



Telen met gestuurde vochtafvoer

Komkommers in de Venlow Energy kas

Arie de Gelder

Rapport GTB-1408

Referaat

In opdracht van Kas als Energiebron heeft Wageningen UR Glastuinbouw in de Venlow Energy kas een hoge draad teelt komkommer uitgevoerd. Doelstelling was een minimale verdamping te realiseren bij teelt onder dubbel glas en een folie scherm. In de nacht daalde de verdamping tot 15-25 g.m⁻².uur⁻¹. Dit was voldoende om zonder gebreks verschijnselen de komkommers te telen. Alleen in maart kwam enige mate van bolblad voor, maar na een paar zonnige dagen herstelde het gewas zich goed.

Het foliescherm is tot 2 uur na zon-op gesloten gehouden en 1 uur voor zon-onder weer gesloten. Dit leverde voor de groei geen problemen op. In de nacht kon de luchtvochtigheid oplopen tot boven de 95% zonder dat er Mycosphearella is ontstaan.

Voor het nieuwe telen betekent dit dat als de overige factoren zoals horizontale uniformiteit van het klimaat goed zijn dat bij hoge luchtvochtigheid en met minimale vochtafvoer kan worden geteeld. Voor de Venlow Energy kas was het ventilatievoud 0.37 en dat levert in winter condities een voldoende mate van natuurlijke ventilatie en vochtafvoer op.

Abstract

Funded by Kas als Energiebron, Wageningen UR Greenhouse Horticulture conducted an experiment with cucumber in the Venlow Energy greenhouse with a high-wire system. The objective was to achieve a minimal evaporation during cultivation under double glazing and a film screen. In the night the evaporation fell to 15-25 g. m⁻².hour⁻¹. This was enough to grow cucumbers without deficiency symptoms. Only in March, some degree of "bolblad" occurred, but after a few sunny days the crop well recovered.

The film screen was kept closed until 2 hours after sunset and one hour before sundown closed. This provided no problems for cultivation. In the night the humidity could rise above 95% without Mycosphearella problems.

For the new cultivation strategy this means if other factors such as horizontal uniformity of the climate are good that cultivation in high humidity and with minimal ventilation is possible. For the Venlow Energy greenhouse ventilation rate was 0.37 and this delivers in winter conditions a sufficient degree of natural ventilation and moisture management.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1408

Projectnummer: 3742199800

Disclaimer

© 2016 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

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

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

1	Inleiding	5
	1.1 Doelstelling	6
2	Opzet van het experiment	7
	2.1 De kas en lekverliezen	7
	2.2 De komkommerteelt	7
3	Resultaat	9
	3.1 Lek van de kas	9
	3.2 Teelt en Productie	11
	3.3 Klimaat	13
	3.3.1 Folieschermbestrijding	14
	3.4 Verdamping in de nacht	16
	3.5 Relatie temperatuur en licht	17
4	Leerpunten	19
5	Kennisoverdracht	21
	Bijlage 1 Literatuur	23

1 Inleiding

Verdamping tijdens perioden dat de kas met fossiele energie wordt verwarmd, gaat gepaard met energiegebruik. Allereerst kost de verdamping zelf energie die aan de kaslucht onttrokken wordt. Vervolgens gaat, indien het vocht uit de kas moet worden afgevoerd nog eens energie verloren omdat warme kaslucht wordt vervangen door koele buitenlucht. In de zoektocht naar het verder verlagen van het energiegebruik, is het verlagen van de verdamping op momenten dat dit fossiele brandstof kost een belangrijke stap.

Een constante kleine verdamping van $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ lijkt op basis van de kennis inventarisatie voor het project Verdamping balans tussen overmaat en noodzaak voldoende om problemen met Ca gebrek te voorkomen (De Gelder, 2015). Uit de klimaat en teeltanalyse van projecten met hoge isolatie bij komkommer (Janse *et al.* 2015) en dubbeldek bij tomaat (De Zwart *et al.* 2015), beide teelten zonder belichting, blijkt dat telen bij hoge relatieve luchtvochtigheid oftewel een klein vochtdeficit (VD) prima kan. De eerste teelt in de ID-kas laat ook zien dat telen bij een kleiner vochtdeficit kan. Zowel in de Venlow Energy kas als de ID kas blijkt dat de verdamping kleiner is dan in een normale kas. In deze systemen neemt gedurende de nacht de verdamping af.

Bij het Nieuwe Telen is een van de instrumenten het gebruiken van geforceerde ventilatie om problemen met een te hoge luchtvochtigheid onder een gesloten scherm te voorkomen. Daarbij is geregeld de vraag gesteld welke capaciteit aan vochtafvoer moet je installeren. De capaciteit voor vochtafvoer van de installaties is sterk afhankelijk van de buitenomstandigheden. In de winter bij lage absolute vochtigheid in de buitenlucht kan gemakkelijk te veel droge lucht de kas in worden gebracht. De gedachte is dat geforceerde ventilatie de kaslucht voldoende droog zal maken. In de proef met de Perfecte Roos bleek in de winter van 2013-2014 dat geforceerde ventilatie in combinatie met veel luchtbeweging door het gewas de verdamping stimuleerde en energie kostte (De Gelder *et al.* 2015). De geforceerde ventilatie en dus grote vochtafvoer werkte als het dweilen met een open kraan. De verdamping liep juist op en dat kostte energie.

In de proeven is steeds uitgegaan van een gewenste verdamping door het gewas die bij een normale teelt wordt gemeten. De vraag is of dit in feite niet te veel verdamping is. Er is een ander uitgangspunt mogelijk namelijk: als er geen instraling van de zon is, is het voldoende om een bepaalde hoeveelheid vocht aan de kas te onttrekken, bijvoorbeeld $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ (De Gelder, 2015). Door dit als uitgangspunt te nemen wordt niet meer gestuurd op een gewenste relatieve luchtvochtigheid of vochtdeficit maar op een gewenst vochttransport uit het gewas en daarmee indirect op een gewenste verdamping. Bij het beperken van de vochtafvoer moet er wel rekening mee worden gehouden dat er bij een hoge verdamping overdag een groot vochttransport door de plant is. Dit vochttransport kan niet snel worden stilgezet. Een te snel terugdringen van de verdamping kan dan leiden tot vocht overmaat in de plant, met als gevolg guttatie of kapot gedrukte cellen. Daarom moet de vochtafvoer in de nacht periode geleidelijk worden verlaagd, bijvoorbeeld van $25 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ in 3 uur naar $15 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ en vervolgens in nog 5 uur naar $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$. Het kan ook zijn dat juist in de eerste uren van de nacht $25 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ moet worden gebruikt en daarna met toenemende verandering per uur moet worden verminderd. De beste strategie hiervoor is niet bekend. De natuurlijke gang is een grote afname van de verdamping in de eerste uren. Bij de overgang van dagverdamping naar nachtverdamping zal een hoge relatieve luchtvochtigheid de verdamping remmen. De vochtafvoer zal echter wel doorgaan omdat die afhankelijk is van het verschil in absoluut vocht binnen en buiten de kas en het ventilatievoud. Een risico op lokaal lage verdamping kan optreden als de gewastemperatuur daalt door uitstraling in de avond.

