

Praktijk ervaringen tomaat onder full-LED

Bedrijfsvergelijking binnen het project Monitoring Energie innovaties in de praktijk

Jaco den Bakker en Marcel Raaphorst



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

Telers hebben veel vragen over het telen onder full-LED. Vandaar dat er met vijf tomatentelers een monitoringstraject is opgezet tussen november 2023 en maart 2024 voor het vergelijken van het klimaat onder full-LED. Enerzijds om direct oplossingen te bieden bij problemen in de teelt anderzijds de vragen te inventariseren die in het onderzoek verder moeten worden opgepakt.

In de monitoring is een breed scala aan gegevens verzameld en met elkaar gedeeld. Naast de gebruikelijke klimaatgegevens en plantregistraties is er ook een lichtmeting, verticale temperatuurmetingen, houdbaarheidsproeven en analyses van plantsappen en water (gift en drain) uitgevoerd. Uit de monitoring blijkt dat telen onder een hoog vochniveau bij een tomatenteelt goed mogelijk is. Nader onderzoek naar optimalisatie van de tomatenteelt onder LED is noodzakelijk om de resultaten te laten aansluiten bij de verwachtingen van de telers. Dit onderzoek is in opdracht van Kas als Energiebron hét innovatieprogramma van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) dat energiebesparing en het gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw stimuleert, uitgevoerd.

Abstract

Growers have many questions about growing under full LED. That is why a monitoring trajectory has been set up with five tomato growers between November 2023 and March 2024 to compare the climate under full LED. On the one hand, to provide immediate solutions to problems in cultivation, and on the other hand, to inventory the questions that need to be addressed further in the research. A wide range of data was collected and shared in the monitoring. In addition to the usual climate data and plant registrations, a light measurement, vertical temperature measurements, shelf life tests and analyses of plant juices and water (gift and drain) were also carried out. The monitoring shows that growing under a high moisture level is quite possible for tomato cultivation. Further research into optimizing tomato cultivation under LED is necessary to ensure that the results match the expectations of the growers. This research was carried out on behalf of Kas als Energiebron, the innovation program of Glastuinbouw Nederland and the Ministry of Agriculture, Fisheries, Food Security and Nature (LVVN), which stimulates energy saving and the use of sustainable energy in greenhouse horticulture.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1379

Projectnummer: 3742363000

DOI: <https://doi.org/10.18174/685694>

Dit onderzoek is in opdracht van Kas als Energiebron hét innovatieprogramma van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) dat energiebesparing en het gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw stimuleert. Dit onderzoek is uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Glastuinbouw en Bloembollen in samenwerking met vijf tomatenteeltbedrijven.



**KAS ALS
ENERGIEBRON**



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

Disclaimer

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, 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, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

wur.nl/glastuinbouw

Postbus 644, 6700 AP Wageningen

Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

T +31 (0)317 48 60 01

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel	9
1.3 Werkwijze	10
2 Monitoring	11
2.1 Lichtmeting	11
2.2 Schermen	12
2.3 Buiswarmte	14
2.4 Verticale temperatuurmeting	16
2.5 Kasklimaat	20
2.5.1 kastemperatuur	20
2.5.2 Vochtdeficiet	21
2.5.3 Ratio temperature to radiation (RTR)	22
2.6 Verdamping	23
2.7 Nutriënten	25
2.8 Gewassenmerken	26
2.9 Houdbaarheid	29
3 Leerpunten en aanbevelingen	30

Woord vooraf

Deze monitoring is mijn eerste project waar mijn lange ervaring als teler en mijn nog jonge ervaring als onderzoeker samenkomen: praktische kennis en onderzoek. Het samenbrengen van de verwachtingen van de telers, het A4-tje met stellingen uit het energiek event 2023 en de (on)mogelijkheden van monitoring leidde in het begin tot een zoektocht naar een vorm waarin een ieder zich comfortabel voelde. Uiteindelijk hebben we met elkaar een mooi resultaat geboekt. Niet dat we alle vragen van de telers hebben kunnen beantwoorden, maar wel met elkaar bediscussieerd wat de basis is voor een goede teelt van tomaten onder LED. De centrale vraag: kunnen we met hoge vochniveaus een goede teelt neerzetten? hebben we met ja kunnen beantwoorden.

Allereerst wil ik de 5 deelnemende telers bedanken voor de goede discussies die we hebben gehad en het beschikbaar stellen van hun gegevens voor deze monitoring.

Daarnaast wil ik Joop Verhoeven, adviseur bij Delphy, bedanken voor zijn wekelijkse inbreng in de discussie en het aandragen van actuele onderwerpen. Het was ook zeer waardevol om de (klimaat)gegevens van de verdampingsproef bij Delphy mee te nemen in deze monitoring. Daar hebben zowel telers als onderzoekers veel van geleerd.

Ook wil ik Annelies Hooijmans bedanken voor haar inzet vanuit Glastuinbouw Nederland om deze monitoring mogelijk te maken en het organiseren van de telersbijeenkomsten. En daarnaast ook voor haar verbindende rol tussen de telers en het onderzoek.

Daarnaast wil ik de financiers Kas als Energiebron en het ministerie van LNV bedanken voor het mogelijk maken van dit onderzoek.

Jaco den Bakker
Wageningen University & Research
September 2024

Samenvatting

In het winterseizoen van 2022-2023 is er door de hoge energieprijzen bijna geen belichte teelt opgezet. Veel telers die in de jaren daarvoor met SON-T belichtten, hebben een overstap gemaakt naar de energiezuinigere LED belichting. De tomatenteelt onder full-LED kenmerkt zich door een hoog vochniveau in de kas. Dit wordt veroorzaakt doordat er minder geventileerd wordt en doordat de plant kouder is vanwege de verminderde lampwarmte.

Telers hebben veel vragen over het telen onder full-LED. Vandaar dat er met een 5-tal telers een monitoringstraject is opgestart van november 2023 tot maart 2024 voor vergelijken van het klimaat bij de tomatenteelt onder full-LED. Enerzijds om direct oplossingen te bieden bij problemen in de teelt en anderzijds om de vragen te inventariseren die in het onderzoek verder moeten worden opgepakt.

In de monitoring is een breed scala aan gegevens verzameld en met elkaar gedeeld. Naast de gebruikelijke klimaatgegevens en plantregistraties is er ook een lichtmeting, verticale temperatuurmetingen, houdbaarheidsproeven en analyses van plantsappen en water (gift en drain) uitgevoerd.

Niet alle vragen zijn direct beantwoord tijdens de monitoring. Deze onbeantwoorde vragen worden als aanbevelingen voor verder onderzoek naar een optimale tomatenteelt onder full-LED in dit rapport benoemd. De centrale vraag in de monitoring is:

- In welke mate en op welke wijze moet de verdamping worden gestimuleerd om vochtproblemen en gebreksverschijnselen te voorkomen?

Uit de monitoring blijkt dat er onder een hoog vochniveau een tomatenteelt goed mogelijk is, waarbij aangetekend moet worden dat er geen productiecijfers zijn gedeeld. Onder de nu gangbare lichtniveaus van 250-300 μmol is de verdamping hoger. Er zijn tijdens de monitoring geen gebreksverschijnselen gezien. De teelt moet nog verder worden geoptimaliseerd.

Aanbevelingen voor verder onderzoek zijn:

- **LBE (lichtbenuttingsefficiëntie):** onder het hogere lichtniveau bij LED worden niet de producties behaald die bij deze lichtniveaus zouden worden verwacht. Hoewel in deze monitoring geen producties zijn vergeleken vanwege bedrijfsgevoelige informatie, zijn de telers ontevreden over de behaalde resultaten. Meer kennis is nodig over herverdeling van suikers over de plant onder LED. Uit de plantsap analyses blijkt dat in de donkerste maanden er teveel suikers in de bladeren overblijven die niet in de vruchten terecht komen. Er is onvoldoende bekend aan welke knop gedraaid moet worden om meer suikers in de vruchten te krijgen bij de teelt onder LED.
- **Nutriënten:** er is veel losse kennis over nutriënten. Bundeling van kennis is wenselijk om het overzicht en de toepasbaarheid voor telers inzichtelijk te maken.
- **Gedrag van hommels:** om de hommels hun werk te laten doen is het op dit moment noodzakelijk dat de energieschermen minimaal 4 uur per dag open zijn en liefst tussen 8.00 en 13.00, waarbij 8.00 in de ochtend het koudste moment van de dag is. Dit kost veel energie en ook het klimaat in de kas is hier niet bij gebaat. Uit onderzoek (KAE project "LED's pollinate") blijkt dat wanneer de dagen het kortst zijn en er weinig zonlicht is, hommels moeite hebben met foerageren. Dit komt door een tekort aan blauw en groen/wit licht en waarschijnlijk ook aan UVA. Onderzocht moet worden of UV-doorlatende schermen dit probleem kunnen oplossen of dat er nog meer factoren van invloed zijn.

Dit onderzoek is in opdracht van Kas als Energiebron hét innovatieprogramma van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van LNV dat energiebesparing en het gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw stimuleert, uitgevoerd.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het winterseizoen van 2022-2023 is er door de hoge energieprijzen bijna geen belichte tomatenteelt opgezet. Veel telers die in de jaren daarvoor met SON-T belichtten, hebben een overstap gemaakt naar de energiezuinigere LED belichting. Bij de overstap zijn telers op hybride belichting (deels SON-T, deels LED) of naar full-LED overgestapt. Het telen van tomaat onder full-LED is vrijwel alleen bekend uit de energie- en spectrumproeven die op diverse onderzoekcentra zijn uitgevoerd.

Doordat voor LED-belichting minder elektriciteit nodig is en (bij gelijke lichtintensiteit) daardoor minder warmte in de kas wordt gebracht, hoeft er minder te worden geventileerd om het warmte-overschot af te voeren. Hierdoor wordt ook minder vocht afgevoerd. Bovendien geeft LED nauwelijks warmtestraling af, waardoor de planttemperatuur relatief lager is dan bij SON-T. Beide effecten zorgen voor een lagere verdamping met een mogelijk nutriëntentekort in de kop van de plant als gevolg. Om extra energie te besparen is er vaak naast het noodzakelijke donkerscherm ook een energiescherm geïnstalleerd. Een tweede scherm werkt positief op de netto straling, waardoor de verdamping in de kop wordt gestimuleerd, maar een tweede scherm remt ook de luchtuitwisseling, waardoor het lage VD de verdamping juist verlaagt.

Telers hebben nog veel vragen en zijn op zoek naar praktische oplossingen voor een goede teelt. Vandaar dat in de zomer van 2023 vanuit de Landelijke Gewas Commissie Tomaat van Glastuinbouw Nederland het idee is opgevat om bij 5 bedrijven die onder full-LED gingen telen, het klimaat en gewas te monitoren. Enerzijds om direct oplossingen te bieden bij problemen die in de teelt opkomen anderzijds de vragen te inventariseren waar ondernemers tegenaan lopen maar die niet in een monitoring traject kunnen worden opgepakt maar een gericht onderzoek behoeven.

1.2 Doel

Het hoge vochniveau in de kas bij de teelt onder full-LED wordt gezien als de grootste uitdaging. Vandaar ook dat de focus in de monitoring komt te liggen bij de beheersing van vocht in de kas met als onderzoeksvragen:

- Hoeveel vocht kan er in de kas getolereerd worden zonder dat er problemen in de teelt zich voordoen?
 - Is er bij het hoge vochniveau nog wel voldoende verdamping?
- Welke verschillen zijn er tussen de bedrijven?

Niet alle vragen kunnen direct worden beantwoord tijdens de monitoring. Deze onbeantwoorde vragen kunnen als onderzoeksvragen worden vertaald en geven daarmee richting aan het onderzoek voor een optimale tomatenteelt onder full-LED.

1.3 Werkwijze

Voor de monitoring zijn vanuit de landelijke commissie een vijftal bedrijven aangedragen. De bedrijven verschillen in uitrusting, maar ook in het type tomaat dat ze telen. Ook zijn de gewassen niet tegelijkertijd geplant. In Tabel 1 is dit te zien.

Van de deelnemende bedrijven worden de volgende gegevens verzameld:

- Klimaatgegevens uit de klimaatcomputer worden verwerkt in grafieken.
- Plantkenmerken, door de telers zelf bijgehouden, in een overzicht gezet.
- Lichtintensiteit en verdeling over de kas (gemeten door de auteurs).
- Verticale temperatuur- en RV verdeling (met niet-geventileerde MicroLite dataloggers op 4 hoogtes de temperatuur en RV bijgehouden).
- De gift en drain analyses verzameld en geanalyseerd.
- Plantsap analyses (1x per 2 weken).
- Houdbaarheid (2x januari en februari).

Tabel 1 De deelnemende bedrijven.

	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 6	Bedrijf 7
Type tomaat	Cocktail	Cocktail	Los	Tros grof	Tros grof
Stengeldichtheid (stengels/m ²)	3.75	3.25	3	3.75	3.75
plantdatum	16 oktober, week 42	10 oktober, week 41	9 oktober, week 41	1 november, week 44	1 november, week 44

In de klimaatgegevens is ook een vergelijking gemaakt met de klimaatgegevens van de verdampingsproef bij Delphy. Delphy 1 (bedrijf 1) is een afdeling met hoog VD en Delphy 2 (bedrijf 2) is een afdeling met laag VD. Hiermee kunnen de gegevens uit de praktijk vergeleken worden met onderzoeksgegevens.

