Improvement Centre BV
Postbus 4
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 3
2665 MV Bleiswijk

Telefoon 010 522 1771
www.delphy.nl

# Totaalconcept duurzame belichte tomatenteelt

Worldwide Expertise for Food & Flowers

Lisanne Helmus-Schuddebeurs[1], Henk Kalkman[2], Ruud Kaarsemaker[3], Marcel Raaphorst[4]

1 Delphy- Improvement Centre
2 Delphy
3 Groen Agro Control
4 Wageningen University & Research – Business Unit Greenhouse Horticulture

Bleiswijk, november 2019

Projectnummer Kas als Energiebron: 20084

Onderstaande partijen zijn bij het project betrokken geweest als financier of uitvoerder:

Disclaimer
© 2019 Delphy Improvement Centre, Violierenweg 3, 2665 MV Bleiswijk, Tel. 010- 522 1771

Dit document is auteursrechtelijk beschermd.

Delphy is niet aansprakelijk voor eventuele schade als gevolg van gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

# Inhoudsopgave

Samenvatting ..... 5
1. Inleiding ..... 7
1.1. Doelstellingen ..... 7
1.2. Inpassing richting fossielvrij telen. ..... 8
2. Aanpak en Kasinrichting ..... 9
2.1. Kasinrichting ..... 9
2.2. Registraties en metingen ..... 11
2.2.1. Monitoring klimaat en gewasontwikkeling ..... 11
2.2.2. Monitoring voeding ..... 12
2.2.3. Monitoring bladoppervlakte en bladgewicht ..... 12
2.2.4. Monitoring vruchtgroei ..... 13
3. Resultaten en discussie ..... 15
3.1. Verloop van de teelt. ..... 15
3.2. Klimaat en meteo gegevens. ..... 15
3.3. Belichting en lichtsommen ..... 18
3.4. Schermgebruik ..... 19
3.5. Verticale temperatuur verdeling ..... 21
3.6. Actieve ontvochtiging en Energiegebruik ..... 21
3.7. Watergift en voeding ..... 24
3.7.1. Watergift ..... 24
3.7.2. Monitoring voeding: opname calcium ..... 26
3.8. Gewasontwikkeling ..... 27
3.8.1. LAI en verdeling van assimilaten ..... 27
3.8.2. Gewasontwikkeling ..... 31
3.9. Productie en Lichtbenutting ..... 32
3.10. Vruchtkwaliteit en houdbaarheid ..... 34
3.11. Gewasgezondheid ..... 36
4. Leerpunten en conclusies ..... 37
Literatuur ..... 39
5. Bijlage ..... 41
5.1. Optimale LAI voor maximale productie ..... 41
5.2. Nitraat en bladgrootte ..... 44
5.2.1. Invloed van variatie in nitraatgift op de bladgrootte ..... 44
5.2.2. Stikstofmetingen in blad ..... 45
5.3. Monitoring vruchtgroei ..... 46
5.3.1. Wekelijkse vruchtgroei ..... 46
5.4. Monitoring voeding ..... 48
5.4.1. Analyseresultaten kationen ..... 48
5.4.2. Analyseresultaten anionen-opname ..... 49

5.4.3. Spoorelementen ..... 49
5.5. Vergelijking praktijkbedrijf ..... 54
5.6. Overige metingen ..... 55
5.7. Zuurstof metingen substraat ..... 55

## Samenvatting

In het teeltseizoen 2018-2019 is bij Delphy Improvement Centre een belichte tomatenteelt gedemonstreerd met de doelstelling om middels het toepassen van actieve ontvochtiging de verwarming van de kas zoveel mogelijk in te vullen met de warmtepomp. Aangenomen dat de gebruikte elektriciteit voor de warmtepomp, maar vooral voor de belichting, van een duurzame bron afkomstig is wordt de teelt daarmee vrijwel klimaatneutraal, en onder marktcondities die een dergelijke teelt waarderen ook rendabel. Kernpunten om dit te realiseren zijn: intensief schermen, niet inzetten van een minimumbuis, het sturen van de verdamping en het terugwinnen van latente warmte.

De teelt startte op 11 augustus 2018 met het ras Merlice geënt op Maxifort. Naast de bovengenoemde kernpunten is LED belichting onderdeel van dit toekomstgerichte klimaat neutrale plaatje. De kas was uitgerust met een Hybride belichtingssysteem die bestond uit 115 µmol/m$^2$/s SON-t; 52 µmol/m$^2$/s Top LED en 60 µmol/m$^2$/s tussen LED. Een belangrijke focus hierbij was een egale temperatuurgradiënt over de hoogte van het gewas. Diverse sensoren waren ingezet om dit te monitoren.

Uiteindelijk is over de gehele teelt 67% van de totale warmtevraag van 32.3 m$^3$/m$^2$ ingevuld met de warmtepomp. Van deze warmtevraag was ongeveer 2/3 van de warmte nodig voor het realiseren van de gewenste kastemperatuur en 1/3 was nodig om de ontvochtigde lucht terug te verwarmen naar de kastemperatuur of net iets daarboven. De invulling van de warmtevraag met de warmtepomp voldeed daarmee niet aan de vooraf gestelde doelstelling van 80-90%. Belangrijkste oorzaak hiervoor was het ontstaan van bladranden in de winter. De oorzaak werd in eerste instantie gezocht in de luchtbeweging, waardoor de capaciteit van het systeem niet optimaal werd benut. In de weken dat de actieve ontvochtiging wel optimaal werd ingezet blijkt dat in de winter op weekbasis 0.6 m$^3$/m$^2$ tot 0.7 m$^3$/m$^2$ aan warmte kan worden geoogst. Met veel wisselingen in de strategie waarmee het systeem werd ingezet is de aanbeveling om wel voldoende luchtbeweging te creëren, maar aandacht te houden op het vochtverschil tussen het AV van de kaslucht en het AV die wordt ingeblazen. Verdere optimalisatie valt te realiseren in de inrichting van de stooklijn binnen het etmaal. In de belichte nacht met gesloten schermen is er vaak nog een overschot aan warmte en met de temperatuurstijging in de middag is er vaak een warmte tekort.

De uitrusting van het substraat met de 'Hybrid boXX' resulteerde in een nieuwe aansturing van de watergift. Het kleine substraatvolume in combinatie met het lage watervasthoudendvermogen van de houtvezelmat vraagt om een continu aanbod van water gedurende het etmaal. In de zomer werd aangetoond dat de condities in het substraat snel aangepast konden worden aan de klimaatomstandigheden. Gedurende de teelt werd de hoeveelheid water afgebouwd zonder dat dit gevolgen had voor de opname. Omdat het substraat over de hele afdeling was uitgerust is het niet mogelijk om vast te stellen of de snelle sturing heeft geresulteerd in een beter teeltresultaat.

De ion-specifieke aansturing van de voeding zorgde dat calcium gedurende de gehele teelt voldoende is opgenomen, verdamping bleek hierin dus geen probleem te zijn. Als gevolg van de bladranden is een hogere LAI aangehouden dan vooraf beoogd was. Daarbij vraagt de positie van de tussenbelichting in combinatie met een optimale LAI onder de tussenbelichting om verdere verdieping.

De schermen zijn veelvuldig ingezet om enerzijds de kas te isoleren en de warmtevraag te verlagen. Het energiescherm is gedurende de teelt 2938 uur voor 100% gesloten geweest, 25% van deze tijd was gedurende zon-op. Het Harmony Scherm is bijna 500 uur ingezet om de piek aan instraling weg te nemen. Het sluiten van het scherm zorgde dat RV en $CO_2$ op een hoger niveau bleven.

De gerealiseerde productie kwam uit op 93 kg/m$^2$, dit is iets lager dan vooraf was geprognotiseerd. In de winter toonde de productie in lijn met prognose en dit kwam ook naar voren uit de

lichtbenuttingsefficiëntie. Specifiek in de laatste fase van de teelt is de productie iets achter gebleven.

De gewasbescherming is gedurende de gehele teelt een aandachtspunt geweest waarbij 'Tuta Absoluta' en 'Tomatengalmijt' gedurende de teelt het meest aanwezig waren. Galmijt heeft richting het einde van de teelt geresulteerd in het uitvallen van stengels, dit is een mogelijke verklaring voor de lagere productie in deze teeltfase. De aantasting door galmijt leverde daarbij discussie op over de weerbaarheid van het gewas.

De uitgroeiduur en houdbaarheid waren beide vergelijkbaar met de praktijk. Waaruit blijkt dat met actieve ontvochtiging, het niet gebruiken van de minimumbuis en veel schermuren er een goede kwaliteit tomaten geteeld kan worden.

In de bijlage van dit rapport is de uitwerking van Groen Agro Control ingevoegd. Hierin is een verdere verdieping gemaakt van de voedingssamenstelling en de invloed op de opname en de gewasontwikkeling.

# 1. Inleiding

De ambitie van de Nederlandse glastuinbouw is om op termijn te telen zonder de inzet van fossiele brandstoffen. Een voorwaarde hierbij is dat de teelt economisch rendabel blijft en de productie en kwaliteit behouden blijven en op termijn zelfs verbeteren. De vraag die hierbij gesteld moet worden is: Wat heeft de plant nodig en hoe kunnen we dit de plant zo efficiënt en effectief mogelijk aanbieden? Het telen zonder de inzet van fossiele brandstoffen vraagt dus om een blik op het totale teeltsysteem waarin alle elementen die van invloed zijn op het teeltresultaat meegenomen moeten worden. Wanneer we binnen een teeltsysteem 1 factor aanpassen moeten we ook kritisch kijken naar alle overige factoren.

De belichte tomatenteelt is een intensieve teelt die significant bijdraagt aan het energiegebruik van de glastuinbouw. In dit type intensief belichte teelten gaat echter veel energie verloren doordat deze wordt weggelucht. De reden om energie te gaan afluchten is veelal een overschot van vocht. Deze vochtige lucht bevat daarmee ook veel latente energie. Middels het inzetten van actieve ontvochtiging kan de energie uit de lucht worden benut en wordt het vocht in de afdeling gereduceerd. De warmte die hierbij vrijkomt kan hergebruikt worden om de kas te verwarmen. Het beter beheersen van het vocht zorgt ervoor dat schermen beter gesloten kunnen blijven en de totale warmtevraag van de kas verder kan worden teruggebracht.

In dit toekomstbestendige teeltsysteem wordt gekeken naar de inpassing van LED belichting. Naast de winst die wordt behaald door de hogere energie efficiëntie, kan de lagere warmte inbreng van de LED belichting zorgen voor een betere beheersen van het klimaat, waardoor een gelijkmatigere temperatuurgradiënt in de kas gerealiseerd kan worden. Wel liggen er nog teelt-technische vragen in de optimale benutting van de LED belichting in de teelt. Binnen deze teelt wordt daarnaast een nieuw watergiftsysteem: 'Hybrid boXX' getoetst dat zich kenmerkt door een laag volume houtvezel substraat. Dit systeem zorgt voor een hogere mate van stuurbaarheid van het wortelmilieu door snelle aanpassingen van de voeding en watergift op basis van de klimaatomstandigheden.

Het toepassen van deze nieuwe ontwikkelingen in de kas geeft echter een nieuwe dimensie aan de sturing van het klimaat in de kas. De balansen die we kennen vanuit het nieuwe telen dienen hierbij als basis om het klimaat optimaal te kunnen sturen (Geelen et al. 2015). Dit project is een integrale aanpak van de toepassing van HNT binnen de belichte tomatenteelt. Er wordt ingaan op de samenhang tussen de assimilatenbalans en waterbalans van de plant en de energiebalans en de waterbalans van de kas. Hierbij wordt in grote lijnen onderscheid gemaakt tussen twee periodes in de teelt: de belichte periode en de onbelichte periode. Middels een uitgebreide gewasmonitoring vinden continue aanpassingen plaats voor een optimale sturing van de klimaatcondities en de watergift.

## 1.1. Doelstellingen

Om stappen te zetten richting een totaal duurzaam teeltsysteem zijn in dit project de volgende doelstellingen omschreven:

- Door de toepassing van actieve ontvochtiging kan de verwarming van de kas voor meer dan 90% worden gerealiseerd door een warmtepomp die het warmte- en vooral het vochtoverschot gebruikt als laagwaardige warmtebron. Aangenomen dat de gebruikte elektriciteit voor de warmtepomp, maar vooral voor de belichting, van duurzame bronnen afkomstig is, wordt de teelt daarmee vrijwel klimaatneutraal, en onder marktcondities die een dergelijke teelt waarderen ook rendabel. Kernpunten om dit te realiseren zijn: intensief schermen, niet inzetten van een minimumbuis, het sturen van de verdamping en het terugwinnen van latente warmte.
- Telen in balans middels het afstemmen van de plantbelasting (stengeldichtheid) en temperatuur op het beschikbare licht.
- Sturen van de watergift op basis van de verdamping van het gewas.

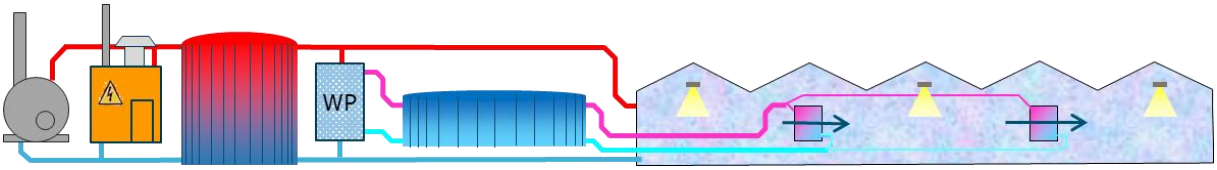
- Middels de juiste samenstelling van het voedingswater de opname van calcium onder condities van het nieuwe telen bevorderen
- Verhogen van de Water Use Efficiency, middels het gesloten drainsysteem, het reguleren van de watergift op basis van de verdamping en sturing op een verlaagde verdamping.
- Sturen van bladoppervlakte zodat de Harvest Index verhoogd wordt: minimaal gewasvolume en maximale vruchtopbrengst.
- Productie en kwaliteit komen ten minste overeen met de praktijk.
- Middels een uitgebreid netwerk van sensoren in de afdeling leren van de plantreactie onder de gerealiseerde teelt omstandigheden.

## 1.2. Inpassing richting fossielvrij telen.

Om de doelstelling van het project 'demonstreren van een fossielvrije teelt' te realiseren werd er bij het inrichten van de kas zowel gekeken naar de warmtevraag als naar het warmteaanbod. Zwaar belichte teelten (waaronder dus ook de belichte tomatenteelt) hebben in de winter meestal een warmte overschot in plaats van een warmte tekort. Wanneer de belichting aan staat en de schermen zijn gesloten, wordt het in de kas al snel te warm of te vochtig (de Zwart et al., 2019). De kasuitrusting in deze teelt is er enerzijds op gericht om de warmtevraag te verlagen en anderzijds om het overschot terug te winnen en te gebruiken op momenten dat de warmtevraag van de kas groter is dan het aanbod. In de belichte teelt wordt warmte niet alleen in de kas gebracht om te voldoen aan de warmtevraag, maar ook om vocht af te voeren. Dit gaat vaak samen met het afluchten van warmte en om een betere verticale temperatuurverdeling te krijgen door de warmte van onderaf in te brengen.

Om de warmtevraag van de kas te verlagen is de afdeling ingericht met een lichtuitstoot reducerend scherm (lichtuitstootscherm, Obscura 9950 FR W) in combinatie met een helder energiescherm (Luxous 1147 FR), waarbij een standaard praktijkbedrijf nu is uitgerust met alleen een lichtuitstootscherm. Het energiescherm kan ingezet worden in de nacht als aanvulling op het lichtuitstootscherm, en op de dag om bij een lage instraling de warmtevraag van de kas te verlagen. Om de temperatuurverschillen als gevolg van de belichting in de kas te verminderen is er gekozen voor een hybride belichtingssysteem. Door de combinatie van top LED, tussen LED en SON-t wordt de belichting en de warmte die hierbij vrijkomt beter verdeeld over het gewas. Om daar bovenop het buitenlicht in met name de winter maximaal te kunnen benutten is de kas uitgerust met Albarino Ultra Low Haze glas voorzien van een dubbel Anti Reflectie coating (2xAR).

Om invulling te geven aan (een groot deel van) de warmtevoorziening is de kas uitgerust met een actief ontvochtigingssysteem. Het ontvochtigingssysteem draagt enerzijds bij aan het verlagen van de warmtevraag van de kas omdat de schermen langer gesloten kunnen blijven doordat een deel van het vocht via het systeem kan worden afgevoerd. Tijdens dit ontvochtigen wordt warmte teruggewonnen. Bij warmtevraag kan de warmte weer in de kas worden teruggebracht. Op deze manier wordt feitelijk de warmte afkomstig van de belichting hergebruikt: Lamplicht wordt omgezet in warmte en vocht, welke beide weer op het koelblok worden verzameld voor de verwarming, in plaats van dat deze via de luchtramen worden afgevoerd (De zwart et al. 2019) (Figuur 1-1).




*Figuur 1-1 Schematische weergave van een kas waar overtollige voelbare en/of latente warmte aan de kaslucht wordt onttrokken die in hetzelfde etmaal weer kan worden gebruikt voor de verwarming (De zwart et al. 2019).*

# 2. Aanpak en Kasinrichting

## 2.1. Kasinrichting

In het project is er gekozen voor het ras Merlice geënt getopt op Maxifort.

- Zaaidatum: 19-6-2018 (onderstam), 22-6-2018 (bovenstam)
- Plantdatum: 11-8-2018
- Eerste oogst: 4-10-2018
- Laatste oogst: 19-7-2018

De uitrusting van de proefafdeling was als volgt:

| | |
|---|---|
| Afdeling: | 6, Delphy Improvement Centre, Bleiswijk (hoekafdeling met buitengevels op het zuiden en het westen) |
| Oppervlakte: | bruto opp.: 1008 $m^2$, netto teeltoppervlakte: 936 $m^2$. |
| Traliebreedte: | 9.60 meter |
| Poothoogte: | 6.68 meter |
| Kasdek type: | Venlo dek – tralie ligger met 2 kappen per tralie. |
| Glastype: | Saint-Gobain Albarino Ultra Low Haze 2xAR. |
| Verwarming: | Buisrail en dubbele groeibuis. |
| $CO_2$ dosering: | OCAP zuiver $CO_2$. |
| Klimaatcomputer: | Hoogendoorn. |
| Onvochtiging: | Actieve ontvochtiging, cap 15.000 $m^3$/h, voorzien van 2 luchtslurven per tralie onder de goot. |

Om tot een optimaal teeltresultaat te komen was de afdeling uitgerust met 3 schermen. De schermen werden daarbij ingezet met als doel lichtuitstoot weg te nemen, de kas te isoleren, uitstraling te voorkomen en bij veel instraling het licht diffuus maken en de piek aan instraling weg te nemen (i.c.m. het ultra low haze glas). De scherminstallatie bestond hierbij uit de volgende drie schermen:

- Obscura 9950 FR W (Lichtuitstoot reducerend scherm)
- Luxous 1147 FR (Energiescherm)
- Harmony 1315 O FR (Diffuusscherm)

Voor de belichtingsinstallatie is er gekozen voor een combinatie tussen LED en SON-t belichting van Hortilux, waarbij de LED belichting zowel boven als tussen het gewas is geplaatst. Door een aandeel LED in de afdeling wordt er direct bespaard op elektra en wordt er minder warmte de kas ingebracht. Het toepassen van een deel van de belichting als tussenlicht zorgt er daarbij voor dat de verticale temperatuurverdeling in de kas wordt verbeterd. De tussen belichting heeft een specifiek naar beneden gericht uitstraling om de boven kant van de bladeren te belichten. De juiste ophang hoogte is daardoor een belangrijk aandachtspunt. De belichtingsinstallatie was als volgt uitgerust.

- 115 µmol/$m^2$/s HSE NXT II met Beta reflector (SON-t)
- 52 µmol/$m^2$/s HORTILED Top (Top LED)
- 60 µmol/$m^2$/s HORTILED INTER (Tussen LED)

Deze belichtingsuitrusting resulteert in een geïnstalleerd vermogen van ongeveer 100 Watt/$m^2$ wanneer we uitgaan van een efficiëntie van 3.0 µmol/W voor de tussen LED, 2.7 µmol/W voor de top LED en 1.85 µmol/W van de SON-t belichting.

In de ontwikkeling van LED zijn veel vragen over de optimale samenstelling van het lichtspectrum. In tomaat is echter aangetoond dat het gewas onder een lichtspectrum bestaande hoofdzakelijk rode LEDs en een klein aandeel blauwe LEDs een goede productie en kwaliteit kan realiseren. Omdat er aanwijzingen zijn dat een breder lichtspectrum een positief effect kan hebben op de gewasontwikkeling en productie, is 1/3 van het teeltoppervlakte (tralie 3) uitgerust met een spectrum met extra verrood en wit licht. Dit is echter alleen van toepassing op top LED, de tussen LED bestond in de gehele afdeling uit alleen R/B LEDs. Omdat de top LED slecht 25% van de totale

lichtsom invulde was de verandering van het totale lichtspectrum beperkt. Tabel 2-1 toont de samenstelling van de 2 type top LED en het totale spectrum wanneer ook de SON-t is ingeschakeld. De bijdrage van het tussenlicht is hieronder buiten beschouwing gelaten.

*Tabel 2-1. Samenstelling van het spectrum van het belichtingssysteem gemeten boven het gewas. Gemeten van de SON-t en LED afzonderlijk en wanneer beide lichtbronnen zijn ingeschakeld.*

| | Tralie 1+2 | | Tralie 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Lichtkleur** | LED R/B [%] | LED R/B + SON-t [%] | LED R/W/FR/LB [%] | LED R/W/FR/LB + Son-T [%] | SON-t |
| B | 4.6 | 3.6 | 5.6 | 3.5 | 3.3 |
| G | 0.5 | 30.3 | 7.7 | 32.0 | 40.1 |
| R | 93.3 | 58.5 | 79.7 | 55.0 | 46.4 |
| VR | 1.0 | 7.6 | 7.0 | 9.4 | 10.2 |

De afdeling was uitgerust met de nieuw ontwikkelde 'Hybrid boXX' van Saint-Gobain Cultilene. Uitgangspunt van deze systeemaanpak voor de watergift is stuurbaarheid en duurzaamheid. Voor de stuurbaarheid heeft het de eigenschappen van een NFT systeem, de houtvezelmat zorgt daarbij voor een buffer binnen het systeem. Het uitgangspunt van het substraat is om de watergift af te stemmen op de teeltomstandigheden, dit zal resulteren in een verbetering van de Water Use Efficiency.

Vanuit het duurzaamheidsaspect is het systeem uitgerust met een substraat opgebouwd vanuit houtvezel met daar omheen een box die meerdere teeltrondes gebruikt kan worden. Het houtvezelsubstraat draagt bij aan een duurzamer teeltconcept doordat het na gebruik gecomposteerd kan worden. Aanvullend heeft houtvezel een positief effect op het bodemleven in de substraatmat. De stuurbaarheid komt tot uiting door een lager substraatvolume i.c.m. een lager watervasthoudend vermogen van het substraat. Hiermee kan het voor de plant beschikbare voedingswater in zeer korte tijd worden ververst, en kan het voedingswater meelopen met de teeltomstandigheden. Onderin de mat is een vrije ruimte met lucht en een filter voor het draingat geplaatst. De luchtruimte onder de mat zorgt voor voldoende beschikbaarheid van zuurstof. Het filter zorgt er voor dat de wortels niet in de draingoot kunnen groeien (Figuur 2-1).

*Figuur 2-1 Opzet van de 'Hybrid boXX'. De box wordt in zijn geheel op de goot geplaats. Op de afbeeldingen van links naar rechts. 1) onderin zit een filter en ruimte om te zorgen voor voldoende zuurstof bij de wortels. 2) daarbovenop komt een klein volume houtvezel substraat voor snelle stuurbaarheid van het beschikbare voedingswater en de mat dient als buffer. 3) De box wordt afgesloten en kan meerdere teeltrondes worden ingezet.*

*Figuur 2-2. Foto toont de kasuitrusting met de luchtslurven onder de goot, de Hybrid BoXX op de goot en de LED belichting tussen het gewas.*

## 2.2. Registraties en metingen

### 2.2.1. Monitoring klimaat en gewasontwikkeling

De kas was uitgerust met de volgende sensoren voor het vastleggen van de klimaatomstandigheden:

- Reguliere meetbox (Hoogendoorn) op 4 posities (in het gewas, bij de kop, boven het scherm, en 1 extra kort op de zijgevel voor sturing van gevelverwarming) voor het vastleggen van: Temperatuur, luchtvochtigheid en $CO_2$.
- 4 PAR-sensoren voor een nauwkeurige bepaling van de hoeveelheid licht in de kas.
- Netto stralingsmeter.
- 12 pointed temperatuur sensoren voor het meten van de vruchttemperatuur over de behanglengte van het gewas.
- Vanaf begin januari zijn als reactie op de gewasstand en de hypothese over de verdeling van het vocht en temp in de afdelingen 8 extra temp/RV sensoren geplaats op 4 verschillende voor het monitoren van verticale gradiënt.
- 2 Aquabalance systemen voor vastlegging van de watergift, opname en drain.

Daarnaast werden de volgende registraties en metingen uitgevoerd voor het vastleggen van de gewasontwikkeling:

- Vegetatieve ontwikkeling in de kop van het gewas: kopdikte; lengtegroei; bladlengte; bloeihoogte.
- Ontwikkeling van de trossen, door het vastleggen van de bloeisnelheid, snelheid van zetting en uitgroeiduur van de vruchten.
- Vastlegging van de productie per goot (kg/m$^2$).
- Vastlegging van de vruchtkwaliteit: vruchtgewicht (gram); brix en Houdbaarheid (1 x per maand).

Vanuit Groen Agro Control werden aanvullende metingen verricht waarvan de aanpak hieronder per onderdeel is beschreven.