Het sturen op een vochtafvoer van $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ is alleen nodig als het VD van de kaslucht kleiner wordt dan 1.5 g.m^{-3} , omdat zolang het VD groot blijft er geen problemen met te hoge luchtvochtigheid ontstaan. Voor goed sturen op vochtafvoer moeten alle stromen van vochtafvoer bekend zijn. Het totaal van de vocht afvoer door condensatie en geforceerde ventilatie wordt op de gestelde waarde gestuurd. Als een gewas meer verdampt dan de vochtafvoer zal de vochtigheid in de kas oplopen en dit zal de drukverschillen in vocht tussen plant en kaslucht verkleinen en daardoor de verdamping remmen. Is er minder verdamping dan vochtafvoer dan daalt de vochtdruk in de kas en zal de verdamping kunnen toenemen. Het meer of minder verdampen van het gewas heeft ook gevolgen voor de gewastemperatuur.

Door op een vaste vochtafvoer te sturen wordt indirect gestuurd op een minimale verdamping.

Deze benadering kan zolang de verdamping van het gewas niet gestimuleerd wordt door instraling van de zon of door warmte van buizen. Als er een externe warmtebron voor de bladeren is zal de verdamping toenemen. Dit is niet erg als het 'gratis' zonne-energie betreft.

Naast de vochtafvoer van de kas is uitstraling van het gewas naar een koud kasdek een factor die de verdamping van het gewas beïnvloed. Bij uitstraling verliest de plant energie, die dan niet voor verdamping kan worden gebruikt. Door het onderzoek uit te voeren in de Venlow Energy kas is de invloed van uitstraling op de gewastemperatuur kleiner, dan in een normale kas.

Tot nu toe is in het onderzoek voor Het Nieuwe Telen wel stappen gezet om de verdamping te verminderen middels het achterwege laten van de minimumbuis, maar is nog niet vanuit de benadering van een gecontroleerde minimale vochtafvoer uit de kas gewerkt. Het uitvoeren van een experiment met deze benadering kan nieuwe kennis opleveren voor de toepassing van het nieuwe telen en het telen bij minimale en gecontroleerde verdamping.

1.1 Doelstelling

- Effect op energie gebruik en gewasontwikkeling onderzoeken van sturen van de vochtafvoer in de nacht op een gecontroleerde wijze (tussen de 25 en 10 g.m⁻².uur⁻¹, waarbij de vochtafvoer afhankelijk is van de verdamping overdag. Vochtafvoer overdag wordt gestuurd in relatie tot de instraling.
- Aantonen dat met sturen op een minimale vochtafvoer in de nacht problemen met gebreksverschijnselen en ziektes niet optreden.

2 Opzet van het experiment

2.1 De kas en lekverliezen

Voor het onderzoek is de Venlow Energy kas op het IDC Kas als Energiebron in Bleiswijk gebruikt. De basis uitrusting van deze kas is beschreven door Kempkes en Janse (2013). Centraal in het ontwerp van de kas staan een kasdek met een hoge isolatiegraad zonder concessies te doen aan de lichttransmissie en ontvochtigen middels mechanische inbreng van buitenlucht. De isolatie wordt bereikt door dubbelglas met anti-reflectie en low-emissie coating en de mechanische ventilatie door middel van een air-en energy systeem met warmte terugwinning. De lichttransmissie van deze kas is volgens metingen 64%. Verder is de kas voorzien van een enkel, beweegbaar foliescherp. Het voordeel van de Venlow Energy kas is dat deze een beperkt vochtverlies via condensatie heeft, omdat op een dubbeldek minder condensatie kan plaatsvinden.

De kas is vooraf gecontroleerd op lekkage en waar nodig en mogelijk verder afgedicht. De gevels zijn voorzien van dampdichte folie om lekverliezen te beperken. De lek van de kas is bepaald door het doseren van CO₂ tot een niveau van 2000 ppm en meten hoe deze afneemt in de tijd. Met deze techniek kan alleen de lek via de gasfase worden gemeten en niet de condensatie verliezen, die bij vocht ook optreden, maar voor deze kas gering zijn. De vochtafvoer kan door condensatie iets groter zijn dan de lekverliezen aan CO₂. De vochtafvoer is niet de verdamping van het gewas, maar een indirecte wijze van sturen op minimale verdamping.

2.2 De komkommerteelt

Er is komkommer geteeld in een hoge draad systeem. Er is gekozen voor het gewas komkommer omdat dit snel groeit, een hoge verdamping heeft en snel afwijkingen in ontwikkeling laat zien. De plantdatum is 20 januari 2015 met een plantdichtheid van 1.5 plant.m⁻². De stengeldichtheid is half februari verhoogd naar 3 stengels.m⁻² door een dief per plant aan te houden. Op 9 juni is de kop uit de planten gehaald.

Als hoofdras is HiJack gebruikt en daarnaast is een klein deel beplant met HiPower (Beide rassen geleverd door Nunhems). Voor het hoge draad systeem is gewerkt met een systeem met lange draden waarbij het gewas met de draad mee zakt en de planten met clips aan de draad worden vastgemaakt. Er is 1 om 1 gedund. Daardoor kon er een vrucht per twee bladeren uitgroeien.



Figuur 1 Boven aanzicht van de hoge draad komkommer teelt.

De productie is geregistreerd in stuks en gewicht per dag. Er is 3 keer per week geoogst. De oogst begon op 24 februari en de laatste oogst was 2 juli.

Om de verdamping te meten zijn 2 weegsystemen geïnstalleerd om gewasgewicht, gootgewicht en drainhoeveelheid te bepalen. Uit deze gegevens kan de verdamping worden berekend.

De CO₂ dosering is geregeld via een naaldventiel met een doseer snelheid van 100 kg.ha⁻¹.uur⁻¹ zuivere CO₂ afkomstig van de OCAP. Watergift en bemesting zijn praktijkconform gedaan.

Voor het klimaat is de temperatuur afgestemd op de ontwikkeling van het gewas. Overdag als er zonlicht is loopt de temperatuur in deze kas snel op tot waarden van meer dan 25°C. In de nacht is het folie scherm een groot deel van het experiment 100% gesloten. Na 19 mei is het folie scherm niet meer gebruikt. De gegevens over het klimaat zijn per 5 minuten gelogd.

