

Monitoring Duijvestijn

Wegen naar een fossielvrije tomatenteelt

Marcel Raaphorst

Rapport WPR-1161

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

KAS ALS ENERGIEBRON

Referaat
Het gebruik van energiezuinige maatregelen bij een nieuwe tomatenkas is gemonitord en geëvalueerd op hun bijdrage aan een fossielvrij glastuinbouw. Het betreft diffuus glas met een AR coating, hybride belichting, dubbel scherm, schermventilatoren met gelijkstroommotoren, nokschotten, een verhoogd verwarmend oppervlak bij geothermie.

Abstract
The use of energy-efficient measures in a new greenhouse with tomato, has been monitored and evaluated for their contribution to a fossil-free greenhouse horticulture. It concerns diffuse glass with an AR coating, hybrid lighting, double screen, screen fans with DC motors, ridge bulkheads, an increased heating surface in combination with geothermal energy.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1161
Projectnummer: 3742294200
DOI: https://doi.org/10.18174/574240
Thema: Kasklimaat & Energie

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.
Kamer van Koophandel nr.: 09098104
BTW nr.: NL 8113.83.696.B07
Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.
Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting		**5**
1	**Inleiding**		**7**
	1.1	Bedrijfsuitrusting	7
	1.2	De teelt	7
2	**Effect van de energiebesparende maatregelen**		**9**
	2.1	Diffuus glas met AR-coating	9
	2.2	Hybride belichting	11
	2.3	Dubbel scherm	12
	2.4	Schermventilatoren	13
	2.5	Nokschotten	14
	2.6	Verhoogd verwarmend oppervlak	14
	2.7	Verwarming	15
	2.8	Elektriciteit	16
3	**Richting een fossielvrije glastuinbouw**		**19**
	3.1	Licht	19
	3.2	Vocht	19
	3.3	Warmte	19

Samenvatting

Duijvestijn tomaten heeft eind 2020 een kas gebouwd, die is voorzien van verschillende energiebesparende maatregelen. Deze kas is door Wageningen UR gemonitord in 2021, gefinancierd door Kas als Energiebron. In dit rapport worden de verzamelde resultaten vergeleken met de doelstelling om in 2040 fossielvrij te telen.

Diffuus glas met AR-coating draagt bij aan een fossielvrije teelt doordat het de fotosynthese, en daarmee de productie verhoogt, zonder dat dit het warmtegebruik beïnvloedt. Hiermee wordt de energie-efficiency verhoogd.

Hybride belichting (62 W/m^2 SON-T + 41 W/m^2 LED) verlaagt het elektriciteitsverbruik per mol PAR, en draagt daarbij direct bij aan een energie-arme teelt ten opzichte van 100% SON-T belichting. De valkuilen van LED zijn een toenemend warmtegebruik (zeker als dit fossiel wordt opgewekt), en dat LED ten opzichte van SON-T een groter aantal uren economisch efficiënt kan worden ingezet. Dit zal het aantal belichtingsuren doen toenemen.

Van het **dubbele scherm**, is hoofdzakelijk het donkere scherm gebruikt, en dan vooral met het doel om de lichtuitstoot tegen te gaan. Er is vaak een kier getrokken om warmte en vocht af te voeren. De capaciteit van de **schermventilatoren** (12 m^3/m^2.h) was niet hoog genoeg om met een gesloten scherm de gestelde setpoints van temperatuur en luchtvochtigheid te behalen. Om bij te dragen aan een fossielvrije teelt is meer ventilatorcapaciteit nodig om meer vocht af te voeren en zouden de schermen vaker moeten worden gebruikt om meer warmte binnen te houden, zodat de verwarmingsbehoefte lager wordt.

De **nokschotten** dragen bij aan een homogener kasklimaat, waardoor een optimale teelt beter kan worden bereikt. Dit homogene klimaat is echter niet gemeten, bij gebrek aan een geschikte referentie. Wel is gemeten dat de **schermventilatoren** een homogener klimaat genereren dan als er schermkieren worden gebruikt om vocht af te voeren.

Dat de schermventilatoren zijn voorzien van een **energiezuinige modulerende gelijkstroommotor**. Dit geeft vooral besparing op het elektriciteitsgebruik voor de momenten waarop een lagere ventilatorcapaciteit volstaat. Het grootste deel van de tijd is op deellast gedraaid.

Berekend is dat door een **verhoogd oppervlak** van de verwarmingsbuizen de aardwarmte 10% beter kan worden benut. Dit draagt dus bij aan een fossielvrije teelt.

De kas kan worden voorzien met warmte uit **geothermie**. Gebruik van geothermie is een belangrijke stap op weg naar een fossielvrije glastuinbouw, al zal ook hier zuinig mee moeten worden omgesprongen. Ondanks het feit dat de kastemperatuur vaak hoger was dan gewenst, is veel warmte gebruikt om de luchtvochtigheid te beheersen, met name tijdens het belichten. Methoden om de verticale temperatuurverdeling onder belichting te verbeteren, moeten de stap naar een fossielvrije teelt vergroten.

1 Inleiding

De Nederlandse glastuinbouw heeft zich tot doel gesteld om in 2040 fossielvrij te telen, ofwel telen zonder fossiele brandstoffen. Met in 2020 een CO_2 emissie van ± 6 Mton over een areaal van ± 10000 hectare glas, ofwel ±60 kg/m^2.jaar, moet er nog veel gebeuren om dat naar 0 te brengen. Duijvestijn tomaten is een bedrijf dat al jaren investeert in energiebesparende maatregelen. In 2020 heeft Duijvestijn een nieuwe kas gebouwd. Wageningen UR heeft gedurende een periode gemonitord in welke mate deze nieuwe kas een voorbeeld is van de weg naar een fossielvrije tomatenteelt.