Wekelijks worden de meetresultaten van de week ervoor bediscussieerd in een online bijeenkomst met deelnemende bedrijven.

2 Monitoring

2.1 Lichtmeting

De leverancier van de lichtinstallaties is op geen van de deelnemende bedrijven hetzelfde. Om een beeld te krijgen van deze LED-lampen is bij alle bedrijven de lichtinstallatie door ons gemeten met lichtmeter (Jeti: spectroradiometer, specbos 1211UV-2). De meting kon niet worden uitgevoerd volgens het standaard meetprotocol, omdat er al geplant was en de gewassen verschilden in hoogte. Er is voor de meting een vak uitgezet over 5 paden breed (tralie breedte) en 2 vakken lang (10 m). In de lengte is op iedere meter een meting gedaan, zodat je met 55 (5 paden met 11 metingen) metingen een goede afspiegeling is van de gelijkheid van de lichtintensiteit over de tralie heen. De metingen zijn gedaan op 2 verschillende hoogtes t.w. op gewasdraadniveau en bij de kop van een volgroeid gewas (1 m onder de gewasdraad).

In Tabel 2 is een samenvatting van de metingen per bedrijf te zien. Wat opvalt is de grote variatie in lichtintensiteit op gewasdraadniveau. Dit is niet geheel onlogisch, aangezien de kegels van de lamp elkaar op 1 meter onder de lamp nog niet overlappen. De overlap is, afhankelijk van de fabrikant, vaak pas op ca. 1,5 m onder de lamp. De lichtintensiteit neemt af naarmate het licht verder van de lamp komt. Overlap van de kegels naar alle kanten zorgt er dan voor dat lichtintensiteit gelijkmatiger wordt. Ook bij de meting op kopniveau is de variatie bij 4 van de 5 bedrijven nog erg groot.

In het begin van de teelt staan de planten nog een lange tijd op dezelfde plek wat variatie in plantopbouw zou kunnen geven. Later schuiven de planten wat op, waardoor er compensatie optreedt. In praktijkproeven zijn productieverschillen nooit gemeten, hoewel de variatie in planten een van de grootste bronnen van opbrengstderving is. In de tabel is ook weergegeven wat de hoogte van 1 meter onder de gewasdraad betekent t.o.v. de hoogte van de teeltgoot.

Het spectrum is een keuze van de teler. Op bedrijf 4 is het spectrum onafhankelijk van elkaar te sturen, waarbij er ook verrood in het spectrum zit. Op bedrijf 5 is er gekozen voor iets meer wit/groen in het spectrum. Bij de bedrijven 3, 5, 6 en 7 wordt er ook wat verrood gemeten, maar dat is meer aan de randen van het rode spectrum. Er zit daar geen apart verrood in het spectrum.

Tabel 2 *Overzicht van de lichtmetingen per bedrijf.*

	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 6	Bedrijf 7
Spectrum in %B-%G-%R-%FR	5,5 - 5,5 - 88 - 1	5,5 - 5 - 80 - 9,5	4 - 7 - 88 - 1	4,5 - 5 - 90 - 0,5	4,5 - 5 - 90 - 0,5
Intensiteit 1m onder de lamp (μmol)	281	247	271	314	310
Variatie (μmol)	55 - 725	70 - 700	75 - 800	130 - 550	45 - 700
Intensiteit 1m onder de gewasdraad (μmol)	266	229	263	283	265
Variatie (μmol)	110 - 475	120 - 340	180 - 330	270 - 300	210 - 320
1m onder de gewasdraad = boven de goot (m)	2,80 m	2,45 m	2,75 m	2,60 m	2,10 m
Aantal lampen per tralie	4	2,5	3	3	3

2.2 Schermen

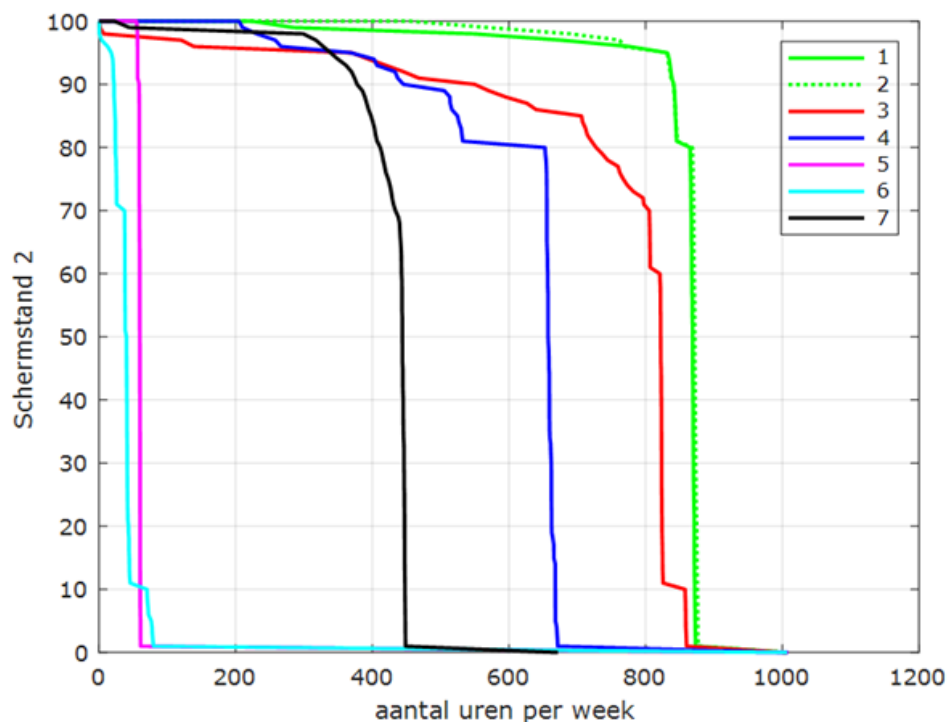
Tabel 3 Overzicht van de schermen die op de bedrijven aanwezig zijn.

	Bedrijf 3	Bedrijf 4	Bedrijf 5	Bedrijf 6	Bedrijf 7
Donkerscherm, type	Donkerdoek, 99%	Donkerdoek, 95%	Obscura, 10070 FR WB+BW	Donkerdoek, 99%	Donkerdoek, obscura 9950 FR W
Energiescherm, type	Energiedoek, luxous 1147	Energiedoek, luxous 1547 D FR	Zomerdoek, Harmony 2315 O FR (30% licht, 15% energie)	Energiedoek, Luxous 1147 FR	Energiedoek, RES 10 FR

Bij het telen onder full-LED is een energiescherm eerder rendabel dan bij SON-T. Vaak komt dit als 2^e scherm op een apart dradenbed. In Tabel 3 is te zien dat alle bedrijven een 2^e scherm hebben. Op bedrijf 5 is dit een zomerscherm. Op bedrijf 6 is het energiescherm op hetzelfde dradenbed gemonteerd als het donkerdoek, wat een beperking in gebruik geeft.

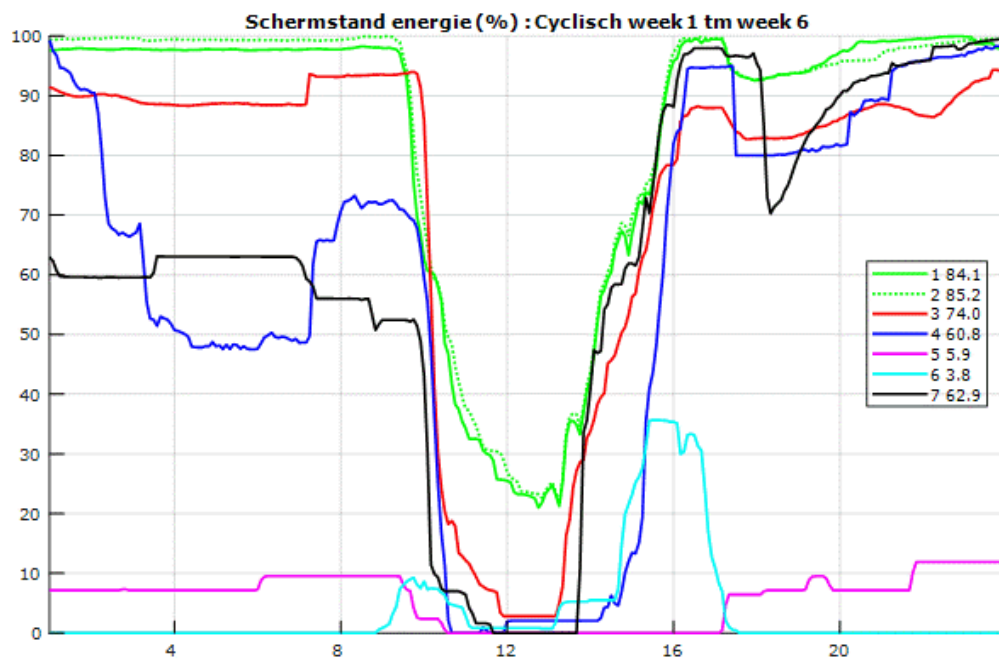
Het gebruik van de schermen en vooral het energiescherm verschilt per bedrijf. In Figuur 1 is een belastingduurkromme van het schermgebruik te zien van het 2^e scherm (energie) van week 1 t/m week 6 van 2024. Wat opvalt is het geringe schermgebruik van bedrijf 2 (zomerdoek als 2^e scherm) en bedrijf 5 (energiescherm op hetzelfde dradenbed als donkerdoek). In de verdampingsproef bij Delphy (Delphy 1 en 2) wordt zoals standaard in energie gerelateerde proeven meer geschermd dan in de praktijk.

Wat verder opvalt is dat bedrijven 3 en 7 het scherm bijna nooit volledig dicht hebben gehad, terwijl bedrijf 2 nog 200 van de 1008 uren het scherm voor 100% dicht heeft gehouden.



Figuur 1 Belastingduurkrommen van het 2^e scherm van week 1 t/m week 6 van 2024.

In Figuur 2 is een cyclische gemiddeld etmaal van het schermgebruik te zien over de periode week 1 t/m week 6 van 2024. Een schermstand van 50 betekent dat in de helft van de tijd het scherm op dat moment van de dag dicht is of met een kleine kier. Bedrijf 3 (rode lijn) schermt van alle bedrijven het meest.



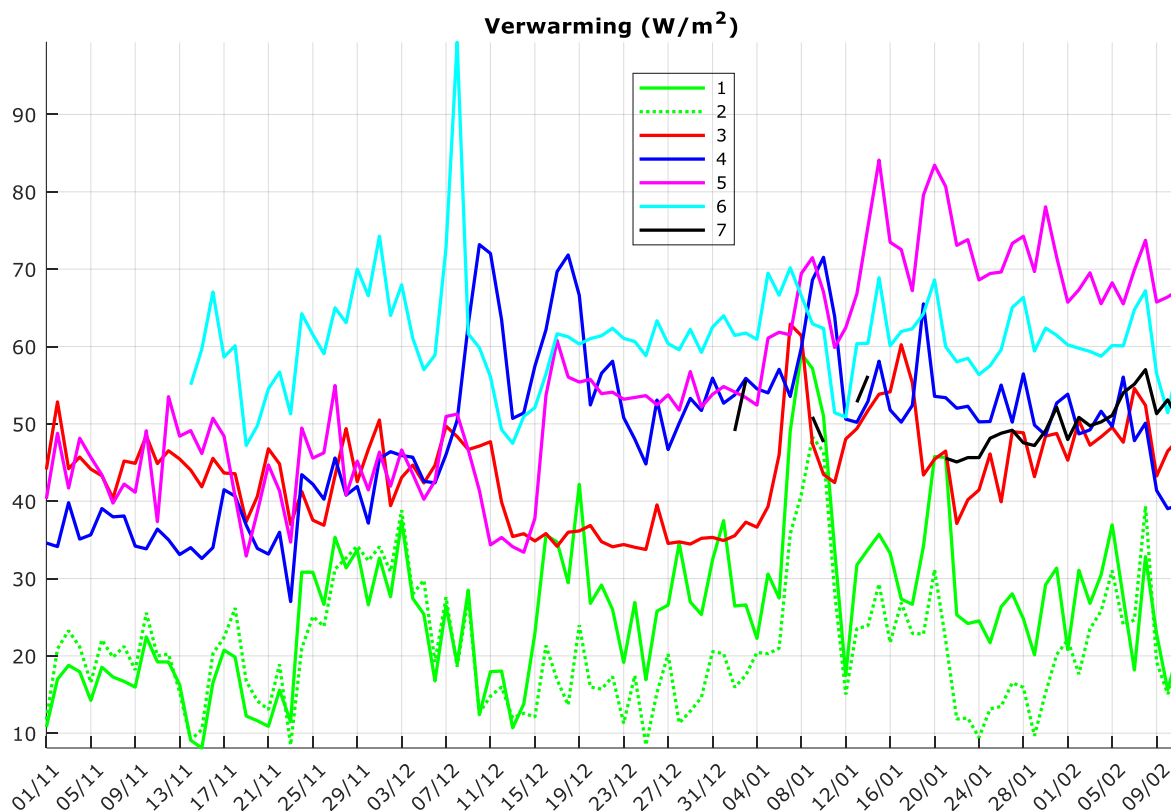
Figuur 2 Cyclisch gemiddeld etmaal van de stand van het 2^e scherm tijdens week 1 t/m 6 van 2024. In de legenda wordt de gemiddelde stand per dag aangegeven.