3 Resultaat

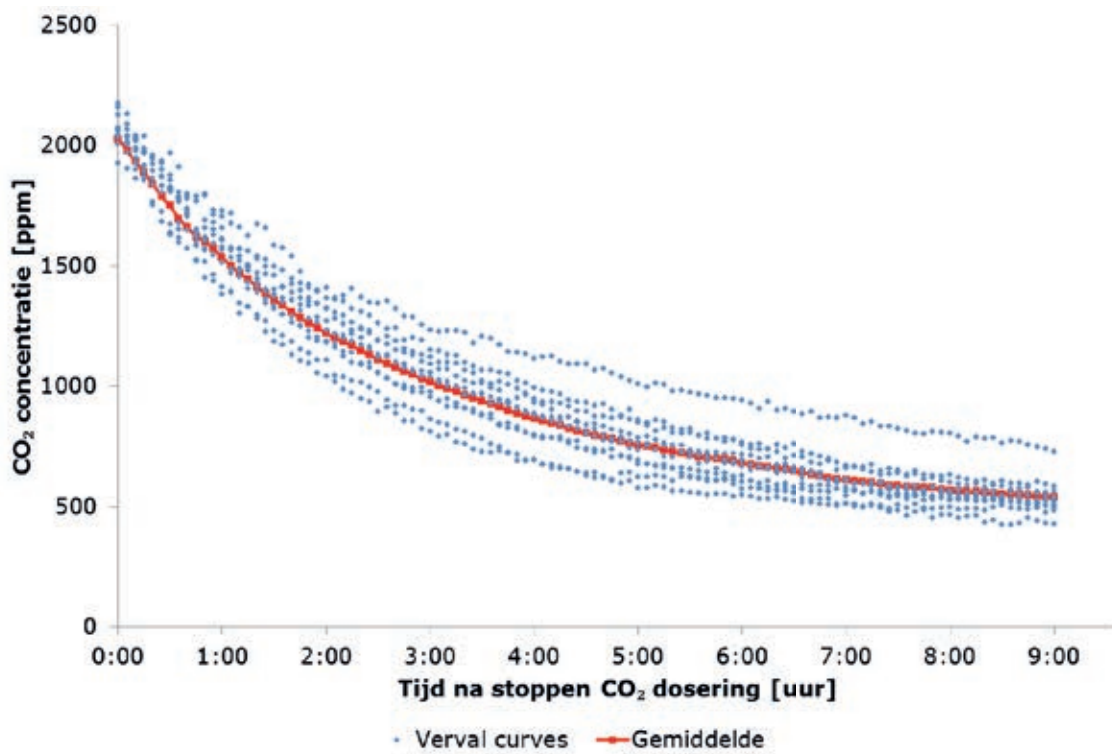
3.1 Lek van de kas

Voorafgaand aan het experiment is de Venlow Energy kas, waarvan bekend was dat deze een fors ventilatievoud had aan de binnenzijde volledig voorzien van folie langs de gevels. Verder zijn alle zichtbare gaten in de gevel gedicht en is de luchtuitwisseling via de regainunit afgesloten. Dit is gedaan om de ventilatieverliezen te minimaliseren. Als het nodig mocht zijn kon de luchtuitwisseling met buiten wel weer geactiveerd worden. Vooral om op een minimale vochtafvoer gericht te kunnen sturen.

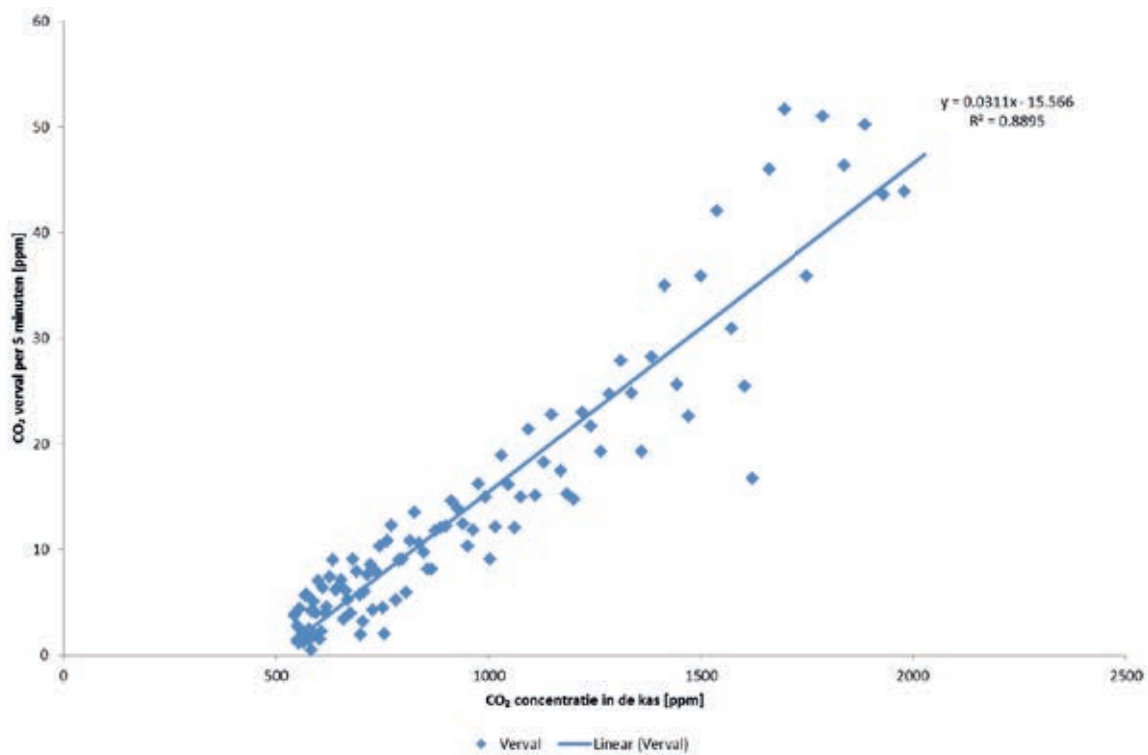
Een gangbare omschrijving voor de luchtuitwisseling tussen de kaslucht en de omgeving is het ventilatievoud. Dit is het aantal malen per uur dat de lucht in de kas ververscht wordt.

Een methode om het ventilatievoud van een kas te bepalen is door CO₂ te doseren tot een niveau van 2000 ppm en dan de snelheid van afname te bepalen in relatie tot de concentratie binnen en buiten de kas. (Een uitgebreide beschrijving van verschillende technieken voor bepaling van ventilatievoud is te vinden in Van Henten *et al.* 2006). CO₂ wordt in dit geval gebruikt als een tracergas. Dit kan als de kas geen planten bevat die CO₂ opnemen en er geen andere bronnen van CO₂ in de kas – bijvoorbeeld uit verterend materiaal – aanwezig zijn. De methode heeft beperkingen omdat het sterk afhankelijk is van windsnelheid en de CO₂ buiten concentratie. De CO₂ concentratie buiten de kas wordt bij Wageningen UR standaard gemeten en fluctueert tussen 400 en 500 ppm. Als het concentratie verschil tussen de kas en buiten groot is moet deze methode een goed beeld kunnen geven van de lekverliezen van de Venlow Energy kas.