1.1 Bedrijfsuitrusting

De nieuwe kas bestaat uit een belichte (48000 m^2) en een onbelichte (52000 m^2) afdeling. De monitoring is gericht op de belichte afdeling. Deze is voorzien van:

- 1,67 m breed glas met een diffusiteit van 20% haze en aan de buitenzijde een AR coating.
- Hybride belichting. De helft van de lampen bestaat uit 1000 W SON-T lampen (62 W/m^2). De andere helft bestaat uit 650 W LED lampen (41 W/m^2). De gezamenlijke lichtopbrengst is 252 µmol/m^2.s.
- Twee scherminstallaties. Een met een transparant en een met een lichtwerend doek.
- Een ontvochtigingssysteem met schermventilatoren (Airmix), voorzien van energie-efficiënt modulerende gelijkstroommotoren. Op vol vermogen kan 12 m^3/m^2.uur aan droge koele lucht van boven de schermen met de kaslucht worden gemengd.
- Nokschotten om ongewenste horizontale luchtstromen boven het scherm tegen te houden.
- een vergroot verwarmend oppervlak door een dubbel uitgevoerde groeibuis, zodat met laagwaardiger warmte kan worden verwarmd.
- De warmte wordt deels voorzien door een WKK en deels door geothermie.
- De elektriciteit wordt deels voorzien door de WKK en wordt deels ingekocht.
- De CO_2 wordt deels voorzien door de WKK en wordt deels ingekocht.

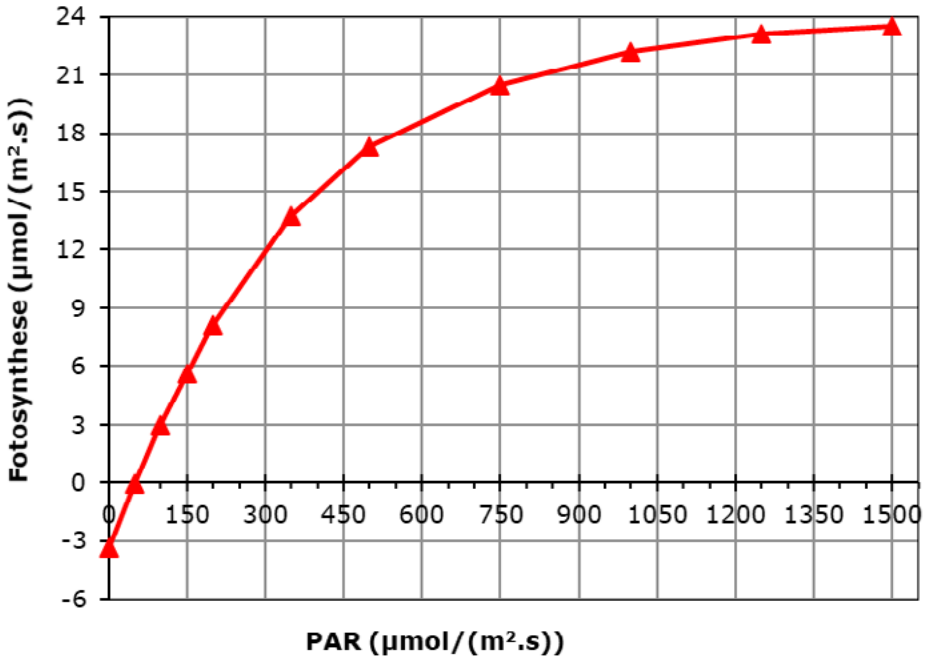
1.2 De teelt

Het trostomatenras dat in de belichte kas wordt geteeld is Radiance, die middelzware (±130 gram) vruchten geeft. De etmaaltemperatuur die wordt nagestreefd is 18-20°C.

2 Effect van de energiebesparende maatregelen

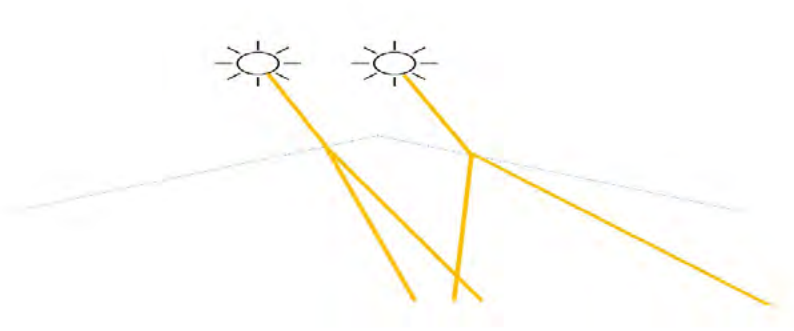
2.1 Diffuus glas met AR-coating

Diffuus glas heeft als voordeel dat direct zonlicht wordt verspreid en waardoor bladeren vanuit meerdere richtingen licht ontvangen. Hierdoor is de kans dat de bladdelen volledig worden overschaduwd door andere bladdelen kleiner. De hoeveelheid licht die een gemiddeld blad ontvangt is dus gelijkmatiger verdeeld bij diffuus glas. Doordat de lichtresponscurve degressief is (iedere extra hoeveelheid PAR levert minder extra fotosynthese op), levert een gelijkmatiger verdeling van het licht een gemiddeld hogere fotosynthese op. Als een blad bijvoorbeeld op 1 moment 150 µmol/(m².s) PAR ontvangt en het andere moment 1050 µmol/(m².s) PAR, dan zal dat volgens Figuur 1 leiden tot gemiddeld (6+22)/2=14 µmol/(m².s) fotosynthese. Als dat op beide momenten 600 µmol/(m².s) PAR was geweest, dan zou dat leiden tot ruim 18 µmol/(m².s) fotosynthese, ofwel 30% meer.



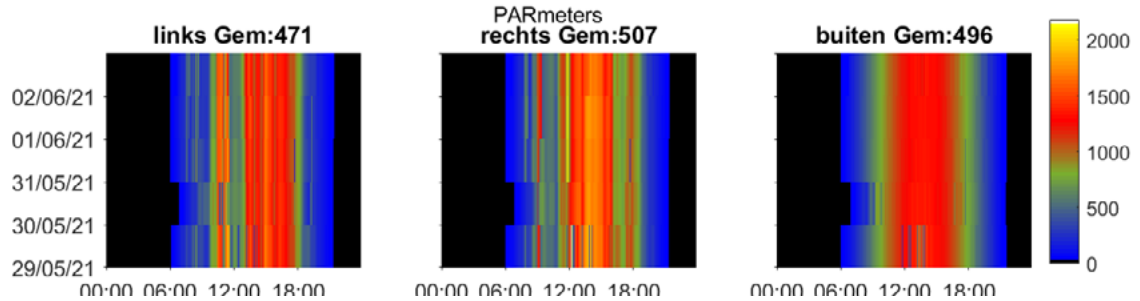
Figuur 1 *Voorbeeld van het verloop van de blad-fotosynthese als functie van de hoeveelheid PAR (lichtresponscurve).*

Diffusiteit van het glas kent ook nadelen. Een ervan is dat de diffusiteit van het glas afhankelijk is van de invalshoek, waardoor het kasdek op sommige momenten als een brandglas kan werken. Omdat een kasdek een zigzag-vorm heeft, zijn er altijd twee verschillende invalshoeken van het zonlicht: de kasdekzijde naar het zonlicht toe heeft een kleinere invalshoek dan de andere kasdekzijde (Figuur 2). Diffusiteit is afhankelijk van de invalshoek. Stel dat het licht aan een zijde loodrecht op het glas terechtkomt, met weinig diffusiteit, en aan de andere zijde schuin binnenvalt met veel diffusiteit, dan wordt de lichtverdeling in de kas inhomogeen.



