROP) op groei, ontwikkeling en productie. Nota 360 Plant Research International - 42 p.
- Elings, A.; Meinen, E.; Dieleman, A.; Kempkes, F.L.K., 2011.
Gewasmanagement in semi-gesloten kassen; simulaties van gewasgroei en -ontwikkeling. Rapport GTB-1124 -55 p.
- Erickson, A.N. en A.H. Markhart, 2002.
Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. Plant, Cell and Environment 25:123-130
- Gelder, A. de; Warmenhoven, M.G. ; Grootcholten, M. ; Zwinkels, J. (2011)
"Het Nieuwe Telen" Paprika Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1103) - 560 p.
- Gelder, Arie de; Burg, Rick van der; Zwinkels, Jeroen (2017).
Paprika energie zuinig met goede kwaliteit. Bleiswijk : Wageningen UR Greenhouse Horticulture, (Rapport GTB 1434) - 46 p.
- Gosselin, A. en M.-J. Trudel, 1986.
Root-zone temperature effects on pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(2)220-224.
- Heij, G., M. Kersten en G. Messelink, 2004.
Integratie van energiebesparende maatregelen in de paprikateelt. Resultaten stookteelt 2001. Rapport PPO GT12026, 50 p..
- Helmus-Schuddebeurs, Lianne, Rick van der Burg, Jeroen Zwinkels, Arie de Gelder en Peter Geelen. (2017).
Het Nieuwe Telen Paprika 2.0. Rapport Delphy-Improvement Centre, Bleiswijk. 40 pp.
- Janse, J., 1989.
Effects of humidity, temperature and concentration of the nutrient solution of firmness, shelf life and flavour of sweet pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). Acta Hort. 244:123-132.
- Kempkes, F.L.K. ; Janse, J., 2013.
Praktijkervaringen met de Venlow energy kas 2010-2012. (Rapporten GTB 1279) - 88 p.
- Kempkes, F.L.K. ; Janse, J., 2016.
Teelt en energie 2SaveEnergy kas. Rapport GTB 1402) - 42 p.
- Kempkes, F.L.K. ; Swinkels, G.L.A.M. ; Hemming, S. ; Sapounas, A. ; Noort, F.R. van; Janse, J., 2014.
Haalbaarheidsstudie Glas-Film Kasconcept. (Rapporten GTB 1307) - 58 p.
- Kempkes, F.L.K., Meinen, E., Janse, J., Elings, A., Visser de P., Raaphorst, M., Vukadinovic, D., 2018.
Het winterlicht gewas. (Rapport WPR-725) – 58p.

Klapwijk, D., 1977.

Invloed van verschillende temperatuurregimes op groei en ontwikkeling van paprikaplanten. Proefstation voor de Groenten- en Fruitteelt onder Glas, Naaldwijk, rapportnr. 28/5/1977, 9 p..

Maaswinkel, R., J. Janse en C. Elzo Kraemer, 1991.

Temperatuuronderzoek bij paprika seizoen 1990 – 1991. Proefstation voor Tuinbouw Onder Glas, Naaldwijk. Internverslag nr. 34, 36 p..

Marcelis L.F.M., E. Heuvelink, L. R. Baan Hofman-Eijer, J. Den Bakker and L. B. Xue, 2004.

Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany*, 55(406):2261–2268.

Nilwik, H.J.M., 1981.

Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). 1. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Ann. Bot.* 48:129-136.

Ottosen, C-O., E. Rosenqvist en L. Sorensen, 2002.

Energiebesparing in de voorjaarsteelt van paprika. Rapport Department of Horticulture, Danish Institute of Agricultural Sciences, Årsløv, Denemarken, 30 p..

Polowick, P.L. en V.K. Sawhney, 1985.

Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annuum* L.. *Scientia Hort.* 25:117-127.

Poot, E.H. ; Garcia Victoria, N. ; Gelder, A. de; Kempkes, F.L.K. ; Marcelis, L.F.M. ; Raaphorst, M.G.M. ; Weel, P.A. van; Zwart, H.F. de, 2015.

Richtinggevende beelden voor klimaat neutrale glastuinbouw. (Rapporten GTB-rapport 1365) - 50 p.

Poot, E.H. ; Zwart, F. de; Bakker, J.C. ; Bot, G.P.A. ; Dieleman, J.A. ; Gelder, A. de; Marcelis, L.F.M. ; Kuiper, D., 2008.

Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in semigesloten kassen. (Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, Nota 568) – 64 p.

Pressman, E. R. Shaked and N. Firon, 2006.

Exposing pepper plants to high day temperatures prevents the adverse low night temperature symptoms. *Physiologia Plantarum* 126:618-626.

Rylski, I, 1973.

Effect of night temperature on shape and size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98(2):149-152.

Rylski, I. en M. Spigelman, 1982.

Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. *Scientia Hort.* 17:101-106.

Toki, T., S. Ogiwara en H. Aoki, 1978.

Effect of varying night temperature on the growth and yields in cucumber. *Acta Hort.* 87:233-237.

Van Uffelen, J.A.M. en J.C. Bakker, 1987.

Temperatuuronderzoek bij paprika. Meer inzicht in effect etmaaltemperatuur op productie. *Weekblad Groenten en Fruit*, 4 december 1987, p. 37-39.

Van Uffelen, J.A.M., 1983.

Twee jaar paprika-onderzoek (I). *Groenten + Fruit*, 16 december 1983, p. 28-31.

Weel, P. de, Zwart, F. de, Voogt, J.A., 2016.

Vochtbeheersing in kassen en terugwinning van latente energie. (in druk).

Zwart, H.F. de; Gelder, A. de; Hofland-Zijlstra, J. ; Noordam, M. (2017)

Paprikateelt in de hooggeïsoleerde VenLow Energy kas. Bleiswijk : Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw, (Rapport GTB 1435) – 34

Zwart, H.F. de; Janse, J. ; Kempkes, F.L.K., 2015. Tomatenteelt in de hooggeïsoleerde VenLow Energy Kas. (Rapporten GTB-rapport 1366) - 34 p.

Zwart, H.F. de; Speetjens, S.L., 2013.

De Next Generation Semigesloten Kas : Perspectief van een ontvochtigingssysteem op basis van een koeloppervlak en op basis van hygroscopisch zout. (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw 1292) - 52 p.

Bijlage 1 Persuities

2018-03-07 <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/een-beste-piek/>

2018-05-07 <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/luc-van-den-bosch-gewas-groeit-weer-goed-na-hoge-plantbelasting/>

2018-06-04 <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/zomer-in-mei/>

2018-07-25 <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/alfons-slaman-gewas-kan-hoge-etmaaltemperaturen-aan/>

2018-09-06 <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/frank-kempkes-grip-op-de-plant/>

2018-05-16 <https://www.gfactueel.nl/Glas/Achtergrond/2018/5/Nog-minder-warmte-voor-teelt-paprika-284562E/>

Peter Visser. Nog minder warmte voor teelt Paprika. Groenten en Fruit. 2 februari 2018 pp 26-27.

Peter Visser. Nog minder energie voor teelt Paprika. Groenten en Fruit. 11 mei 2018 pp 10-12

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
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1007

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 12.000 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.