Het gebruik van het donkerdoek heeft op alle bedrijven een vast patroon. Het donkerdoek gaat bij alle bedrijven rond zon op open en even daarna ook het energiedoek. Dit is een actie wat tot op heden noodzakelijk is om de hommels hun werk te laten doen. Het is gebleken dat bij gesloten schermen met LED belichting de hommels hun oriëntatie kwijt zijn. De bloemen van de tomaat gaan na 13:00u meestal weer sluiten, wat betekent dat de hommels maar een korte tijd hebben voor de bestuiving van de bloemen. Meer onderzoek is noodzakelijk om het gedrag van hommels onder LED te begrijpen. Voor het klimaat en energiebesparing is het wenselijk dat het energiescherm langer dicht kan blijven. De ochtend rond 9:00u is toch vaak het koudste moment van de dag in de winter.

Het gebruik van het donkerdoek in de avond is sterk bedrijfsspecifiek. Waar de een kiest voor schermen sluiten en ramen openen om vocht af te voeren, kiest de ander voor een snellere afkoeling zonder scherm met eventueel een extra buis onderin om de vruchten warmer te houden.

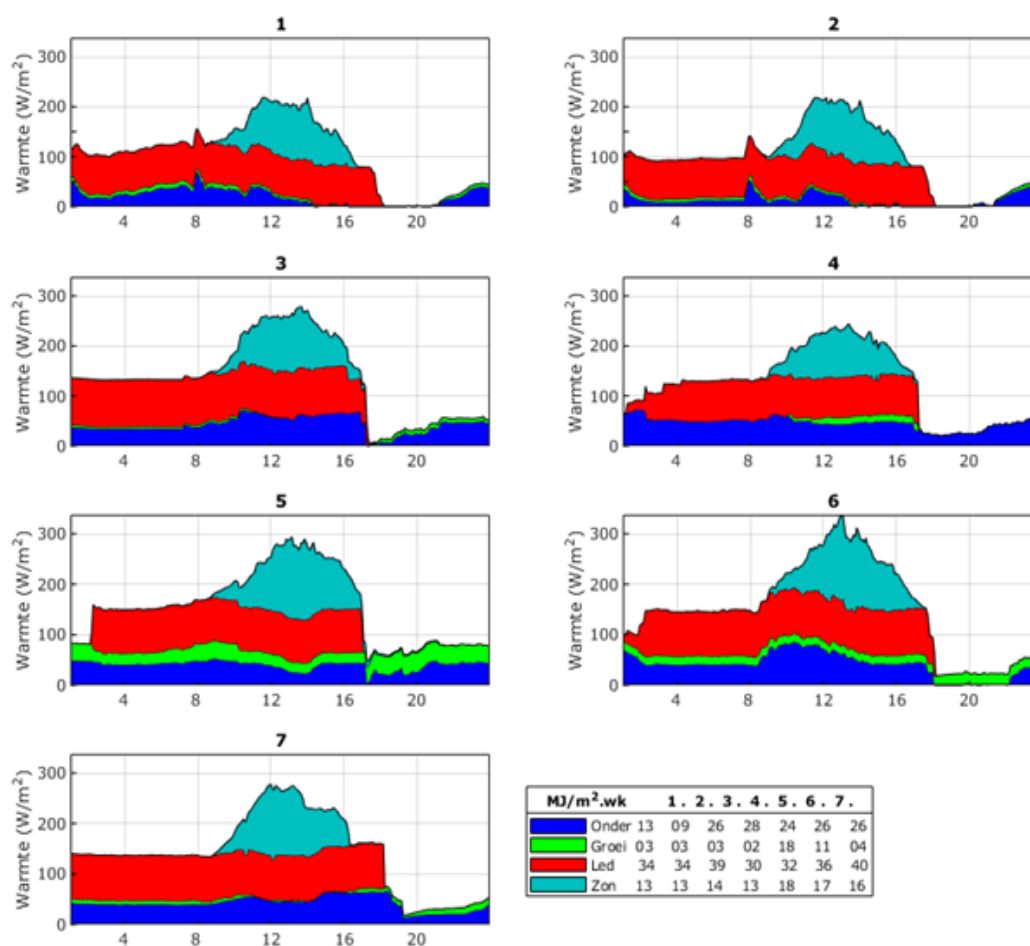
2.3 Buiswarmte

Het telen onder LED geeft minder temperatuur in de kas dan het telen onder SON-T. De besparing aan elektriciteit gaat bijna evenredig verloren aan het gebruik van de buiswarmte. In Figuur 3 is te zien dat de bedrijven met het minste schermgebruik (bedrijf 5 en 6) meer buiswarmte nodig hebben. Dit verschil wordt kleiner richting maart wanneer er minder warmte nodig is voor de temperatuur. Hieruit kan worden afgeleid dat de meeste buiswarmte wordt gebruikt voor de afvoer van vocht.



Figuur 3 Buisverwarming per dag.

Daarnaast komt naar voren dat de energiezuinige verdampingsproef bij Delphy maar de helft aan buiswarmte nodig heeft in vergelijking met de praktijkbedrijven. Op basis van deze gegevens is in absolute getallen nog een flinke besparing aan energie mogelijk als kan worden aangetoond dat de productie en kwaliteit bij Delphy niet onderdoet voor de praktijk. De kostprijs van warmte verschilt per bedrijf en is afhankelijk van de gekozen energiecontracten en de capaciteit van de WKK. De prijs van warmte is vaak leidend voor de te hanteren klimaatstrategie, wat betekent dat een lage warmteprijs een minimalisatie van het warmtegebruik niet stimuleert.



Figuur 4 Cyclisch gemiddelde van de warmte-inbreng in week 5 2024.

De totale warmte-input van zowel zon, LED en buiswarmte is in Figuur 4 te zien. De verschillende strategieën komen hier tot uiting. Waar bedrijf 6 in de ochtend een flinke input van buiswarmte geeft, geeft bedrijf 7 die aan het einde van de middag met gesloten scherm. Bedrijf 5 daarentegen heeft gedurende de hele dag veel buiswarmte om de vruchten warm te houden en zo de uitgroeiduur te beperken. Hier is ook te zien dat Delphy (1 en 2) in de middag en de avond geen buiswarmte gebruikt en met meer gesloten schermen (Figuur 2) de temperatuur probeert vast te houden.

In de groep leverde het vooral discussie op waar nu de warmte gegeven moet worden. Waar zet je de beschikbare warmte op een efficiënte manier in? Het verwarmingsnet bestaat doorgaans uit 2 netten: de buisrail en een groeinnet dat op een vaste plek bij de rijpende vruchten hangt. Het meest wordt de buisrail gebruikt voor verwarming en de groeibuis als uitkoeling van de WKK. Gezien het vochtigere klimaat bij teelt onder LED moet het gebruik en de hoogte van de groeibuis worden heroverwogen. In het vochtige klimaat krijg je gemakkelijk koude plekken in het gewas met condensatie als gevolg. Onderzocht zal moeten worden waar de warmte bij de teelt onder LED het meest nuttig gebruikt kan worden: bij de kop dan wel bij de uitgroeierende, net gezette vruchten of toch bij de rijpende vruchten. Zeker bij de grove tomaten loopt de uitgroeiduur gemakkelijk op. Snelheid op de vruchten wordt daar gemist. De cocktail tomaten blijven makkelijk wat aan de kleine kant. Warmte is één van de stuurmiddelen om assimilaten te verdelen.

2.4 Verticale temperatuurmeting

Een LED lamp heeft een andere verhouding in PAR en warmtestraling dan de oude vertrouwde SON-T lamp. Bovendien is voor LED minder elektriciteit nodig. Beide eigenschappen van LED zorgen voor een lagere verhouding tussen temperatuur en PAR, waardoor meer buis nodig is en meer wordt geschermd. Dat heeft invloed op het verticale temperatuurprofiel. Om dat te meten, is op de bedrijven een temperatuur- en relatieve luchtvochtigheidsmeting uitgevoerd op verschillende hoogtes.

Deze meting is uitgevoerd met niet-geventileerde dataloggers (MicroLite III Temp. RH logger: LITE5032L-RH-A). Er is per bedrijf op een representatieve plaats in de kas op 4 verschillende hoogtes een logger opgehangen (Afbeelding 1):

- net boven de mat in de vrije ruimte onder het gewas
- in de buik van de plant tussen het bladpakket bij de uitgroeiende vruchten
- in de kop van de plant bij de bloeiende tros
- boven het gewas in de vrije ruimte

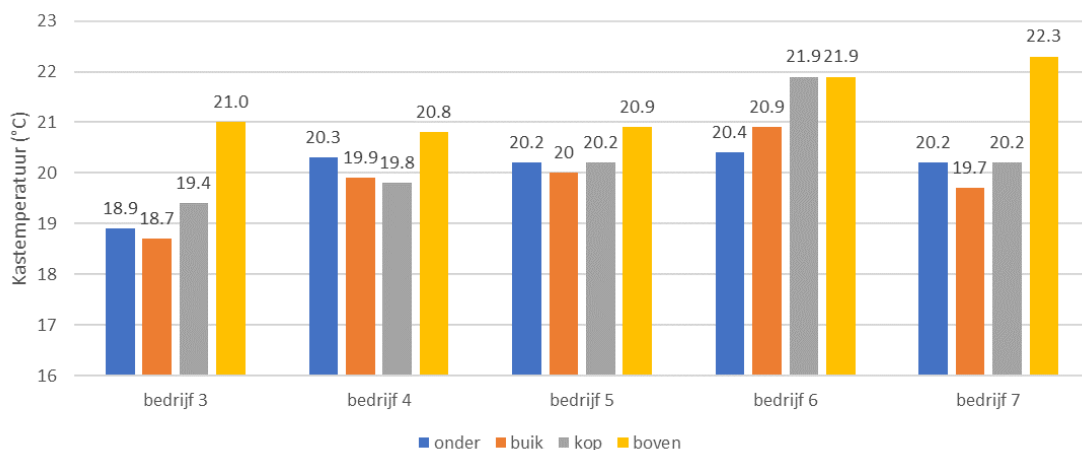
Niet-geventileerde loggers hebben als nadeel dat wanneer de zon erop schijnt, deze een hogere temperatuur aangeven dan het in werkelijkheid is. De metingen zijn uitgevoerd in de winterperiode wanneer de zon nauwelijks kracht heeft. Er zou alleen op sommige dagen wat beïnvloeding kunnen zijn van de bovenste meting.



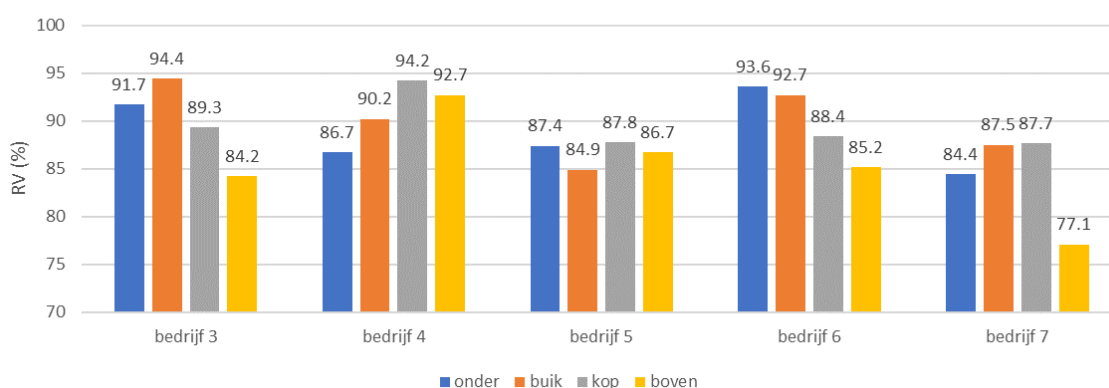
Afbeelding 1 MicroLite sensoren boven en tussen het gewas.

De verschillen per bedrijf zijn groot. De algemene trend zoals in Figuur 5 te zien is, is dat de temperatuur in de buik van de plant het laagst is, wat in combinatie met een hoge relatieve luchtvochtigheid (Figuur 6) op die plek tot schimmelproblemen kan leiden. Op enkele bedrijven is kroonschimmel dan ook als probleem ervaren. De temperatuur onderin is wat hoger door de warmte die gegeven wordt via de buisrail. Boven het gewas is het gemiddeld wat warmer en droger door de warmte van de lampen en een gesloten scherm. Gevaar is dat er een soort warme deken boven in de kas ontstaat, waardoor het vocht wordt 'opgesloten' en de afvoer van overtollig vocht wordt belemmerd. Dat is met deze metingen niet aangetoond

Een verticaal temperatuurverloop dat gelijk is op verschillende hoogte is, is de meest ideale situatie. Er kan dan met een gemiddeld hogere RV geteeld worden zonder dat er condensatie ontstaat op de koudste plek. Het creëren van luchtbeweging zowel verticaal als horizontaal kan het temperatuurverschil verkleinen. Luchtbeweging geeft ook meer verdamping, wat enerzijds positief kan zijn voor de nutriënten aanvoer, maar ook meer vocht in de kas brengt. Het afvoeren van dat vocht vergt warmte. In welke mate en op welke plaats de luchtbeweging in het gewas moet worden gestimuleerd is een vraag die moeilijk te beantwoorden is en daarom een veel uitgebreider onderzoek vergt dan in deze monitoring mogelijk is.