Figuur 2 *Illustratie van een inhomogene lichtverdeling als gevolg van een invalshoek-afhankelijke diffusiteit van het kasdek.*

De brandglaswerking is te zien aan de twee PAR-sensoren die tijdelijk in de kas zijn gehangen (Figuur 3). Voor 5 achtereenvolgende zonnige dagen zijn deze metingen vergeleken met een PAR meter buiten (gecorrigeerd op kasdektransmissie). De gemeten PAR in de kas is veel inhomogener dan die van de buitenmeting. Soms is de gemeten waarde in de kas zelfs hoger dan 2000 µmol/m².s. Een waarde die ook buiten maar zelden voorkomt.



Figuur 3 *Twee PAR-sensoren in de kas, vergeleken met de gecorrigeerde buitenwaarde (µmol/m².s).*

De teler veronderstelt dat een natte anti-reflectiecoating de transmissie niet verhoogt. Omdat de binnenzijde van het kasdek het grootste gedeelte van het jaar nat is, en de buitenzijde slechts 7% van het jaar, is alleen aan de buitenzijde van het kasdek een anti-reflectiecoating aangebracht. Daarnaast waren er op het moment van de investeringsbeslissing onvoldoende geschikte reinigingsmiddelen beschikbaar voor de binnenzijde van het kasdek, die de AR-coating intact laten.

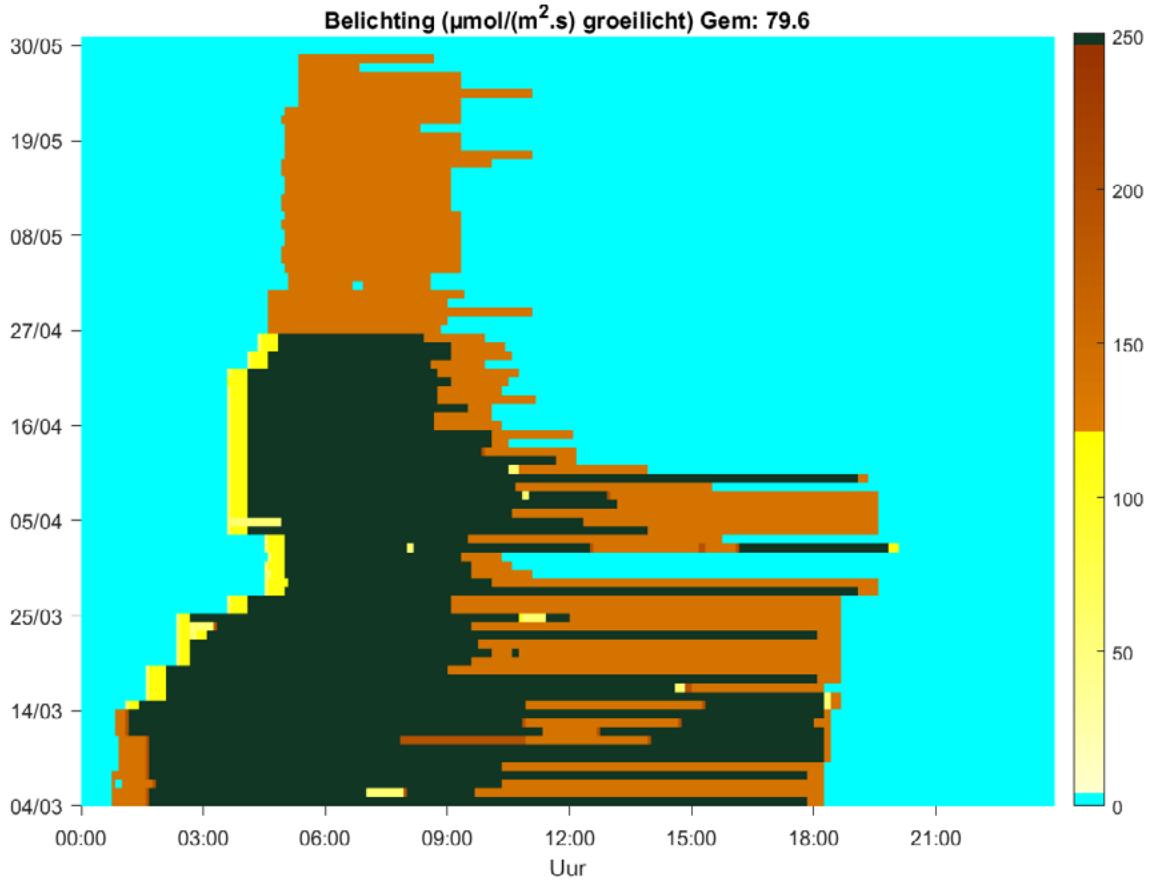
Discussie

Wat het uiteindelijke effect op de productie is geweest van de verspreiding van het licht door 20% haze, de brandglaswerking door de invalshoek-afhankelijke diffusiteit en de verhoogde lichttransmissie door de anti-reflectiecoating, is in dit monitoringsproject niet gemeten. Daarvoor zou een vergelijking nodig zijn met een vergelijkbare teelt onder standaard glas. Aangenomen mag worden dat diffusiteit van het glas en een hogere lichttransmissie leiden tot meer productie bij een gelijke energievraag, waardoor de energie-efficiëntie stijgt.