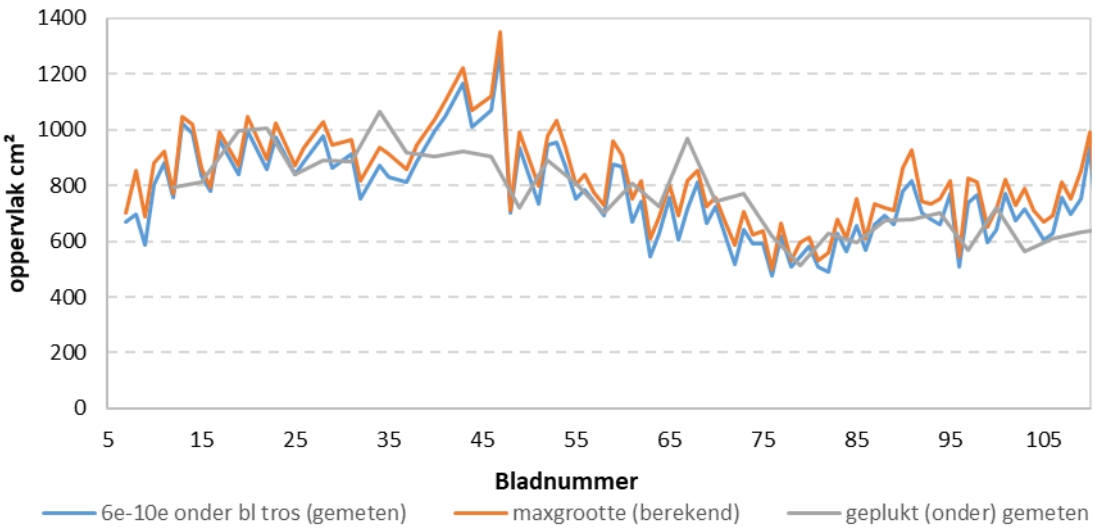
### 2.2.2. Monitoring voeding

De voeding is wekelijks ion-specifiek gemonitord uit de samenstelling en de hoeveelheid van het druppel en drainwater en de berekende drogestof productie. Daarnaast zijn iedere twee weken monsters van bladeren en vruchten geanalyseerd op de samenstelling van elementen in drogestof en het bladsap van jonge en oude bladeren.

### 2.2.3. Monitoring bladoppervlakte en bladgewicht

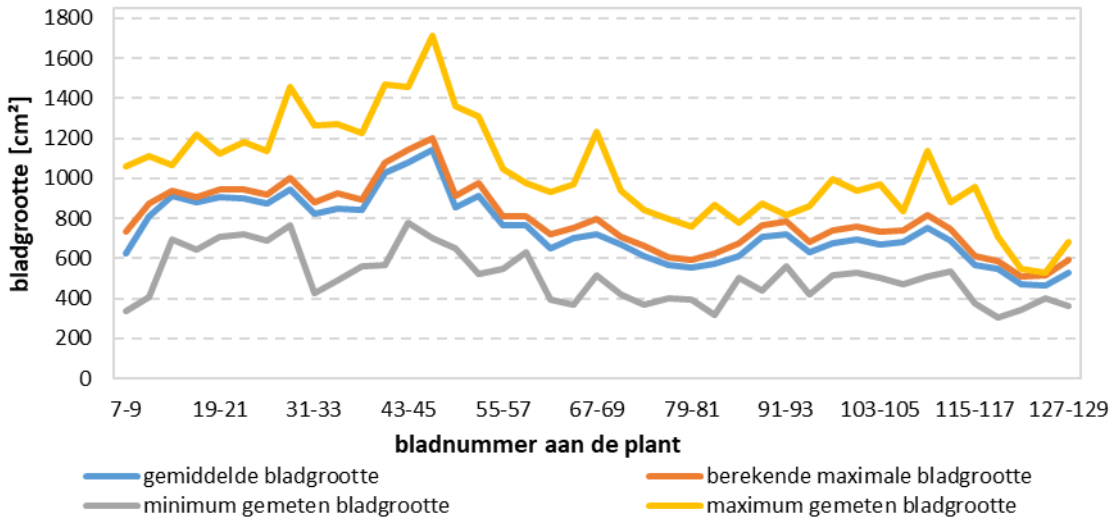
De bladoppervlakte had een sterke focus binnen het project. Doelstelling van het project was om de bladoppervlakte te beperken. Door meer assimilaten naar de vruchten te krijgen wordt de Harvest Index verhoogt, en met het beperken van de bladoppervlakte kan de verdamping van het gewas lager worden en hiermee ook de vochtinbreng in de kas.

De metingen en berekeningen aan de bladoppervlakte werden uitgevoerd door Groen Agro Control. Het bladoppervlak is berekend op basis van een groeicurve die wekelijks gekalibreerd is op basis van de gemeten bladgroottes van 10 bladeren tussen het 5e en 10e blad onder de bloeiende tros. Hierbij zijn de bladeren die in de kop zijn gesnoeid ook meegeteld. Bepaling van het bladoppervlak vindt plaats met beeldbewerking door Image J. Ter controle is ook de grootte van de onderste bladeren gemeten op het moment dat deze bladeren geplukt werden.




*Figuur 2-3 Gemeten bladoppervlak van bladeren (6e tot en met 10e blad onder bloeiende tros) aan de plant, de berekende maximum bladgrootte en het gemeten bladoppervlak van de onderste geplukte bladeren.*

De berekende maximale bladgrootte is groter dan de gemeten bladgrootte van het 5e-10e blad, omdat de bladeren nog iets doorgroeien komt dit goed overeen met de grootte van de geplukte bladeren onderin. De verschillen tussen de berekende maximale bladgrootte en de gemeten grootte van de geplukte bladeren zijn verklaarbaar. De bladeren onderin zijn niet altijd meer intact omdat er ten gevolge van gewaswerk soms delen ontbreken. Er is een behoorlijke variatie in bladgroottes tussen de planten (Figuur 2-4). Wekelijkse werd het gemiddelde bladoppervlak berekend uit 10 bladeren, de grote variatie in bladgrootte tussen de bladeren veroorzaakte ook schommelingen tussen de berekende maximale bladgrootte zoals die wekelijks werd vastgesteld. Omdat het totale bladoppervlak van het gewas (LAI m²/m²) werd berekend op basis van de berekende maximale bladgroottes in 8-10 weken kon de LAI nauwkeurig worden vastgesteld. Uit de berekende bladoppervlaktes en de gemeten drogestofgehaltes van het blad is wekelijks uitgerekend hoeveel drogestof in het blad geïnvesteerd was.




*Figuur 2-4 Gemiddeld, minimum en maximum gemeten bladoppervlak van bladeren (6e tot en met 10e blad onder bloeiende tros) aan de plant en de berekende maximum bladgrootte.*

### 2.2.4. Monitoring vruchtgroei

De vruchtgroei is wekelijks vastgesteld door de diameter van 10 planten van elke 2e vrucht van alle trossen aan de plant te meten. Dit is vermenigvuldigd met het aantal stengels per m² en vruchten per tros om het vruchtgewicht per m² te berekenen. De wekelijkse vruchtgroei is berekend uit het toename in vruchtgewicht van alle trossen aan de plant en de geoogste trossen in de opeenvolgende weken.

# 3. Resultaten en discussie

## 3.1. Verloop van de teelt.

De teelt is gestart op 11 augustus 2018. Deze vroege plantdatum is gekozen om het gewas met natuurlijk licht op te bouwen en op deze manier een goede plant weg te zetten voordat de belichting wordt ingezet. De afgeleverde plant werd beoordeeld als generatief en voldoende groeizaam, op het moment van planten stond de eerste tros in bloei. Er is direct een dief aangehouden om de plantdichtheid te verhogen van 2.5 stengels/m$^2$ naar 3.1 stengels/m$^2$.

In de eerste fase van de teelt zijn de etmalen hoog gehouden om te zorgen voor een snelle aanleg van de trossen en opbouw van de plantbelasting in de eerste fase van de teelt. In deze fase was het vooral zoeken naar de juiste strategie van de watergift in relatie tot het nieuwe substraat. Dit zorgde dat het gewas in het begin van de teelt al snel erg generatief kwam te staan en er bij de dief wat ongelijkheid was ontstaan. De generativiteit is gedurende de teelt continue aangehouden. Als actie is de watergift in de eerste fase van de teelt geleidelijk opgevoerd, dit zorgde voor een wat spontanere gewasontwikkeling, maar heeft ook wat vruchtscheuren tot gevolg gehad. Er is gezocht naar dynamiek met de actieve ontvochtiging i.p.v. met de stooklijn, waardoor de stooklijn wat vlakker kwam te liggen. Dit was ook mogelijk in combinatie met de generatieve stand van het gewas.

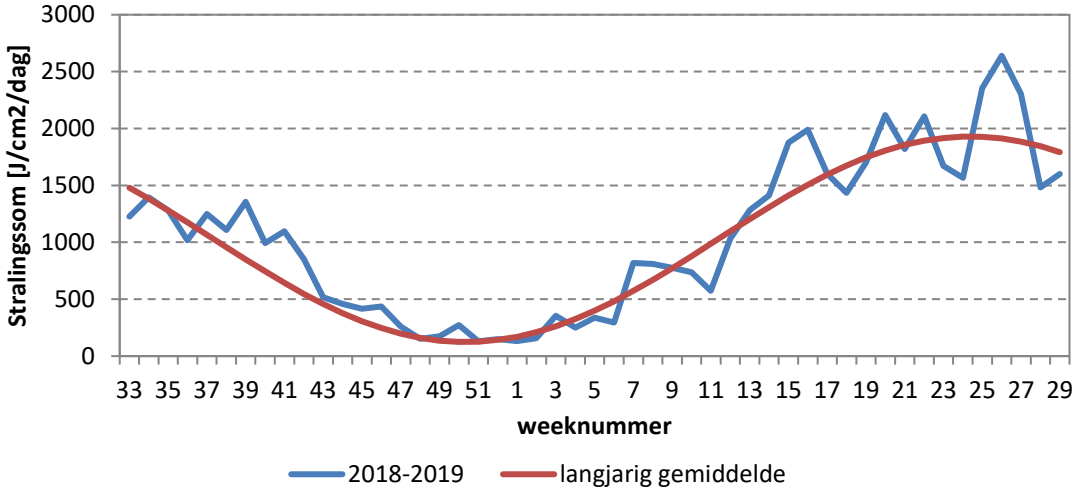
Gedurende de gehele belichtingsperiode was de gewasontwikkeling wat moeizaam, het gewas had fors te maken met bladranden en de bevlieging en zetting was wat wisselend, met name begin januari. Hierop is besloten om gedurende het etmaal de schermen in ieder geval tussen 10 uur in de ochtend en half 3 in de middag altijd te openen. Als reactie op gewaskwaliteit is veel gewisseld in de instellingen van de actieve ontvochtiging. In eerste instantie lag de focus op het verminderen van de luchtbeweging. Later bleek dat deze actie juist resulteerde in een gradiënt in de verticale verdeling van vocht en temperatuur, waarna de uitblaastemperatuur iets is verhoogd en de mate van het verschil tussen de inblaas AV en het AV van de kas wat is verkleind.

Ondanks de wat moeizame gewasstand in de belichte periode was er een contrast met de productie en de kwaliteit, want deze waren goed en tros werd veelal beoordeeld als voldoende krachtig. Wel kwam de moeizame aanleg tot uiting in een wat tegenvallend vruchtgewicht tussen week 8 en 14. Met het komen van het voorjaar toonde het gewas echter wel een goed herstel en ook het vruchtgewicht herstelde goed. Het gewas werd in deze fase van de teelt ook beoordeeld als ‘generatief en sterk’. De laatste fase van de teelt verliep daarentegen weer wat moeizaam. Om te komen tot een maximale productie is er richting het einde van teelt op -2 gesnoeid. In de laatste fase van de teelt was er een serieuze druk van galmijt. Dit resulteerde in uitval van stengels, waarbij er discussie werd gevoerd over de plantweerbaarheid van het gewas in relatie tot de generatieve gewasstand die al vroeg in de teelt was ontstaan. In week 24 is het gewas gekopt, in week 25 was de laatste vruchtzetting en in week 29 zijn de laatste vruchten geoogst. De uiteindelijke productie kwam uit op 92.7 kg/m$^2$.

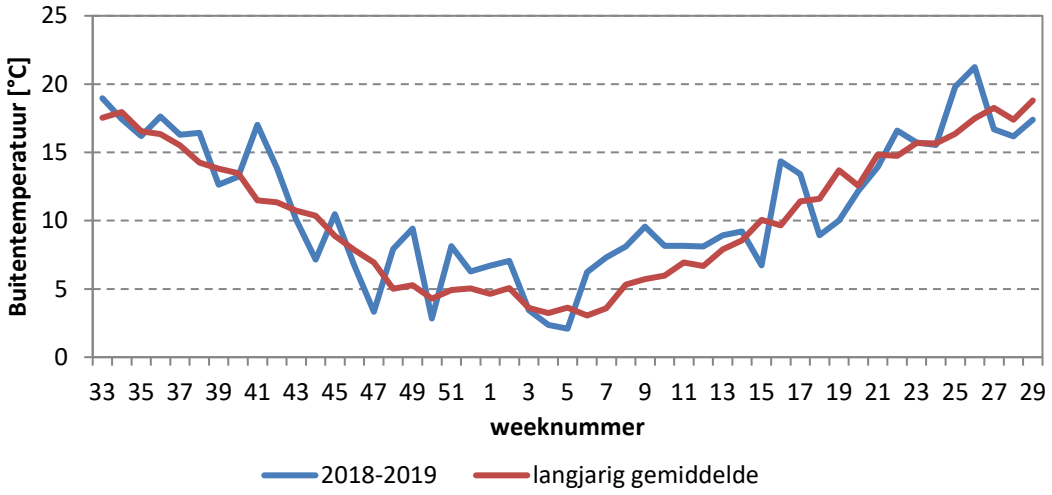
## 3.2. Klimaat en meteo gegevens.

Om de resultaten gedurende de teelt goed te kunnen interpreteren is het belangrijk om de buitenomstandigheden die gerealiseerd zijn mee te nemen. Figuur 3-1 toont de gemiddelde stralingssom per week. Opvallend hierin zijn de hogere lichtsommen in de periode tussen week 37 en week 47, de gemiddelde lichtsom was in deze periode gemiddeld 200 J/cm$^2$/dag hoger. Dit heeft met name impact gehad op de opbouw van het aantal belichtingsuren, er is in deze fase dus minder uren belicht dan vooraf beoogd. Wanneer we kijken naar het verloop van de buitentemperatuur dan lagen de etmalen in de winterperiode gemiddeld 2°C boven het langjarig gemiddelde (Figuur 3-2). Hier moet rekening mee gehouden worden wanneer we kijken naar de energievraag van de kas, anderzijds zorgde dit dat in de belichte nacht de schermen niet volledig

gesloten konden blijven, maar dat er gekierd moest worden omdat anders de temperatuur te hoog opliep.

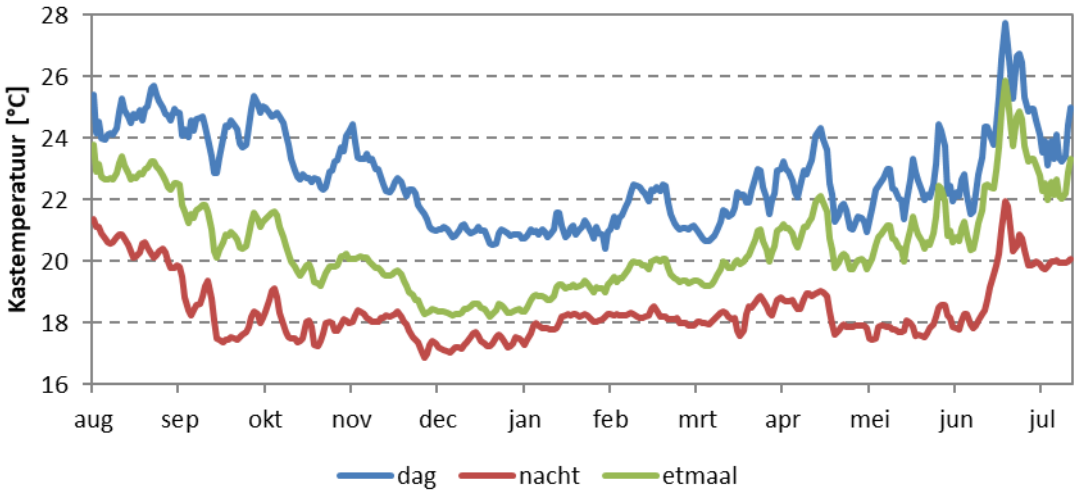



*Figuur 3-1 Gerealiseerde stralingssom tijdens de teelt ten opzichte van het langjarig gemiddelde. De stralingssom is weergegeven als gemiddelde per week.*

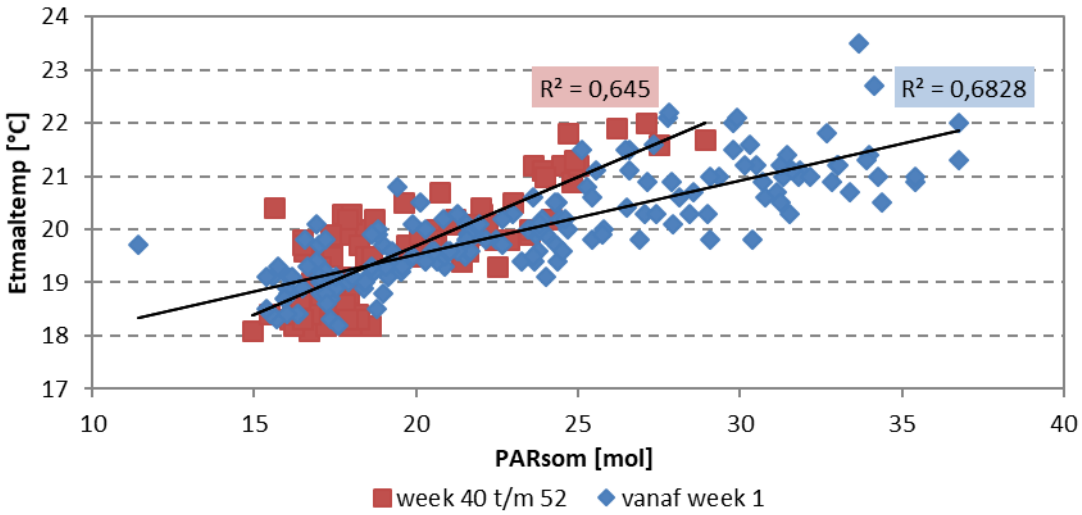



*Figuur 3-2. Gerealiseerde gemiddelde buitentemperatuur tijdens de teelt ten opzichte van het langjarig gemiddelde.*

In de periode tot de eerste oogst is er gefocust op het snel opbouwen van het gewas en de plantbelasting. Hierdoor zijn er in de eerste weken hoge etmalen aangehouden, vanaf week 36 (3 weken na planten) is gestart met het geleidelijk afbouwen van de etmaaltemperatuur. De eerste fase waarin de belichting voor de volledige 18 uur werd ingezet liep de temperatuur onder de gesloten schermen snel op waardoor de etmalen ook hoger uitvielen. Er is besloten om wel snelheid op het gewas te houden en de hogere etmalen enkele weken aan te houden. In week 48 werd het gewas als te zwak beoordeeld, waarop als reactie het etmaal in korte tijd verder is teruggebracht naar een gemiddelde basis temperatuur van 18.5°C in de periode van week 49 t/m week 3. Na deze periode is op basis van de buitenomstandigheden de temperatuur in relatie tot het licht verhoogd (Figuur 3-3). Dit is ook zichtbaar in de gerealiseerde licht:temperatuur verhouding. Deze is weergegeven aan de hand van 2 lijnen, in de eerste fase van de teelt waren de etmalen zoals hierboven beschreven relatief hoog, wanneer na de winter de temperatuur weer mocht oplopen met het toenemende licht is een vlakkere lijn gehanteerd (Figuur 3-4)

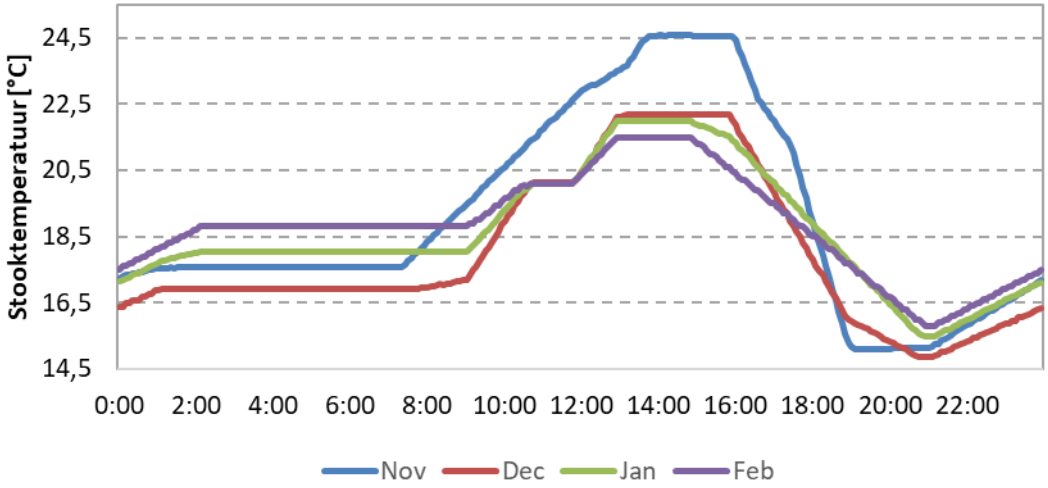



*Figuur 3-3 gerealiseerde dag, nacht en etmaal temperatuur gedurende de teelt, de natuurlijke dag en nacht zijn aangehouden voor het bepalen van het gemiddelde.*




*Figuur 3-4 Licht:temperatuur, waarbij de lichtsom is bepaald op basis van 4 PAR sensoren in de afdeling ten opzichte van de realiseerde etmaaltemperatuur. Er is in de lijnen onderscheidt gemaakt in de periode van oogst t/m week 52 en de periode vanaf week 1 t/m het moment dat het gewas is gekopt.*

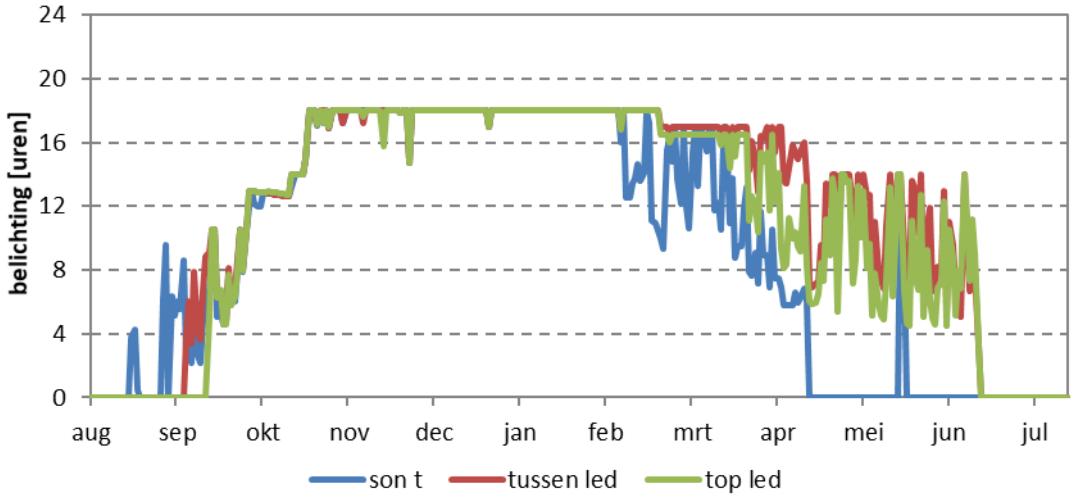
Gedurende de teelt was het binnen het etmaal zoeken naar de juiste balans tussen de temperatuur in de nacht en gedurende de dag. Om de actieve ontvochtiging optimaal te laten renderen in de teelt is een etmaal met minder dynamiek wenselijk. In de belichte nacht met gesloten schermen is er al snel een warmte overschot, en met een piektemperatuur in de middag is er veel warmtevraag. De overtollige energie in de nacht moet zo optimaal mogelijk worden teruggewonnen met het systeem. In de middag wil je de warmtevraag beperken om het systeem in balans te krijgen. Figuur 3-5 toont het verloop van de stooktemperatuur binnen het etmaal voor de maanden november, december, januari en februari (de maanden dat de belichting voor de maximale 18 uur was ingeschakeld). In het verloop van de teelt is te zien dat de dag- en nachttemperatuur steeds dichter naar elkaar toekomen en er dus minder dynamiek binnen het etmaal is gerealiseerd. Hierbij moet wel genoemd worden dat de generatieve gewasstand die we gedurende de gehele teelt hebben gehad, ruimte gaf om het verschil tussen de dag en de nachttemperatuur te verkleinen.