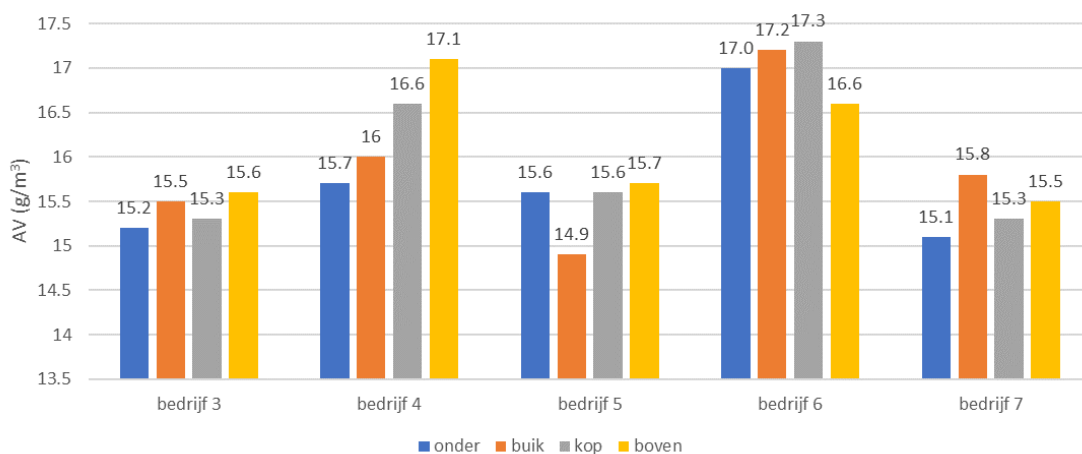


Figuur 5 Gemiddelde temperatuur (°C) op diverse hoogtes tussen 13 januari en 11 februari 2024.



Figuur 6 Gemiddelde RV (%) op diverse hoogtes tussen 13 januari en 11 februari 2024.

Bij voldoende luchtbeweging in de kas zou de absolute luchtvochtigheid (AV) overal vrijwel gelijk moeten zijn. Dat blijkt niet overal het geval te zijn. Opvallend is dat bij bedrijf 4 de AV boven het gewas zelfs hoger is dan in het gewas, terwijl de bron van het vocht in het gewas zit en de afvoer van het vocht boven het gewas plaats zou moeten vinden. Mogelijk dat hier te weinig afvoer van vocht naar de bovenkant van de kas.



Figuur 7 Gemiddeld absoluut vocht (g/m³) op diverse hoogtes tussen 13 januari en 11 februari 2024.

De metingen die met deze loggers zijn gedaan geven een indicatie van het verticale profiel. Een exactere meting met geventileerde sensoren, die realtime uitgelezen kunnen worden, is aan te bevelen om hardere conclusies te kunnen trekken over het profiel. Daarnaast waren er nu enkele onverklaarbare verschillen tussen de gemeten waarde van de sensoren en de meetbox.

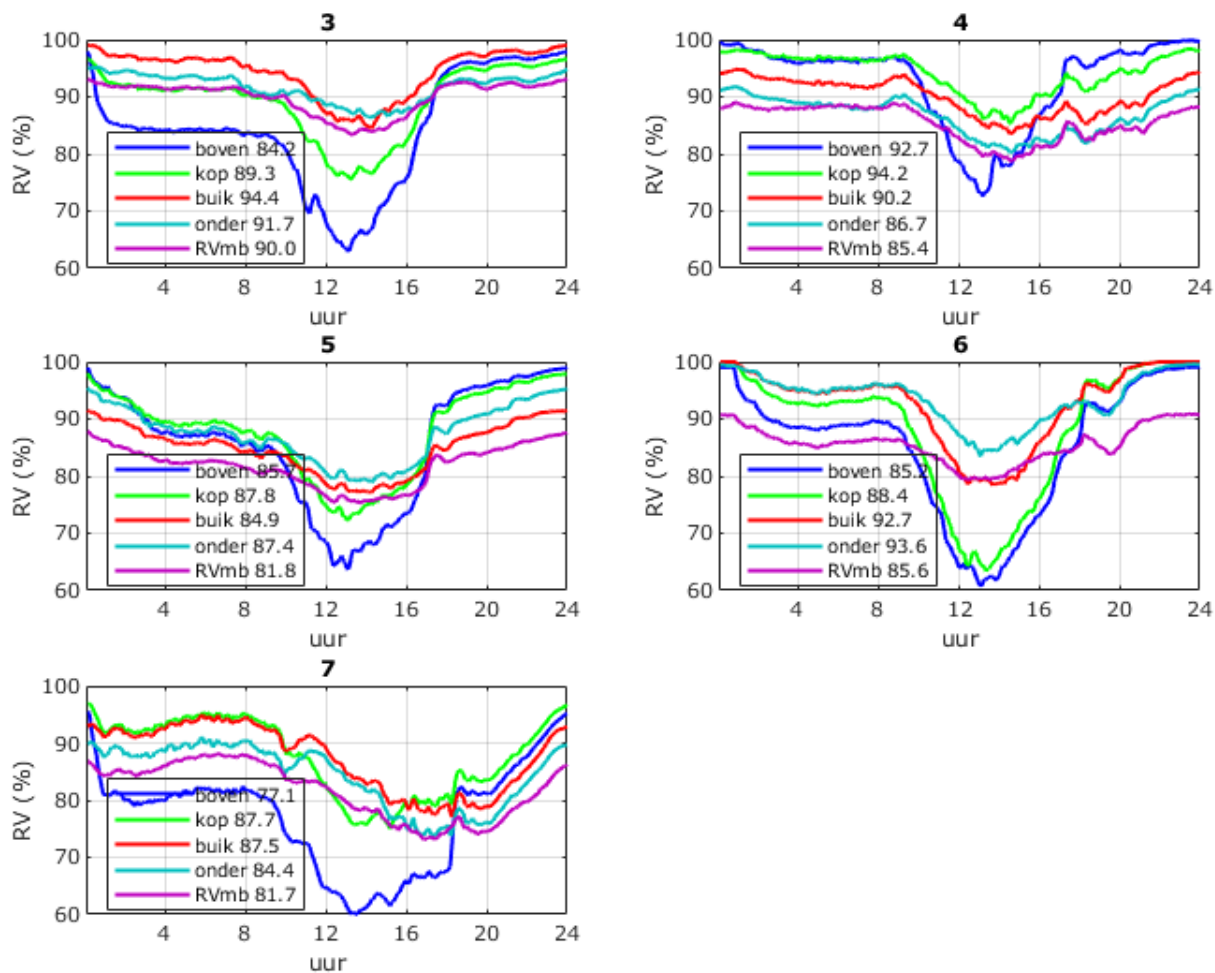
Dat blijkt uit Figuur 8, waarin een cyclisch gemiddeld etmaal is weergegeven voor de RV van de meetbox in de afdeling en de 4 dataloggers die boven elkaar hangen. Bij alle bedrijven is de blauwe lijn (logger boven het gewas) overdag en soms ook tijdens de belichte nacht lager dan de andere meetwaarden. De groene lijn (logger bij de kop van het gewas) volgt hierin. Doordat de hoogte van de kop van het gewas tijdens de teelt varieert, kan deze logger soms beschaduwd worden door bladeren en soms in het volle licht terechtkomen.

De meetbox die is gekoppeld aan de klimaatcomputer (paarse lijn) geeft in de onbelichte nacht bij alle bedrijven een lagere RV aan dan alle loggers. Mogelijk heeft dit te maken met het niet geventileerd zijn van de loggers, waardoor deze kouder kunnen worden dan de kaslucht. En mogelijk trekt de geventileerde meetbox relatief meer droge lucht van boven in de kas aan. In ieder geval is het een opvallend verschijnsel dat de RV dan zo veel hoger blijkt te zijn dan verondersteld.

Tijdens de belichte nacht verschillen de bedrijven onderling sterk in het verticaal RV-profiel:

- Bedrijf 3 heeft de hoogste RV in de buik en de laagste RV boven het gewas;
- Bedrijf 4 heeft de hoogste RV boven het gewas en in de kop, en de laagste RV bij de meetbox en onder het gewas;
- Bedrijf 5 heeft de hoogste RV bij de kop en de laagste RV boven het gewas;
- Bedrijf 6 heeft de hoogste RV in de buik en onder in het gewas, en de laagste RV bij de meetbox;
- Bedrijf 7 heeft de hoogste RV in de buik en bij de kop van het gewas en de laagste RV boven het gewas.

Er is geen verklaring gevonden voor deze verschillen.

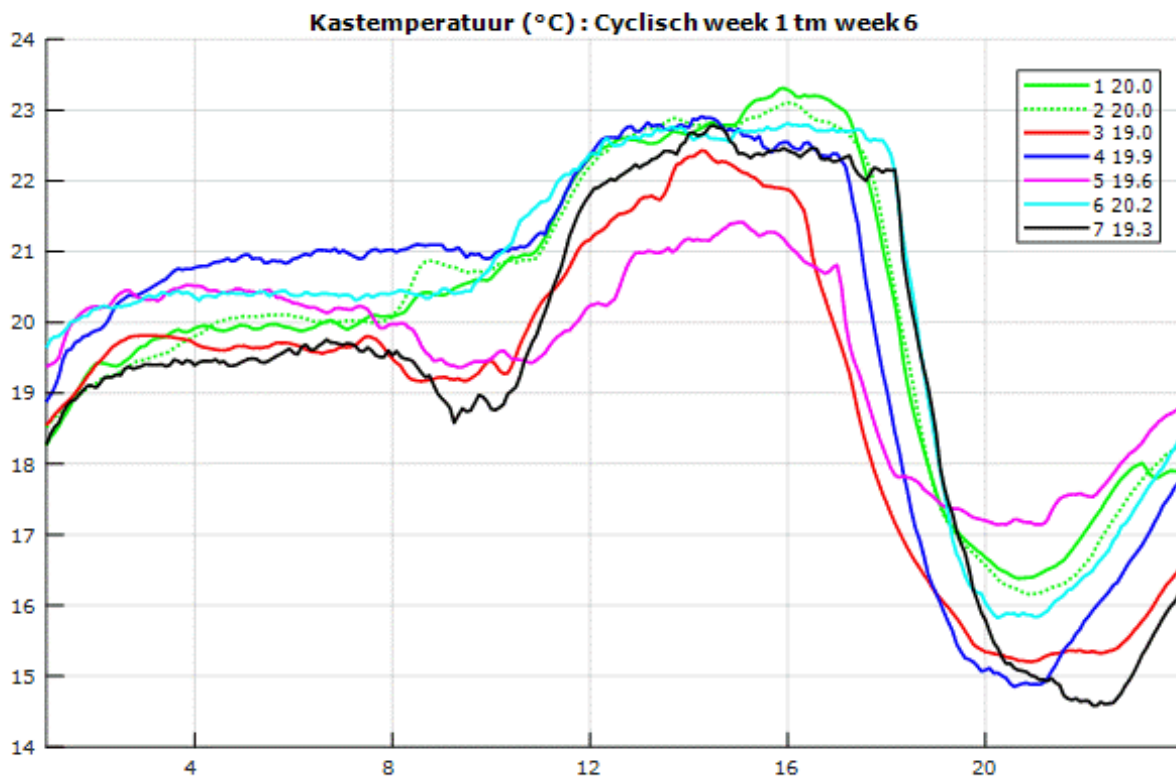


Figuur 8 Cyclisch gemiddeld etmaal van de RV (%) van de 4 dataloggers en de meetbox (RVmb) van de 5 bedrijven.

2.5 Kasklimaat

2.5.1 kasttemperatuur

Het klimaat in de kas is de resultante van de reactie op het buitenklimaat met luchtramen, scherm, buis en lampen. De bedrijven hebben ieder afzonderlijk een eigen manier van telen, vaak voortgekomen uit ervaringen uit het verleden. Waar de ene teler positieve ervaringen heeft met een ochtenddip in de kasttemperatuur, gaat de andere teler meer voor een koudere voornacht.