Tussen 24 en 29 november 2014 is het lekverlies gemeten met open scherm door 's morgens tussen 4 en 6 uur de CO₂ concentratie naar 2000 ppm te brengen en vanaf 6 uur de afname in de tijd te volgen gedurende 9 uur. In de avond werd tussen 17 en 19 uur opnieuw de CO₂ concentratie op 2000 ppm gebracht en de afname na 19 uur gedurende 9 uur gemeten. Op deze wijze werden 10 verval curves bepaald (Figuur 2). De afname per 5 minuten van de gemiddelde verval curve kan worden uitgezet tegen de CO₂ concentratie in de kas (Figuur 3). De helling van deze lijn is een afname van de CO₂ concentratie met 31 ppm per 5 minuten of omgerekend een daling per uur van 373 ppm bij een verschil in concentratie van 1000 ppm. Dit betekent dat in principe de kas inhoud wordt ververscht met een ventilatievoud van 0.37 keer per uur. Omdat het verschil tussen binnen en buitenconcentratie niet constant is, is de verval curve in de tijd een kromme lijn, maar de verandering van het verval uitgezet tegen de concentratie een rechte lijn. Ook verschillen in windsnelheid en windrichting kunnen het ventilatievoud veranderen. Dat uit zich in een spreiding van de verval curves.



Figuur 2 Verval curves voor CO₂ tussen 24 en 29 november 2014.



Figuur 3 Verval per 5 minuten van het gemiddelde van de verval curves afhankelijk van de CO₂ concentratie in de kas.

Een ventilatievoud van 0.37 is voor een moderne kas een redelijk ventilatievoud. Voor het sturen op een gerichte vochtafvoer is dit een belangrijke factor, die een groot effect heeft op de uitvoering van het experiment. Gesteld dat het absoluut vocht verschil tussen binnen en buiten 10 g.m^{-3} bedraagt - een situatie die in de winter gemakkelijk voorkomt - en dat de kas 6.5 m hoog is, dan is het vochtverlies per uur door de lekverliezen $0.37 \cdot 6.5 \cdot 10 = 24 \text{ gram.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$. Dit is al voldoende afvoer als het gewas $24 \text{ g.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ zou verdampen. Dit lekverlies zal het sturen op een gerichte vochtafvoer beperken. Bij de bespreking van de gerealiseerde verdamping en klimaat wordt hier op terug gekomen.

Het folieschermbij de meting van het ventilatievoud geopend. Met een gesloten folieschermbij zal het ventilatievoud iets lager zijn. De verliezen via de gevel, die in de Venlow Energy kas groot zijn worden niet beïnvloed.

In het projectplan was voorzien om ook via gericht vocht inbrengen met de hoge druk nevelleiding en het meten van condens en binnen en buiten luchtvochtigheid het vochtverlies te meten, maar dat bleek niet goed uitvoerbaar omdat er geen goede condensmeting aanwezig was en de hoge druk nevel installatie niet goed werkte.

Het Ventilatievoud van de Venlow Energy kas bleek in de meting dus zodanig groot dat de regainunit niet gebruikt hoeft te worden om een minimale vochtafvoer van $10 \text{ gr.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ mogelijk te maken. De lek van de kas was zodanig dat dit zonder verdere maatregelen al zou worden gehaald.

3.2 Teelt en Productie

De teelt is in hoofdlijn goed verlopen. In maart werd bij een aantal planten "bolblad" geconstateerd. Dit is een teken dat in de periode daarvoor de cellen in de kop minder Calcium hebben gekregen. Dit is gerelateerd aan beperkte verdamping in de kop en mogelijk te hoge verdamping van ouder blad en te sterke water opname door de vruchten. Er zijn geen extra aanpassingen aan de klimaat regeling gedaan, maar het bolblad verdween weer na een paar meer zonnige dagen. De indruk was wel dat het "bolblad" gekoppeld was aan sterke luchting boven het folieschermbij. Hierdoor was mogelijk de scherm temperatuur iets lager, zodat er meer uitstraling naar een koeler scherm op kon treden. Gevolg daarvan zou zijn dat de verdamping van de kop verder beperkt is. Dit kwam vooral voor eind februari.

Een uitgebreide discussie over broeikop of bolblad en het ontstaan daarvan is te vinden in bijlage 8 van het rapport over verdamping (De Gelder, 2015). In die discussie wordt naast verdamping en Ca gebrek een hoge wortel activiteit en gebrek aan verdamping overdag op donkere dagen als mogelijk oorzaak besproken. Dit laatste komt overeen met het verdwijnen van bolblad na een paar zonnige dagen.

Opvallend bij de uitgroei van de vruchten was dat geregeld een jonge vrucht niet goed uitgroeide, maar een vrucht daarboven wel. Soms versteende de niet uitgegroeide vrucht en werd dan bij gewas onderhoud alsnog weggenomen. Dit is een vorm van aborteren van de vrucht. Een andere keer groeide de achtergebleven vrucht wel uit, maar met een duidelijke vertraging. De uitgroei van vruchten was gerelateerd aan de verhouding tussen de plantbelasting, lichtintensiteit en temperatuur. Een hoge plantbelasting met een lage lichtintensiteit leidde tot niet goed uitgroeide vruchten. Dit had voorkomen kunnen worden door meer gericht te dunnen in afhankelijkheid van de lichtintensiteit. Voor het experiment, waarin vooral de minimale verdamping door beperkte vochtafvoer belangrijk is, was dit minder relevant. Een niet optimale opvolging van de vruchten is nadelig voor de arbeid.

De plantbelasting in aantal vruchten per stengel is niet geteld, maar was op het oog goed te zien dat die fors kon verschillen tussen planten.

De productie van HiJack kwam over de periode 20 januari (plantdatum) tot en met 2 juli (laatste oogstdatum) op 127 stuks en 53.7 kg.m^{-2} . Het vruchtgewicht was gemiddeld 424 gram. Voor HiPower zijn deze getallen reps 130, 54.3 en 419 (Tabel 1). Dit zijn normale producties voor de eerste helft van het jaar.