*Figuur 3-5 Cyclisch gemiddelde van de stooktemperatuur gedurende het etmaal tijdens de 4 maanden dat de belichting in zijn volledigheid werd ingezet. In het verloop van de teelt is te zien dat het verschil tussen de dag en nacht temperatuur steeds kleiner is geworden.*

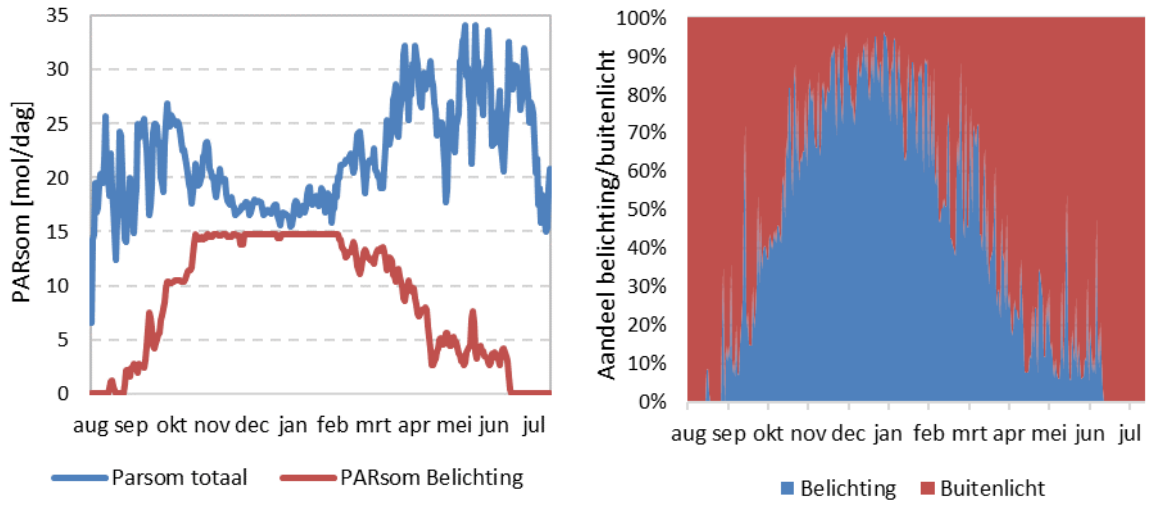
## 3.3. Belichting en lichtsommen

De kasuitrusting met de combinatie van SON-t, top LED en tussen LED bood veel flexibiliteit om de belichting gedurende de teelt optimaal te benutten. Als maximale belichtingsduur werd conform praktijk 18 uur daglengte aanhouden. Als gevolg van de vroege plantdatum werd de belichting de eerste 3 weken nog niet benut. Vanaf week 36 werd de belichting alleen gebruikt in combinatie met natuurlijk licht om de lichtsommen aan te vullen. Met een toenemende lichtbehoefte van het gewas en een afnemende hoeveelheid buitenlicht werden de belichtingsuren langzaam opgebouwd. Omdat de top LED in de eerst weken van de teelt nog niet operationeel was, is er in de eerste weken dat de lichtsommen aangevuld moesten worden belicht met de SON-t. In een reguliere situatie zou dit met LED belichting gebeuren. Op het moment dat het gewas voldoende boven de tussenbelichting was gegroeid is deze ingezet vanaf begin september. Vanaf begin april is de SON-t belichting volledig afgeschakeld maar is er met de LED belichting nog door belicht tot halverwege juni. In dit project is er op basis van een optimale teelt gekozen om lang door te belichten met de LED. Vanwege de beperkte warmte inbreng van de LED konden hiermee goede teeltomstandigheden worden gerealiseerd. Totaal heeft de SON-t 3207 uur, de top LED 3857 uur en de tussen LED 4091 uur gebrand (Figuur 3-6). Dit resulteerde in een totaal elektra verbruik van 355 KWh/m$^2$, waarvan 56% voor de SON-t belichting en 44% voor de LED belichting.




*Figuur 3-6 Gerealiseerde belichtingsuren per dag gedurende de teelt voor de voor de SON-t, top LED en tussen LED.*

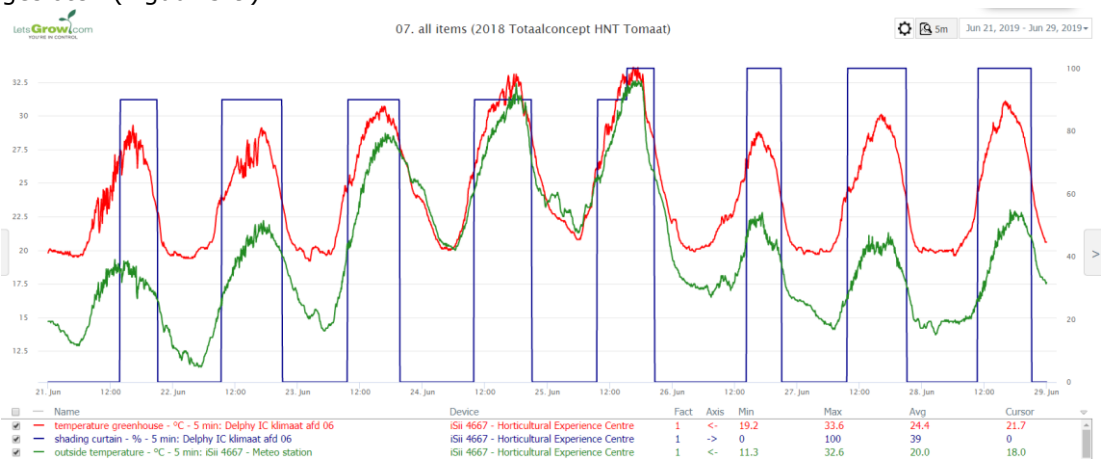
Met behulp van 4 PAR-sensoren boven het gewas is het beschikbare licht voor de fotosynthese continue gemonitord. Wanneer de belichting gedurende 18 uur was ingeschakeld werd een PARsom van 14.7 mol per dag gerealiseerd. Daarmee werd in de donkerste weken van het jaar ruim 85 tot 90% van de totale lichtsom ingevuld met de belichting. Over de volledige teelt was het totaal ontvangen licht door het gewas 7520 mol en hiervan was 2930 mol afkomstig van de lampen (39%).



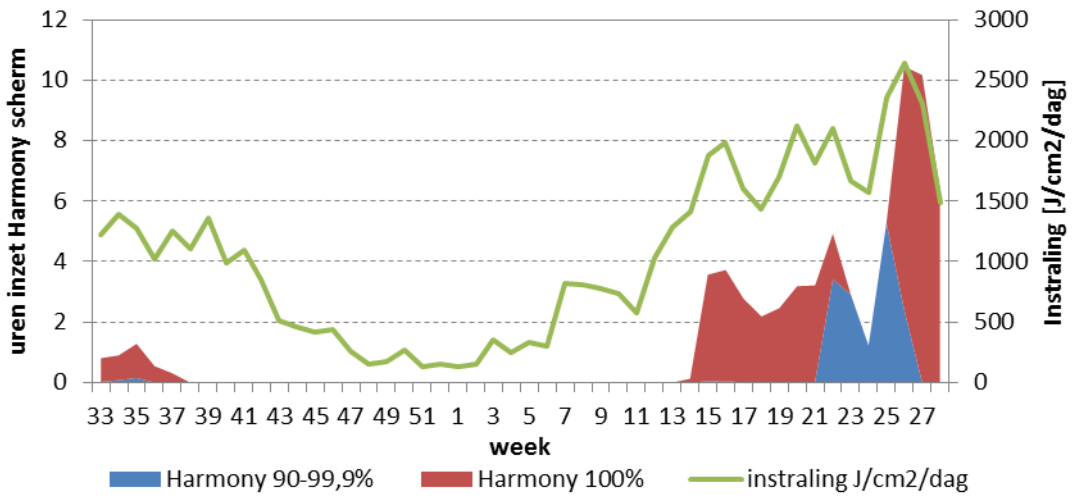

*Figuur 3-7 Gerealiseerde PARsom (mol/dag), totaal en van de belichting (links), en de gerealiseerde verhouding tussen het aandeel belichting en het buitenlicht.*

## 3.4. Schermgebruik

Bij aanvang van de teelt is het Harmonyscherm ingezet voor het wegnemen van instraling. Bij een instraling >700 W/m$^2$ werd het scherm ingezet. De stralingssommen en hiermee de groei van het jonge gewas werden hierdoor beter beheerst. Deze regeling was van toepassing t/m week 37, waarna de intensiteit van de instraling was afgenomen. In de eerste fase was de inzet van het scherm beperkt tot 27 uur. Vanaf week 15 werd het scherm weer ingezet bij instraling hoger dan 600 W/m$^2$, op basis van monitoring van de teeltomstandigheden is dit na 2 weken verhoogt naar 700 W/m$^2$. Tussentijds is er gekeken naar invloed van 90% sluiten van het scherm ten opzichte van 100% op de temperatuur in de afdeling. Figuur 3-8 toont het verloop van de kastemperatuur in relatie tot de buitentemperatuur en de inzet van het Harmony scherm. Het sluiten van het scherm voor 100% bleek daarbij positief uit te werken op het vocht, omdat het scherm een barrière vormt voor de luchtuitwisseling. Op basis van de PAR sensoren blijkt dat het Harmonyscherm ongeveer 30% van het licht wegneemt. In de tweede helft van de teelt zijn er meer schermuren gemaakt waarbij het scherm totaal 496 uur is ingezet, waarvan 386 uur 100% gesloten (Figuur 3-9).

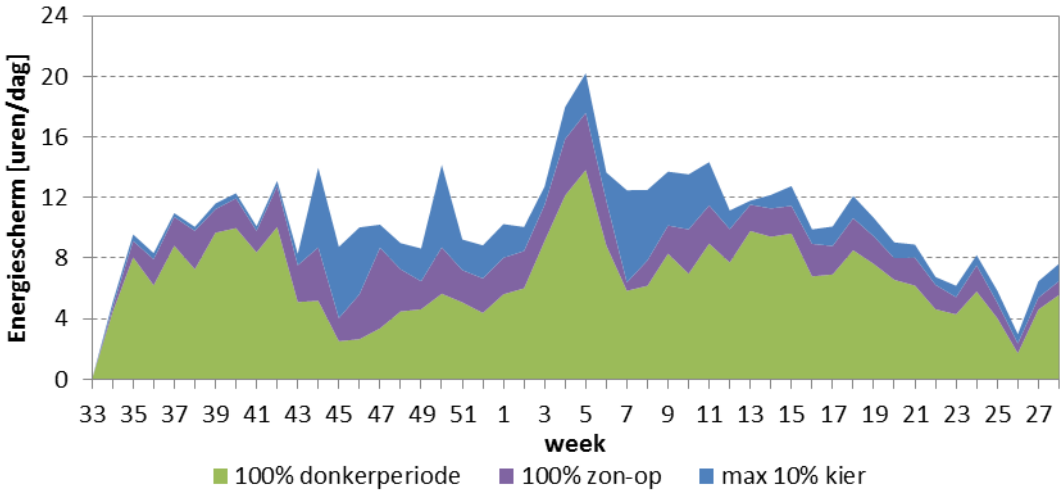



*Figuur 3-8. Inzet van het Harmony scherm voor 90% en 100% gedurende de dag in de periode van 21 juni t/m 29 juni. De blauwe lijn toont het Harmonyscherm, de rode lijn de kastemp en de groene lijn de buitentemp.*




*Figuur 3-9. Inzet van het Harmony scherm gedurende de teelt gemiddeld per dag ten opzichte van gemiddelde stralingssom per week gedurende de teelt.*

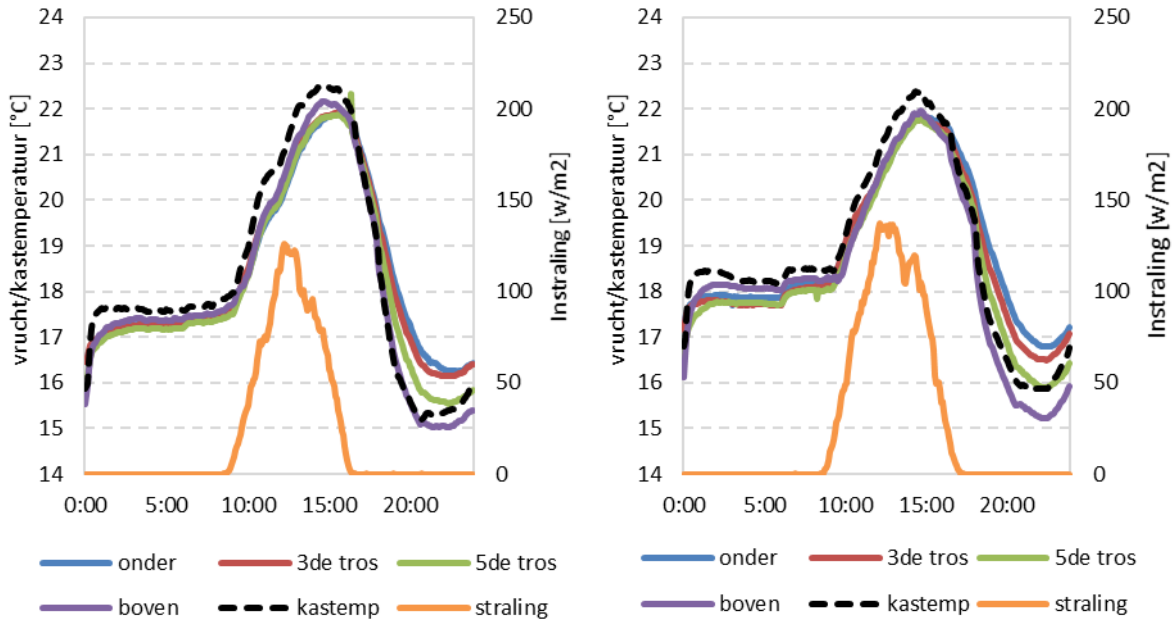
Het energiescherm is vanaf het begin van de teelt ingezet gedurende de nacht om de kas te isoleren. Bij aanvang van de teelt mocht het scherm in de ochtend alweer tijdig openen. Vanaf half september kwam het lichtuitstootscherm erbij op basis van de buitentemperatuur om met koude nachten de isolatiewaarde van de kas te verhogen. De inzet van het energiescherm gedurende de dag werd ook uitgebreid, het scherm mocht op de dag openen bij 100 W/m$^2$. Het lichtuitstootscherm opende altijd bij zon-op. Vanaf het moment dat de belichting in de nacht werd ingezet, steeg de kastemperatuur al snel boven de ventilatietemperatuur. Afhankelijk van de buitentemperatuur werd in de belichte nacht hoofdzakelijk gewerkt met het lichtuitstootscherm, het energiescherm werd als aanvulling bij lage buitentemperaturen ingezet. Op de dag mocht het energiescherm vanaf 14:00 uur weer dichtlopen bij een instraling <100 W/m$^2$. In de periode tussen zon-op en 14:00 uur werden de schermen opengehouden om te zorgen voor een goede bevlieging van de hommels. Een fase in januari waarbij het scherm gedurende de hele dag gesloten mocht zijn op basis van instraling resulteerde op donkere dagen in een slechte bloemkwaliteit en bevlieging. Gedurende de teelt is het energiescherm uiteindelijk gedurende 2938 uur voor 100% gesloten geweest, van deze 2938 was 685 uur overdag, daarnaast is het scherm nog 578 uur ingezet met een kier van maximaal 10% (Figuur 3-10).




*Figuur 3-10 Gemiddeld aantal uren dat het energiescherm is ingezet gedurende de teelt. Er is onderscheidt gemaakt tussen het aantal uren dat in de donkerperiode is geschermd, gedurende zon-op en de het aantal dat het scherm is ingezet met een kier van max 10%.*

## 3.5. Verticale temperatuur verdeling

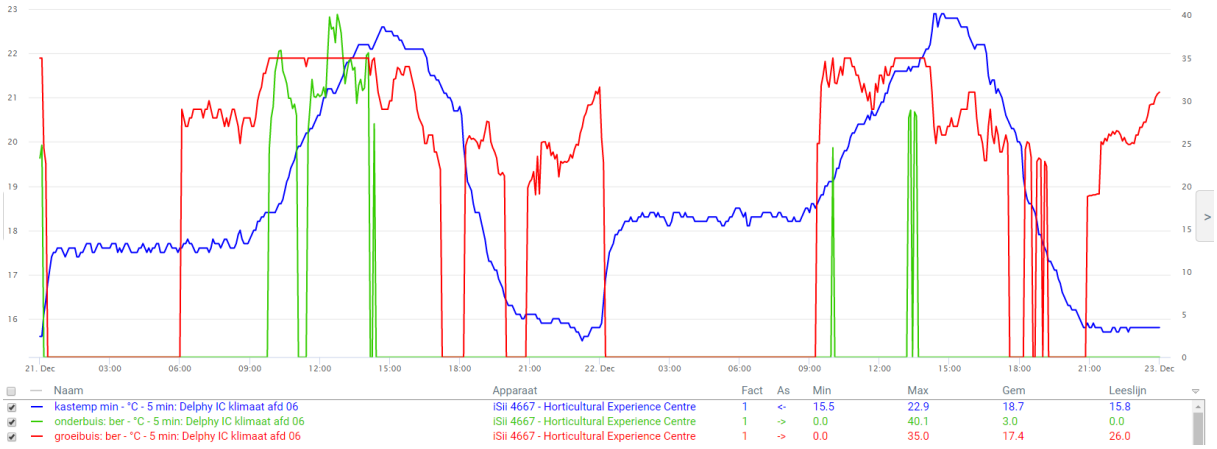
Belangrijke focus binnen het project was het vastleggen van de verticale temperatuurgradiënt in de afdeling. De kas was vanaf begin van de teelt uitgerust met 12 pointed temperatuur sensoren. De sensoren waren gericht op de vruchten en hadden ten doel om te monitoren of in de periode met minimaal buitenlicht, buizen alleen ingezet op basis van warmtevraag en inzet van de actieve ontvochtiging, de vruchten onderin het gewas niet achterbleven in temperatuur. Ook kunnen deze gegevens mogelijk een verband leggen wanneer de uitgroeiduur te hoog zou oplopen, wat achteraf niet het geval bleek te zijn (3.10 Vruchtkwaliteit en houdbaarheid). Figuur 3-11 toont de ontwikkeling van de vruchttemperatuur op 4 verschillende hoogtes in het gewas in de maanden december en januari. In de grafiek is te zien dat gedurende de 18 uur dat de lampen branden er nauwelijks verschil in temperatuur is tussen de vruchten bovenin het gewas en onderin het gewas. In de periode dat de lampen uitschakelen is te zien dat de vruchten hoger in het gewas kouder worden, dit kan het gevolg zijn van uitstraling, maar de vruchten hoger in het gewas zijn ook kleiner waardoor deze mogelijk ook sneller afkoelen. Wanneer in de het voorjaar de instraling overdag toeneemt is wel vast te stellen dat het bovenin het gewas warmer wordt.




*Figuur 3-11 Cyclisch gemiddelde van de vruchtentemperatuur gemeten aan de onderste tros (onder), 3de tros van onder (3de tros), 5de tros van onder (5de tros) en hoogst gezette tros in de maand december (links) en januari (rechts). De stippellijn toont de kastemperatuur gerealiseerd op meetbox en de oranje lijn toont de straling gemeten buiten de kas.*

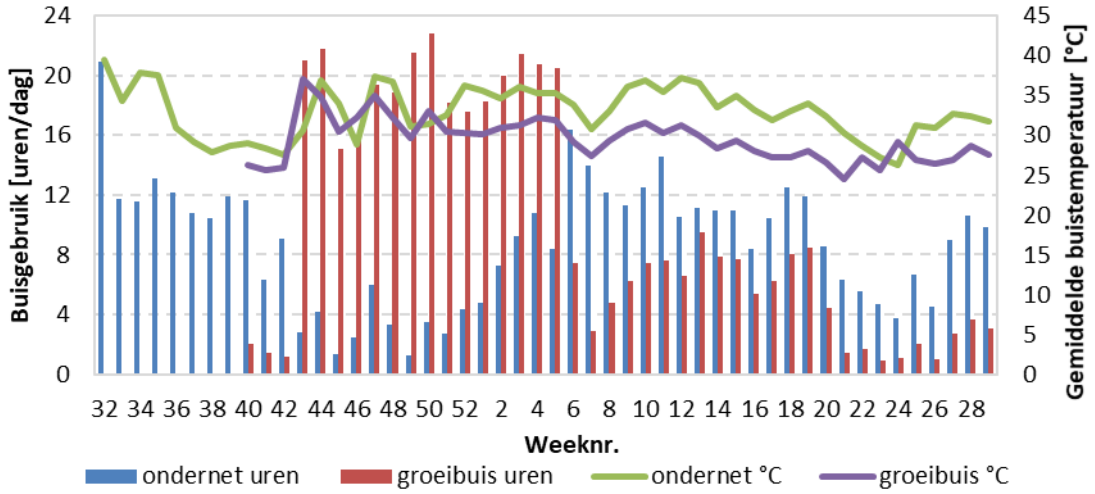
## 3.6. Actieve ontvochtiging en Energiegebruik

De hierboven beschreven schermstrategie was onderdeel van het teeltconcept waarin de warmtevraag grotendeels moest worden ingevuld met de warmtepomp. Om de warmtevraag van de kas te beperken werd de buis alleen gebruikt op basis van de warmtevraag. Figuur 3-12 toont een representatieve weergave van het buisgebruik gedurende het etmaal in de winterperiode (21-22 december). In de belichte nacht met 1 of 2 gesloten schermen zorgde de belichting voor voldoende warmte inbreng en werd warmtevraag van de buizen minimaal berekend. In deze fase werd de actieve ontvochtiging wel ingezet en werd er dus binnen het etmaal meer energie teruggewonnen dan gebruikt. Vanaf het moment dat de stooklijn in de ochtend verder oploopt neemt de buisinput op basis van de warmtevraag toe.



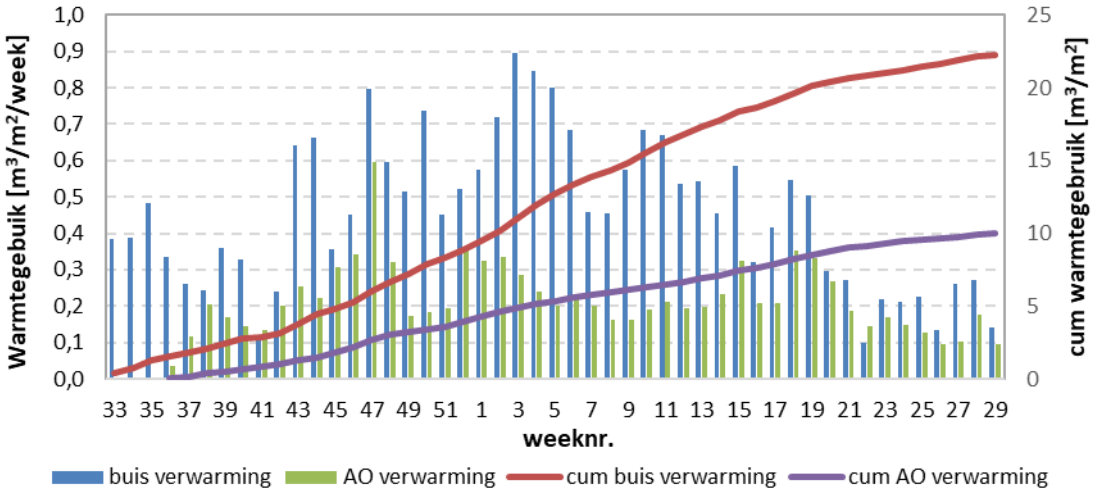

*Figuur 3-12 Buisgebruik rond de kortste dag van het jaar, de blauwe lijn toont de kastemperatuur, de rode lijn het gebruik van de groeibuis en de groene lijn het ondernet. De grafiek toont de strategie die gedurende de winter is gehanteerd, waarbij het groeinet primair werd gebruikt en alleen op warmtevraag werd ingezet. De grafiek toont dat er in de belichte nacht, tussen 0:00 en 9:00 uur een minimale inzet van de buizen is.*

Figuur 3-13 toont de inzet van de buizen gedurende de teelt. Uitgangspunt van de teelt was een maximale buistemperatuur van 45°C. In de beginfase van de teelt werd alleen het ondernet ingezet. Vanaf week 43 is het groeinet als primair net ingezet om de gevraagde warmte bij de vruchten in te brengen. Vanaf week 6 is die strategie weer omgedraaid om de warmte wat meer van onderaf in het gewas te brengen.



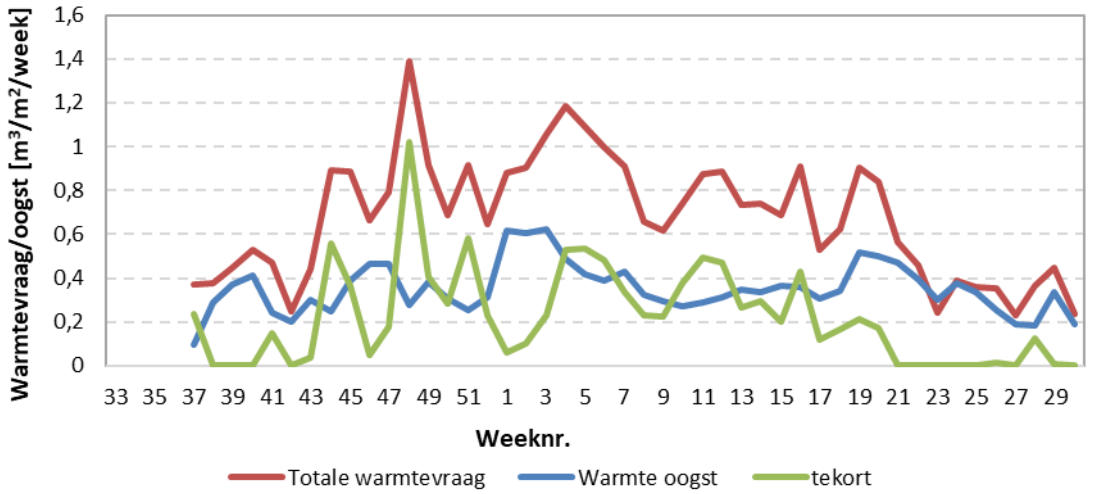

*Figuur 3-13 Buisgebruik gedurende de teelt, weergegeven als het aantal uren gemiddeld per dag dat het ondernet en groeinet een berekende temperatuur hadden, en de gemiddelde buistemperatuur op het moment dat deze een berekende waarde had.*

Aanvullend op de warmtevraag van de kas was er warmte nodig om de teruggekoelde drogere lucht weer terug te brengen naar de gewenste inblaastemperatuur. Gedurende de teelt werd de kaslucht onderin het gewas teruggebracht en verwarmd tot 0.5 tot 1°C boven de kastemperatuur gemeten bij de kop van het gewas. Deze strategie werd gehanteerd vanuit het natuurkundige principe dat warme lucht stijgt en de ingeblazen droge lucht dan beter mengt met de hogere luchtlagen. Gemiddeld werd 60% van de teruggewonnen warmte direct weer gebruikt voor na-verwarming van de kaslucht. Van de totale warmtevraag van de kas werd 31% gebruikt voor het naverwarmen van de afgekoelde kaslucht (Figuur 3-14).