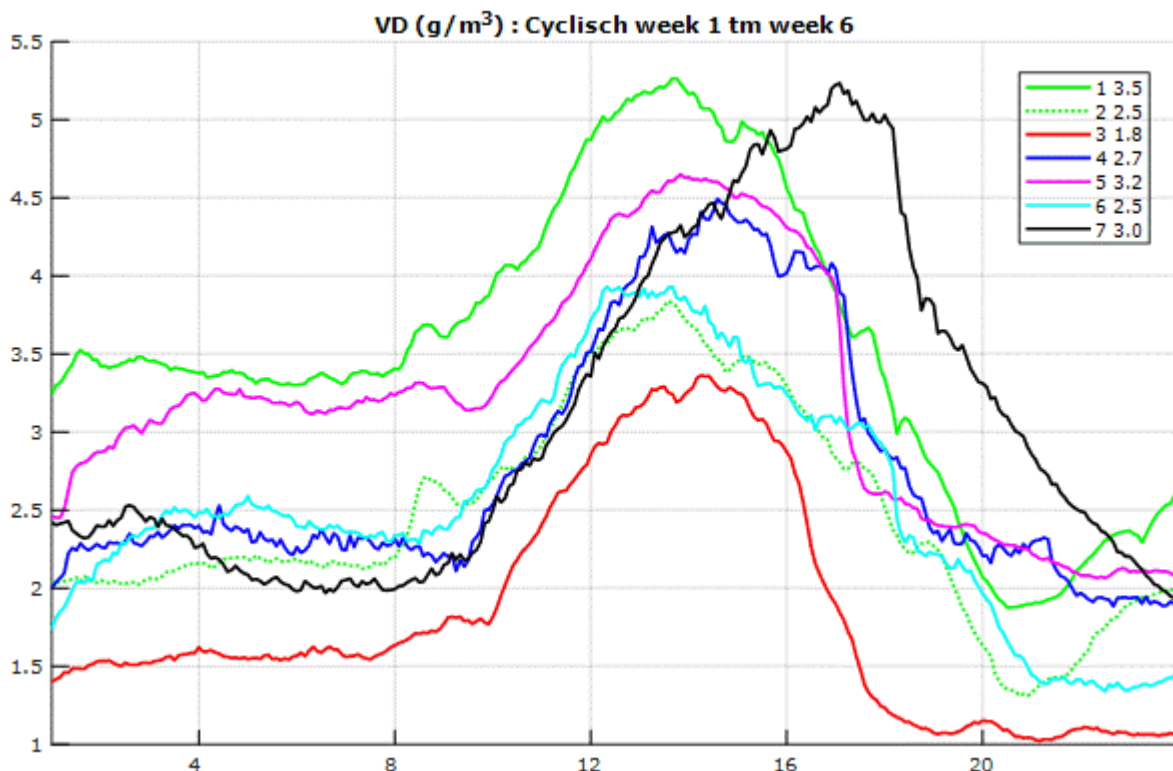
Figuur 9 Het cyclisch verloop van de kasttemperatuur van week 1 t/m week 6 2024. De legende geeft tevens het etmaalgemiddelde aan voor de betreffende bedrijf.

In Figuur 9 zijn de verschillende strategieën te zien. De lampen gaan bij alle bedrijven even na middernacht aan. Rond die tijd moet de plant op temperatuur zijn om condensatie te voorkomen. De aangehouden temperatuur is afhankelijk van de stand van het gewas en voornamelijk de stand van de kop. Na zon op (ca. 8:00 uur) als eerst het donkerscherm open gaat en vrij kort daarna het energiescherm (vanwege de bevlieging door de hommels), zie je verschillen ontstaan. Bedrijf 4 en 6 streven geen ochtenddip na en blijft de temperatuur gelijk evenals in de verdampingsproef bij Delphy. Bij bedrijf 3, 5 en 7 is er wel een ochtenddip in de temperatuur. Na 10:00u gaat de temperatuur stijgen als gevolg van meer instraling door de zon en in sommige gevallen een hogere buistemperatuur. Behalve bij bedrijf 5, die wat vlakker over de dag teelt, gaat bij de overige bedrijven de temperatuur naar gemiddeld 22 -23 graden. Vanaf 14:00u gaat bij sommige bedrijven het energiescherm weer dicht afhankelijk van de buitencondities. Na ca. 16:00u ontstaan ook grote verschillen. Waar bedrijf 3 de temperatuur weg laat zakken, houden bedrijven 6 en 7 de dagtemperatuur vast tot na 18:00u en koelen in vrij korte tijd af naar de voornachttemperatuur. Na ca 21:00u stijgen de temperaturen door buisverwarming weer langzaam naar de streef temperatuur van de belichte nacht.

2.5.2 Vochtdeficiet

Waar de temperatuur vrij eenvoudig is te reguleren, is dat met het vocht veel ingewikkelder. In Figuur 10 is het verloop van het vochtdeficiet (VD) te zien. Het verloop van deze lijnen verschilt per bedrijf nog meer dan die van de kasttemperatuur (Figuur 9). Allereerst de verdampingsproef bij Delphy, daar wordt in 2 afdelingen identiek geteeld met alleen een verschil in het VD-setpoint: een droge afdeling (praktijkconform) en een vochtige afdeling. Het blijkt dat bedrijf 3 en 6 net zo vochtig telen zo niet vochtiger dan in de vochtige afdeling uit de proef.

Het uur van de dag dat het VD piekt, verschilt per bedrijf. Bij de proefkassen 1 en 2 en bij bedrijven 3, 4, 5 en 6 is dat in het begin van de middag, wanneer het scherm nog open is. Bij bedrijf 7 is dat pas rond 17:00u wanneer het scherm al dicht is en met de ramen een stuk open nog veel vocht afvoert. Figuur 10 laat ook zien dat bedrijf 5 die geen energiescherm heeft en veel buisverwarming gebruikt, in de belichte nacht een hoger vochtdeficiet heeft dan de overige bedrijven.



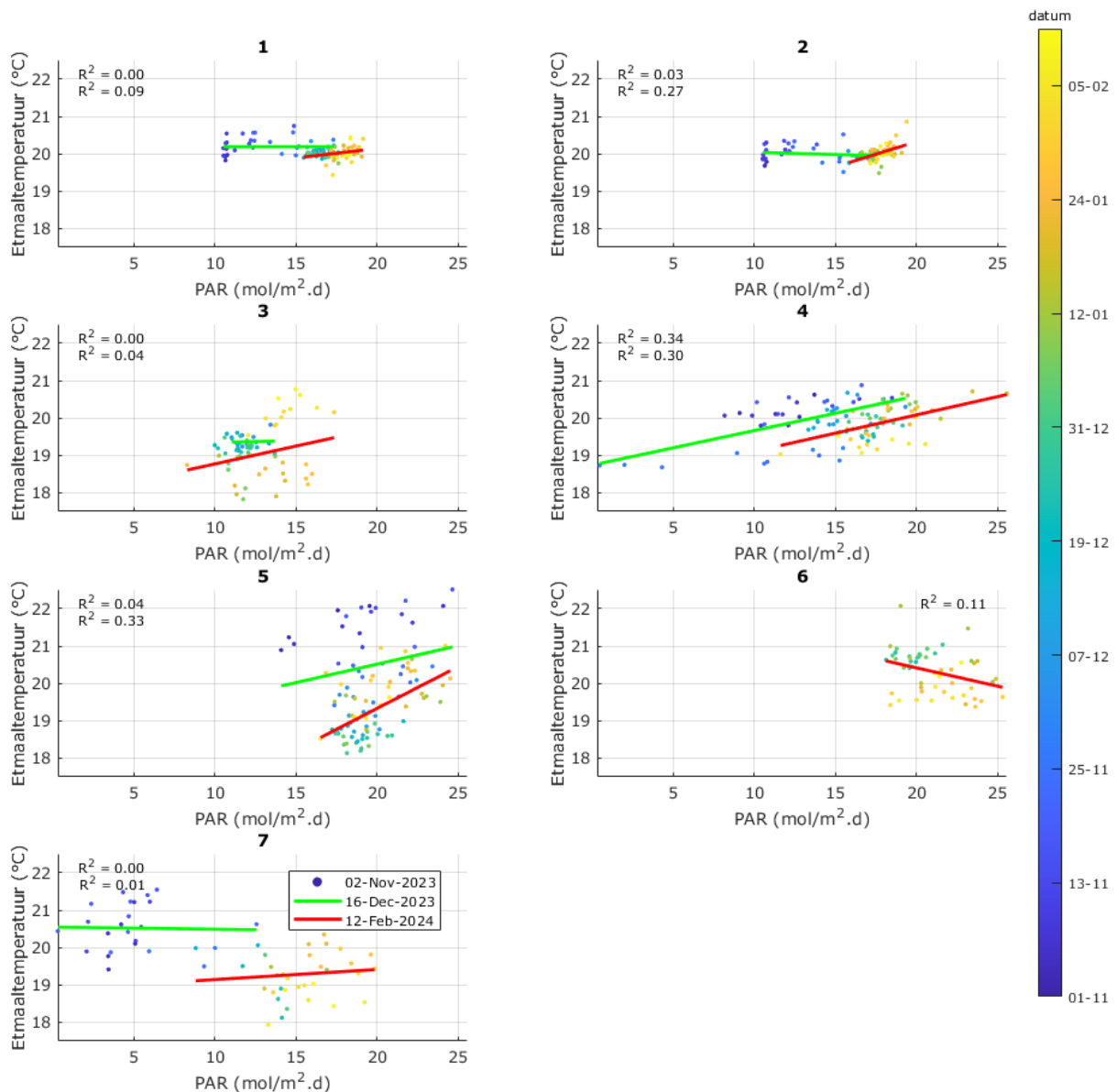
Figuur 10 Het cyclisch verloop van het vochtdeficiet (VD in g/m³) van week 1 t/m week 6 2024. De legende geeft tevens het etmaalgemiddelde aan voor de betreffende bedrijf.

Hoe vochtig mag en kan er geteeld worden? Die vraag is niet met een vast getal aan te geven, blijkt uit de verschillen tussen de bedrijven. Bedrijf 3 (gemiddeld vochtdeficiet van 1.8 g/m³) teelt heel vochtig. Het bedrijf heeft een beperkte beschikking over warmte, schermt heel veel en weet toch (Figuur 12) een goede wateropname te realiseren. Het bedrijf heeft wel wat last van schimmelvorming, maar weet deze goed onder controle te houden. Bedrijf 5 (gemiddeld vochtdeficiet 3.2 g/m³) daarentegen teelt vrij droog, gebruikt veel buis, geen energiescherm en realiseert toch een iets lagere wateropname. De planten op dit bedrijf hebben veel last van bladrandjes.

2.5.3 Ratio temperature to radiation (RTR)

De hoogte van de aangehouden temperatuur leidt tot discussie. Enkele telers zeggen aan de hand van de stand van de kop dat de temperatuur zeker niet omhoog kan, terwijl bij gelijkblijvende stengeldichtheid en hogere PARsom de temperatuur omhoog zou moeten om dezelfde RTR (ratio temperature to radiation) te houden.

Uit Figuur 11 blijkt dat in de proefkassen van Delphy (1 en 2) de etmaaltemperatuur nauwelijks een correlatie had met de PARsom. Begin 2024 was dat nog wel enigszins het geval (R^2 van 0.09 respectievelijk 0,27). Ook bij de meeste gemonitorde bedrijven werd (gezien de grote verspreiding in de puntenwolken) geen strakke RTR aangehouden. Bij bedrijf 6 bleek de RTR lijn zelfs dalend te zijn. Bij Bedrijf 4 was de correlatie tussen PARsom en etmaaltemperatuur het grootst (R^2 van 0,34 in 2023 en R^2 van 0,3 begin 2024).

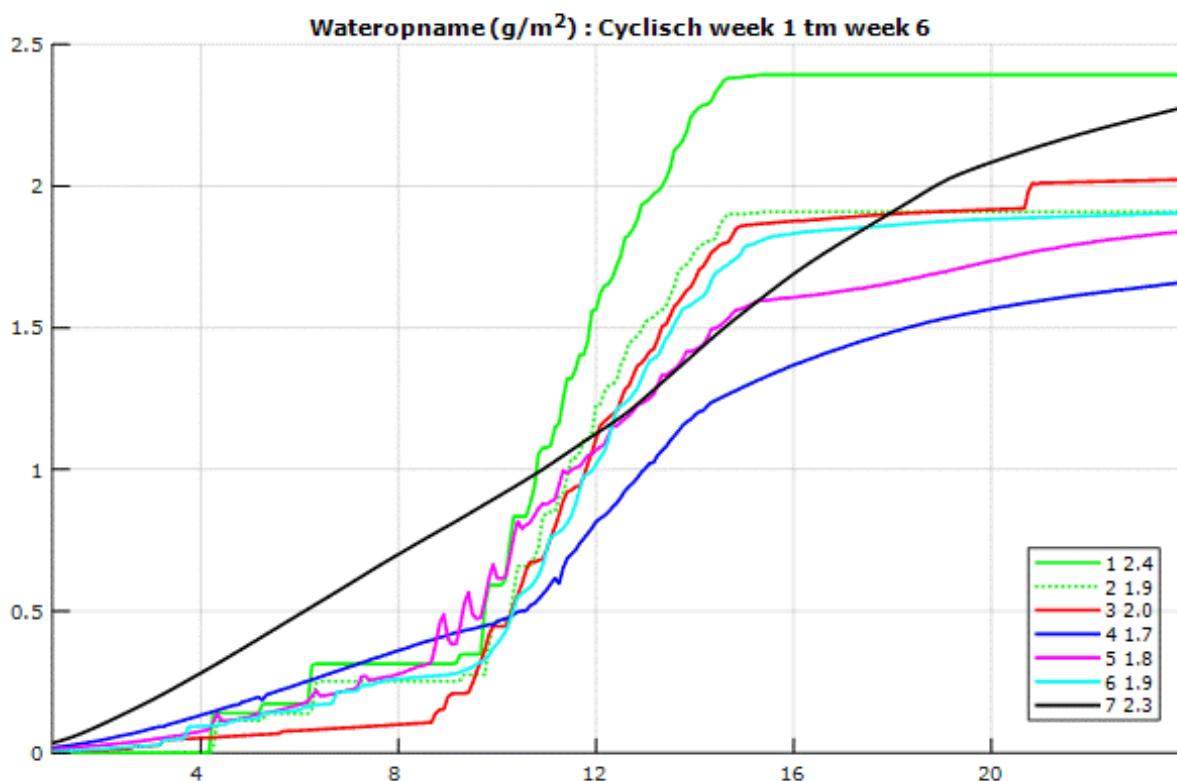


Figuur 11 De gerealiseerde RTR (Etmaaltemperatuur uitgezet tegen PARsom per etmaal) van 2 november tot 16 december (lichtgroene lijn) en van 16 december tot 29 februari (rode lijn) op 7 afdelingen. De kleur van de stippen staat voor de datum, dus blauwe stippen zijn tijdens het begin van de teelt, en groen/gele stippen zijn van begin 2024).