Tabel 1

*Productie van HiJack en HiPower per week en totaal***HiJack**

week	kg/m ²	#/m ²	vruchtgewicht gram	totaal kg/m ²	Totaal #/m ²	vruchtgewicht gemiddeld gram
9	1,53	4,2	370	1,5	4,2	370
10	1,45	3,6	405	3,0	7,7	386
11	1,69	4,4	381	4,7	12,2	384
12	1,74	4,5	389	6,4	16,6	385
13	2,34	6,0	392	8,8	22,6	387
14	1,88	5,1	369	10,6	27,7	384
15	2,49	6,1	409	13,1	33,8	388
16	3,17	7,1	443	16,3	40,9	398
17	4,62	10,2	453	20,9	51,1	409
18	2,87	6,9	417	23,8	58,0	410
19	2,69	6,4	421	26,5	64,4	411
20	3,75	8,9	424	30,2	73,3	413
21	3,36	7,8	433	33,6	81,0	415
22	3,36	7,6	443	36,9	88,6	417
23	3,23	8,2	396	40,2	96,8	415
24	3,81	8,9	429	44,0	105,6	416
25	4,20	9,8	427	48,2	115,5	417
26	3,22	7,6	423	51,4	123,1	418
27	2,93	6,5	449	54,3	129,6	419

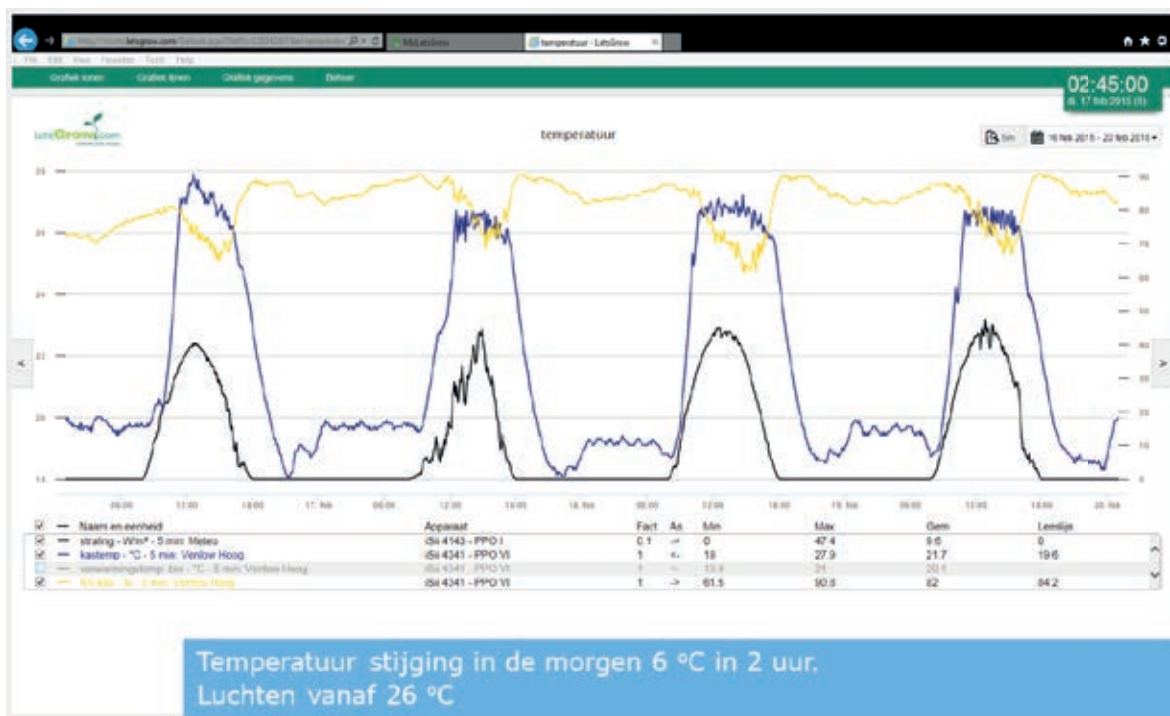
HiPower

week	kg/m ²	#/m ²	vruchtgewicht gram	totaal kg/m ²	Totaal #/m ²	vruchtgewicht gemiddeld gram
9	1,33	3,5	381	1,3	3,5	381
10	1,50	3,7	406	2,8	7,2	394
11	1,88	4,8	391	4,7	12,0	393
12	1,92	4,8	396	6,6	16,8	394
13	2,30	6,0	382	8,9	22,9	391
14	2,29	6,3	366	11,2	29,1	385
15	2,62	6,5	405	13,8	35,6	389
16	3,51	7,8	448	17,3	43,4	400
17	4,48	9,1	490	21,8	52,6	415
18	2,55	5,8	443	24,4	58,3	418
19	2,94	6,8	434	27,3	65,1	420
20	3,61	8,3	433	30,9	73,4	421
21	3,42	7,7	442	34,3	81,2	423
22	2,95	6,4	461	37,3	87,5	426
23	3,07	7,9	387	40,4	95,5	423
24	3,77	8,8	428	44,1	104,3	423
25	3,98	9,1	438	48,1	113,4	424
26	2,34	5,5	423	50,4	118,9	424
27	3,28	7,8	418	53,7	126,7	424

Aan het einde van de teelt kwam er bij veel planten overmatige wortelgroei voor. Zogenoemde "crazy roots". Dit leek geen effect op de ontwikkeling van het gewas te hebben.

3.3 Klimaat

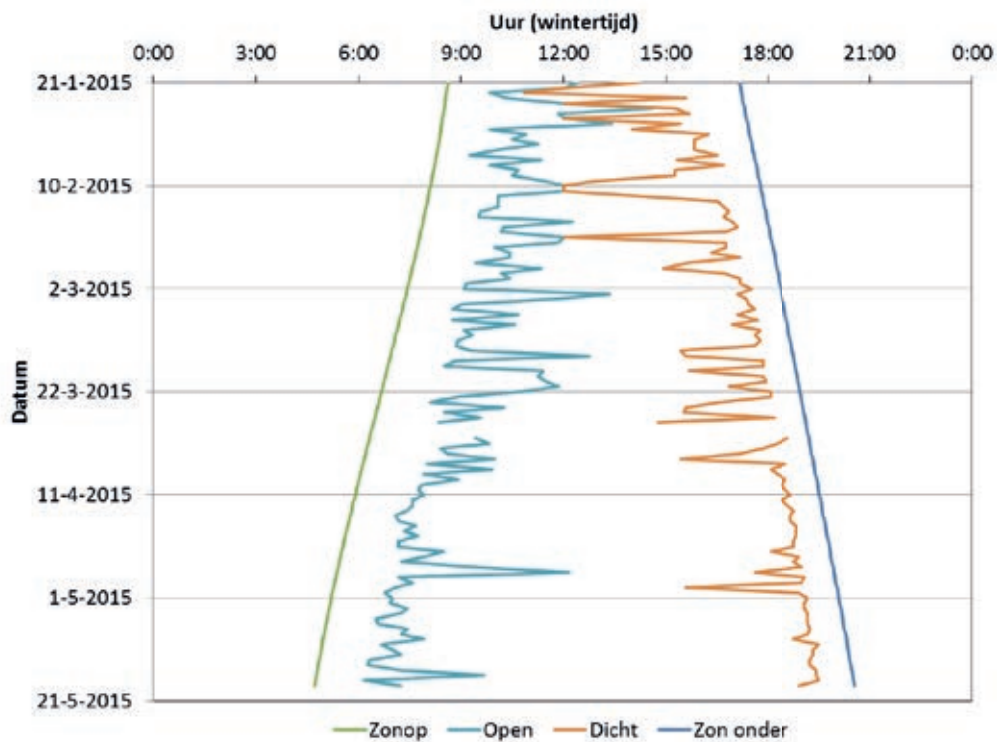
Voor sturing van de vochtafvoer is het belangrijk wat het gerealiseerde klimaat in de kas is geweest. Figuur 4 geeft een voorbeeld van het verloop van temperatuur en luchtvochtigheid in de periode van 16 tot en met 20 februari. Opvallend in die periode is de sterke stijging van de kastemperatuur als de zon voldoende kracht heeft. Toch leidde deze sterke stijging niet tot problemen met natslaan van vruchten. Overdag moest om de temperatuur niet te hoog op te laten lopen geventileerd worden en dan daalt de relatieve luchtvochtigheid. Er is dan een grote vochtafvoer. In de nacht als het folie gesloten is blijft in die periode de relatieve luchtvochtigheid op een niveau van ongeveer 85% bij een constante temperatuur. Dat betekent dat het vocht geproduceerd door de plant, middels verdamping, de kas verlaat door ventilatie of condensatie. Omdat condensatie tegen dubbelglas vrijwel niet voorkomt moet dit dus te maken hebben met het lekverlies van de kas. Die is voldoende om alle geproduceerde vocht af te voeren. Bewust sturen naar een lagere vochtafvoer lukt dan ook niet.