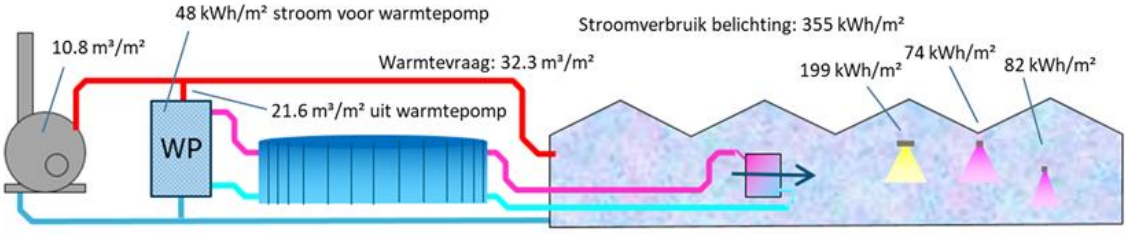



*Figuur 3-14 Warmtegebruik van de kas opgedeeld in de warmte nodig om de gewenste kastemperatuur te realiseren en de warmte die is gebruikt voor de naverwarming van afgekoelde lucht van de actieve ontvochtiging (AO).*

Om met het huidige systeem nagenoeg fossielvrij te kunnen telen moet de warmteoogst in balans zijn met warmtevraag. Figuur 3-15 toont de totale warmtevraag per week ten opzichte van de warmte oogst en het tekort dat hiermee op weekbasis is gerealiseerd. Tussen week 52 en week 2 is er een warmte oogst gerealiseerd van 0.6 $m^3/m^2$/week. Rondom deze fase is er veel geëxperimenteerd met de inzet van de actieve ontvochtiging waardoor de maximale capaciteit van het systeem nauwelijks is benut. Conclusie aan het einde van de teelt is dat het afschakelen van het systeem geen positief effect heeft gehad op de gewaskwaliteit. In een volgende teelt kan het systeem dus veel meer ingezet worden. Figuur 3-16 toont het eindresultaat van de energie input in de kas. De totale warmtevraag van de kas was 32.2 $m^3/m^2$. De invulling met de warmtepomp was 21.6 $m^3/m^2$ waarmee uiteindelijk 67% van de warmtevraag is ingevuld met de warmtepomp. Het beoogde doel waarmee de warmtepomp zou moeten zorgen voor 80-90% invulling van de warmtevraag middels de warmtepomp is hiermee nog niet gerealiseerd.




*Figuur 3-15 De totale warmtevraag, de warmte oogst en het tekort per week. Bij het bepalen van het tekort is de warmte die vrijkomt bij het opwaarderen van de warmte met de warmtepomp meegenomen.*




*Figuur 3-16 De balans van de warmtevraag en warmteoogst van de totale teelt en de warmte invulling vanuit de warmtepomp. Aanvullend is ook input van elektra voor zowel de warmtepomp als voor de lampen weergegeven.*

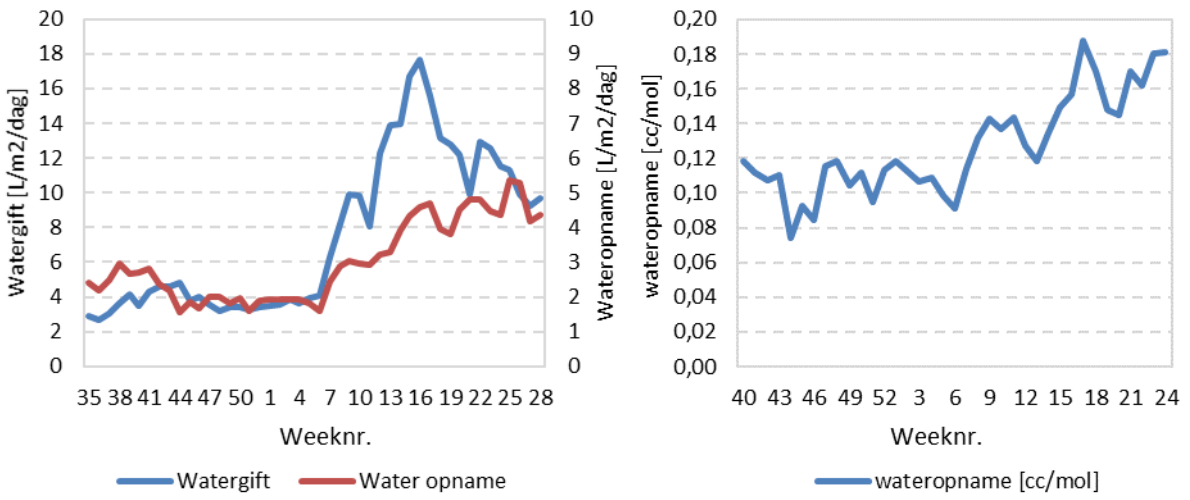
## 3.7. Watergift en voeding

### 3.7.1. Watergift

De uitrusting van de het teeltsysteem met de 'Hybrid boXX' vroeg een aangepaste aansturing van de watergift. Het kleine substraatvolume in combinatie met het lagere watervasthoudendvermogen zorgde dat er frequenter en met kleinere hoeveelheden water werd gegeven. Bij aanvang van de teelt was de hoeveelheid water en de benodigde frequentie van de watergift wat onderschat. In tegenstelling tot de steenwol mag het substraat hier maar zeer beperkt interen. Vanaf half oktober is de strategie aangepast waarbij er uiteindelijk gedurende het volledige etmaal water is gegeven. In de winter was de watergift stabiel en werd een gemiddelde gift van ongeveer 3.5 L/m$^2$/dag gerealiseerd. Deze hoeveelheid is vergelijkbaar met de gift op een steenwolmat.

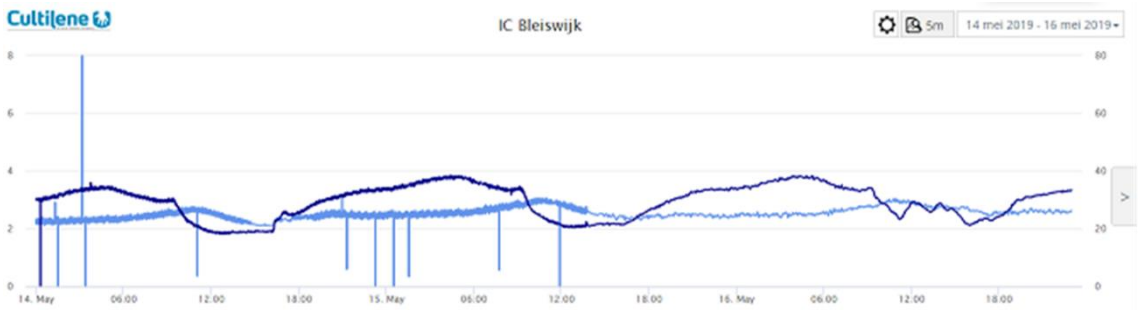
Vanaf eind februari, toen de instraling snel begon op te lopen begon de watergift ook fors toe te nemen. Het uitgangpunt was om te streven naar 60% drain, waarbij er bijna continue water werd aangeboden aan het gewas. Dit had gevolgen voor de nauwkeurigheid van de registratie, doordat de toevoer van water bijna continue was, kon de hoeveelheid drain per beurt niet meer goed worden vastgelegd. Dit ging bij grote hoeveelheden ten koste van de nauwkeurigheid van de registratie. In Figuur 3-17 is de watergift en opname weergegeven, waarbij op basis van de gift en de opname analyses een zo nauwkeurig mogelijke inschatting is gemaakt van de wateropname. Opvallend zijn de hoge cijfers van de gift in relatie tot de opname in het voorjaar.

Vanaf mei is de hoeveelheid weer wat teruggebracht, zeker ook in relatie tot het licht. Aanleiding hiervoor was o.a. de beschikbaarheid van zuurstof voor de wortels bij de hoge watergift frequentie. Door een constante toevoer van water kan dit ten koste gaan van de beschikbaarheid van zuurstof voor de wortels. Met behulp van $O_2$ sensoren van Sendot is een indicatieve meting gedaan naar de beschikbaarheid van zuurstof (bijlage 5.7) Daarnaast was ook het uitgangspunt om niet meer water te geven dan nodig. In opvolging hierop is de rusttijd vergroot, en ging ook de totale watergift naar beneden, terwijl dit niet ten koste ging van de opname. Ook is in de opname ten opzichte van de hoeveelheid licht weergegeven in mol geen afbuiging te zien. Wel neemt de opname per mol toe wanneer het aandeel buitenlicht in relatie tot het lamplicht toeneemt (Figuur 3-17).




*Figuur 3-17 Watergift en wateropname gemiddeld per week gedurende de teelt (links), en hoeveelheid opgenomen water per mol licht (rechts).*

Op basis van instraling werd de EC gedurende de dag afgebouwd om zo water beter beschikbaar te maken voor het gewas. In eerste instantie stond er een EC afbouw van 3.7 en -1 tussen 200 en 500 Watt/m$^2$ ingesteld. Later werd dit 4 met een afbouw van -2 tussen 200 en 500 Watt/m$^2$. De stuurbaarheid in het substraat was ook duidelijk te zien in de matmetingen, waarbij een snelle reactie van EC zichtbaar is in tegenstelling tot op de steenwol die de vergelijkbare hoeveelheid water kreeg (Figuur 3-18). Omdat er geen 1-op-1 vergelijk lag binnen de afdeling is het lastig vast te stellen of de efficiëntie van het watergebruik is verhoogd. Wel is aangetoond dat met het systeem een goede teelt en productie te realiseren is. Gedurende de teelt is er discussie geweest over de kwaliteit van de wortels in relatie tot watergift. Het bleek lastig hier een goede meting aan te verrichting. Foto's aan het einde van de teelt toonde een goede ontwikkeling van de wortels (Figuur 3-19).

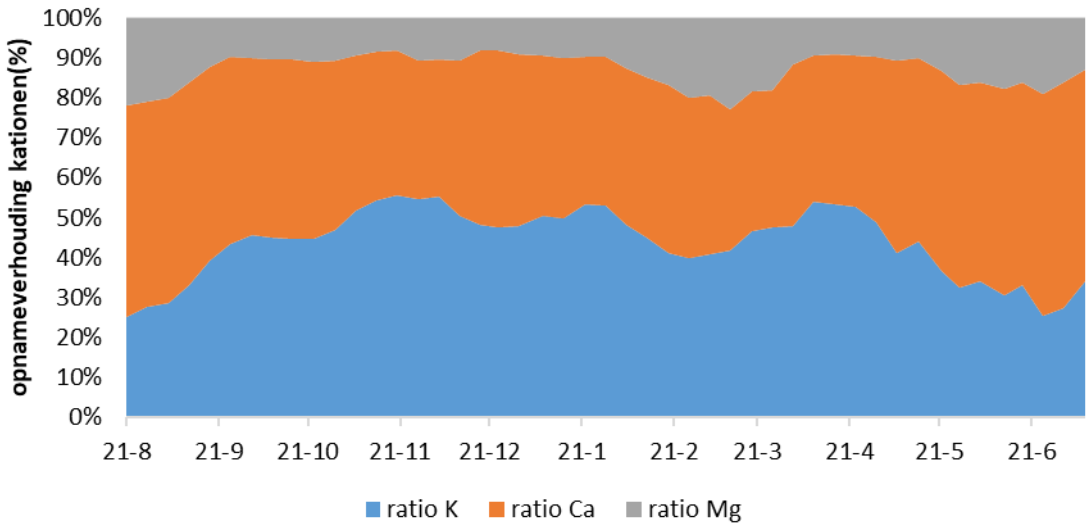



*Figuur 3-18 Stuurbaarheid van de Hybrid boXX (donkerblauwe lijn) ten opzichte van steenwol (licht blauwe lijn) de lijnen tonen het verloop van de EC in de mat gedurende 3 dagen in mei. Vooral op de laatste dag is de reactie van de regeling zichtbaar op het moment dat de straling gedurende de dag afneemt en vervolgens weer toeneemt.*

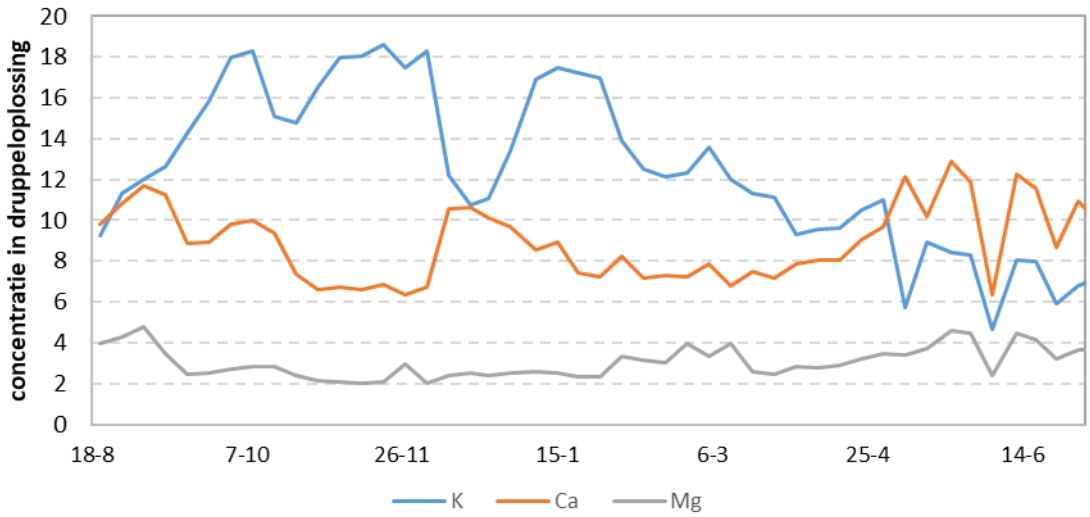
*Figuur 3-19 Foto's tonen de wortels aan de onderkant van de houtvezel mat aan het einde van de teelt.*

### 3.7.2. Monitoring voeding: opname calcium

Onderstaande verslaglegging is ingebracht door Ruud Kaarsemaker (GAC) op basis van de voedingsanalyses.
Voorafgaand aan de teelt werd aangenomen dat de opname van calcium in de winterperiode moeizaam zou verlopen door onvoldoende verdamping van het gewas. Calcium werd echter probleemloos opgenomen. Uit de drogestof analyses van de jong volgroeide bladeren bleek dat het calciumgehalte zich altijd binnen de streefwaardes van 4-8 mmol/10 g drogestof of daarboven bevond. Dit betekent dat er voldoende gewasverdamping was om de opname van calcium te stimuleren. De opname van kalium was in oktober, het begin van de teelt, wat moeizaam. De vruchten kleurden wat moeilijk, waren dof van kleur en iets wankleurig. Op basis daarvan is kalium verhoogd en calcium wat verlaagd in de druppeloplossing (Figuur 3-20). Daarna verbeterde de doorkleuring van de vruchten visueel. Vanaf april is de calcium opname gestimuleerd in verband met de grotere behoefte aan calcium bij toenemende verdamping en hogere instraling. Uit de drogestof analyses in het blad en de vruchten bleek dat er tot begin juni voldoende voedingstoffen in het blad en de vruchten aanwezig waren. Ondanks een forse verhoging van calcium in het druppelwater (Figuur 3-21) begin mei werd vanaf begin juni een lager calciumgehalte in de jonge vruchten gemeten. Dit heeft mogelijk verband met het ontstaan van neusrot aan het einde van de teelt. Dit werd mogelijk veroorzaakt doordat er aan het einde van de teelt onvoldoende actieve wortels waren om voldoende calcium op te kunnen nemen.




*Figuur 3-20 Verloop van de opname verhouding van de kationen tijdens de teelt.*



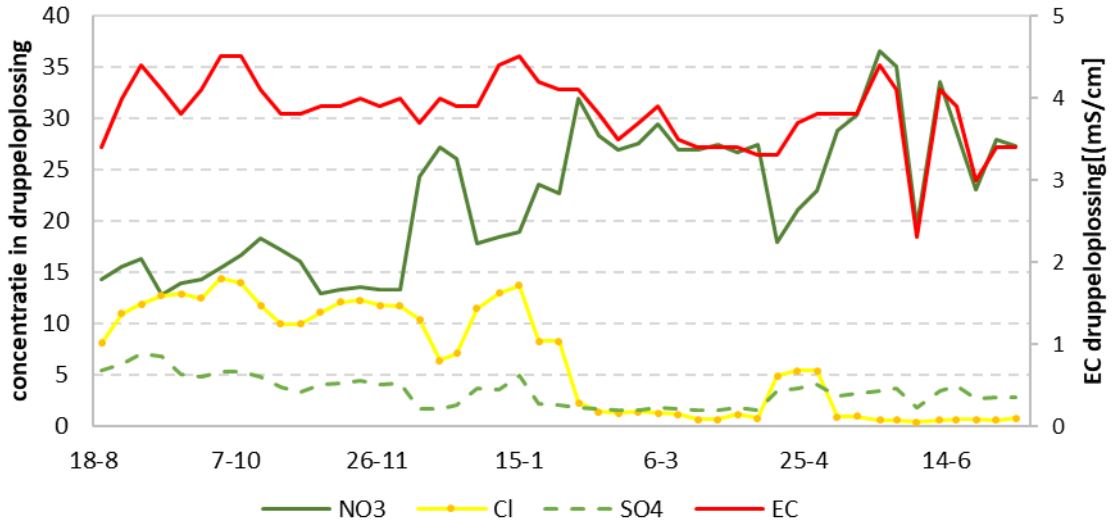

*Figuur 3-21 Verloop van de concentratie Calcium, Kalium en Magnesium in het druppelwater*

## 3.8. Gewasontwikkeling

### 3.8.1. LAI en verdeling van assimilaten

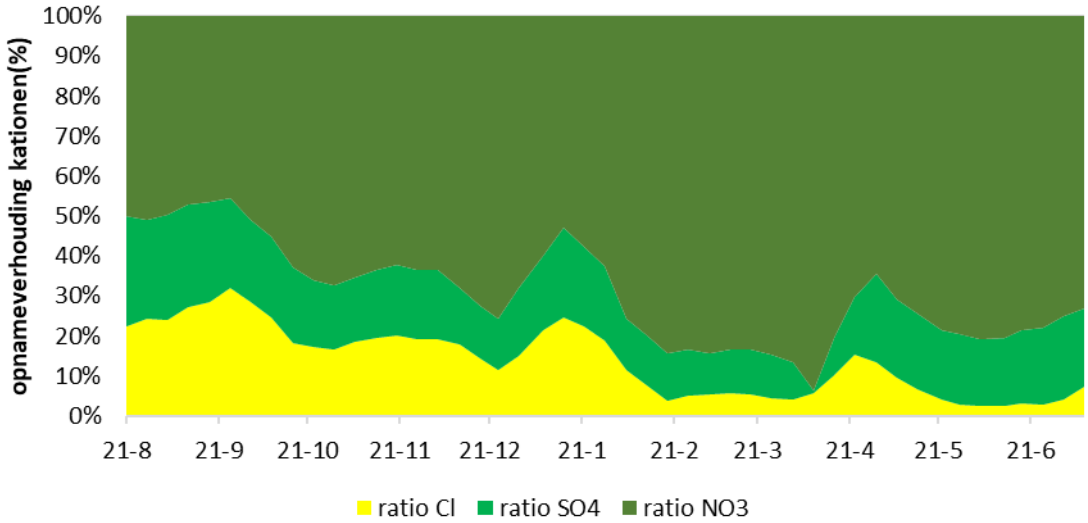
Voorafgaand aan de teelt is uitgerekend dat een LAI in de winter van 2.5-3 m²/m² en in de zomer een van rond de 4 m²/m² het hoogste rendement oplevert bij de beschikbare lichthoeveelheden (Bijlage 5.1). Doelstelling was om de bladoppervlakte te beperken en hiermee de gewasverdamping beperken en de verdeling van assimilaten te optimaliseren. Luxe consumptie van stikstof veroorzaakt te veel bladoppervlak, met een overbodige verdamping als gevolg.

Hoewel er in de teelt veel factoren van invloed zijn op de bladgrootte en als gevolg hierop de LAI. Was één van de uitgangspunten van het project om middels de voeding de bladoppervlakte te beperken. Focus van de voeding was hierin het aanbod van nitraat beperken. In het begin van de teelt zullen dus lage nitraatgehaltes in het voedingswater nodig zijn om de bladgrootte te remmen, en later in de teelt worden de bladeren steeds kleiner en zou de stikstof verhoogd moeten worden om juist voldoende oppervlakte te creëren. Verhogen van het nitraat gaat daarbij direct samen met een afname van Chloride en Sulfaat. Figuur 3-22 toont de samenstelling van de anionen in het druppelwater gedurende teelt. Hierin is te zien dat het nitraat in de beginfase van de teelt laag wordt gehouden en naarmate de teelt vordert de concentratie toeneemt.



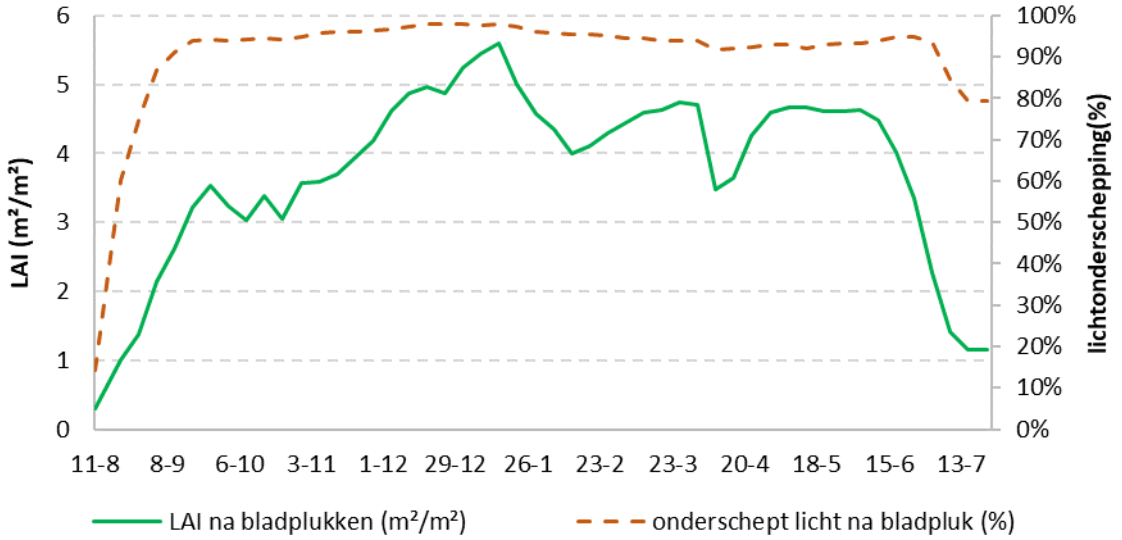

*Figuur 3-22 Concentratie nitraat, chloride en sulfaat in het druppelwater.*

De aanpassingen in het druppelwater zijn ook terug te zien in de opname analyses waarbij het aandeel nitraat in de bladeren hoger wordt en chloride en sulfaat afnemen (Figuur 3-23).




*Figuur 3-23 Verloop van de opname verhouding van de anionen tijdens de teelt.*

De wekelijkse meting van de bladgrootte is gebruikt om de LAI te monitoren (Figuur 3-24). De LAI wordt bepaald door het aantal stengels per m², de bladgrootte, het wel of niet verwijderen van jonge blaadjes in de kop en het aantal bladeren aan de stengel. De verdeling van de LAI over de bladnummers aan de stengel heeft ook gevolgen voor de lichtdoordringing in het gewas. Bij het verwijderen van jonge blaadjes dringt het licht dieper in het gewas door dan bij het niet verwijderen van jonge blaadjes.