2.6 Verdamping

Verondersteld wordt dat het gewas onder LED minder verdampt dan onder dezelfde PAR intensiteit met SON-T. Over wanneer de gewasverdamping beperkend is voor een optimale groei zijn nog weinig richtlijnen.

Verdamping is een gevolg van het saldo van door straling en convectie toegevoegde en afgevoerde energie, licht is daar een (belangrijk) onderdeel van, maar 's nachts wordt verdamping vooral gestimuleerd door een hoog VD, verwarming, luchtbeweging en scherming (omdat het de afkoeling door uitstraling verlaagt).

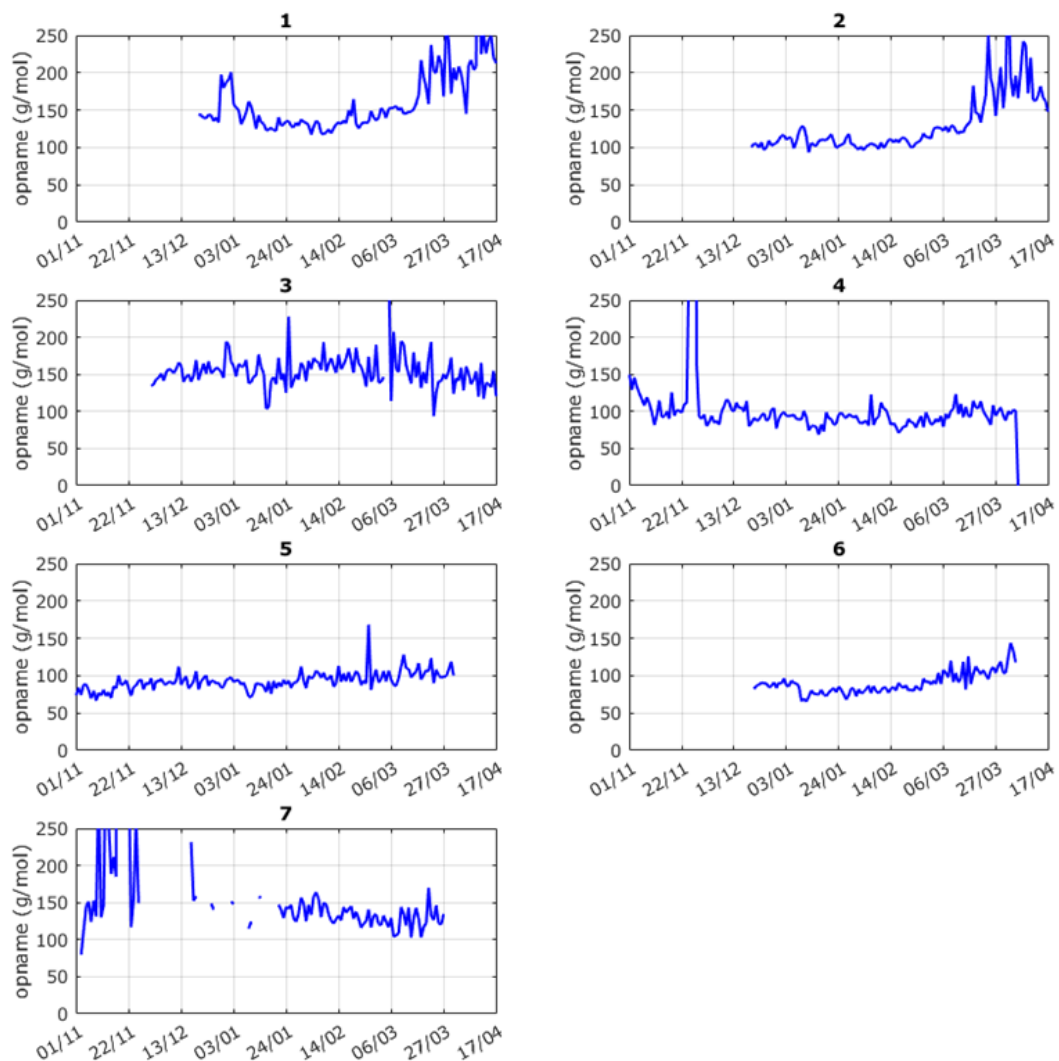


Figuur 12 Cyclisch etmaalgemiddelde cumulatieve wateropname van week 1 t/m week 6 2024. De legende geeft tevens het etmaalgemiddelde aan voor de betreffende bedrijf.

Het meten van de verdamping is niet eenvoudig. Aan de hand van de gegevens van de watergift, drain, plantgewicht en matgewicht kan de verdamping berekend worden. Bij de deelnemende bedrijven in de monitoring worden deze gegevens niet allemaal gemeten. Er is hier gekozen om de wateropname (verschil tussen gift en drain) als maat voor de verdamping te nemen. Ca. 85% van het water dat wordt opgenomen wordt gebruikt voor verdamping. Wat het niet eenvoudig maakt in de vergelijking is dat de verschillende klimaatcomputers de watergift en drain verschillend registreren. De verschillen lijken niet zo groot, maar tussen bedrijf 4 en 7 is het verschil 25% in wateropname (Figuur 12). Ook lijkt de verdeling van de wateropname bij bedrijf 7 veel gelijkmatiger te zijn dan bij de meeste andere bedrijven. Een duidelijke oorzaak hiervoor is niet gevonden, doordat de gemeten wateropname een resultante is van veel factoren (o.a. ras, energiegebruik en nauwkeurigheid van de meting).

Er zijn op de bedrijven geen gebreksverschijnselen waargenomen door een tekort aan verdamping, terwijl een aantal telers in de evaluatie wel aangaf het gevoel te hebben dat de verdamping te weinig zou zijn geweest. In vergelijking met een teelt onder SON-T wordt er minder water gegeven.

De wateropname in relatie tot de hoeveelheid licht wordt getoond in Figuur 13. In het onderzoek (PPS verdamping, Figuur 13 afdeling 1 en 2) worden getallen berekend van 100 g/mol PAR licht als ondergrens voor de opname. Op de bedrijven 4, 5 en 6 is de verdamping per mol licht lager, echter dit heeft geen zichtbare afwijkingen veroorzaakt.



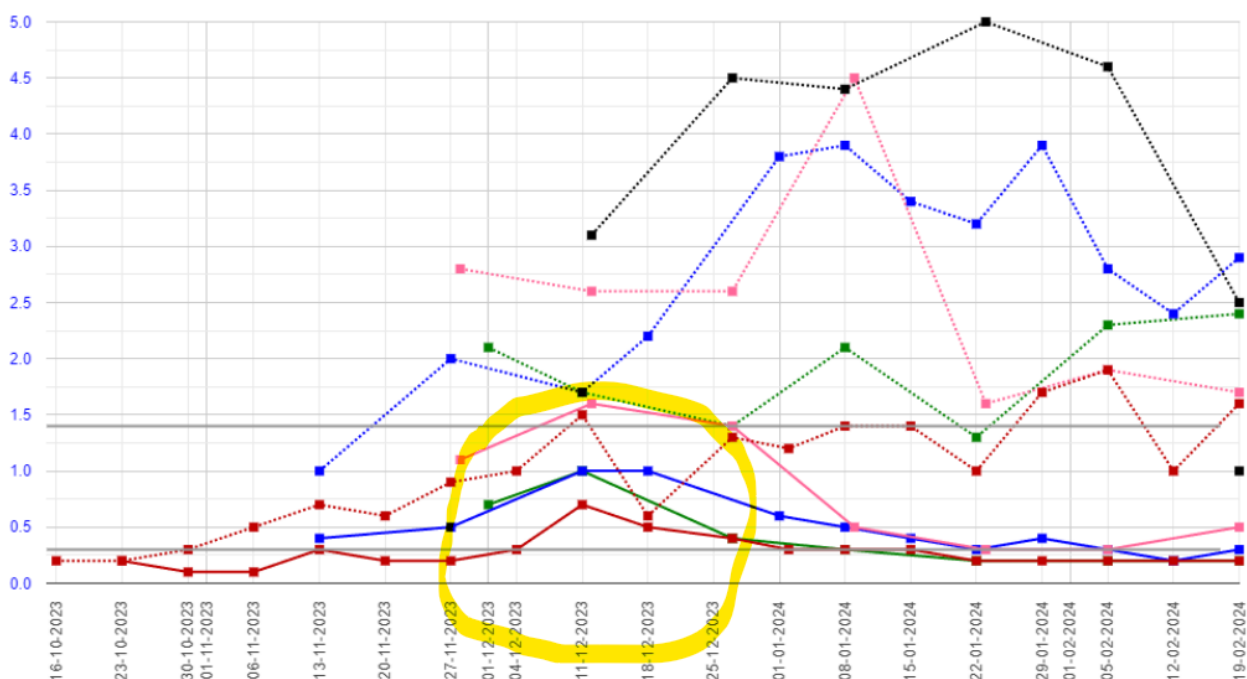
Figuur 13 Wateropname in grammen per mol licht.

2.7 Nutriënten

De veranderde wateropname bij de teelt onder LED heeft ook gevolgen voor de nutriëntenopname. In de monitoring zijn er wekelijks gift en drainanalyses uitgevoerd. Daarnaast zijn er iedere 2 weken plantsapanalyses gedaan van jong en oud blad.

De gemeten concentraties en hoeveelheden gift en drain zijn door Normec Groen Agro Control geanalyseerd. Kort samengevat kun je met de hoogte van de stikstofgift de opname van kalium en calcium beïnvloeden, waarmee je met een verminderde wateropname toch voldoende kalium en calcium in de plant kunt krijgen. Diverse adviesbureaus hebben daar nog een verschil van inzicht over. Het zou voor de telers van belang zijn om deze inzichten te bundelen en tegenstrijdige adviezen eruit te filteren.

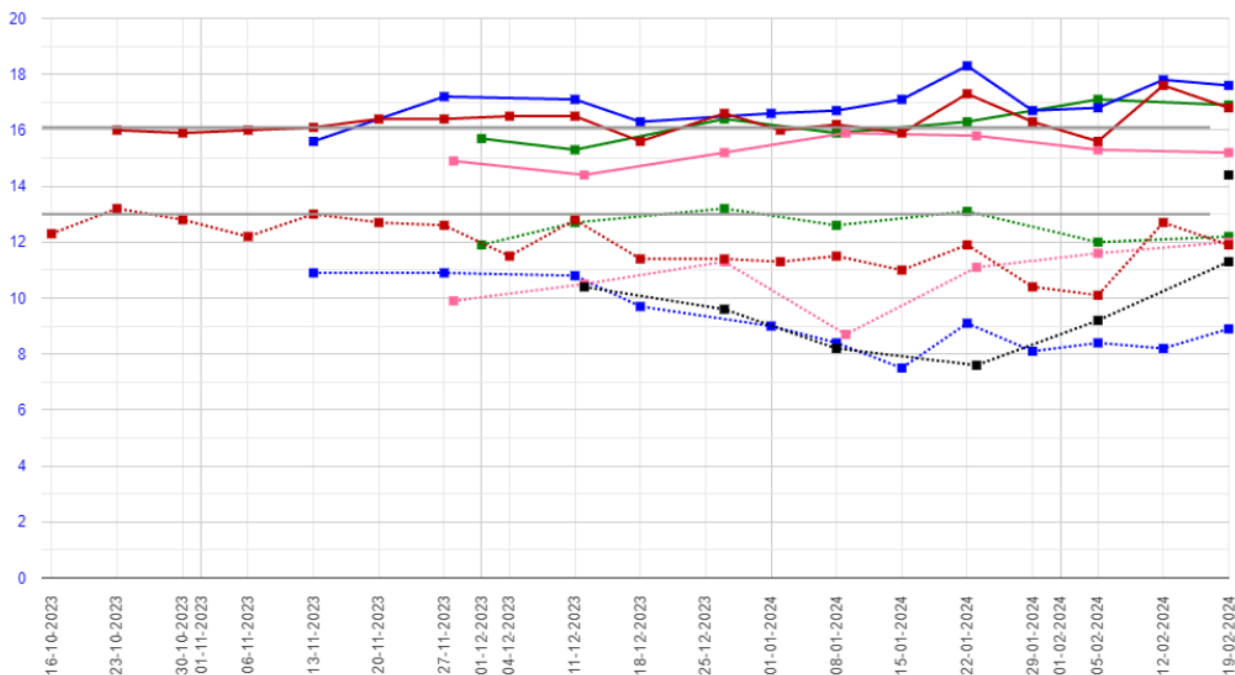
De plantsap metingen zijn door NovaCropControl geanalyseerd. Deze analyses geven een grote hoeveelheid info. Een paar algemene kenmerken voor de teelt onder LED die uit de plantsap-analyses naar voren komen, uiten zich in het suikergehalte (in %) en de EC (mS/cm) van de jonge en oude bladeren. Het suikergehalte is met name hoog in de oude bladeren in december (Figuur 14). Het suikergehalte in de jonge bladeren lijkt een normaal verloop te hebben. Dit duidt erop dat, de suikers onder invloed van het hogere lichtniveau wel worden aangemaakt, maar onvoldoende worden herverdeeld. Dit uit zich in vegetatieve groei. Tevens worden de oude bladeren met aangemaakte suikers van de plant geplukt, terwijl de suikers via de vruchten te gelden zouden moeten worden gemaakt.