2.2 Hybride belichting

Door over te gaan van SON-T belichting naar hybride belichting kan met minder elektriciteit meer PAR worden geproduceerd. SON-T lampen hebben een PAR-efficiëntie van ongeveer 1,8 µmol/J elektriciteit, waardoor 62 W/m² SON-T 112 µmol/(m².s) PAR levert. De LED lampen zouden met 41 W/m² elektriciteit en een rendement van 3,4 µmol/J 140 µmol/(m².s) PAR moeten leveren. De PAR sensoren die gebruikt zijn om de lichtverdeling onder het diffuse glas te meten (zie paragraaf 2.1) gaven voor LED slechts 94 µmol/(m².s) PAR aan, maar dat kan zijn veroorzaakt doordat de palen waaraan de PAR meters waren bevestigd, de PAR sensoren vanaf de noordzijde hebben beschaduwd. Dat is voor het meten van direct zonlicht niet zo'n bezwaar, maar kan voor lamplicht grote invloed hebben. We gaan voor deze evaluatie daarom verder uit van de lichtmetingen die Duijvestijn na de installatie heeft laten uitvoeren.

Het gebruik van de belichting van maart t/m mei is weergegeven in Figuur 4. In de winterperiode brandt de belichting 18 uur per dag en wordt de SON-T afgeschakeld als er meer dan 200 W/m² globale straling (zonlicht) is. De LED belichting wordt uitgeschakeld bij een buitenstraling van meer dan 400 W/m². Meestal wordt de dag gestart met SON-T omdat deze relatief meer warmtestraling geeft dan LED. Een hogere temperatuur zou de plant beter laten omgaan met PAR. Vanaf 27 april wordt geen SON-T meer gebruikt en brandt de LED vrijwel alleen nog maar tot 9:00 uur.



Figuur 4 *Inzet van de belichting in µmol/(m².s) tussen 4 maart en 31 mei 2021. Blauw betekent geen belichting, geel betekent alleen SON-T, bruin betekent alleen LED en zwart betekent zowel LED als SON-T.*

Discussie

Dat LED belichting dankzij een efficiëntere omzetting van elektriciteit in PAR kan bijdragen aan een energie-efficiëntere glastuinbouw, mag duidelijk zijn. Hybride belichting is een stap op weg naar full LED. Eerst moeten de telers leren wat het effect is van het andere spectrum op de gewasgroei. Met een dalende prijs voor LED-armaturen en een stijgende prijs voor elektriciteit, zal de volgende stap sneller worden gezet.

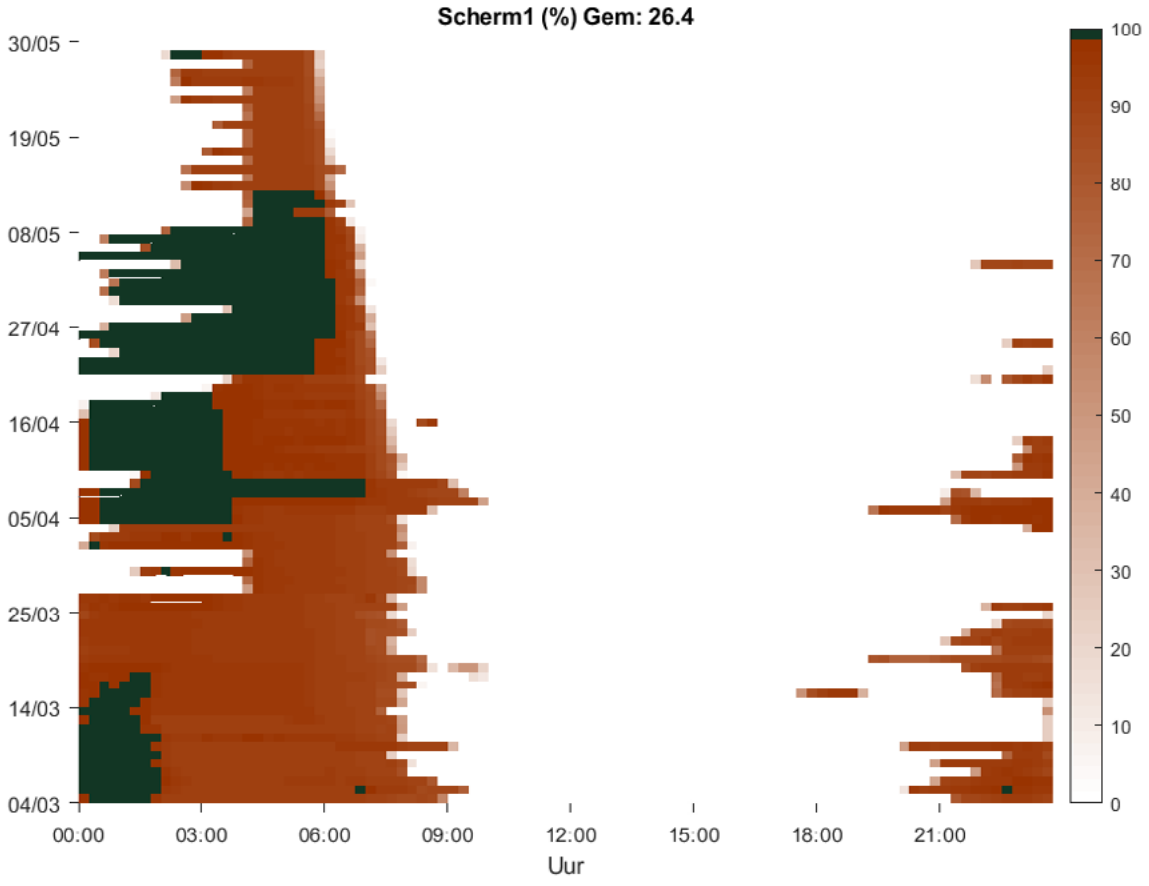
Om te komen tot een fossielvrije glastuinbouw, heeft LED twee valkuilen:

1. Doordat het produceren van iedere mol PAR goedkoper wordt, zal het aantal belichtingsuren stijgen. Dat is ook te zien aan Figuur 4), waarin de LED belichting tot en met mei blijft branden.
2. Voor iedere mol PAR leveren LED-lampen minder warmte dan SON-T lampen. Op koude dagen zal de vraag naar warmte met LED belichting dus stijgen. Als deze warmte moet worden opgewekt uit fossiele brandstoffen raken we juist verwijderd van een fossielvrije glastuinbouw ten opzichte van een op groene stroom belichtende kas.