*Figuur 3-24 Het totale bladoppervlak in de kas (LAI m²/m²) en de berekende lichtonderschepping gedurende de teelt.*

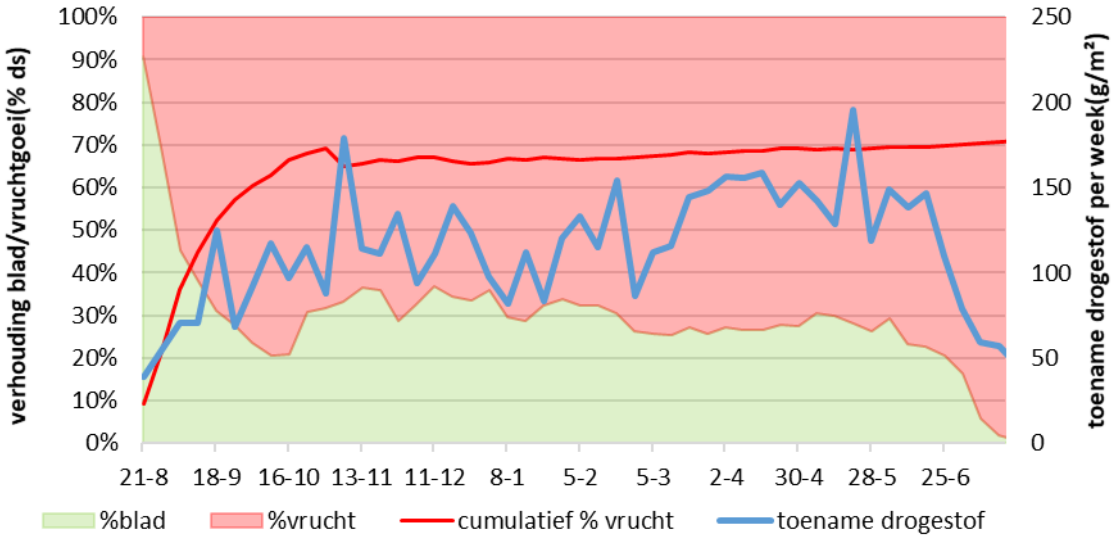
Productietechnisch is het gunstig om de optimale LAI te realiseren met bladbezetting gelijk verdeeld over de gehele stengellengte tussen kop en oogstbare tros. De optimale LAI kan dan gerealiseerd worden door middel van de bladgrootte en het verwijderen van jonge bladeren in de kop. Hierbij wordt het assimilerend vermogen van de bladeren optimaal benut en hoeven er de minste assimilaten geïnvesteerd te worden in de vorming van blad. De verdeling van het bladoppervlak over de stengel is ook van belang in relatie tot de positie van het tussenlicht. Bij de berekeningen van de optimale LAI voorafgaand aan de teelt is daar geen rekening mee gehouden. Het bladpakket onder het tussenlicht moet voldoende zijn op het tussenlicht voldoende te kunnen onderscheppen. In de winterperiode volstaat, indien er geen jonge bladeren verwijderd worden, een bladgrootte van 650 cm², gemiddeld 53 cm lang en 47 cm breed, om het gewenste bladoppervlak te realiseren. Indien de bladeren een maximale grootte hebben van 900 cm², gemiddeld 59 cm lang en 54 cm breed, kan één op de drie bladeren verwijderd worden en wordt hetzelfde bladoppervlak gerealiseerd. In de zomer is een bladgrootte nodig van 730 cm² en volledige bladbedekking om de gewenste bladbedekking van 4.6 m²/m² te realiseren. Indien er geen tussenbelichting toegepast wordt of indien het tussenlicht hoger in het gewas geplaatst wordt zal de optimale LAI lager zijn.

Zoals ook af te lezen in Figuur 3-24 was de optimale LAI in de winterperiode hoger dan vooraf berekend, dit is enerzijds toe te schrijven aan de verdeling van het groeilicht tussen en boven het gewas. De gerealiseerde LAI heeft meestal dicht in de buurt van de optimale LAI gezeten. In het eerste deel van de teelt, tot begin november, was de LAI wat aan de lage kant, daarna zijn er meer bladeren aan de stengel aangehouden waardoor een groter bladoppervlak gerealiseerd kon worden. In januari lag de LAI tijdelijk boven het optimum. Dit werd veroorzaakt doordat er geen jonge blaadjes verwijderd werden wegens de slechte bladkwaliteit. Ook werd door de telers in deze fase van de teelt benoemd dat de gemeten LAI niet overeenkwam met de visuele bevinding van het gewas. Het advies was ook om niet meer blad weg te nemen.

Een opvallende bevinding was dat de bladeren onderin het gewas nog een goede kwaliteit hadden op het moment dat ze geplukt werden: Ze bleven donkergroen van kleur en hadden nauwelijks slijtage. (Figuur 3-25)

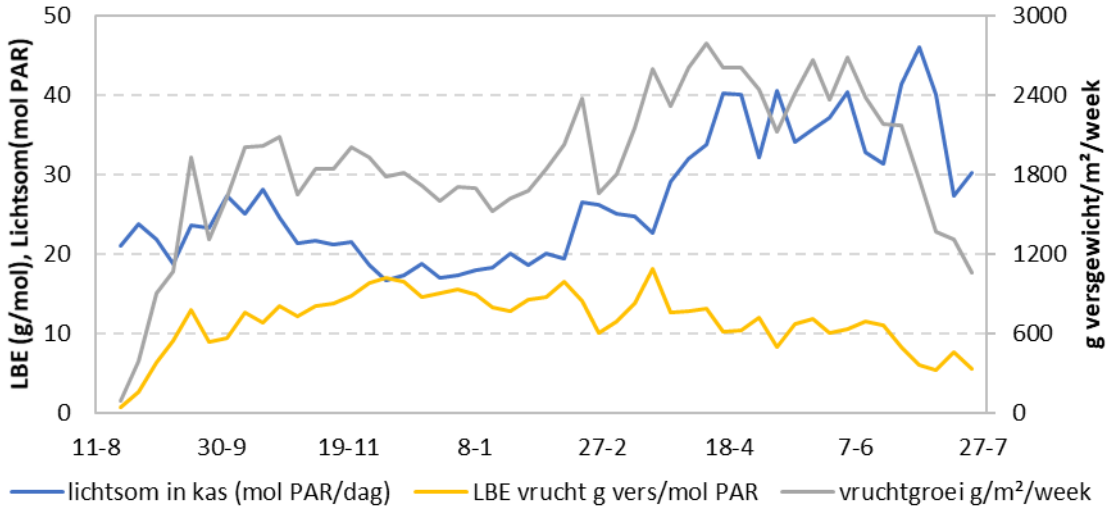
*Figuur 3-25 Links 7e blad onder de bloeiende tros, rechts geplukt blad onderin het gewas op 18 december 2018. Foto links toont de goede blad kwaliteit op het moment dat blad onderin het gewas werd verwijderd.*

Middels het sturen van het bladpakket werd beoogd om van de aangemaakte assimilaten een groter aandeel in de vruchten te krijgen en daardoor een hogere productie te kunnen realiseren. Op basis van de metingen aan het drooggewicht toont Figuur 3-26 de verhouding tussen blad en vrucht. Waarbij gemiddeld over de gehele teelt 71% van de aangemaakte assimilaten naar de vruchten is gegaan en 29% naar de bladeren en de stengels. Hierbij is aangenomen dat stengelgroei overeenkomt met 40% van de toename van het bladgewicht.
Het aandeel van 71% van de assimilaten dat benut werd voor vruchtgroei ligt dicht bij het percentage vruchtgroei dat gerealiseerd wordt bij een LAI van 3-4 m²/m² zoals dat voorafgaand aan de proef is berekend. In die berekening lag de optimale LAI lager dan in deze demonstratie teelt doordat daar zoals eerder is aangegeven werd uitgegaan van alleen top belichting.




*Figuur 3-26 Verhouding van het % blad en %vrucht op basis van hoeveelheid aangemaakte droge stof per week en cumulatief.*

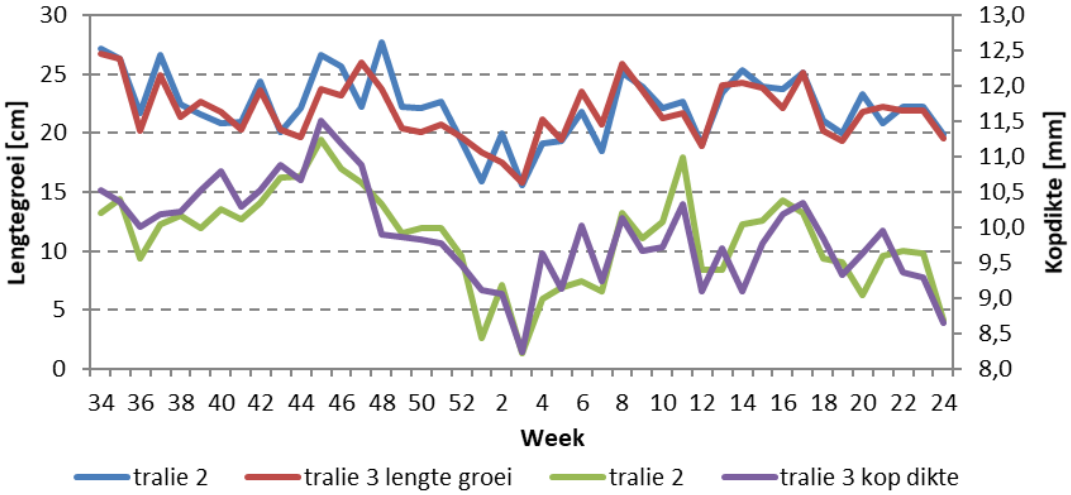
Op basis van de metingen van de wekelijkse toename van het versgewicht van de vruchten is te zien dat totale toename in lijn is met de toename van het licht op week basis (Figuur 3-27). Hieruit blijkt dat het beschikbare licht goed werd onderschept. In bijlage 5.3 van dit rapport is de relatie tussen LAI en vruchtgroei verder uitgediept en geanalyseerd.




*Figuur 3-27 Wekelijkse toename van het versgewicht van de vruchten op basis van metingen aan de diameter van iedere 2de vrucht aan de tros. Ieder meetpunt het gemiddelde van 10 stengels is.*

### 3.8.2. Gewasontwikkeling

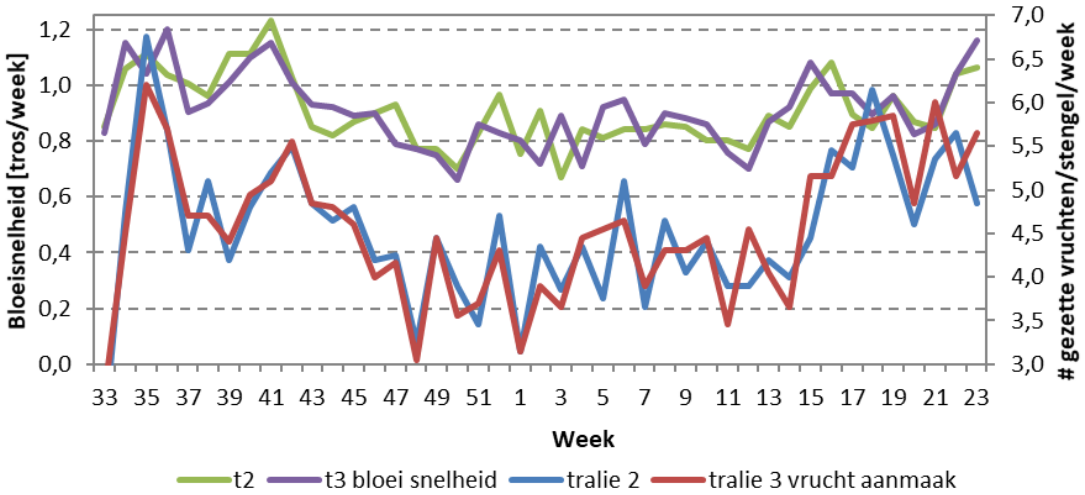
Gedurende de teelt is de lengtegroei en de kopdikte vrij stabiel ontwikkeld. De kopdikte wordt altijd gezien als een mate voor de gewasbalans en de kracht in het gewas. Waarbij een te hoge waarde van de kopdikte vaak wordt beoordeeld als te veel naar de vegetatieve delen, maar een te lage kopdikte met een te zwak gewas. De ontwikkeling die tijdens de teelt is vastgesteld laat vanaf week 45 een afname van de kopdikte zien. Deze afname is daarmee in lijn met de bevindingen dat het gewas generatief stond en in de donkerste periode van het jaar het gewas ook zwakker stond. Vanaf week 4 is vervolgens weer herstel te zien. De dip in de gewasontwikkeling komt ook terug in de lengtegroei, in de donkerste periode van het jaar is ook de lengtegroei laag, terwijl deze de rest van de teelt tussen de 20 en 25 cm ligt (Figuur 3-28). Er is geen verschil waarneembaar tussen de standaard en de LED belichting met extra verrood (tralie 2 en tralie 3).




*Figuur 3-28. Ontwikkeling van de lengtegroei en de kopdikte gedurende de teelt, ieder meetpunt is het gemiddelde van 20 stengels. Tralie 2 = LED R/B en Tralie 3 = LED R/W/FR/LB.*

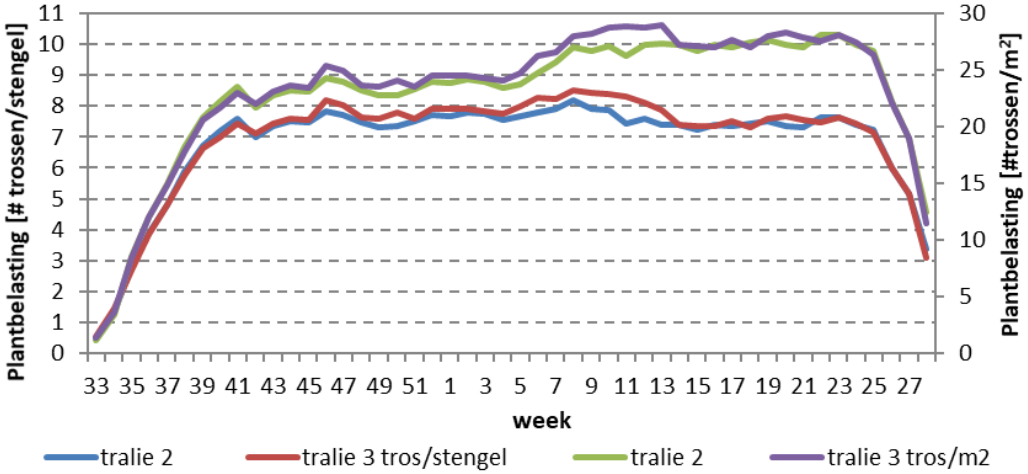
Uitgangspunt van de teelt was om in het begin van de teelt snelheid te maken en zo ook een snelle opbouw van de plantbelasting. Met de vroege plantdatum en hoge lichtsommen en temperaturen in deze fase van de teelt is het ook goed mogelijk om dit te realiseren. In de eerste 8 weken van de teelt is de bloeisnelheid gemiddeld 1.1 trossen/week, richting de winter neemt dit af en in de 8 donkerste weken van het jaar is de bloeisnelheid gemiddeld 0.8 trossen/week. Dezelfde trend komt

terug in het aantal gezette vruchten, omdat er in de laatste fase teelt tijdelijk op 6 en -2 is gesnoeid is het aantal gezette vruchten hoger, maar de ontwikkelingssnelheid blijft gehandhaafd (Figuur 3-29). Ook hier is geen trendverschil tussen standaard en verrood.




*Figuur 3-29. Bloeisnelheid en vruchtaanmaak per week voor tralie 2 en tralie 3. Ieder meetpunt is het gemiddelde van 20 stengels. Tralie 2 = LED R/B en Tralie 3 = LED R/W/FR/LB.*

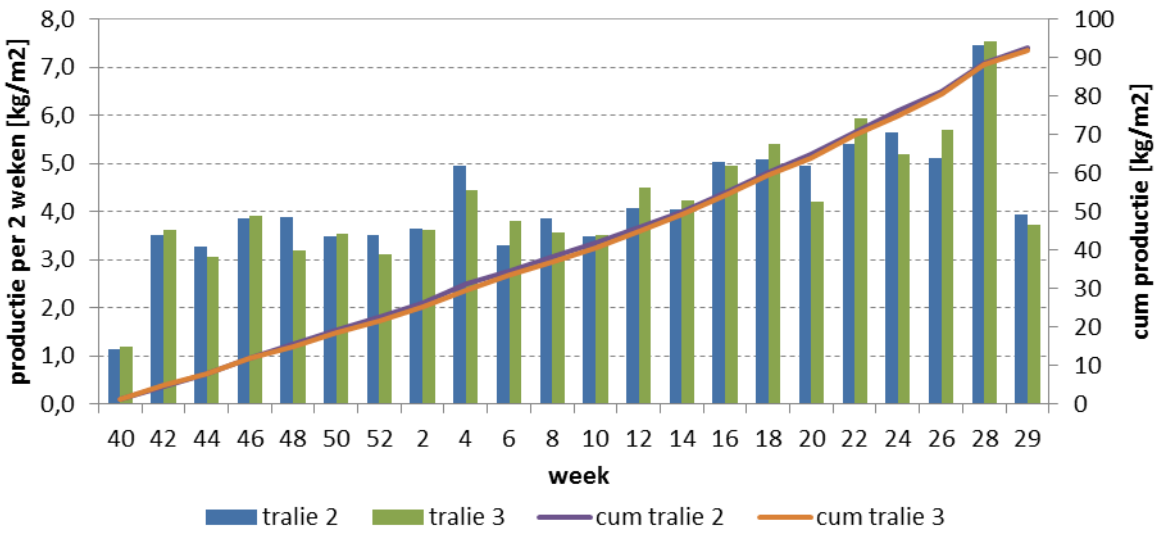
Met de huidige uitrusting van het teeltsysteem was er extra aandacht om de plantbelasting niet te hoog te laten oplopen. Dit betekende dat de uitgroeiduur van de vruchten gehandhaafd moest blijven. Er is daarom gemonitord op het aantal trossen per stengel. Figuur 3-30 laat zien dat het aantal trossen per stengel in de winter rond 8 trossen/stengel ligt, wat voor deze fase van het jaar een belasting is die in lijn is met de praktijk. De totale plantbelasting (trossen/m$^2$) loopt gedurende de teelt op als gevolg van het aanhouden van extra stengels.




*Figuur 3-30. Ontwikkeling van de plantbelasting weergeven als plantbelasting (# trossen per stengel) en belasting per m$^2$, waarin de stengeldichtheid is meegenomen. Ieder meetpunt is het gemiddelde van 20 stengels. Tralie 2 = LED R/B en Tralie 3 = LED R/W/FR/LB.*

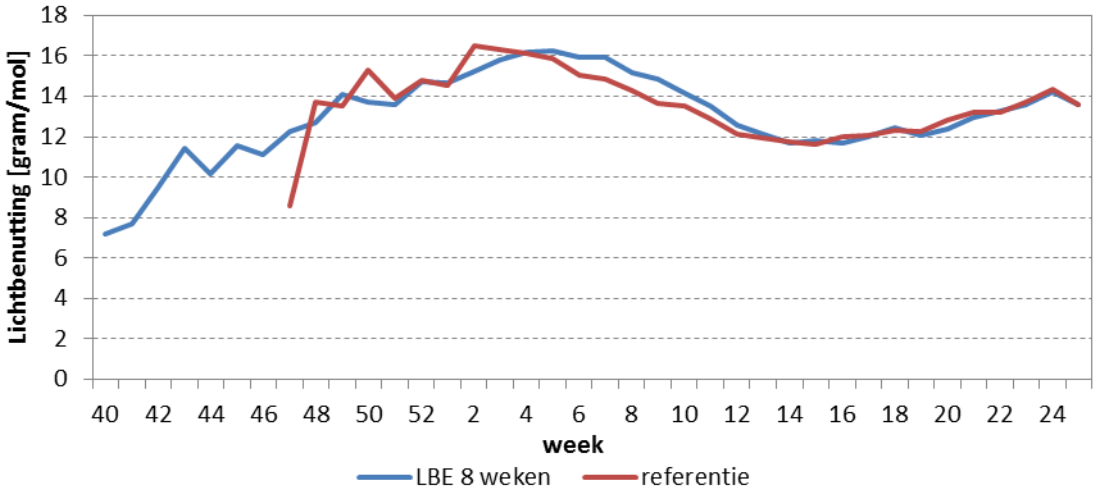
## 3.9. Productie en Lichtbenutting

Gedurende de teelt werd er met een interval van 5 dagen geoogst dit betekende dat er in de even-weken 1 keer werd geoogst en in de oneven-weken 2 keer werd geoogst. In Figuur 3-31 is de productie daarom weergegeven als de productie per 2 weken. De productie is uiteindelijk uitgekomen op 92.7 Kg/m$^2$ (exclusief afval), dit is iets lager dan vooraf geprognotiseerd. Het verschil met de prognose is vooral ontstaan in de tweede helft van de teelt, waarbij onder andere uitval van stengels en neusrot in de laatste fase hebben bijgedragen aan een lagere productie. Tussen de 2 tralies is geen verschil in productie vastgesteld.

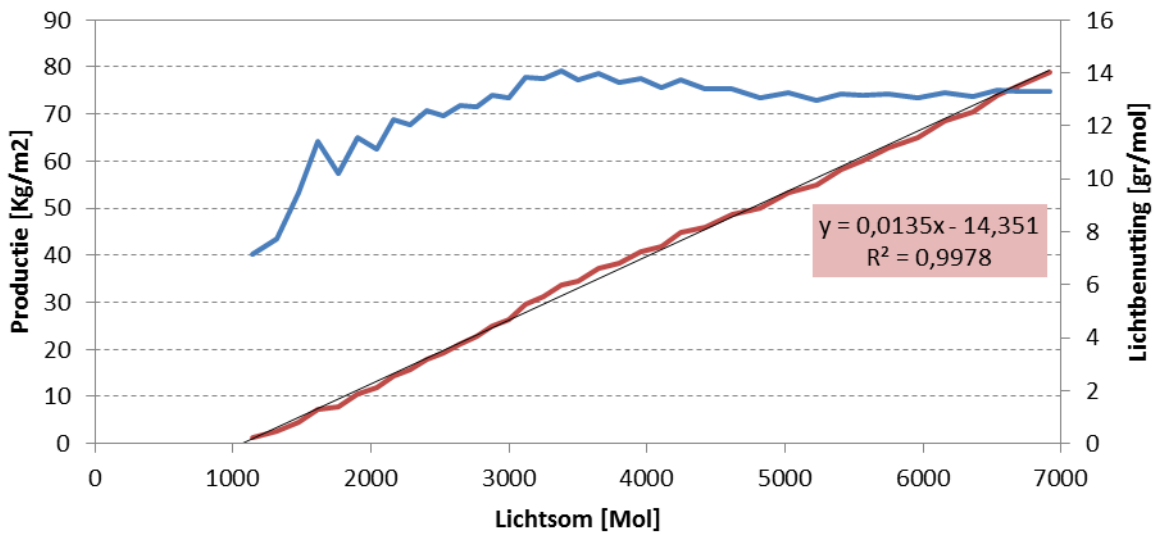



*Figuur 3-31. De productie gedurende de teelt weergeven als som per 2 weken en cumulatief. Tralie 2 = LED R/B en Tralie 3 = LED R/W/FR/LB.*

Omdat tijd geen bepalende factor is voor de potentiële productie, is ook gekeken naar de lichtbenuttingsefficiëntie, de grammen versgewicht die vanuit 1 mol licht gerealiseerd worden. De lichtbenuttingsefficiëntie is hieronder op 2 manieren weergegeven. Figuur 3-32 toont het voortschrijdend gemiddelde van de productie van 8 weken tegenover de hoeveelheid licht van diezelfde 8 weken. Omdat de gemiddelde uitgroeiduur van tomaten rond de 8 weken is, is dit is in lijn met de uitgroeiduur van de vruchten. In Figuur 3-33 is de cumulatieve lichtsom uitgezet tegen de cumulatieve productie. Naast de huidige teelt is er een referentie teelt weergegeven, waarbij goed te zien is dat de lijnen elkaar goed volgen in de omzetting van het licht. Na de winterperiode is er een daling te zien dit is het gevolg van het feit dat het extra licht niet direct wordt geoogst, maar er een vertraging is van de uitgroeiduur. Bij een toename van het licht neemt de efficiëntie waarmee het licht wordt omgezet in productie ook af.



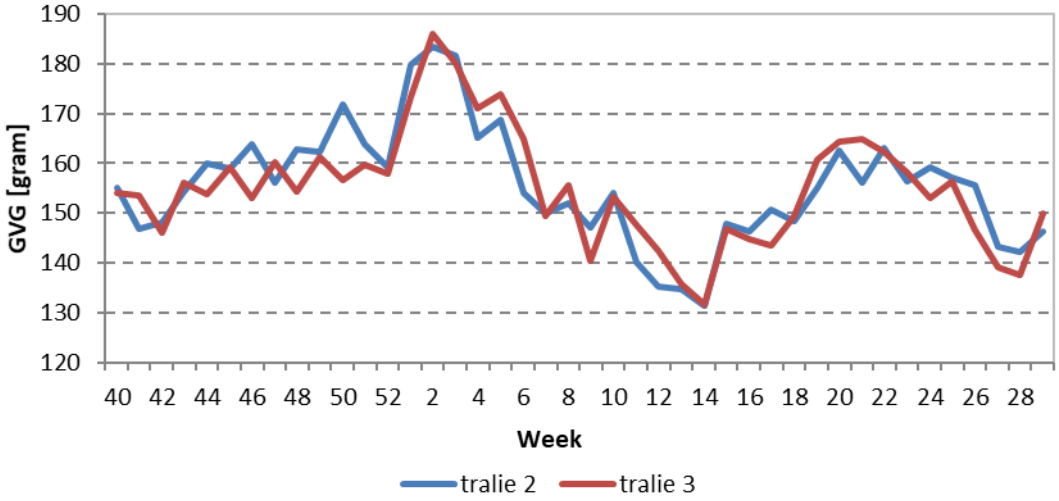

*Figuur 3-32. Ontwikkeling van de lichtbenutting gedurende de teelt t.o.v. een referentie teelt waar de plantdatum een maand later was. De lichtbenutting is hierbij weergegeven als voortschrijdend gemiddelde per 8 weken. De data is hierbij weergeven tot het moment dat het gewas gekopt is.*




*Figuur 3-33. De gerealiseerde productie uitgezet tegen de lichtsom, en de lichtbenutting weergegeven vanaf het moment van oogsten tot het moment dat de kop uit het gewas gehaald.*

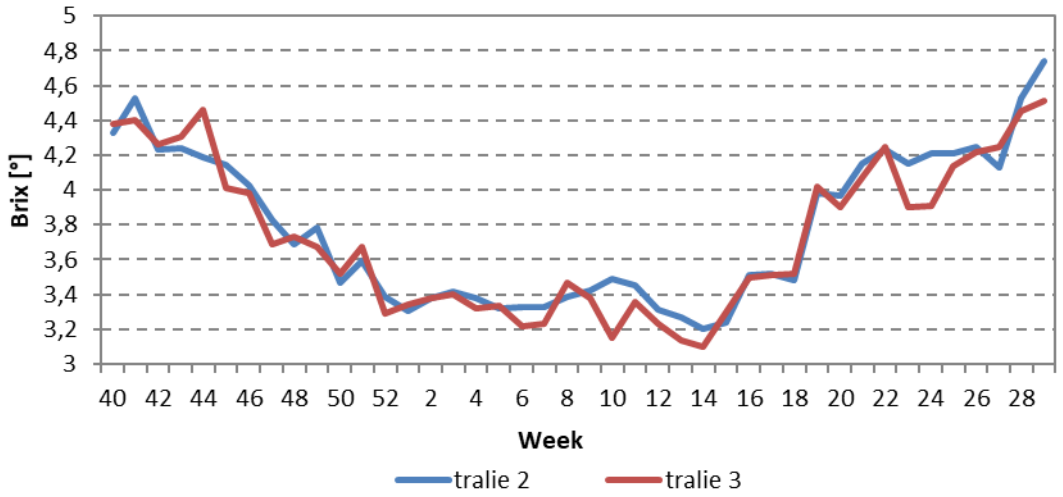
## 3.10. Vruchtkwaliteit en houdbaarheid

Gedurende de teelt werd een wekelijkse meting gedaan van het vruchtgewicht en de brix. Het vruchtgewicht (Figuur 3-34) toont bij aanvang van de teelt een vruchtgewicht dat schommelt rond de 160 gram. Vanaf week 1 is een stijging in het vruchtgewicht te zien in beide behandeling, waarna vanaf week 4 een dalende trend is te zien die doorzet tot in week 14. Het verschil in vruchtgewicht toont hier een stukje onbalans in de plant. Hoewel in de referentie teelt ook een daling van het GVG waarneembaar was in een vergelijkbare fase, wordt de daling ook wel toegeschreven aan de gerealiseerde temperaturen. Zoals eerder beschreven is er aan het begin van de teelt veel snelheid gemaakt en is een steilere licht:temperatuur lijn aangehouden. Aandachtspunt voor een vervolgteelt is om een minder steile licht:temperatuur aan te houden.