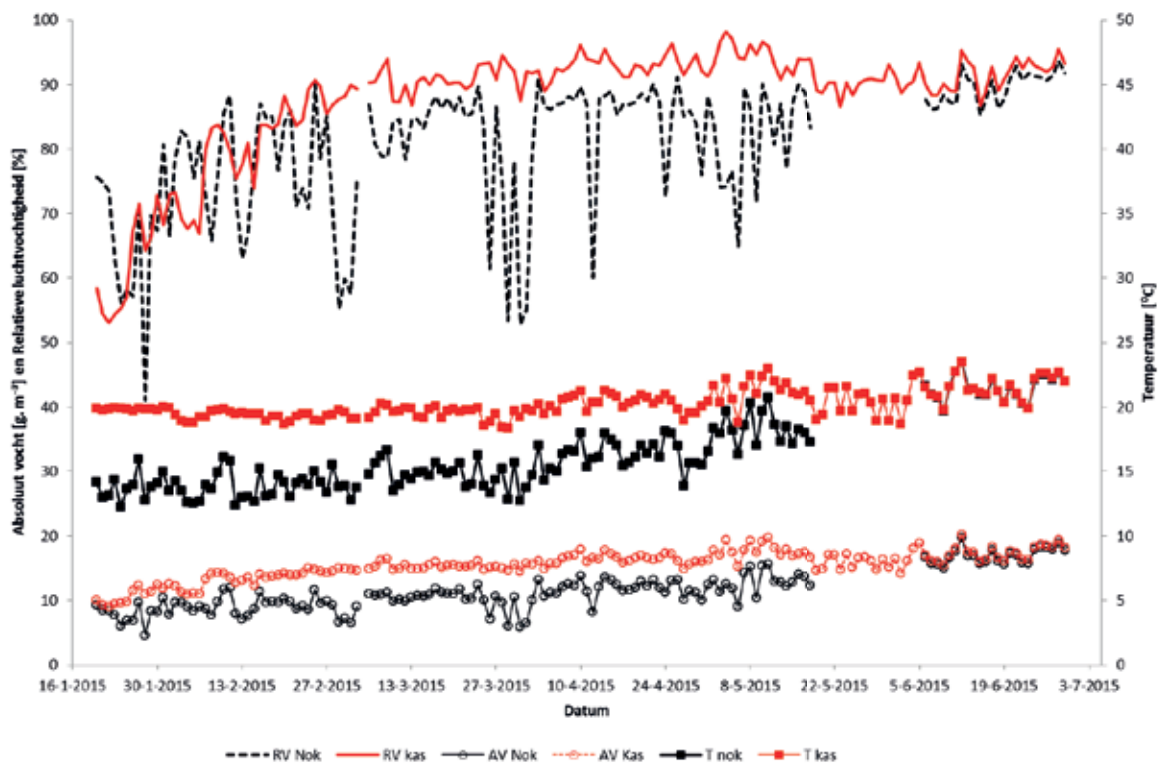
Figuur 4 Kasttemperatuur, kasluchtvochtigheid en straling van 16 tot 20 februari 2015.

3.3.1 Foliescherm gebruik

De Venlow Energy kas is uitgerust met dubbelglas, maar om de isolatie waarde van het dek te verhogen is er ook een beweegbaar transparant folie aanwezig. Dit folie is alle nachten in de periode van planten tot 19 mei volledig gesloten geweest. Het ging pas open als er voldoende instraling was ($>100 \text{ W/m}^2$) en werd ook weer gesloten als de lichtintensiteit onder dit niveau zakte. Daardoor kon het in het begin voorkomen dat het folie geheel niet openging overdag. In het begin bleef het daarbij langer na zon-op gesloten ($> 1 \text{ uur}$) en ging het ca 1 uur voor zon-onder weer dicht (Figuur 5).



Figuur 5 Doeksturing naar open of dicht ten opzichte van Zon-op en Zon-onder. Alle uren van de dag aangegeven als wintertijd.



Figuur 6 Luchtvochtigheid en temperatuur in de nacht tussen 22 uur en 4 uur. Tot 19 mei het folie scherm in de nacht dicht geweest, daarna niet meer. Het verschil in AV boven en onder folie is in maart het grootste.

Ondanks het gesloten folie is de luchtvochtigheid in de nacht tot half maart onder de 90% gebleven. De planten zijn in die periode nog relatief klein en verdampen blijkbaar te weinig om de luchtvochtigheid in de kas hoog te houden, gegeven de lage temperatuur en het lage absolute vocht buiten en de lekverliezen van de kas. In die periode is bewust vocht afvoeren niet nodig geweest. In de periode daarna is de luchtvochtigheid in de kas boven de 90% gekomen, zonder dat dit voor het gewas tot problemen leidde. Het gewas wordt in die periode groter, met meer verdampend oppervlak. Het verschil in AV tussen onder het folie en daarboven is in maart het grootste. Dat betekent dat er dan vocht transport mogelijk is van onder het folie naar de ruimte in de nok. Dit moet dan door de kieren op de plaats waar het folie tegen elkaar aankomt. Een andere manier van vocht afvoer is condensatie tegen het folie omdat de temperatuur in de nok lager is dan die van de kas. Nadat het folie niet meer gesloten wordt in de nacht is er ook geen verschil meer tussen de condities bij de kop van het gewas en die in de nok van de afdeling.