2.3 Dubbel scherm

De kas is voorzien van twee scherminstallaties. De installatie met het donkere doek is vrijwel alleen ’s nachts gebruikt en wel vooral met de reden om de lichtuitstoot te beperken (zie Figuur 5). De installatie met het transparante doek is nauwelijks gebruikt. Overdag geven de lampen meestal voldoende warmte om de kas op temperatuur te houden. ’s Nachts wordt gestreefd naar een lage RV en een lage temperatuur bij het groeipunt. In principe kan dat het beste worden bereikt door veel te ventileren. Het sluiten van een tweede scherm beperkt de uitstraling en de luchtuitwisseling, waardoor de kop van het gewas minder afkoelt en de vochtafvoer wordt gehinderd.

Als de temperatuur van de kop laag moet zijn, dan zou je verwachten dat er tijdens belichting niet hoeft te worden verwarmd. Dat is echter niet het geval (zie Figuur 8). Omdat de lampen de warmte vooral bovenin het gewas afgeven ontstaat er een hogere temperatuur ter hoogte van de kop dan ter hoogte van de vruchten. Dat wordt dan gecompenseerd door buisverwarming onderin.



Figuur 5 *Inzet van het donkere doek.*

Discussie
De behoefte om de verdamping te stimuleren en de temperatuur bovenin de kas lager te hebben dan onderin, is strijdig met het doel om met (dubbele) schermen energie te besparen.
De volgende vragen komen dan naar voren:

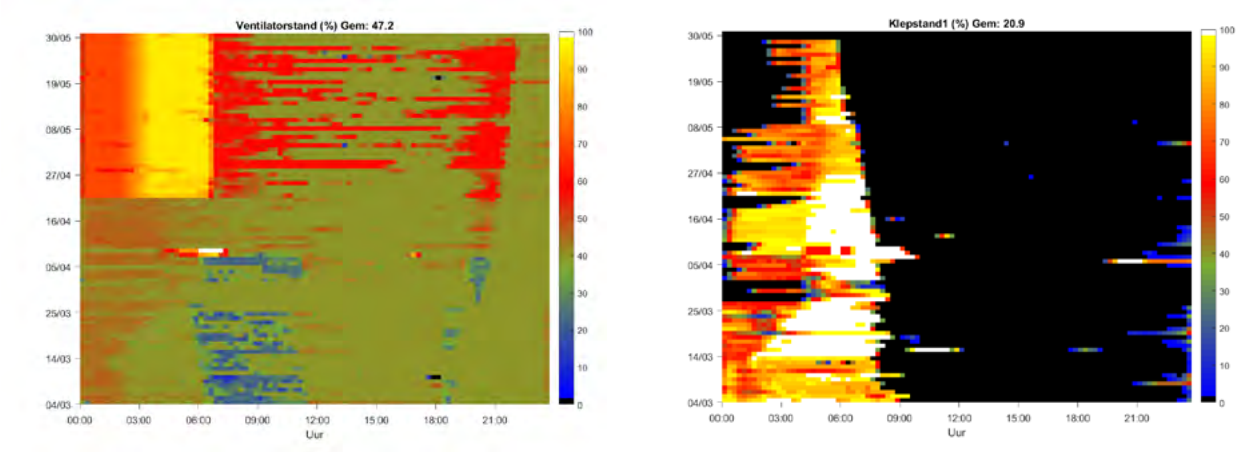
- Is het nodig om de kop kouder te laten zijn dan de vruchten?
- Is een egale verticale temperatuurverdeling voldoende?
- Door lampwarmte naar beneden te blazen kan de verticale temperatuurverdeling egaler worden. Is dat een reële optie?

2.4 Schermventilatoren

De schermventilatoren (Airmix) moeten het mogelijk maken om de luchtvochtigheid onder een gesloten scherm te verlagen, zodat het scherm vaker en langer gesloten kan blijven (zie paragraaf 2.3). De Airmix blaast de lucht in principe horizontaal door de kas en zorgt daarmee niet of nauwelijks voor een egale verticale temperatuurverdeling. Schermventilatoren die de verticale luchtbeweging stimuleren, zoals de 'Ventilation jet', doen dat wel, maar al te veel luchtbeweging door het gewas wordt vaak als ongewenst beschouwd.

Tijdens rookproeven, uitgevoerd op 2 maart 2021, bleek dat de worprichting van de ventilator afhankelijk is van de stand van de luchtklep en de ventilator. Als de luchtklep ver open staat, wordt koudere lucht uitgeblazen. Koude lucht heeft de neiging om te zakken, en dat was ook te zien aan de rook en aan de wapperende bladeren. Een hogere ventilatorstand zorgt voor een snellere menging van de ingeblazen lucht met de kaslucht, en voorkomt 'kouval'.

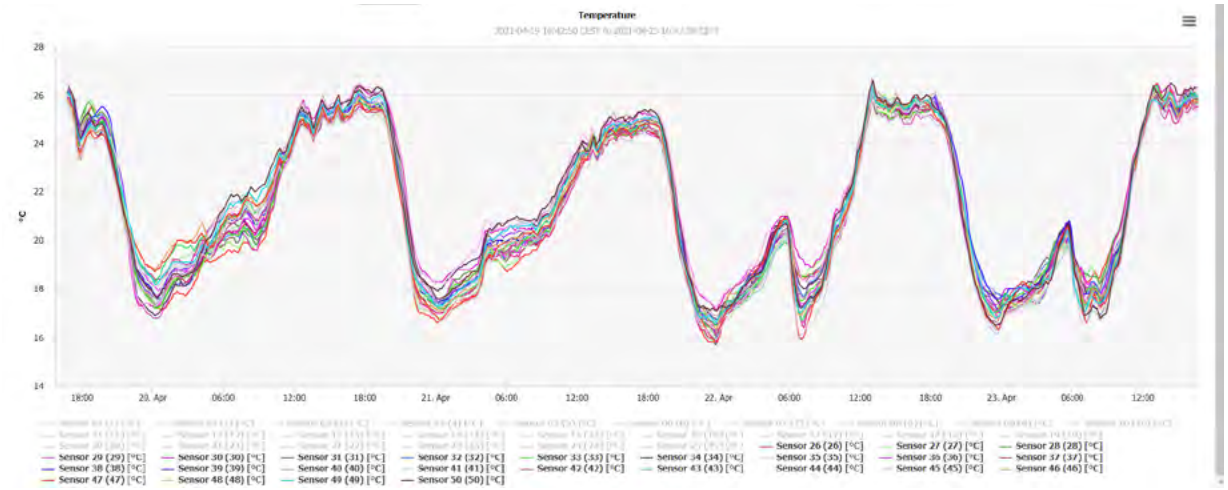
In Figuur 6 is het verloop van de ventilatorstand en de klepstand weergegeven. De ventilator is vaak op lage stand aangehouden, en pas vanaf 22 april 2021 in de nacht op vol vermogen gezet. De klepstand is juist voor deze tijd vaker ingezet dan daarna.