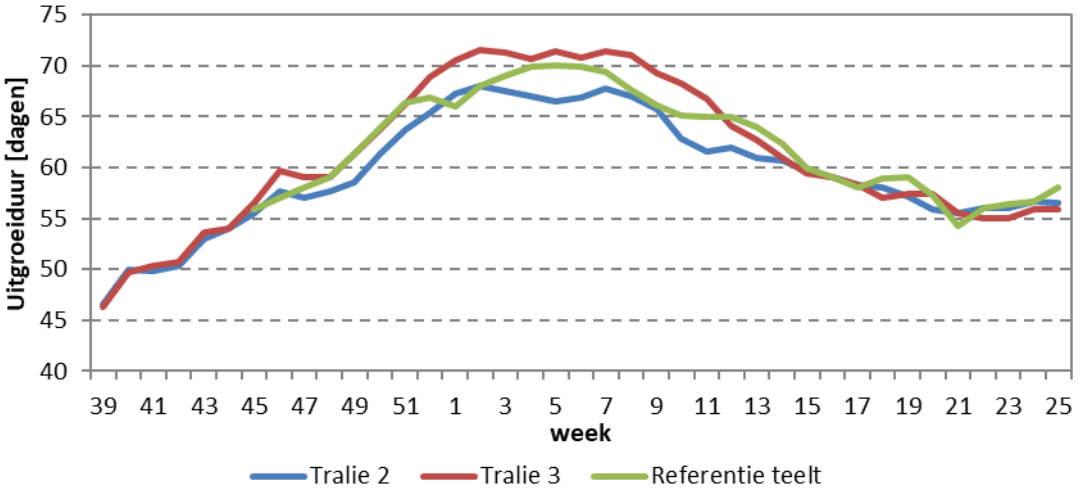

*Figuur 3-34. Ontwikkeling van het gemiddeld vruchtgewicht in tralie 2 en tralie 3 gedurende de teelt.*

Gedurende de teelt zijn van iedere oogst 10 trossen bemonsterd voor het bepalen van de brix-waarde. Opvallende bevinding was dat in de beginfase van de teelt de brix relatief hoog lag ten opzichte van de praktijk op dat moment. De oorzaak hiervan werd met name ook gezocht in de watergiftstrategie aan het begin van de teelt (3.7.1 Watergift). Los van de hoge waardes in het begin van de teelt laten de brix-waardes geen bijzonderheden zien (Figuur 3-35).



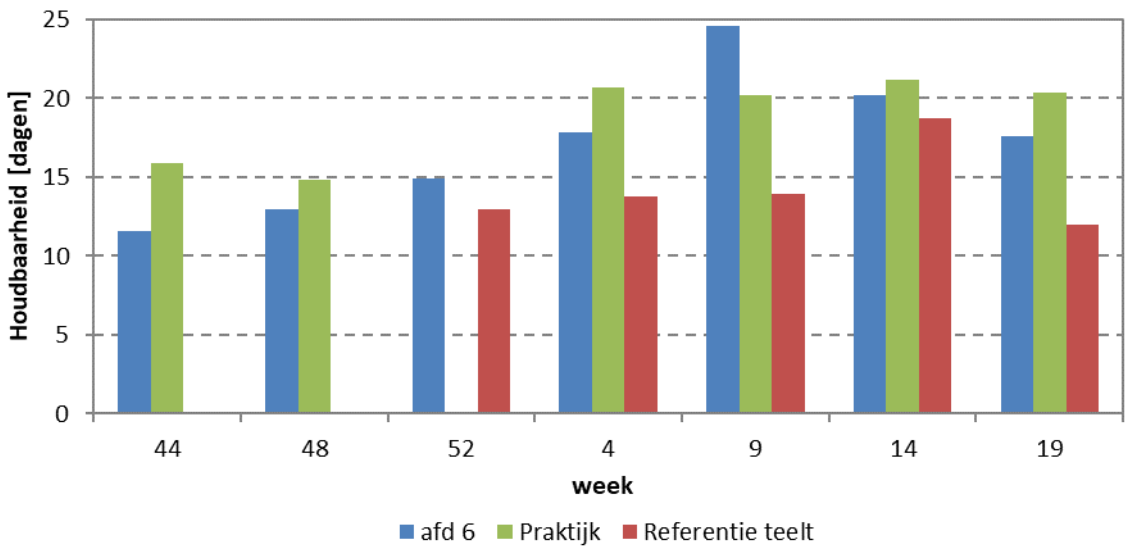

*Figuur 3-35. Ontwikkeling van de Brix in tralie 2 en tralie 3 gedurende de teelt.*

De ontwikkelingssnelheid van de vruchten is sterk gecorreleerd met de temperatuur. Het feit dat er niet met een minimumbuis werd geteeld en er met de ontvochtiging lucht van onderaf werd ingeblazen, resulteerde in de hypothese voorafgaand aan de teelt dat de groeiduur mogelijk kon gaan oplopen. Om in de winter zoveel mogelijk te focussen op de uitgroei, werd het groeinet als primair verwarmingsnet ingesteld. Figuur 3-36 toont de ontwikkeling van de uitgroeiduur gedurende het verloop van de teelt. De oplopende uitgroeiduur als gevolg van de afnemende temperaturen en afnemend licht is in de ontwikkeling terug te zien. De uitgroeiduur loopt in de winter maximaal op naar 70 dagen. Dit is een positief resultaat gezien dit in lijn is met de referentie teelt en de gangbare praktijk. De uitgroeiduur in tralie 3 (extra verrood) lijkt in de winter iets hoger te liggen dan in tralie 2, dit kan mogelijk het gevolg zijn van het feit dat tralie 3 aan de buitengevel lag.




*Figuur 3-36. Ontwikkeling van de uitgroeiduur gedurende teelt in de tweede en derde tralie t.o.v. het verloop van de uitgroeiduur in de referentie bij het Improvement Centre.*

Ook voor de houdbaarheid was het vooraf de vraag of deze binnen dit teeltsysteem voldoende behouden kon blijven. Figuur 3-37 toont de houdbaarheid en laat zien dat de houdbaarheid goed in lijn is met praktijk en de referentie en zelfs hoger is dan de referentie afdeling op het IC. Een algemene trend die te zien is, is dat in de belichtingsperiode de houdbaarheid lager is en richting het voorjaar toeneemt.




*Figuur 3-37 Houdbaarheid van de oogst weergeven in aantal dagen. Naast de proef (afd. 6) werd er ook een monster van het praktijk bedrijf ingezet en werd later ook de referentie die op dat moment op het IC liep meegenomen. De houdbaarheidstesten zijn uitgevoerd bij WUR volgens het vastgestelde protocol (20°C en 80% RV).*

## 3.11. Gewasgezondheid

Gedurende de gehele teelt is de gewasbescherming een aandachtspunt geweest. Bij aanvang van de teelt is er gestart met een preventieve aanpak van wittevlieg, dit ook met het oog op TOCV. Ondanks de lage druk van wittevlieg is er in een vroeg stadium toch een plant met TOCV vastgesteld. Na het verwijderen van deze plant zijn er gedurende de rest van de teelt geen bevindingen meer gedaan van TOCV. Hoewel er gedurende de volledige teelt wel constant wat druk van wittevlieg (voornamelijk kaswittevlieg) is geweest, is dit gedurende de volledige teelt vrij goed onder controle geweest. Dit was ook het resultaat van de goede populatie opbouw van Macrolophus gedurende de teelt. Alleen aan het eind van de teelt liep de druk van witte vlieg wat hoger op. Hierbij werd ook de vraag gesteld in welke mate het mee druppelen van middelen in het nieuwe substraatsysteem voldoende goed wordt opgenomen. Metingen toonde echter aan dat deze voldoende in het gewas meetbaar waren.

Gedurende de teelt is de meeste aandacht uitgegaan naar de bestrijding van 'Tuta Absoluta' en 'Galmijt'. Tuta is in de basis bestreden door het inzetten van vanglampen, feromoonvallen en het spuiten van BT-middelen. De druk die continue aanwezig was vanuit de Tuta heeft hierin niet echt geleid tot schade aan de productie en kwaliteit. Dit was helaas niet het geval voor de galmijt. Gedurende de teelt sluimerde de druk van galmijt langzaam door. Een beperking hierin is het lastig waarnemen van de druk van galmijt als gevolg van de tussenbelichting. Middels het inzetten van zwavelbehandelingen is de galmijt gedurende een lange periode van de teelt toch goed onder controle gebleven. Echter in de laatste periode van de teelt heeft de galmijt gezorgd voor uitval van meerdere stengels. De discussie die hierbij opgang kwam was de plantweerbaarheid.
Het gewas was gedurende de teelt erg generatief, wat mogelijk ook zorgde dat het gewas kwetsbaarder was voor ziekten en plagen. Het is op basis van de huidige inrichting van de proef niet vast te stellen welke factoren hierin de belangrijkste rol hebben gespeeld. Wel moet er bij het innoveren van het teeltsysteem aandacht zijn voor de weerbaarheid van het gewas.

# 4. Leerpunten en conclusies

De inzet van de actieve ontvochtiging was gedurende de gehele teelt een aandachtspunt. De focus lag in eerste instantie op het optimaliseren van de teeltomstandigheden, waarbij de sturing van het systeem was ingestoken op het realiseren van het gewenste VD. In de periode eind november/begin december werd de beoogde warmte oogst niet gerealiseerd als gevolg van een technische beperking van het systeem. Na deze verholpen te hebben bleek dat er ongeveer 0.6 $m^3/m^2$/week aan warmte geoogst kon worden. Door het continue toenemen van de aanwezigheid van bladranden, werd er gezocht naar de interactie met het ontvochtigingssysteem. In eerste instantie werd de hypothese gesteld dat de luchtbeweging van onderaf zorgde voor bladranden, als gevolg van extra stimulering van de verdamping onderin het gewas. Als reactie hierop werd de luchtbeweging (ventilatorcapaciteit) afgebouwd, met als gevolg minder warmte oogst en grotere verschillen in de verticale gradiënt van de kas. Vanaf eind februari werd er daarom geregeld met een hogere ventilatorstand en kleiner verschil tussen de inblaas AV en AV in de kas. Dit pakte positief uit voor het gewas.

Het resultaat is dat 67% van de totale warmtebehoefte van de kas (buisverwarming + actieve ontvochtiging) ingevuld is met de warmtepomp. De beoogde doelstelling waarbij 80 tot 90% van de warmtebehoefte vanuit de warmtepomp werd voorzien is hiermee nog niet gerealiseerd. Maar de hierboven beschreven leerpunten tonen dat deze 80 tot 90% haalbaar is. Op basis van de wintermaanden waarin 0.6 $m^3/m^2$/week werd geoogst kunnen we de potentie door berekenen. Hierbij zal afhankelijk van de buitenomstandigheden een resterende vraag zijn op basis van de huidige capaciteit. Buiten de belichte periode is het daarbij zaak om het systeem optimaal te benutten zodat er volledig op de warmtepomp gedraaid kan worden, maar aan de andere kant ook niet meer warmte wordt teruggewonnen dan nodig. In periodes met veel instraling is de focus meer op vocht sparen dan op ontvochtigen, maar zal het systeem met een meer koelende functie worden ingezet voor invulling van de warmtevraag.

De Hybrid boXX heeft laten zien dat er met het systeem een goede productie en vruchtkwaliteit te realiseren is. Wel vraagt het systeem om een nieuwe aanpak van de watergift, waarbij alles wat geleerd is op de steenwol niet zomaar kan worden toegepast. Vooral bij aanvang van de teelt was de benodigde hoeveelheid water voor een goede opname onderschat, waardoor het gewas een sterke generatieve insteek kreeg. In de winter is er toegewerkt naar een vrij stabiele watergift en week de hoeveelheid water dat aan het gewas werd gegeven niet veel af t.o.v. een reguliere teelt op steenwol. Met het toenemende licht werd de EC aangepast op basis van de teeltomstandigheden. De metingen van het substraat toonde dat het beschikbare water voor het gewas snel kon worden aangepast. Wel was het zoeken naar de juiste balans tussen water beschikbaar maken voor het gewas, maar ook niet meer water rondpompen dan nodig. Discussiepunt tijdens de teelt was de conditie van de wortels in het systeem. De kwaliteit van de wortels en de condities in het wortelmilieu bleken lastig te monitoren. Visuele waarnemen van de wortels aan het einde van de teelt toonde echter een goede ontwikkeling van de wortels. Aanbeveling is om in een volgende teelt steenwol en de Hybrid boXX naast elkaar mee te nemen om zo meer inzicht te krijgen in de invloed van de Hybrid boXX.

De nauwkeurige monitoring en sturing van de voedingselementen heeft erin geresulteerd dat calcium gedurende de teelt voldoende opgenomen is geweest. De LAI is gedurende de belichte periode hoger opgelopen dan vooraf beoogd. Dit had o.a. als oorzaak dat er in een systeem met tussenbelichting voldoende bladoppervlakte onder de tussenbelichting moet worden aangehouden. Ook was de bladkwaliteit als gevolg van veel bladranden niet goed waardoor ook meer blad benodigd was. Uit de verhouding tussen blad en vrucht bleek dat de Harvest Index niet is verhoogd, maar in lijn was met een reguliere teelt in de praktijk. Om de hoeveelheid blad aan het gewas verder te optimaliseren zullen verdiepende metingen moeten worden uitgevoerd aan de lichtonderschepping in relatie tot de positie van de tussenbelichting en de LAI.

De productie kwam uiteindelijk uit op 93 Kg/m$^2$, hoewel er op basis van de prognose meer was beoogd was de lichtbenutting vergelijkbaar met de referentie. Daarnaast is aan het einde van de teelt een deel van de productie verloren gegaan als gevolg van aantasting en stengeluitval door galmijt. In de winter was productie relatief gezien beter dan in de zomer en is het licht ook goed omgezet in oogstbare vruchten. Belangrijke conclusies waren dat met het niet inzetten van de minimumbuis en het werken met de actieve ontvochtiging, de uitgroeiduur van de vruchten niet hoger is opgelopen dan 70 dagen, dat conform is aan de praktijk. Ook hadden de vruchten een houdbaarheid die overeenkwam met de praktijk.

Het top LED spectrum met een hoger aandeel verrood heeft niet geresulteerd in een hogere productie of een zichtbaar/meetbaar afwijkende gewasontwikkeling ten opzichte van het standaard RB spectrum. Een mogelijk verklaring hierin is dat de top LED slechts voor 23% bijdroeg aan de totale lichtsom en het totale aandeel verrood binnen het totale spectrum te laag was om een effect te tonen. In de ontwikkeling richting een fossielvrije glastuinbouw waarin LED belichting als basis wordt gezien is het aan te bevelen hierin verder te verdiepen. Hierin spelen plant fysiologische bevindingen een rol (o.a. veel assimilaten in de onderste bladeren), maar ook vanuit het oogpunt van arbeid en gewasbescherming/scouten.

De gewasbescherming was in de teelt wel een aandachtspunt. Vooral de druk van Tuta en galmijt was gedurende de teelt hoog. In de ontwikkeling richting integrale duurzaamheid zouden meer meetbare eigenschappen over de gewasweerbaarheid inzichtelijk gemaakt moeten worden.

## Literatuur

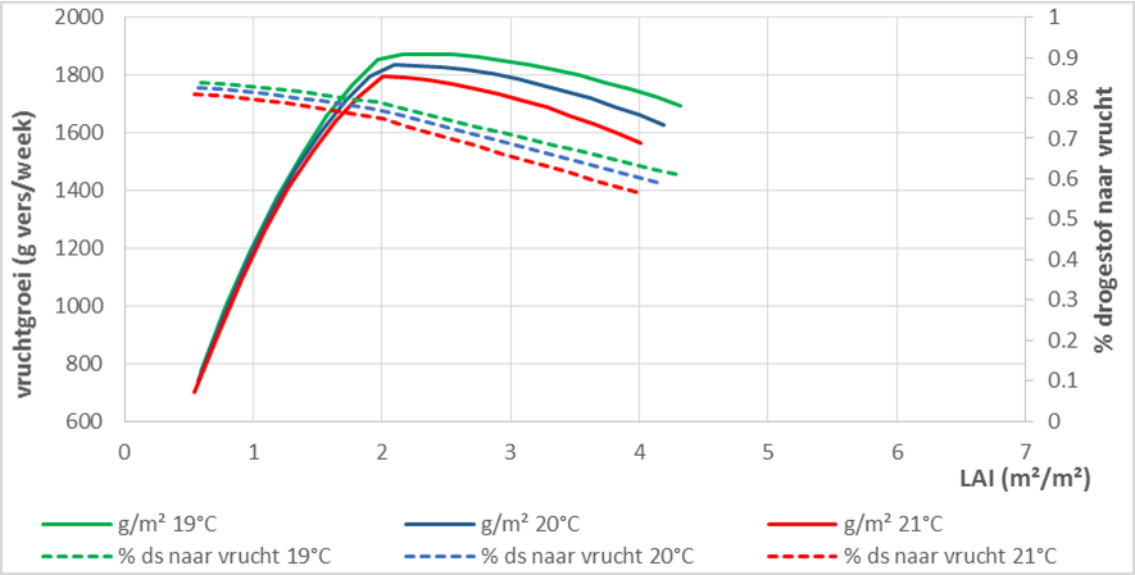

- De Zwart, Feije; Vanthoor, Bram; Koreneef, Sven, 2019.Tuinbouw zonder fossiele energie, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw, rapport WPR-853.
- Geelen, P. A. M., J. O. Voogt, en P. A. van Weel, 2015. De basisprincipes van het nieuwe telen. LTO Glaskracht Nederland.

# 5. Bijlage

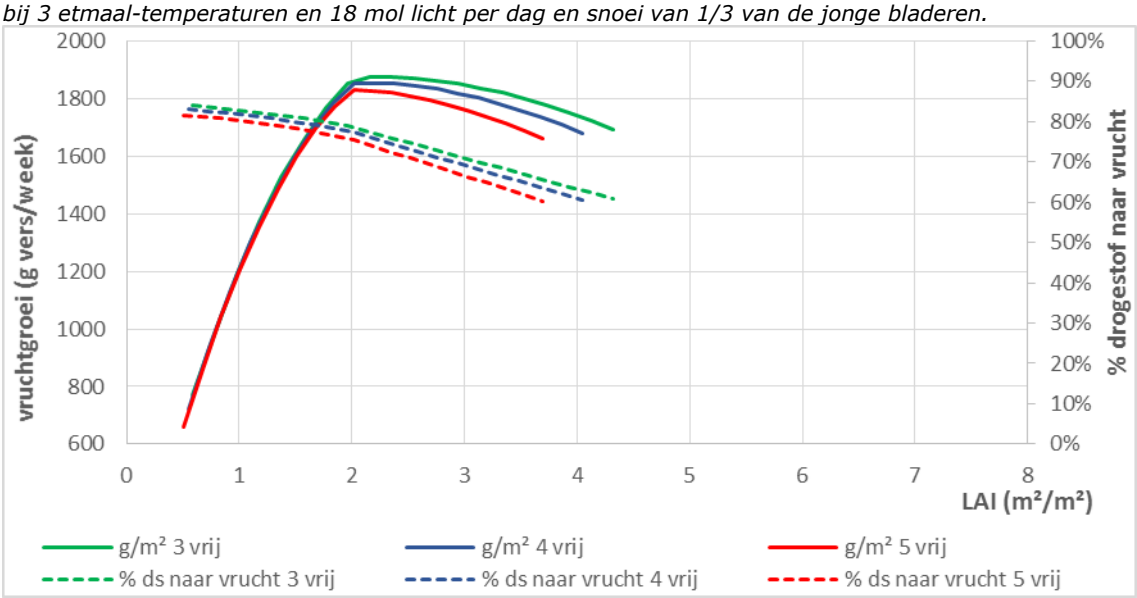
Onderstaande bijlage bevat de uitwerking van de metingen die gedurende de teelt zijn verricht door Groen Agro Control. Onderstaande rapportage is opgesteld door Ruud Kaarsemaker.

## 5.1. Optimale LAI voor maximale productie

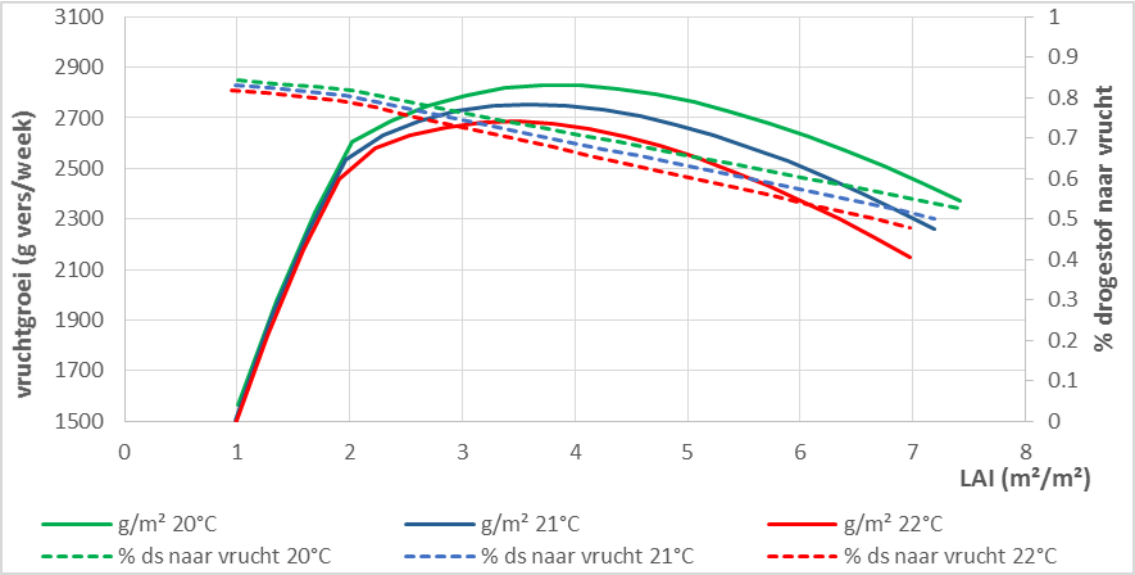
Op basis van de berekende groei, de assimilaten verdeling, de lichtonderschepping en de beschikbare hoeveelheid licht, is bij verschillende bladgroottes uitgerekend hoeveel assimilaten er voor vruchtgroei beschikbaar waren. De maximale bladgroottes werden gevarieerd tussen 150 en 1100 cm² in stappen van 50 cm². Daarnaast werd de invloed van de etmaaltemperatuur en het aantal bladeren aan de stengel meegenomen. In de figuren is ook de verdeling van de drogestof dat naar de vruchten gaat als percentage weergegeven. Bij afnemende LAI blijft het berekende aandeel vruchten toenemen terwijl er een voor de maximale vruchtgroei een optimum bestaat. Bij de berekening werd er vanuit gegaan dat al het licht van boven werd gegeven. In werkelijkheid zal de optimale vruchtgroei bij deze wijze van belichting bij een hogere LAI gerealiseerd worden. Dit zal vooral in de berekening met 18 mol licht van belang zijn omdat daar 22% van de totale lichthoeveelheid tussen het gewas wordt gegeven terwijl dat bij 29 mol maximaal 13% is.