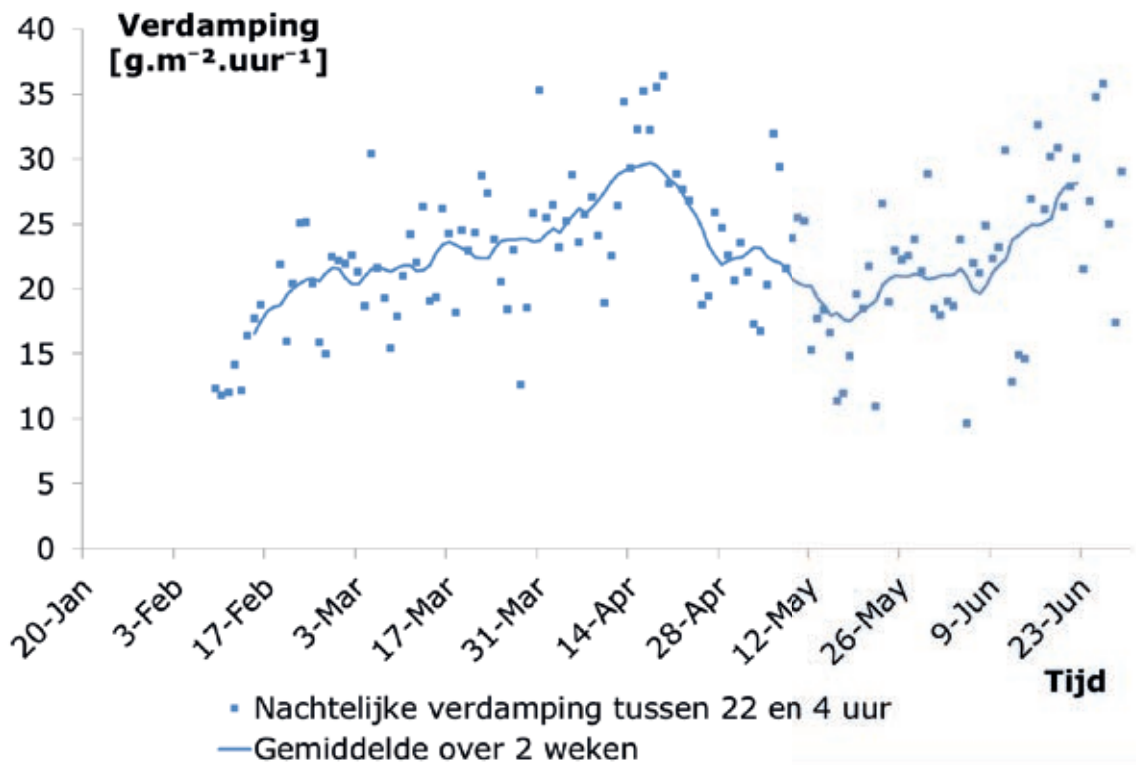
De condensatie tegen het folie heeft tot gevolg dat bij het openen van het folie er veel water van het folie kan afdruppen. Om dit effect enigszins te beperken is hij openen het folie eerst voor 80% geopend en na 30 minuten pas volledig geopend. Op deze wijze kon het folie eerste enigszins drogen door verdamping van het water voordat het dicht in elkaar werd getrokken.

3.4 Verdamping in de nacht

Doelstelling van het project was om de vochttafvoer tussen de 10 en 25 g.m⁻².uur⁻¹ te houden in de nacht. Waarbij de laagste waarde het gunstigste is omdat dan weinig energie met vochttafvoer verloren gaat. Een directe methode om de vochttafvoer te meten is er niet, maar indirect is er wel een maat voor vochttafvoer te geven, namelijk de vochtproductie door het gewas. Al het vocht dat door het gewas verdampt komt als vocht in de kaslucht en moet om de vochtbalans van de kas in evenwicht te houden worden afgevoerd. Met twee weegsystemen die de gewichtsverandering van mat, drain opvang en plant zeer direct volgen is gemeten wat de verdamping van het gewas is in de nacht tussen 22 uur 's avonds en 4 uur 's morgens. Die blijkt in februari tot half april langzaam te stijgen van 20 naar 25 gram.m⁻².uur⁻¹ (Figuur 7). Dit is het gevolg van de toename van het bladvolume. Na half april daalde de verdamping en nadat het folie niet meer dicht ging steeg de verdamping weer. De dalende verdamping in april en begin mei is waarschijnlijk het gevolg van het geringere temperatuur verschil tussen de kas en de nok, zodat er minder vochttafvoer mogelijk was. De vochttafvoer was echter nog steeds ruim boven de 10 gram.m⁻².uur⁻¹ en daarmee voldoende voor de ontwikkeling van het gewas. Er hoefde dus niet extra vochttafvoer gecreëerd te worden. Het bewust sturen op vochttafvoer was in feite niet goed te realiseren. De vochttafvoer was de facto vergelijkbaar met wat op basis van de lekverliezen verwacht mocht worden.

In april is de verdamping gedaald, dan is er blijkbaar sprake van verminderde vochttafvoer. Voor het gewas was dit niet nadelig. Overdag is in die periode de verdamping groot omdat er dan bij veel instraling geventileerd wordt en er geen beperking op de vocht afvoer is.

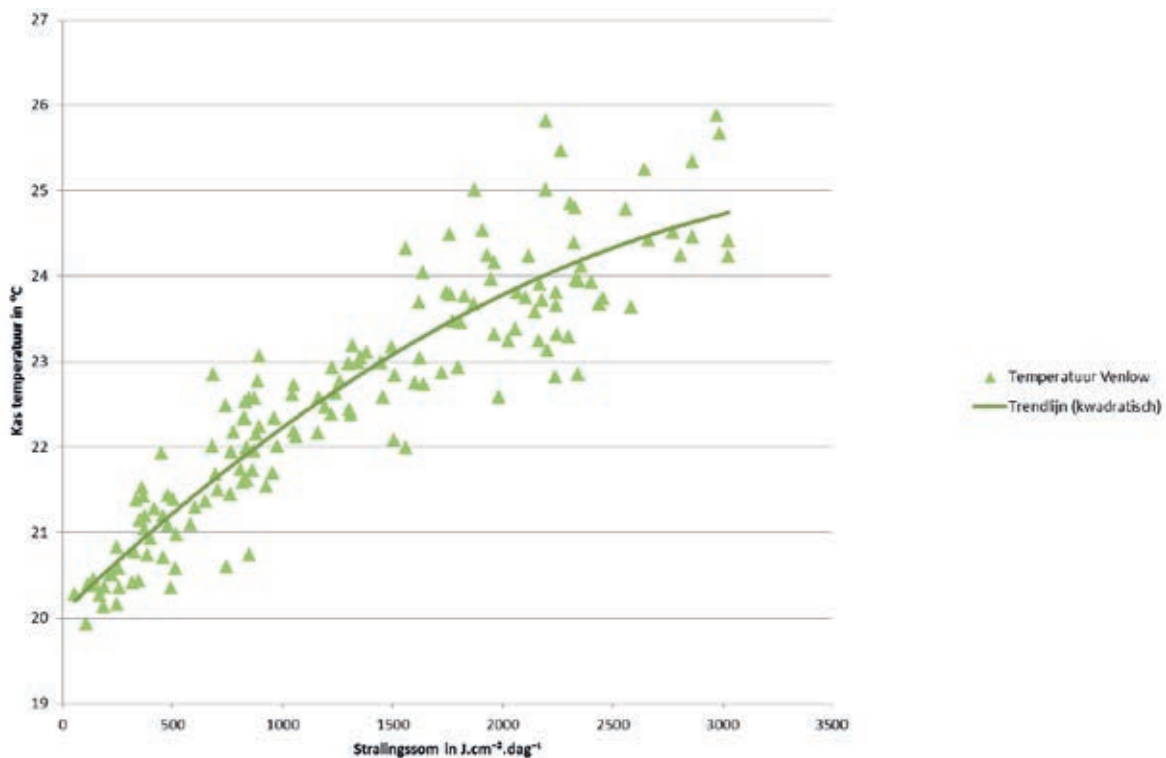
De verdamping is continu gemeten, dus ook overdag. Overdag is de verdamping bij geopende luchtramen veel groter dan de nachtverdamping. Tussen de nacht verdamping en de verdamping overdag die vooral door instraling wordt gestuurd is geen verband te vinden. Dit is logisch omdat verdamping onderdeel is van de energiebalans van de plant. In Figuur 7 is te zien dat de verdamping in de nacht een sterk kan variëren, onbekend is waarom dit zo is. Uit de gegevens zijn geen duidelijke verbanden, naast de al genoemde algemene trends, met een bepaalde factor af te leiden. Bijvoorbeeld buitentemperatuur vertoonde geen duidelijke relatie met de nachtelijke verdamping.