Figuur 6 *Verloop van de ventilatorstand (links;%) en de klepstand (rechts,%) tussen 4 maart en 31 mei.*

Een interessante overgang in de scherminstellingen is die van 21 op 22 april. De belichting blijft dan 's nachts nog 100% aan tot en met 27 april, het donkere schermdoek wordt 100% gesloten en de ventilatorstand stijgt van ongeveer 45% naar ongeveer 95%. In de maand april zijn draadloze sensoren in de kas opgehangen die de horizontale temperatuurverdeling hebben gemeten. Aan deze sensoren is duidelijk te zien dat de temperatuurverschillen veel kleiner zijn bij het gebruik van schermventilatoren dan bij het gebruik van schermkieren. Ook is te zien dat de temperatuur onder het scherm veel sneller oploopt. De Schermventilatoren geven dus een betere temperatuurverdeling dan schermkieren, maar een capaciteit van 12 m^3/m^2.uur is blijkbaar onvoldoende om de temperatuur laag te houden.

Dat is ook te berekenen. Als het (dubbele) scherm een warmtetransmissie heeft van 7 W/m².°C, de buizen 70 W/m² leveren en de lampen 103 W/m² leveren en het gewenste kasklimaat 19°C en 90% RV is, dan zou bij een temperatuur boven het scherm van 10°C iedere m³ luchtuitwisseling (70+103-7*(20-10))/12*3,6=31 kJ aan energie moeten worden afgevoerd. Dat lukt alleen als de lucht boven het scherm een RV heeft van minder dan 80%. Bij een dubbel scherm zal de temperatuur nog droger en/of kouder moeten zijn om met 12 m³/m².uur voldoende energie af te voeren.



Discussie
De schermventilatoren zorgen voor een betere horizontale temperatuurverdeling dan schermkieren. Bij een belichtend bedrijf schiet de capaciteit van 12 m³/m².uur vaak tekort om alle toegevoegde energie af te voeren en moet alsnog een schermkier worden getrokken. Oplossingsrichtingen hiervoor zijn:

- Minder elektriciteit voor belichten, bijvoorbeeld met full-LED in plaats van hybride belichting.
- Minder warme buizen, bijvoorbeeld door het verplaatsen van lampwarmte naar onderin het gewas.
- Een oplopende temperatuur tijdens de belichte nacht accepteren, bijvoorbeeld door dat te compenseren met een lagere dagtemperatuur als het scherm open moet.
- Een hogere capaciteit van de ventilatoren.

2.5 Nokschotten

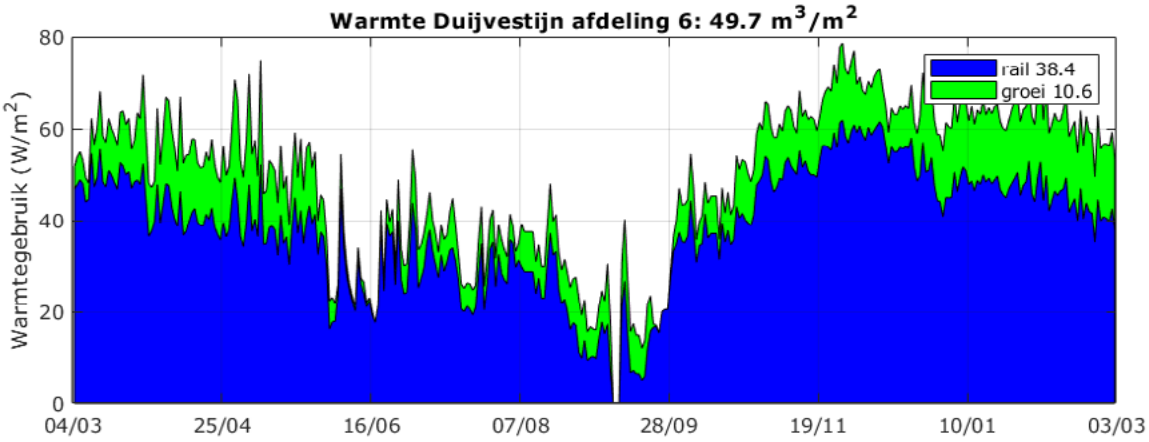
Van nokschotten is bekend dat zij de horizontale luchtbeweging boven het scherm verminderen. Hierdoor wordt het risico verkleind, dat aan de laagste kant van de kas (bij de kopgevel) de temperatuur boven het scherm zeer laag wordt en voor kouval zorgt. Het effect van de nokschotten is niet onderzocht in dit project.

2.6 Verhoogd verwarmend oppervlak

Door het verwarmend oppervlak van de groeibuis te vergroten, kan de watertemperatuur verder worden uitgekoeld. Dat geeft een klein voordeel bij verwarmen met een ketel of een WKK, omdat de rookgassen dan iets verder kunnen worden uitgekoeld. Het voordeel bij een warmtepomp is al een stuk groter, omdat de COP (rendement) van een warmtepomp sterk afhankelijk is van de benodigde aanvoertemperatuur. Bij aardwarmte is het voordeel van een verhoogd verwarmend oppervlak het grootst, omdat het dieper uitkoelen van een aardwarmtebron geen extra energie kost.

Alleen de circulatiepompen vragen iets meer elektriciteit, maar dat valt in het niet bij de energiewinst. De grootste kostenpost van een verhoogd verwarmend oppervlak is de investering zelf.

In Figuur 7 is de warmte-afgifte van de buizen over een heel jaar weergegeven en uitgesplitst voor buisrail-warmte en groeibuis-warmte. hieruit blijkt dat ongeveer 20% van de buiswarmte via het dubbel uitgevoerde groeibuisnet is ingebracht. Met een enkel uitgevoerd groeibuisnet zou voor dezelfde warmte-afgifte het verschil tussen buistemperatuur en kastemperatuur twee keer zo hoog moeten zijn. Als ervan mag worden uitgegaan dat de retourtemperatuur nauwelijks effect heeft op de opbrengst van de aardwarmtebron, dan kan grofweg worden gesteld dat de dubbel uitgevoerde buisrail 20%/2=10% heeft bespaard op de warmtekosten.