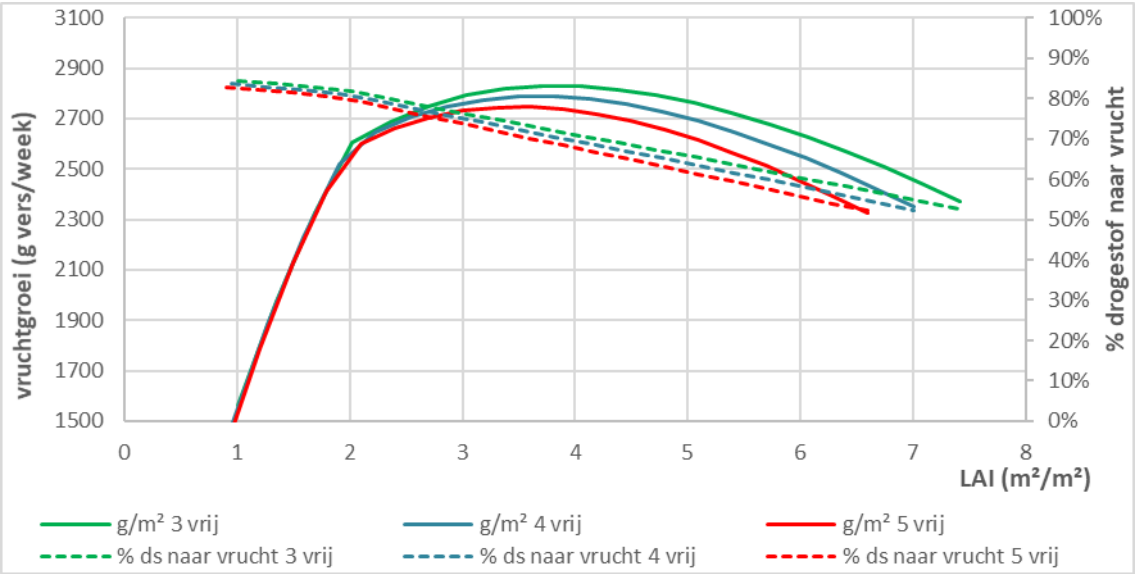

*Figuur 5-1 Berekend budget beschikbaar voor vruchtgroei en aandeel vruchtgroei bij verschillende bladgroottes bij 3 etmaal-temperaturen en 18 mol licht per dag en snoei van 1/3 van de jonge bladeren.*




*Figuur 5-2 Berekend budget beschikbaar voor vruchtgroei en aandeel vruchtgroei bij verschillende bladgroottes bij 3, 4 en 5 bladeren vrij boven de tros bij een etmaal-temperatuur van 19°C en 18 mol licht per dag en snoei van 1/3 van de jonge bladeren.*

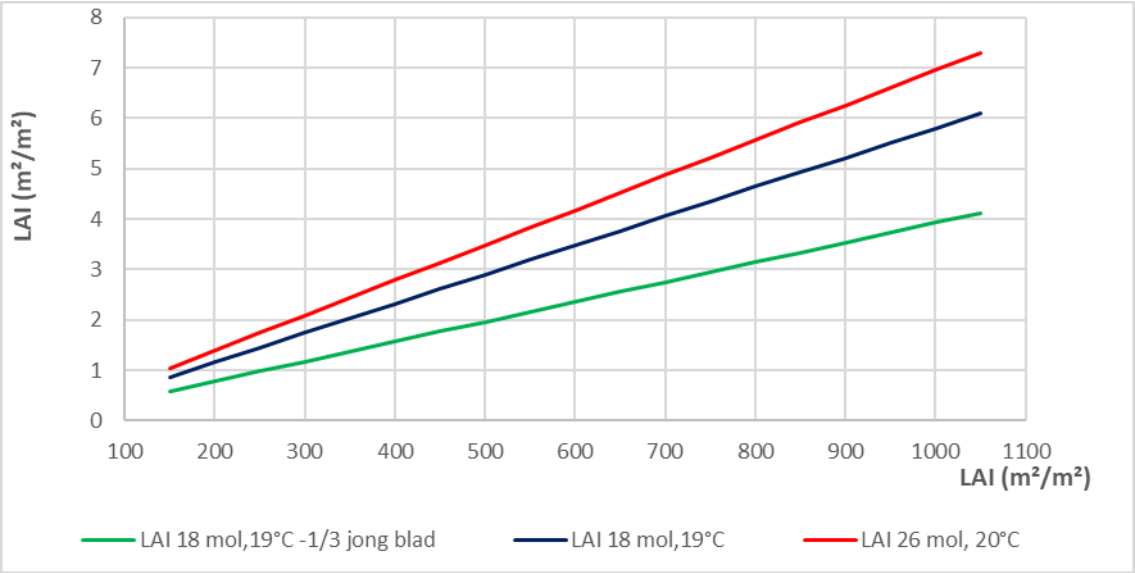



*Figuur 5-3* Berekend budget beschikbaar voor vruchtgroei en aandeel vruchtgroei bij verschillende bladgroottes bij 3 etmaal-temperaturen en 29 mol licht per dag, zonder snoei van jong blad.



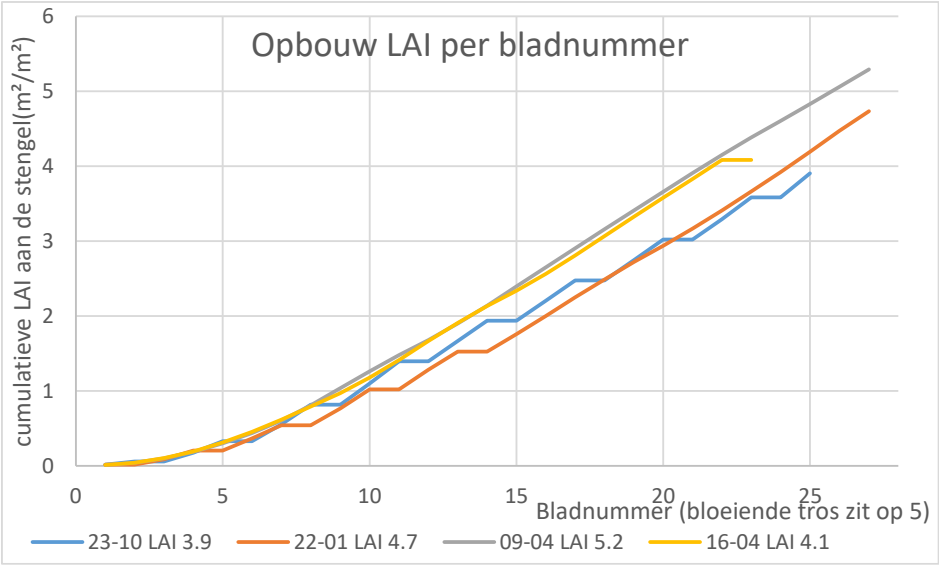

*Figuur 5-4 Berekend budget beschikbaar voor vruchtgroei en aandeel vruchtgroei bij verschillende bladgroottes bij 3, 4 en 5 bladeren* vrij boven de tros bij een etmaal-temperatuur van 20°C en 29 mol licht per dag, zonder snoei van jong blad.

Tijdens de proef is de bladgrootte wekelijks vastgesteld. Daarnaast zijn de stengeldichtheid, het aantal bladeren aan de stengel en het wel of niet verwijderen van jonge blaadjes bepalend voor de LAI. In Figuur 5-5 is de relatie tussen bladgrootte voor 3 situaties gedurende de teelt weergegeven.




*Figuur 5-5 Samenhang tussen de bladgrootte en de gerealiseerde LAI bij 18 mol, 3.1 stengels/m², 19°C met en zonder 1/3 jonge bladsnoei en bij 26 mol, 3.75 stengels/m² en 20°C.*

Bij het verwijderen van de jonge blaadjes uit de kop (Figuur 5-6), (23-10) zijn meer bladeren nodig voor dezelfde LAI dan bij het niet verwijderen van jonge blaadjes (16-4) en bij meer bladeren aan de stengel (9-4) is de LAI hoger dan bij minder bladeren aan de stengel (16-4). De verdeling van de LAI over de bladnummers aan de stengel heeft ook gevolgen voor de lichtdoordringing in het gewas. Bij een lagere LAI voor hetzelfde bladnummer zal het licht dieper doordringen in het gewas.

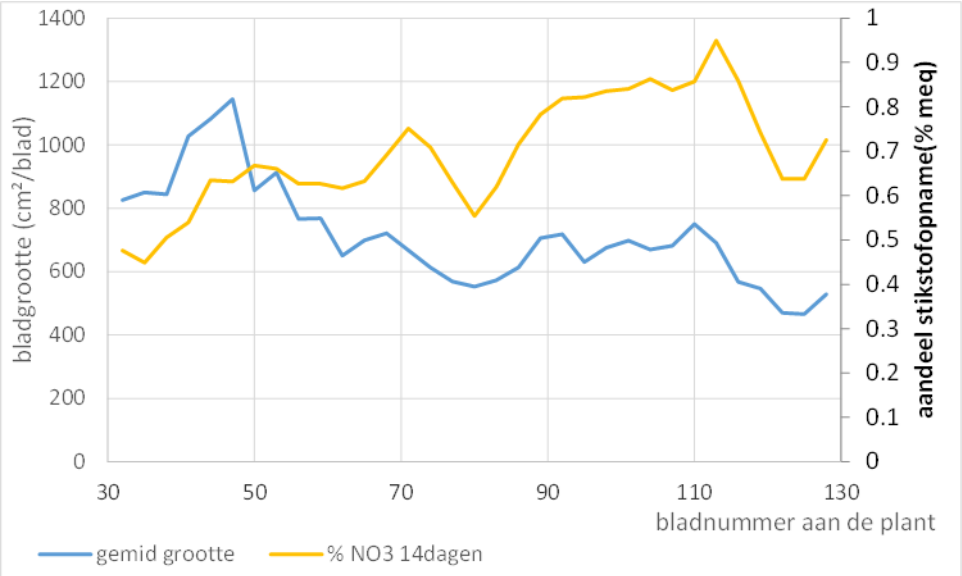



*Figuur 5-6 De cumulatieve bladopbouw in het gewas vanaf de kop (positie 0) en de bladnodia daaronder op 4 momenten in de teelt.*

## 5.2. Nitraat en bladgrootte

### 5.2.1. Invloed van variatie in nitraatgift op de bladgrootte

De bladgrootte wordt bepaald door meerdere factoren in de teelt. Naast het nitraataanbod (Figuur 5-7) zijn bijvoorbeeld ook de assimilatenbalans en het klimaat van invloed op de bladgrootte. Met behulp van regressieanalyse van de verzamelde data is nagegaan welke factoren samenhangen met de bladgrootte. De bladgrootte hangt betrouwbaar ($r^2 = 0.81$) samen met het percentage opgenomen nitraat (van de totale anionen som NO3+Cl+SO4*2) veertien dagen voor uitgroei van het blad($p<0.001$), de hoeveelheid groeilicht ($p < 0.001$), het bladnummer ($P < 0.001$) en het drogestofgehalte van de bladeren tijdens bemonsteren ($P = 0.02$).
Als de 40% van de anionen som bestaat uit nitraat zijn bladeren 47% kleiner dan bladeren waarbij 90% van de opgenomen anionensom bestaat uit nitraat (Tabel 5-1). Daarnaast zijn de bladeren groter bij meer natuurlicht in de kas (Tabel 5-2), lagere bladnummers aan de plant (Tabel 5-3) en hogere drogestofgehaltes in het blad (Tabel 5-4).




*Figuur 5-7 De gemiddelde gemeten bladgrootte en in relatie tot het aandeel NO3 van de totale anionen opname (S,CL &N) in meq.*

*Tabel 5-1 Samenhang tussen nitraatopname en de maximale bladgrootte (cm²/blad) berekend met behulp van lineaire regressie bij gemiddelde waarden voor de andere variabelen.*

| Nitraat opname (mmol/kg) | Verwachte bladgrootte (cm²/blad) | Relatieve bladgrootte |
|---|---|---|
| 40% | 505 | 53% |
| 70% | 768 | 81% |
| 90% | 944 | 100% |

*Tabel 5-2 Samenhang tussen groeilicht in de kas (mol PAR/dag) en de maximale bladgrootte (cm²/blad) berekend met behulp van lineaire regressie bij gemiddelde waarden voor de andere variabelen.*

| Groeilicht in kas (mol PAR/dag) | Verwachte bladgrootte (cm²/blad) | Relatieve bladgrootte |
|---|---|---|
| 3 | 960 | 100% |
| 11 | 759 | 79% |
| 15 | 658 | 69% |

*Tabel 5-3 Samenhang tussen bladnummer aan de plant en de maximale bladgrootte (cm²/blad) berekend met behulp van lineaire regressie bij gemiddelde waarden voor de andere variabelen.*

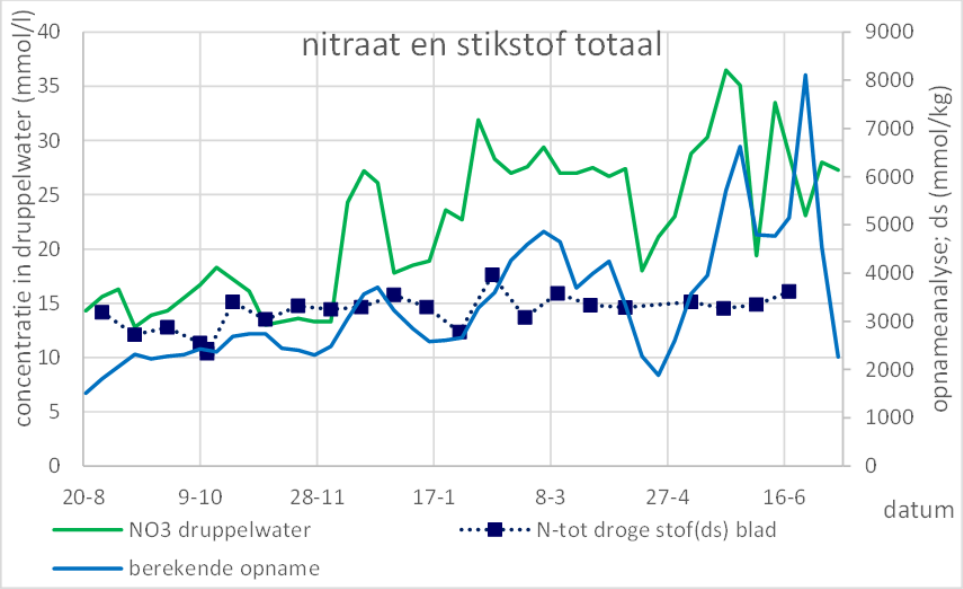
| Bladnummer aan de plant | Verwachte bladgrootte (cm²/blad) | Relatieve bladgrootte |
|---|---|---|
| 32 | 1210 | 126% |
| 80 | 769 | 80% |
| 128 | 328 | 34% |

*Tabel 5-4 Samenhang tussen het drogestofgehalte in de bladeren en de maximale bladgrootte (cm²/blad) berekend met behulp van lineaire regressie bij gemiddelde waarden voor de andere variabelen.*

| Drogestofgehalte van de bladeren | Verwachte bladgrootte (cm²/blad) | Relatieve bladgrootte |
|---|---|---|
| 9% | 874 | 91% |
| 11% | 755 | 79% |
| 13% | 637 | 66% |

### 5.2.2. Stikstofmetingen in blad

Nitraat is ook gemeten in de drogestof en het sap van jonge en oude bladeren, de meetwaardes vertoonden, in tegenstelling tot de berekende nitraatopname, geen samenhang met de gerealiseerde bladgrootte. Uit de stikstof totaal analyse bleek dat er steeds voldoende stikstof in de bladeren aanwezig was. De nitraatgehaltes in het sap van oude en jonge bladeren vertonen geen samenhang met analyse in de drogestof. De nitraatopname kan gemonitord worden met de ion-specifieke opnameanalyse. Op basis van de berekende stikstof opname en de gewenste bladgrootte kan de voedingsoplossing daarmee worden aangepast (Figuur 5-8).

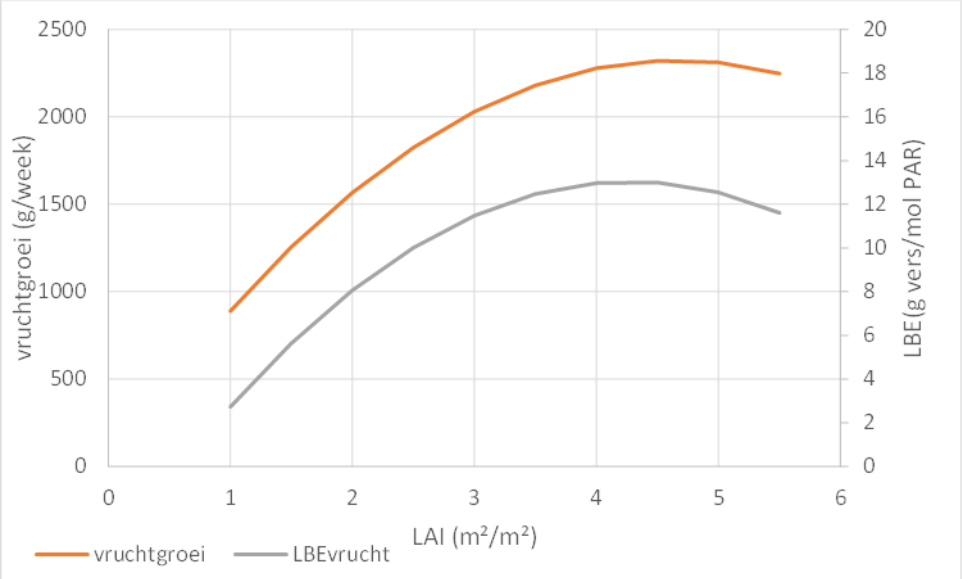



*Figuur 5-8 De berekende stikstofopname, gemeten N-totaal in het blad(ds) en de concentratie nitraat in het druppelwater gedurende de teelt.*

## 5.3. Monitoring vruchtgroei

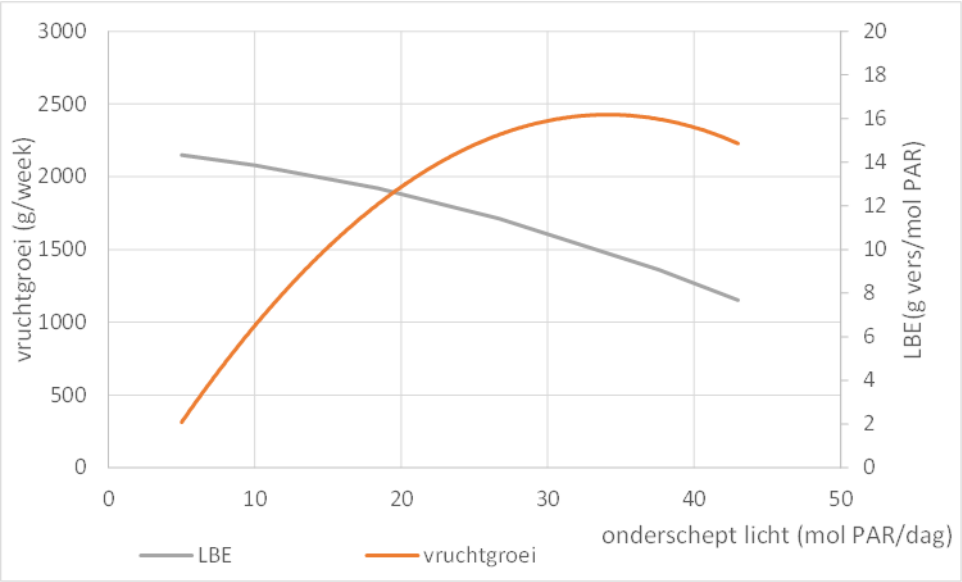
### 5.3.1. Wekelijkse vruchtgroei

De vruchtgroei nam na planten snel toe tot ca 2 kg/m$^2$/week, daarna nam deze af tot ongeveer 1.7 kg/m$^2$/week begin januari. Vanaf dat moment steeg de wekelijkse vruchtgroei geleidelijk tot ongeveer 2.5 kg/m$^2$/week in de periode van half maart tot en met begin juni om daarna richting het einde van de teelt ten gevolge van de dalende plantbelasting te dalen tot 1 kg/m$^2$/week op 23 juli (Figuur 3-27). Op basis van de regressieanalyse blijkt dat de lichtbenuttingsefficiëntie en de wekelijkse vruchtgroei betrouwbaar samenhangen met de hoeveelheid onderschept licht, de LAI na bladplukken, de verhouding tussen het oppervlak en versgewicht van het blad (SLA-vers), de EC van het druppelwater en het drogestof gehalte van de vruchten.
Op basis hiervan kan een schatting gemaakt worden van de afzonderlijke invloed van de verschillende factoren. Het blijkt dat de maximale vruchtgroei gerealiseerd wordt bij een LAI van 4.6 m²/m² en de LBE het hoogst is bij een bladoppervlak van 4.3 m²/m² (Figuur 5-9).
Dat de optimale LAI in de winterperiode hoger is dan vooraf berekend is waarschijnlijk toe te schrijven aan de verdeling van het groeilicht tussen en boven het gewas. In de berekening van de vruchtgroei voorafgaand aan de teelt is er vanuit gegaan dat al het licht boven het gewas hing terwijl in de proef een deel van het licht tussen het gewas hing.




*Figuur 5-9 De samenhang tussen LAI (m²/m²), vruchtgroei (g vers/week) en LBE (g vers/mol PAR) na statistische analyse van de dataset.*

De LBE en vruchtgroei hangen ook samen met de hoeveelheid onderschept licht. Naarmate er meer licht onderschept wordt neemt de LBE af. De vruchtgroei neemt bij toenemende hoeveelheid onderschept licht toe tot 2.45 kg/m$^2$/week bij 34.4 mol onderschept PAR licht om vervolgens bij hogere lichtsommen af te nemen (Figuur 5-10).




Figuur 5-10 *De samenhang tussen de onderschepte hoeveelheid licht (mol PAR/dag), vruchtgroei (g vers/week) en LBE (g vers/mol PAR) na statistische analyse van de dataset.*

*Tabel 5-5 Samenhang tussen het percentage drogestof van de geoogste vruchten (%), de vruchtgroei (g vers/week) en de lichtbenuttingsefficiëntie (g vers/mol PAR) na statistische analyse van de dataset.*

| Drogestof-gehalte geoogste vrucht (%) | Vruchtgroei (g/m²) | LBE (g vers/mol licht in kas) |
|---|---|---|
| 3.7% | 2165 | 12.03 |
| 4.2% | 2072 | 11.56 |
| 5.0% | 1927 | 10.83 |

Een hoger drogestofgehalte in de vruchten (Tabel 5-5)  druppel EC (Tabel 5-6) verminderen de wekelijkse vruchtgroei. Ten slotte blijkt dat er meer vruchtgroei plaats vindt bij lage SLA-vers ten opzichte van hoog SLA vers (Tabel 5-7). Naarmate de bladeren zwaarder zijn per eenheid gewicht (meer vocht bevatten) wordt de wekelijkse vruchtgroei hoger. Drogestofgehalte, druppel-EC en de SLA maken onderdeel uit van de waterbalans van de plant. Uit de Tabel 5-5 en Tabel 5-7 blijkt dat de vruchtgroei toeneemt naarmate er makkelijker water opgenomen kan worden. Dit zal niet in het oneindige door kunnen gaan omdat er wel minimale gehaltes voeding en drogestof in de vruchten aanwezig moeten zijn om de gewenste vruchtkwaliteit te kunnen realiseren.

*Tabel 5-6 Samenhang tussen de EC van het druppelwater (mS/cm), de vruchtgroei (g vers/week) en de lichtbenuttingsefficiëntie (g vers/mol PAR) na statistische analyse van de dataset.*

| EC-druppel water | Vruchtgroei | LBE |
|---|---|---|
| 2.3 | 2542 | 13.9 |
| 3.8 | 2075 | 11.6 |
| 4.5 | 1857 | 10.5 |

*Tabel 5-7 Samenhang tussen de SLA-vers (cm² blad/g vers bladgewicht), de vruchtgroei (g vers/week) en de lichtbenuttingsefficiëntie (g vers/mol PAR) na statistische analyse van de dataset.*

| SLA-vers | Vruchtgroei | LBE |
|---|---|---|
| 16 | 2226 | 13.4 |
| 21 | 2076 | 11.6 |
| 25 | 1956 | 10.2 |

## 5.4. Monitoring voeding

### 5.4.1. Analyseresultaten kationen

De drogestof analyse geeft inzicht in de verdeling van de voedingselementen tussen vruchten en gewas. Er bestaat een samenhang tussen de berekende opname en de gemeten concentratie van de elementen kalium, calcium en magnesium in het blad en de vruchten (Figuur 5-13 t/m Figuur 5-15) . Dit geld ook voor de concentratie in het bladsap voor de elementen kalium en magnesium en de concentratie in de drogestof. Het kaliumgehalte per kg drogestof in de vruchten is over het algemeen hoger dan in het blad. De berekende opname vertoont een grotere variatie per week dan de concentratie in het sap en de laagste variatie is te zien in de analyses van de drogestof.
Dit is vooral te zien in de grafiek van Magnesium.

Analyse van de wekelijkse opname van de kationen kalium, calcium en magnesium geeft aanwijzingen van een duidelijke wisselwerking tussen de verschillende elementen. Een hogere gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de kas gaat samen met een hogere calciumopname en een lagere kalium opname (Tabel 5-8).

*Tabel 5-8 De invloed van de gemiddelde RV in de kas het aandeel kalium en magnesiumopname (%meq, van de totale som aan opgenomen kalium, calcium en magnesium)*

| Gemiddelde RV in kas(%) | Aandeel K (meq) | aandeel Mg(meq) |
|---|---|---|
| 77 | 46% | 12% |
| 81 | 43% | 13% |
| 85 | 41% | 14% |
| 89 | 38% | 15% |

De opname van elementen neemt over het algemeen toe bij een hogere concentratie in de voedingsoplossing. Bij een hogere concentratie calcium in de voedingsoplossing bestaat een groter deel van de opgenomen kationensom uit calcium ( Tabel 5-9), dit geld ook voor het element magnesium (Tabel 5-10). De verschillende kationen werken elkaar tegen bij de opname, een hogere concentratie magnesium in het druppelwater verminderd de opname van kalium.
Bij de opname van magnesium is de verhouding tussen kalium en calcium medebepalend voor het opname aandeel van magnesium (Tabel 5-11).