Figuur 14 Het suikergehalte (in %) in jonge (stippellijn) en oude bladeren (doorgetrokken lijn), waarbij bedrijf 3 blauw, bedrijf 4 rood, bedrijf 5 roze, bedrijf 6 zwart en bedrijf 7 groen is.

De EC in de jonge bladeren is laag op de bedrijven (Figuur 15). Dit is het effect van een lage verdamping, aldus NovaCropControl. In de oudere bladeren is de EC op de streefwaarde. De verdamping over de hele plant en dus ook van de oudere bladeren zorgt ervoor dat oudere bladeren voldoende nutriënten hebben.

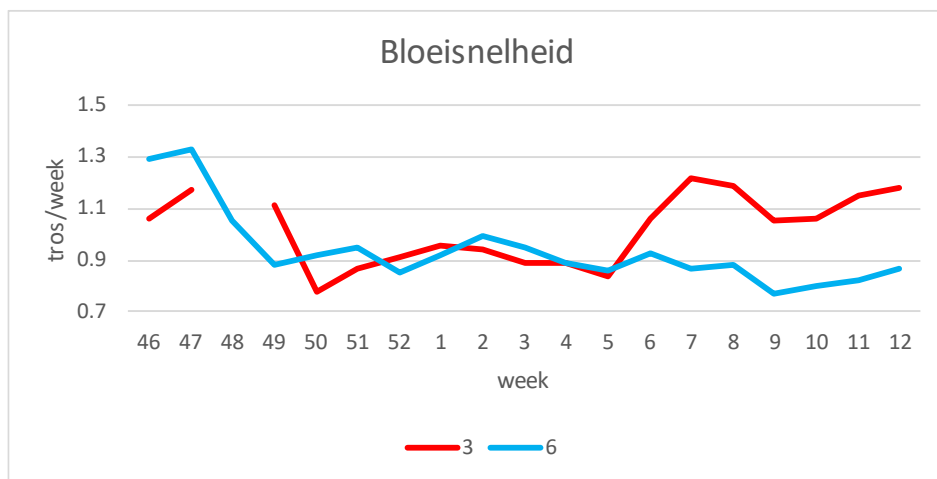
Herverdeling van nutriënten en suikers onder LED is een punt wat nader onderzocht moet worden. Dit lijkt nu de belangrijkste belemmering in de hoogte van de productie onder LED, wat op basis van het lichtniveau zou mogen worden verwacht.



Figuur 15 EC (in mS/cm) in de jonge (stippellijn) en oude bladeren (doorgetrokken lijn), waarbij bedrijf 3 blauw, bedrijf 4 rood, bedrijf 5 roze, bedrijf 6 zwart en bedrijf 7 groen is.

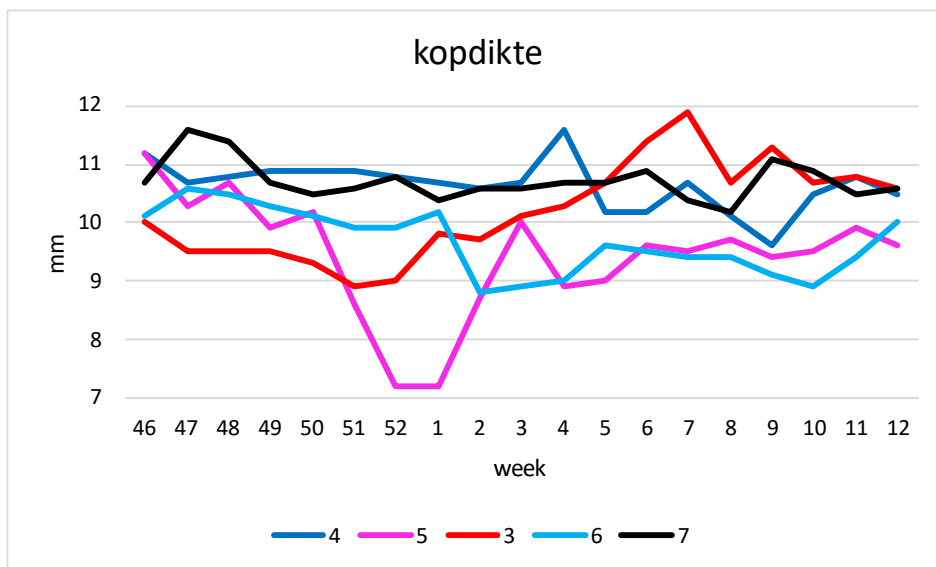
2.8 Gewassenmerken

In de monitoring zijn er elke week filmpjes van het gewas gemaakt en met elkaar gedeeld. Om de stand van het gewas in getallen uit te drukken zijn er elke week van een aantal telplanten diverse kenmerken vastgelegd. Dit is overigens bij veel telers al gemeengoed in een data gedreven teelt. Veel kenmerken als bloeiselheid, lengtegroei, zettingssnelheid, kopdikte, bladbreedte, bladlengte, uitgroeiduur, hebben invloed op elkaar. Een trage bloeiselheid kan het gevolg zijn van een lange uitgroeiduur, wat dan weer een dunne kop als gevolg kan hebben. Lange, brede bladeren is een teken van vegetatieve groei, wat ook weer voor een lange uitgroeiduur kan zorgen. Daarnaast heeft kastemperatuur veel invloed op de ontwikkelingssnelheid van de plant. Zo heeft bedrijf 3 een hogere bloeiselheid vanaf week 5 (Figuur 16) vanwege het feit dat zij een hogere kastemperatuur hebben aangehouden met het toenemen van het licht wat van buiten komt. Dit in tegenstelling tot de overige bedrijven die niet met het toenemen van het licht de temperatuur verhoogd hebben uit de veronderstelling dat het gewas makkelijk te schraal gaat worden richting het voorjaar en zomer.



Figuur 16 Bloeiselheid bij bedrijf 3 en 6 vanaf week 46 in 2023 tot en met week 12 in 2024.

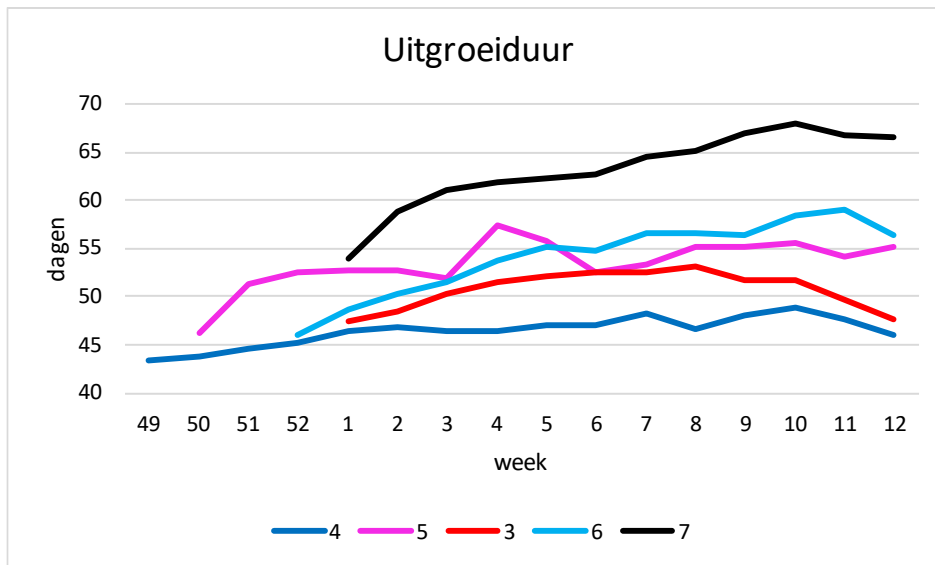
Kopdikte wordt over het algemeen gezien als een maat voor de balans van de plant. Bij bedrijf 5 (Figuur 17) was door het niet snoeien van de trossen (los geoogst) een hoge plantbelasting ontstaan. Een dunne kop is dan het gevolg.



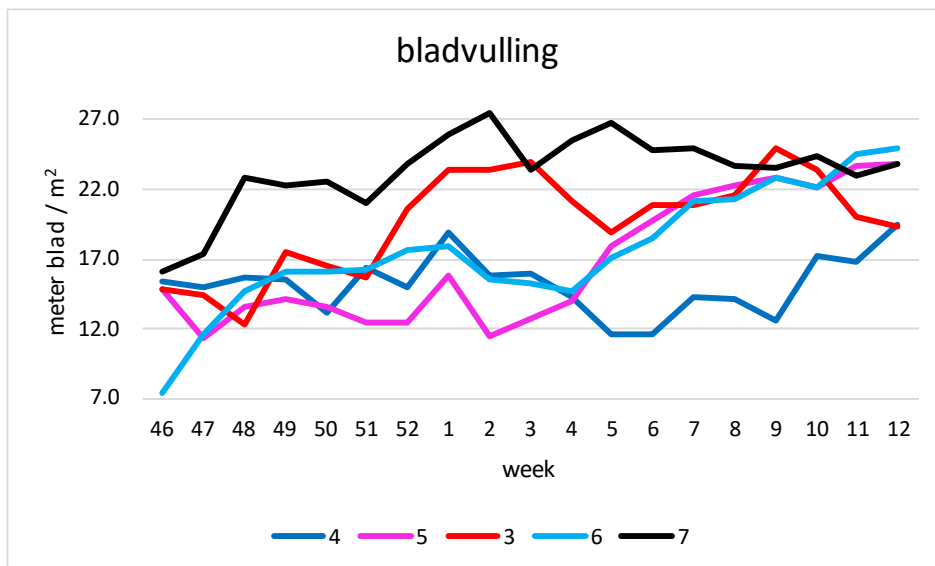
Figuur 17 Kopdikte van de gewassen bij bedrijf 3-7 vanaf week 46 in 2023 tot en met week 12 in 2024.

Een moeilijk en tijdrovende kenmerk om te meten is de LAI (Leaf Area Index, d.w.z. het oppervlakte aan blad per oppervlakte kas). De LAI is een belangrijk kenmerk voor de verdamping van het gewas. Blad wat er niet is, kan niet verdampen en dat vocht hoeft dan ook niet afgevoerd te worden. Blad is echter wel noodzakelijk voor de fotosynthese en in de zomer voor het klimaat in de kas. In de monitoring hebben we in plaats van de LAI de bladlengte als maat voor de bladvulling in de kas gebruikt. De mate van bladvulling (Figuur 19) is berekend aan de hand van de bladlengte maal het aantal bladeren wat aan de plant zit maal de plantdichtheid. De grootte van de bladeren is deels een raseigenschap en deels gevormd door het klimaat. De streefwaarde voor de LAI wordt bepaald door de ervaringen van de teler. Zo vindt de ene teler (Figuur 19, bedrijf 7) meer blad belangrijk (meer fotosynthese), terwijl de andere teler (Figuur 19, bedrijf 4) een open gewas belangrijk vindt. Onder vochtige omstandigheden is een open gewas wenselijk. Dit geeft niet alleen minder vocht in de kas, maar zorgt ook voor een egalere verticale temperatuurverdeling in het gewas. Uit diverse proeven blijkt ook dat minder blad niet hoeft te betekenen dat er minder productie is. Oudere bladeren krijgen meer licht bij een lagere LAI en voegen dus meer toe aan de totale fotosynthese. Daarnaast kost minder blad ook minder onderhoud voor de plant en houdt de plant ook meer over voor groei. Een hogere LAI kost ook meer energie om het meer verdampende gewas op te warmen. De hoge bladvulling van bedrijf 7 (Figuur 19) kan de lange uitgroeiduur verklaren (Figuur 18). De vruchten zitten dan in een koelere, vochtigere omgeving waardoor de uitgroei vertraagd wordt.