Figuur 7 *Buiswarmte per etmaal, afkomstig van de buisrail (blauw) en de dubbel uitgevoerde groeibuis (groen) van 4 maart 2021 tot 3 maart 2022.*

De aanname dat de besparing gelijk is aan de helft van het warmtegebruik van het dubbel uitgevoerde net, is niet helemaal terecht. De zaak ligt complexer, omdat bij Duijvestijn de aanvoertemperatuur van de groeibuis afhankelijk is van de retourtemperatuur van de buisrail. Bij een enkel uitgevoerde groeibuis kan het gebeuren dat de retourtemperatuur van de buisrail tekortschiet voor de benodigde hogere aanvoertemperatuur van de groeibuis. De baten van dit aspect van de dubbel uitgevoerde buis zijn niet meegerekend.

Discussie
Omdat een hoger verwarmend oppervlak duurzame bronnen zoals aardwarmte en warmte van warmtepompen beter kan benutten, draagt het bij een aan fossielvrije kas. 10% meer benutting van warmte weegt ruimschoots op tegen de CO_2-footprint voor de productie van het extra staal (± 4 kg CO_2/m² ≈ 2 m³ aardgas).

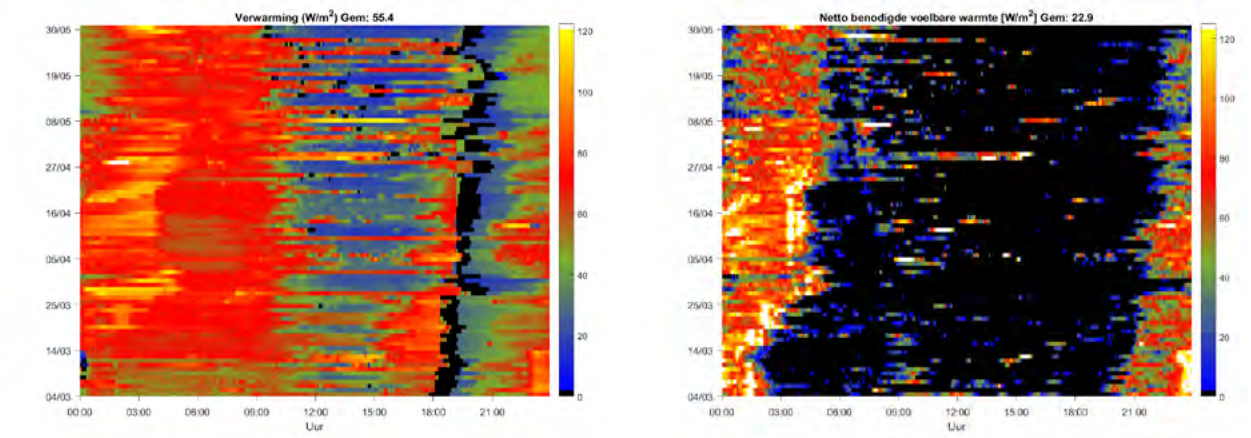
2.7 Verwarming

Warmte wordt vooral in de nacht (na ± 0:00 uur) ingezet. Overdag zorgt de zon voor de opwarming van de kas, en ’s avonds wordt minder gestookt om een voornachtsverlaging te realiseren. De warmtevraag is in Figuur 8 vergeleken met de berekende netto benodigde voelbare warmte. Het netto voelbare warmteverlies is berekend op de volgende manier:

- Het temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht (°C);
- vermenigvuldigd met een warmtetransmissie door het kasdek zonder scherm van 8 W/(m².°C),
- of vermenigvuldigd met een warmtetransmissie door het kasdek met scherm van 4,8 W/(m².°C).
- hiervan afgetrokken 90% van de elektrische input van de lampen.
- hiervan afgetrokken 63% van de globale straling.
- gecorrigeerd voor opwarming en afkoeling van de kas uitgaande van een warmtecapaciteit van 170 kJ/m².°C (vergelijkbaar met ±40 l water per m²).

Hierbij is dus geen rekening gehouden met het latente warmteverlies, ofwel de warmte die nodig is voor de gewasverdamping, en ook niet met het warmteverlies veroorzaakt door luchtuitwisseling.

Wat opvalt aan de vergelijking tussen de twee grafieken, is dat de netto voelbare warmte vrijwel alleen nodig is in het tweede gedeelte van de donkerperiode. In het eerste gedeelte van de nacht, dus tijdens de voornachtsverlaging, is nog geen warmte nodig omdat de kas dan mag afkoelen. Daarna, dus als de kas wordt opgewarmd na de voornachtsverlaging is er juist wel warmte nodig. Daarna, dus als de zon schijnt, en als de belichting aanstaat, is er voldoende warmte beschikbaar om de voelbare warmteverliezen te compenseren.



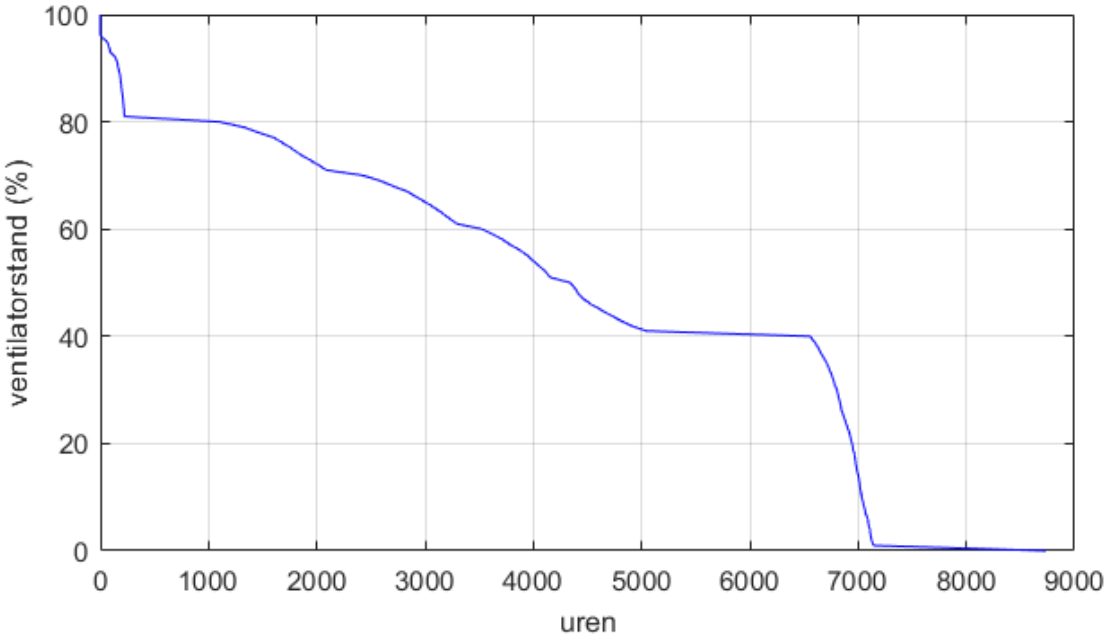
Figuur 8 *Inzet van de verwarming (W/m²) en het netto verlies aan voelbare warmte tussen 4 maart en 31 mei 2021.*