Figuur 7 Verdamping in de nacht.

3.5 Relatie temperatuur en licht

Een teeltaspect dat geen onderdeel was van de proef opzet, maar wel een integraal onderdeel van Het Nieuwe Telen is, is het volgen van een stabiele verhouding tussen etmaaltemperatuur en lichtsom.



Figuur 8 Relatie gerealiseerde stralingssom en kas temperatuur.

De verhouding tussen lichtsom en kastemperatuur is bij lage lichtintensiteit (tot $750 \text{ J.cm}^{-2}.\text{dag}^{-1}$) ongeveer $20^{\circ}\text{C} + 2.5^{\circ}\text{C}$ per $1000 \text{ J.cm}^{-2}.\text{dag}^{-1}$. Boven de $1500 \text{ J.cm}^{-2}.\text{dag}^{-1}$ is de basis temperatuur 21.3°C en is de lichtafhankelijk component gedaald naar 1.3°C per $1000 \text{ J.cm}^{-2}.\text{dag}^{-1}$. Deze strategie was goed voor de ontwikkeling van het gewas. Bij hogere lichtintensiteit is het moeilijker om vast te houden aan de gewenste verhouding. Dit heeft te maken met de langere daglengte bij hogere lichtsommen, zodat moeilijker is te corrigeren als de temperatuur overdag te hoog is geweest of als de nacht temperatuur hoog is.

4 Leerpunten

De nachtverdamping voor de komkommer geteeld aan de hoge draad was met $15\text{--}25\text{ g.m}^{-2}\text{.uur}^{-1}$ in de nacht voldoende voor een goede ontwikkeling van het gewas.

Er was geen relatie tussen de verdamping in de nacht na 22 uur en de lichtsom overdag. In de eerste uren van de donkerperiode is er bij lichte dagen wel een hogere verdamping.

Voor het volgen van de verdamping in de nacht is een nauwkeurig weegsysteem noodzakelijk. Dit geeft echter alleen informatie over de totale gewasverdamping en niet over verschillen in verdamping binnen de plant.

De vochtafvoer van de Venlow Energy kas was met een ventilatievoud van 0.37 voldoende om geen problemen te krijgen. In de nacht mocht de luchtvochtigheid tot boven de 95% oplopen zonder dat dit tot problemen met het gewas leidde. Wel werd regelmatig op de rand van het toelaatbare voor broeikoppen en bolblad geteeld, vooral eind februari. Dit had mogelijk te maken met een koel scherm, zodat de uitstraling de kop van het gewas in temperatuur deed dalen en er minder verdamping in de kop was. Het optreden van lokaal geringe verdamping is met een weeggoot niet te meten. Dat kan alleen indirect worden afgeleid via de gewastemperatuur. Een andere reden zou kunnen zijn dat de verdamping overdag op donkere dagen aan de lage kant is geweest, waardoor vooral de kop minder Ca beschikbaar kreeg.

Er is in deze proef geen schade door *Mycosphaerella* opgetreden. Dit ondanks de hoge relatieve luchtvochtigheid die werd gerealiseerd. Dit kan te maken hebben met het ontbreken van infectie druk en/of door een lage uitstraling. De Venlow Energy kas heeft een coating om uitstraling te voorkomen. Dat dit goed werkt was te zien aan een raam, dat verkeerd om is gemonteerd. Op dat raam komt geen bevriezing vanaf de buitenkant voor. Bij alle andere ramen wel. Die ramen koelen af omdat er geen warmtestraling vanuit de kas naar het buitenste glas is.

Het folie-scherf kon tot 2 uur na zon-op dicht gehouden worden en 1 uur voor zon-onder weer gesloten worden.

5 Kennisoverdracht

Over het project zijn presentaties gehouden een cursusdag voor teeltadviseurs, op een middag voor komkommer telers op 1 oktober 2015 en op het energie-event in 2016.

Vooraf de presentatie op de komkommer middag op 1 oktober had met een opkomst van rond de 100 telers en andere betrokkenen een groot bereik.

Op kas als energiebron zijn 3 weblogs verschenen.

<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/herstel-komkommers-in-venlowenergy-kas/>

<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/klimaat-sturen-op-vochtafvoer/#.VPWcAE10z2Q>

<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/wisselend-beeld-proef-venlowenergy-kas/>

Bijlage 1 Literatuur

Gelder, A. de., (2015)

Verdamping balans tussen noodzaak en overmaat : Kennisinventarisatie en analyses van vocht gerelateerde fenomenen in lopende projecten Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport GTB 1383) - 72 p.

Henten, E.J. van; Bontsema, J.; Kornet, J.G.; Hemming, J. (2006)

On-line schatting van het ventilatievoud van kassen. Wageningen, NL. Plant Research International 60 p.

Janse, J.; Weel, P.A. van; Zwart, H.F. de, (2015)

Gebruik van hoogisolierende schermen in een komkommerteelt Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw 1361) - 36 p.

Kempkes, F.L.K.; Janse, J., (2013)

Praktijkervaringen met de Venlow Energy kas 2010-2012 Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten Wageningen UR Glastuinbouw 1279)

Zwart, H.F. de; Janse, J. ; Kempkes, F.L.K., (2015)

Tomatenteelt in de hooggeïsoleerde Venlow Energy Kas Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (GTB-rapport 1366) - 34 p.

Gelder, A. de; Warmenhoven, M.G.; Knaap, E. van der; Baar, P.H. van; Grootsholten, M.; Aelst, N. (2015)

Een perfecte roos energiezuinig geteeld. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (GTB rapport 1369) - 96 p.

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



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1408

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

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