Grove tros tomaten (bedrijf 6 en 7) hebben normaal gesproken al een langere uitgroeiduur dan cocktail tomaten (bedrijf 3 en 4).



Figuur 18 Uitgroeiduur van de vruchten (uitgedrukt in dagen van zetting tot oogst).



Figuur 19 Bladvulling van de diverse gewassen uitgedrukt in meter blad per m².

Wat veelvuldig ook naar voren kwam uit de filmpjes die werden gedeeld, was de aanwezigheid van bladrandjes. Nu zijn een paar bladrandjes in een tomatengewas geen probleem, maar soms was het meer dan gewenst. Een oorzaak is niet naar voren gekomen.

Schimmeldruk was op alle bedrijven aanwezig. Het leidde op geen van de bedrijven tot grote problemen, maar er is wel op ingegrepen. LED-teelt kenmerkt zich toch dat er meer vocht in de kas zit en dat het gemakkelijk vegetatieve groei geeft. Dit zijn de ideale omstandigheden voor het optreden van schimmels. De schimmels die voorkwamen waren: kroonschimmel, Botrytis, Fusarium, Phytophthora. In de verdampingsproef bij Delphy heeft de hoge luchtvochtigheid in het begin van de teelt geleid tot oedeem wat later veel problemen heeft gegeven met Botrytis in het blad.

2.9 Houdbaarheid

Er is op een tweetal momenten een houdbaarheidsproef bij de WUR uitgevoerd. De te beoordelen monsters zijn at random uit de geoogste partijen gehaald. De eerste proef is uitgevoerd met tomaten die tussen 10 en 12 januari 2024 waren geoogst. Dat zijn vruchten die nog in november zijn gezet. Deze vruchten zijn ontstaan wanneer er nog voldoende licht van buiten kwam. De tweede houdbaarheidsproef is uitgevoerd met tomaten die op 15 en 16 februari zijn geoogst. Deze vruchten zijn gezet rond het donkerste moment van het jaar (21 december). De uitkomsten van de beide proeven zijn te zien in Tabel 4. Allereerst is er vanwege het feit dat het allemaal verschillende rassen/types zijn moeilijk de resultaten te herleiden naar de verschillende klimaat strategieën van de bedrijven. Bij alle bedrijven zie je dat de houdbaarheid terugloopt bij de zetting in de donkerste periode. Bij bedrijf 6 en 7 zie je iets betere houdbaarheid, maar dat komt waarschijnlijk vanwege het feit dat de eerste houdbaarheidsproef van de eerste tros was, die normaal gesproken ook een mindere houdbaarheid heeft. De slechte houdbaarheid van de tomaten uit de proef bij Delphy heeft te maken met het ras, wat van nature een mindere houdbaarheid heeft. Geen van de vruchten uit de houdbaarheidsproef had last van (kroon)schimmel. Delphy 1 is geteeld met een hoog vochtdeficiet en Delphy 2 met een laag vochtdeficiet. Op basis van deze proef zouden we kunnen concluderen dat de houdbaarheid met 2 dagen terugloopt bij tomaten geteeld met een laag vochtdeficiet.

Tabel 4 De gemiddelde houdbaarheid van vruchten in dagen vanaf de oogst.

naam	januari	februari
bedrijf 3	15	11
bedrijf 4	17.2	11
bedrijf 5	19.4	18.4
bedrijf 6	11	12
bedrijf 7	16.2	18.3
Delphy 1 EC hoog	10.2	9.9
Delphy 1 EC laag	12.3	9.3
Delphy 2 EC hoog	8.6	7.7
Delphy 2 EC laag	8.6	8.7

3 Leerpunten en aanbevelingen

Bij de voorgesprekken met de telers die aan de monitoring zouden deelnemen, kwam naar voren dat er weinig ervaring was met de teelt onder full-LED. Voor enkele telers was deze teelt de eerste ervaring met full-LED, terwijl andere telers al enkele jaren een op een deel van hun bedrijf met full-LED enige ervaring hadden. Mede door de proeven met een energiezuinige teelt bij Delphy en de eigen ervaringen in het belichtingsseizoen van 2022-2023 (hoge energie prijzen), waar soms problemen optraden met verdamping, gebreksverschijnselen en schimmeldruk, was er onzekerheid over de juiste strategie voor een succesvolle teelt onder full-LED. Uit de vergelijking is gebleken dat er grote verschillen zijn tussen teeltbedrijven in uitrusting (spectrum, lichtintensiteit, ventilatoren, schermen) maar ook in de gehanteerde klimaat strategie (uur belichten, RTR, buiswarmte vochtbeheersing, schermgebruik, etc.). In de winter leiden alle strategieën tot (beheersbare) schimmelaantastingen, en tot meer en minder bladrandjes.

Het verschil in warmte-input tussen de ene strategie en de andere kan 50% bedragen. De zuinigste strategie was dat bij de referentie afdeling bij de verdampingsproef bij Delphy, wat aangeeft dat er veel ruimte is voor verbetering.

Tijdens dit belichtingsseizoen is geleerd dat gebreksverschijnselen en schimmeldruk minder optreedt door het hogere lichtniveau van ca. 280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ PAR licht (dan bij 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ vergelijkbaar met de intensiteit bij Son-T). Bij een hogere instraling / lichtniveau is er niet alleen meer verdamping, maar we weten ook dat de schimmelsporen (*Botrytis*) ook minder kiemkrachtig zijn. Voorts maken de planten meer suikers aan, en dat kan ook een deel van de verbetering teweeg hebben gebracht.

Hoeveel verdamping minimaal nodig is, is nog niet bekend. Verdamping kost nu eenmaal warmte. De extra benodigde warmte staat in conflict met energiebesparingsdoelstellingen, al is deze extra warmte op dit moment minder duur dan de bespaarde elektriciteit door het vervangen van SON-T door LED.

In de evaluatie van de teelten die aan deze monitoring hebben meegedaan, gaven 4 van de 5 telers aan niet tevreden te zijn over de productie die behaald is in relatie tot het lichtniveau. Het feit dat telers niet tevreden zijn over de productie geeft wel aan dat de teelt nog niet optimaal verloopt. Rassenkeus kan daarbij van invloed zijn, gezien het feit dat vrijwel het hele rassenassortiment onder invloed van ToBRFV is vernieuwd, maar ook het klimaat dat onder LED anders is dan onder Son-T. Opvallend is dat vanuit andere teelten als komkommer en gerbera dezelfde ontevredenheid over de productie in relatie tot het lichtniveau (de lichtbenuttingsefficiëntie uitgedrukt in gram product per mol licht ofwel de LBE) naar voren komt. Bij de overgang naar LED neemt men een lichtintensiteit die vaak hoger is dan wat ze hadden bij SON-T, terwijl de productie niet evenredig toeneemt. Met andere woorden: de LBE (lichtbenuttingsefficiëntie) daalt.

Waar liggen dan de uitdagingen en vragen voor vervolgonderzoek?

- **Verhoging LBE onder LED.** Telers verhogen nu de stengeldichtheid (zomerniveau) om meer trossen per m^2 aan te maken en te oogsten. Door de hogere stengeldichtheid mag de temperatuur niet te hoog zijn omdat de kop anders te zwak (dun) wordt. Het gewas wordt snel vol wat ook nog veel vocht in de kas geeft. Er wordt een vegetatief gewas gecreëerd, terwijl onder LED het gewas toch al snel vegetatief is. De uitgroeiduur wordt ook gemakkelijk wat langer. Uiteindelijk heeft een sterke, generatieve plant de meeste potentie in productie. Dit wordt bereikt door een hogere gewastemperatuur aan te houden met een iets ruimere stengeldichtheid, waardoor een snellere gewasontwikkeling en zwaardere vruchten worden gecreëerd. De hogere groeisnelheid in combinatie met kortere uitgroeiduur geeft een hogere productie.

- **Scherminstrategie.** Een hogere gewastemperatuur hoeft geen extra energie te kosten, als er voldoende geschermd wordt. Isolatie kan immers een bijdrage leveren aan een verlaging van de warmtebehoefte. Als het energiegebruik tijdens de belichte nacht wordt bekeken en vergeleken wordt met de stand van het energiescherm, dan kan er nog wel wat meer geschermd kan worden. Zou het zo kunnen zijn dat als je de belichte nacht met LED lampen en gesloten schermen hoger opstookt en in die hogere temperatuur 's ochtends compenseert met een lagere temperatuur, dat je daarmee een generatiever gewas van krijgt? Risico is dan wel, dat als daarna de zon doorkomt, het gewas te snel opwarmt, met risico op condensatie op de vruchten.
- **Relatie schermen en bestuiving.** Een nadeel in de schermstrategie is het feit dat om de hommels goed te laten vliegen het scherm 4 uur per dag open moet. Aangezien de bloemen van de tomaat al rond het middaguur dicht gaan, moet het energiescherm op het koudste moment van de dag (tussen 8:00u en 9:00u) al open. Voor een goede schermstrategie is het noodzakelijk een manier te vinden waarbij hommels onder een gesloten scherm hun werk kunnen doen.
- **Energiezuinig.** Vochtproblemen bij de teelt onder LED hebben geleid tot meer warmtegebruik. Energiezuinig betekent niet dat er kouder geteeld moet worden. Zoals hierboven beschreven zal het gewas warmer gehouden moeten worden met meer schermen. Uit de proeven bij Delphy blijkt dat een halvering van het warmtegebruik (Figuur 4, 1 en 2) zonder dat er een vochtprobleem is, goed mogelijk is. Telers zijn uit het verleden door de belichting met SON-T gewend aan een warmteoverschot. Een energiescherm was niet nodig. Het is met de teelt onder full-LED opnieuw leren telen.
- **Verdamping.** Het op een juiste manier meten van de momentane verdamping is niet eenvoudig. 2 van de 5 telers gaven in de evaluatie aan onvoldoende verdamping te hebben gehad afgelopen winter, terwijl er voldoende elementen zijn opgenomen. Dit geeft aan dat er verschillend gedacht wordt over de benodigde verdamping. Het stimuleren van de verdamping kan ook via luchtbeweging. Dit is energiezuiniger, maar het zal gekwantificeerd moeten worden om daarmee te kunnen regelen. Ook is het nog niet duidelijk, waar in het gewas de verdamping gestimuleerd moet worden. LED geeft vooral minder verdamping bij de jonge bladeren, dus de verwachting is dat daar de verdamping meer moet worden gestimuleerd door bijvoorbeeld de uitstraling te beperken, en ventilatie boven het gewas te stimuleren. Daar tegenover staat dat de teler die het meest tevreden was over zijn productie zijn ventilatoren onder in het gewas had hangen.
- **Ontvochtiging.** De meeste toegevoerde warmte in de teelt is nodig voor de ontvochtiging. De huidige manier van vochttafvoer via luchten boven het scherm en/of via een kier in het scherm kost veel warmte. Opvallend in evaluatie was dat telers die ergens op hun bedrijf al een mechanische (actieve) ontvochtiging hebben daar niet over tevreden zijn en telers die die ervaring nog niet hebben op zoek zijn naar een vorm van (actieve) ontvochtiging. Een onjuist gebruik wat niet het doel realiseert of een installatie die niet op het juiste doel is afgestemd lijkt hieraan ten grondslag te liggen. Het gebruik van ontvochtiging zal actief ondersteund moeten worden met kennis en begeleiding. Actieve ontvochtiging kan economisch nu nog niet op tegen de relatief goedkope warmte uit de WKK. Dit gaat in de nabije toekomst door belastingmaatregelen veranderen. Aanbevolen wordt om meer bekend te raken met de actieve ontvochtiging om daar later goed mee om te kunnen gaan.
- **Plek voor de verwarming en/of luchtbeweging.** Gezien het vochtigere klimaat bij teelt onder LED moet het gebruik en de hoogte van de groeibuis worden heroverwogen. In het vochtige klimaat krijg je gemakkelijk koude plekken in het gewas met condensatie als gevolg. Onderzocht zal moeten worden waar de warmte bij de teelt onder LED het meest nuttig gebruikt kan worden: bij de kop dan wel bij de uitgroeiende, net gezette vruchten of toch bij de rijpende vruchten. Zeker bij de grove trostomaten loopt de uitgroei duur gemakkelijk op. Snelheid op de vruchten wordt daar gemist. De cocktail tomaten blijven makkelijk wat aan de kleine kant. Warmte is één van de stuurmiddelen om assimilaten te verdelen. In welke mate en op welke plaats de luchtbeweging in het gewas moet worden gestimuleerd is een vraag die moeilijk te beantwoorden is en daarom een veel uitgebreider onderzoek vergt dan in deze monitoring mogelijk is.
- **Nutriënten.** Met de samenstelling van nutriënten kan de plant gestuurd worden naar een meer generatief gewas. Dat kan via meerdere wegen met minder N en Cl als vervanger van N of juist met meer N en dan ook meer K en Ca. Wanneer telers onderling schema's vergelijken komt er al snel verwarring. De strategie die een teler hanteert, is veelal gestoeld op zijn adviesbureau. De diverse adviesbureaus hanteren verschillende strategieën, en die zouden meer op elkaar moeten worden afgestemd. Nutriënten kunnen voor ca. 20% bijdragen aan de meer generatieve sturing (volgens NovaCropControl).

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



Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1379



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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.