De gerealiseerde verwarming is 2,5 keer zo hoog als de berekende netto benodigde voelbare warmte. Dat betekent dat de meeste verwarming is ingezet om het gewas te laten verdampen en het voelbare energieverlies voor de ontvochtiging te compenseren. Met name tijdens de belichte nacht is veel warmte (60-80 W/m²) ingezet om het VD en de verdamping te stimuleren, terwijl lampen bij een gesloten scherm voldoende warmte geven om een gesloten kas op temperatuur te houden.

Discussie
Hoewel veel van de gebruikte warmte afkomstig is van een duurzame bron (geothermie), zal een fossielvrije glastuinbouw ook zuinig met duurzame bronnen moeten omspringen. Omdat verreweg de meeste warmte wordt gebruikt ter compensatie van de verdamping en om het verdampte vocht af te voeren, is het belangrijk om te weten hoeveel verdamping een tomatengewas minimaal nodig heeft.
De energie die is gestoken in gewasverdamping, zou met luchtbehandelingskasten en een warmtepomp kunnen worden teruggewonnen. De investering en het elektriciteitsgebruik van een dergelijk systeem kunnen echter minder snel worden terugverdiend als geothermie al beschikbaar is.

2.8 Elektriciteit

Naast belichting, zijn er nog meer elektriciteitsvragers in de kas. Zowel de ventilatoren als het verhoogde oppervlak van de buizen vragen meer elektriciteit dan bij een standaard kas. De extra elektriciteit benodigd voor de circulatiepompen is verwaarloosbaar klein ten opzichte van dat van de belichting, maar het verbruik van de ventilatoren kan nog aardig oplopen. Bij Duijvestijn is daarom gekozen voor gelijkstroommotoren, die op laag vermogen zeer energiezuinig zijn. In Figuur 8 is een jaarbelastingduurkromme weergegeven van de ventilatorstand. Hieruit blijkt dat de ventilatoren een groot deel van de tijd tussen 40 en 80% hebben gedraaid, waarmee ze dus vaak energiezuiniger zijn dan als zou zijn gekozen voor wisselstroomventilatoren.



Figuur 8 *Jaarbelastingduurkromme van de ventilatorstand.*

3 Richting een fossielvrije glastuinbouw

3.1 Licht

In dit monitoringsproject is voor wat betreft licht gekeken naar het kasdek met diffuus glas en een antireflectie-coating, en naar de hybride belichting. Omdat zowel anti-reflectie als diffusiteit per saldo een positief effect heeft op de groei en productie, zonder extra energie te gebruiken, dragen ze bij aan fossielvrije glastuinbouw. Hybride belichting is een stap op weg naar full LED, waardoor met nog minder elektriciteit dezelfde hoeveelheid PAR kan worden geproduceerd. Door de efficiëntere omzetting van elektriciteit in PAR wordt het wel eerder rendabel om meer te gaan belichten, wat het elektriciteitsverbruik juist weer kan vergroten. Verder kan het gebruik van energiezuinige lampen de behoefte aan warmte verhogen.

3.2 Vocht

Doordat een gewas verdampt, vraagt de belichte tomatenkas tussen maart en mei ongeveer 2,5 keer zo veel warmte als een lege kas. Deels wordt dat veroorzaakt doordat verdamping energie kost (latente warmte). Deels wordt dat veroorzaakt doordat het vocht moet worden afgevoerd om de luchtvochtigheid laag te houden. De ramen moeten worden geopend, er moet een schermkier worden getrokken of de schermventilatoren moeten worden aangezet, waarmee ook voelbare warmte verloren gaat.

In principe kan deze ‘verloren’ warmte worden teruggewonnen. Bijvoorbeeld met luchtbehandelingskasten die een koudeblok bevatten. Voor veel telers is een dergelijke installatie met koudeblok en warmtepomp vaak nog te duur voor een rendabele teelt. En voor een bedrijf dat aardwarmte tot zijn beschikking heeft geldt dat nog meer. Met een toenemende prijs van aardgas kan het terugwinnen van warmte economisch interessanter worden.

Hoewel een schermventilator geen warmte terugwint, zorgt het in ieder geval voor een betere horizontale temperatuurverdeling dan als er schermkieren worden toegepast voor de ontvochtiging. Het grootste gedeelte van het jaar is naast het gebruik van schermventilatoren toch ook een kier in het scherm getrokken. Het aantal uren met een schermkier kan worden voorkomen door bijvoorbeeld:

- met full-LED belichten in plaats van hybride belichting, waardoor minder warmte bovenin de kas komt
- de lampwarmte brengen naar onderin het gewas, waardoor onderin minder met de buizen hoeft te worden verwarmd
- een oplopende temperatuur tijdens de belichte nacht accepteren
- meer schermventilatoren installeren.

3.3 Warmte

Gebruik van geothermie is een belangrijke stap op weg naar een fossielvrije glastuinbouw. Maar ook geothermie is niet gratis. Omdat de investering per capaciteitseenheid groot is, moet de capaciteit het hele jaar zo goed mogelijk worden benut. Hierdoor schiet de capaciteit op piekdagen tekort. Piekdagen kunnen worden beperkt door een goede isolatie (dubbel scherm). Dit dubbele scherm is nauwelijks gebruikt omdat het de gewasverdamping te veel afremt. Betere kennis over de minimaal benodigde verdamping zou de warmtebehoefte het hele jaar, dus ook tijdens pieken, moeten verlagen.

Verder kan de geothermische warmte het hele jaar door ±10% beter worden benut door het hogere verwarmend oppervlak.

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-1161

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.