*Tabel 5-9 De relatie tussen de concentratie calcium in het druppelwater en het aandeel Calciumopname(%meq, van de totale som aan opgenomen kalium, calcium en magnesium)*

| Concentratie Ca in druppelwater (mmol/l) | Aandeel Ca (meq) |
|---|---|
| 6.4 | 40% |
| 8.5 | 43% |
| 12.9 | 49% |

*Tabel 5-10 De relatie tussen de concentratie magnesium in het druppelwater en het aandeel kalium en magnesium opname.(%meq, van de totale som aan opgenomen kalium, calcium en magnesium)*

| Concentratie Mg in druppelwater (mmol/l) | Aandeel K (meq) | Aandeel Mg (meq) |
|---|---|---|
| 2.0 | 47% | 8.4% |
| 2.9 | 43% | 12.0% |
| 4.6 | 36% | 19.3% |

*Tabel 5-11 De relatie tussen de concentratie magnesium in het druppelwater, de kalium/calciumverhouding en het aandeel magnesium opname.(%meq, van de totale som aan opgenomen kalium, calcium en magnesium)*

| mg druppelwater (mmol/l) | K/Ca verhouding (EC = 3.6 mS/cm) | | |
|---|---|---|---|
| | 2.0 | 1.0 | 0.8 |
| 2 | 9% | 5% | 4% |
| 3 | 14% | 11% | 9% |
| 4 | 19% | 16% | 15% |

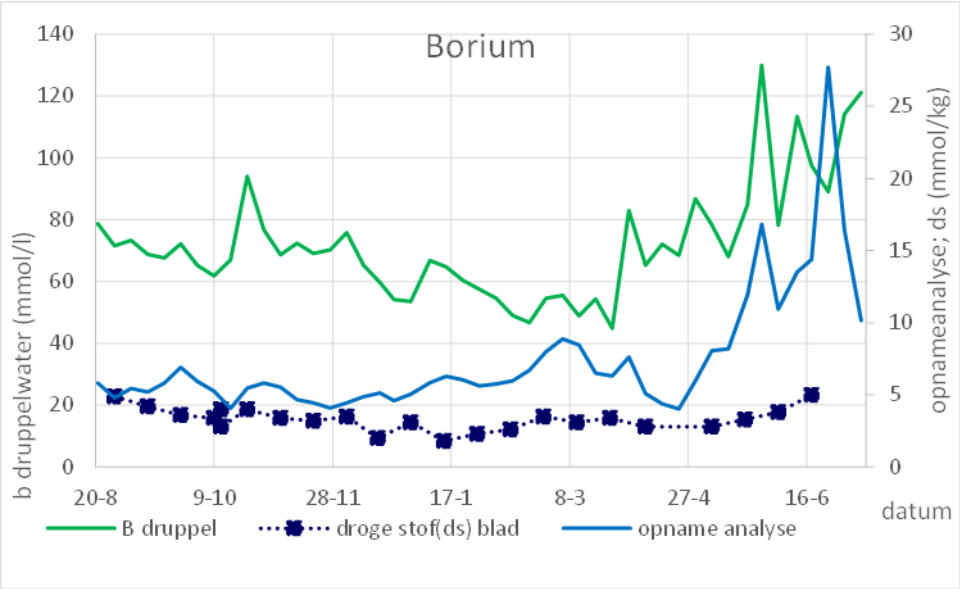
### 5.4.2. Analyseresultaten anionen-opname

Uit de analyse van de bladgrootte bleek dat de opnameverhouding van de anionen (Cl, SO4 en NO3) van invloed is op de bladgrootte. Bij de start van de teelt bestond 50% van de anionen opname uit nitraat. In maart werd tijdelijk 90% van de anionensom als nitraat opgenomen. De nitraatconcentratie in het druppelwater varieerde gedurende de teelt tussen 13 en 36 mmol/l.

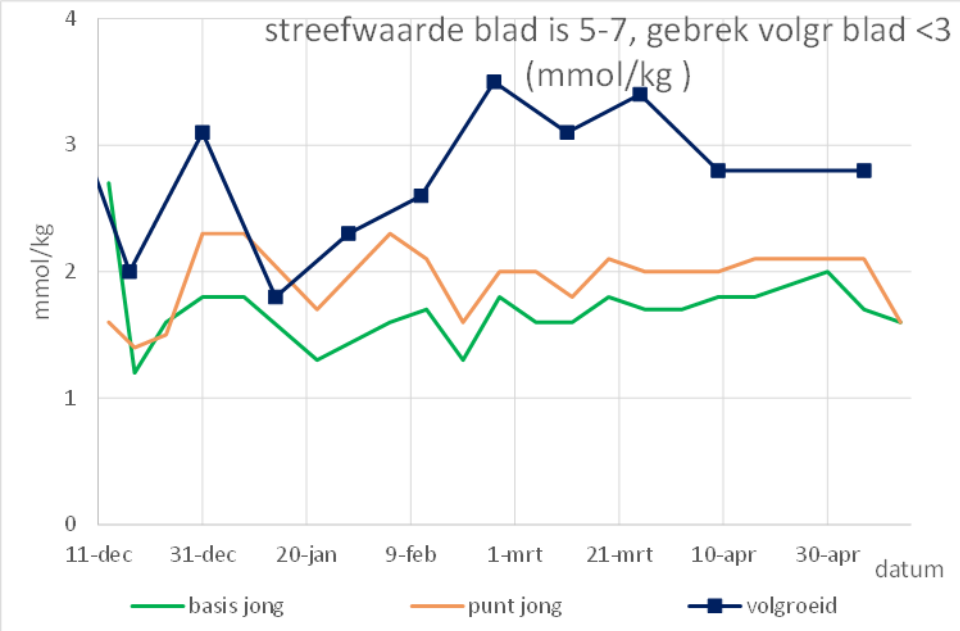
De analyse van N-totaal laat zien dat er steeds voldoende maar geen overmaat stikstof in de bladeren en vruchten aanwezig was. Er was geen duidelijk relatie tussen de waardes nitraat in het bladsap of de berekende opname met de hoeveelheid stikstof in de drogestof van het blad. Met behulp van de monitoring van de nitraatopname is het steeds gelukt om voldoende nitraat in het druppelwater aan te bieden om de stikstof voorziening te waarborgen.

### 5.4.3. Spoorelementen

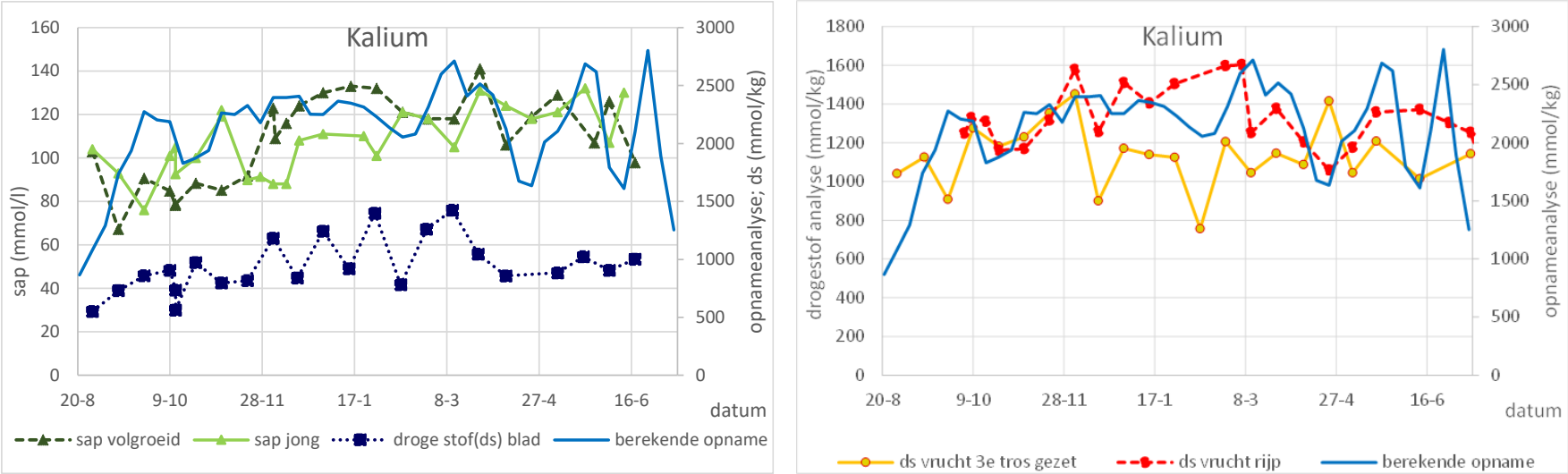
De concentraties van de spoorelementen bevonden zich met uitzondering van borium op het gewenste niveau. Met name het borium gehalte van de bladeren was vooral in de belichte periode te laag. Vaak lag het in de jong volgroeide bladeren rond de 2.5 mmol/kg drogestof (Figuur 5-11) terwijl de streefwaarde voor bladeren tussen 5-7 mmol/kg ligt. Het borium gehalte van de bladeren in de kop, die werden bemonsterd in het stadium net voordat de bruine punten verschenen, was het borium gehalte nog lager (Figuur 5-12). Mogelijk is het gebrek aan borium een verklaring voor het ontstaan van bruine bladpunten en de slechte bladkwaliteit vanaf eind december. Borium is belangrijk voor de waterhuishouding, opname en transport van kalium en calcium in de plant en de translocatie van suikers in de plant. Borium heeft tevens een functie voor het inbouwen van calcium in de celwand. Op basis van deze informatie is geprobeerd om de opname van borium te verhogen door meer Borium toe te voegen aan de druppeloplossing. Het duurde echter lang voordat het borium gehalte in de bladeren hoger werd. Pas aan het einde van de teelt steeg het boriumgehalte in de bladeren. Verder is het opvallend dat de berekende opname van borium vanaf januari veel hoger ligt dan de gehaltes in het blad. Waarschijnlijk wordt borium wel opgenomen, maar blijft lager in de plant achter waardoor hoger in het gewas onvoldoende borium beschikbaar is.



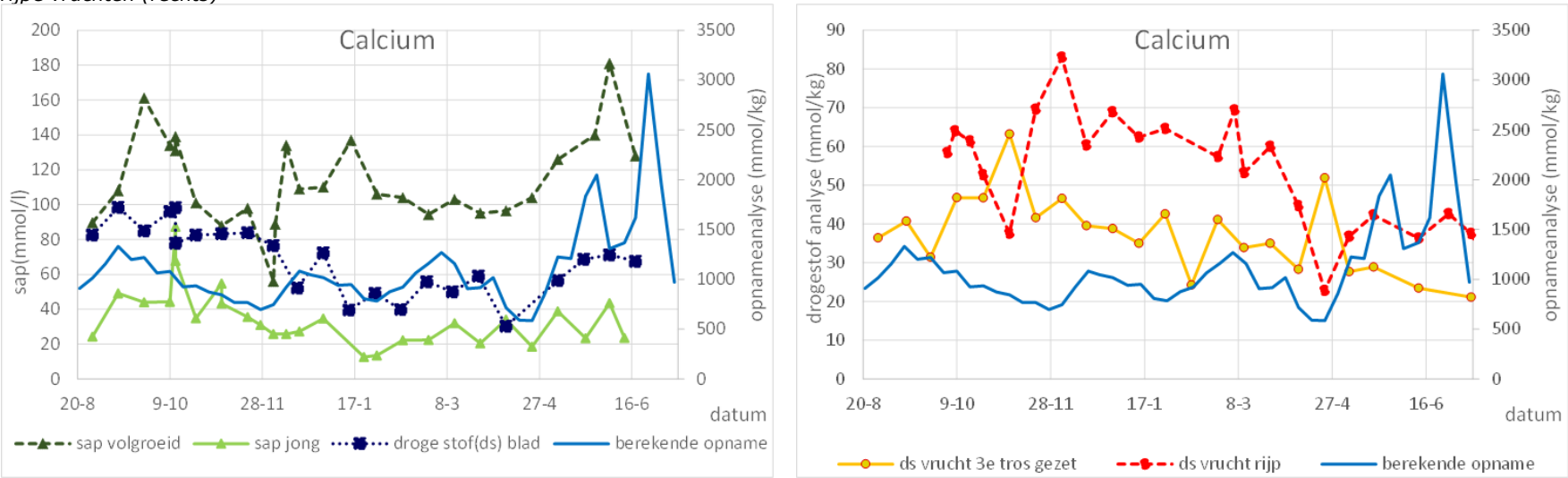

*Figuur 5-11* Verloop van het boriumgehalte in druppelwater, de berekende opname en het gehalte aan borium in de 10 g bladeren.



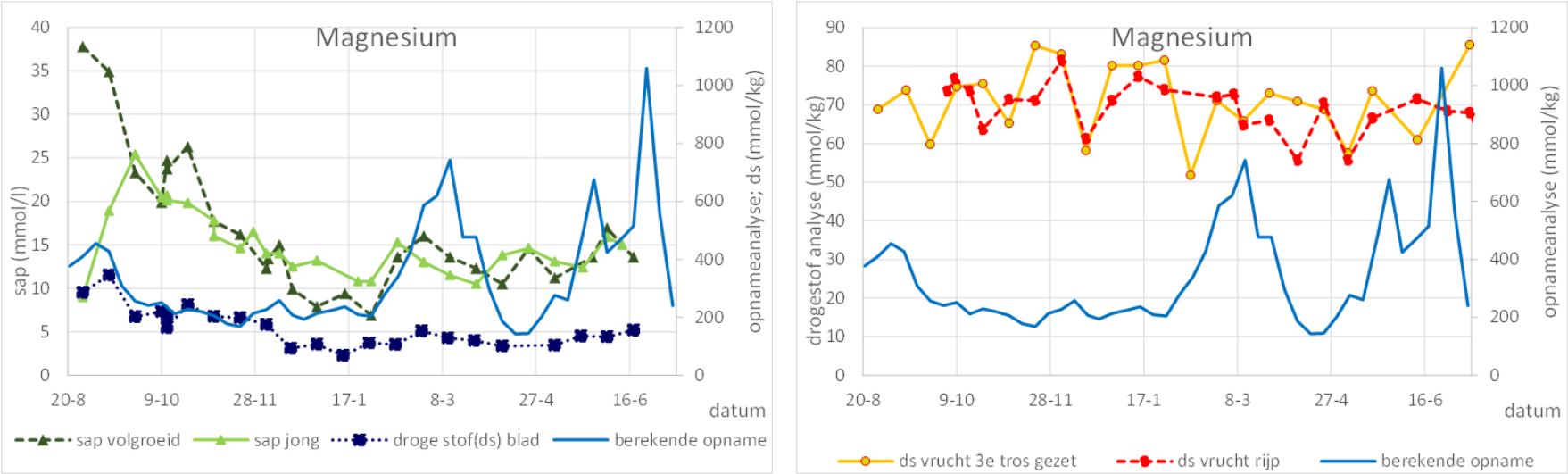

*Figuur 5-12* Het borium-gehalte in jong volgroeide bladeren en de basis en punten van jonge bladeren in de kop.



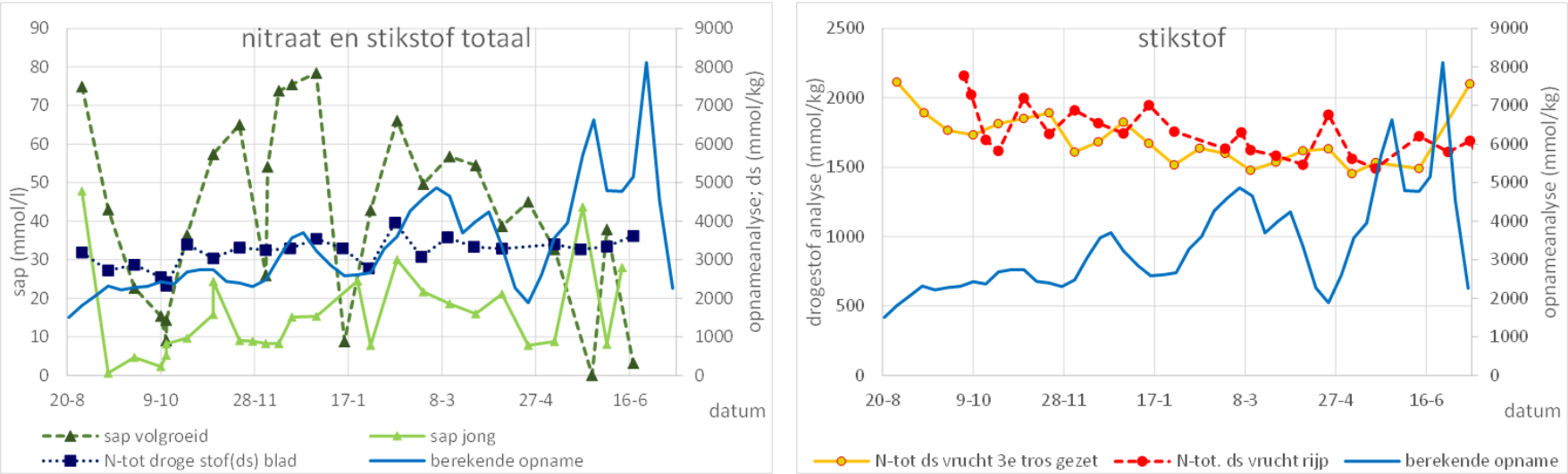

*Figuur 5-13 Verloop kalium opname in relatie tot de gehaltes in drogestof en bladsap van jonge en oude bladeren (links) en van jonge (3e gezette tros) en rijpe vruchten (rechts)*



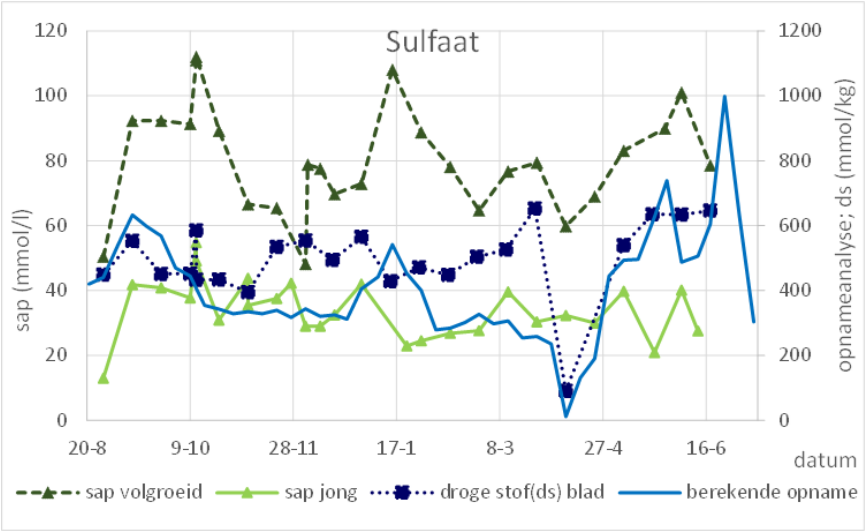

*Figuur 5-14 Verloop Calcium opname in relatie tot de gehaltes in drogestof en bladsap van jonge en oude bladeren (links) en van jonge (3e gezette tros) en rijpe vruchten.*

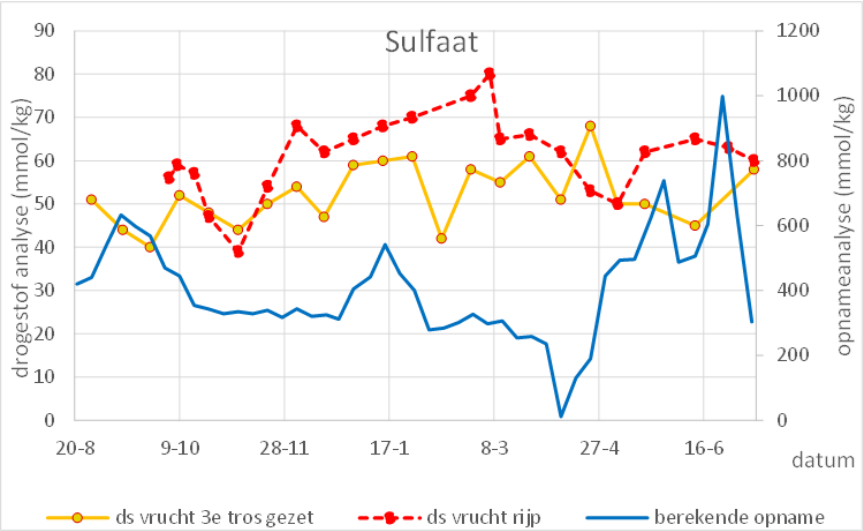



*Figuur 5-15 Verloop Magnesium opname in relatie tot de gehaltes in drogestof en bladsap van jonge en oude bladeren (links) en van jonge (3e gezette tros) en rijpe vruchten.*

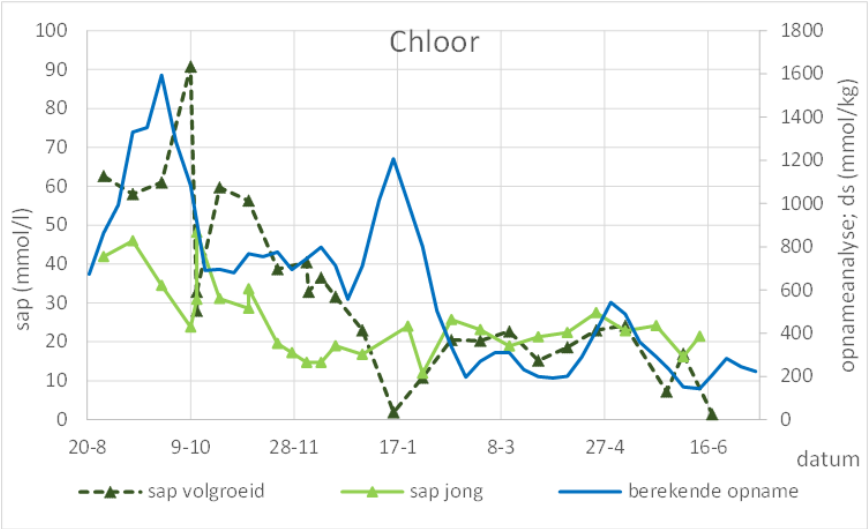



*Figuur 5-16 Verloop nitraat opname in relatie tot de gehaltes N-totaal in drogestof en nitraat in sap van jonge en oude bladeren (links) en van jonge (3e gezette tros) en rijpe vruchten (rechts).*



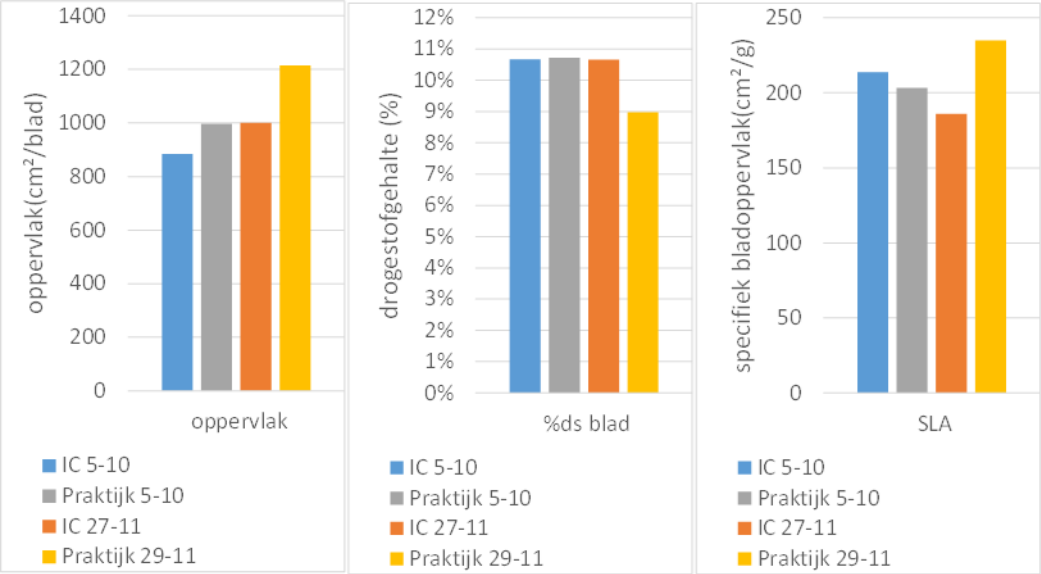

*Figuur 5-17 Verloop sulfaat opname in relatie tot de gehaltes in droge stof en bladsap van jonge en oude bladeren (links) en van jonge (3e gezette tros) en rijpe vruchten.*



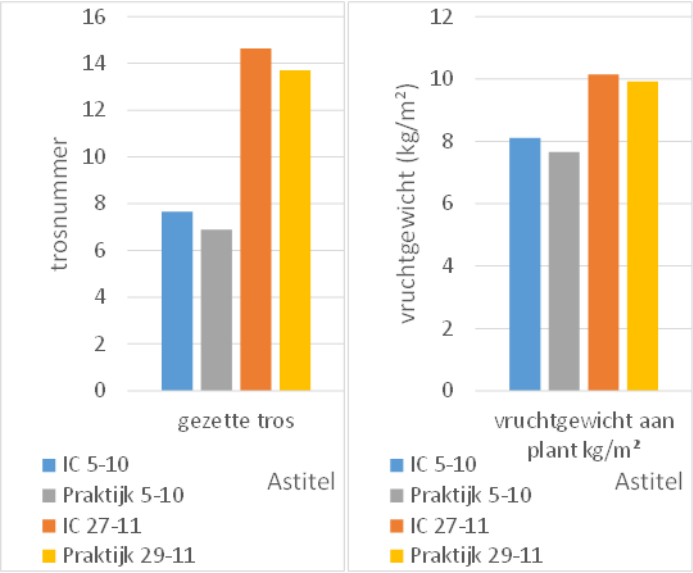

*Figuur 5-18 Verloop sulfaat opname in relatie tot de gehaltes in bladsap van jonge en oude bladeren.*

## 5.5. Vergelijking praktijkbedrijf

Om het gewas in de proef te vergelijken met de praktijk zijn er twee metingen uitgevoerd, op 5 oktober en 29 november, aan het bladoppervlak en de vruchtgroottes aan het gewas volgens dezelfde methodiek als in dit onderzoek. De bladeren op het praktijkbedrijf waren gemiddeld 14% groter dan in de proef. Het drogestofgehalte van de bladeren (9%) en vruchten (7%) was lager op het praktijkbedrijf en het specifieke bladoppervlak (SLA) was hoger.



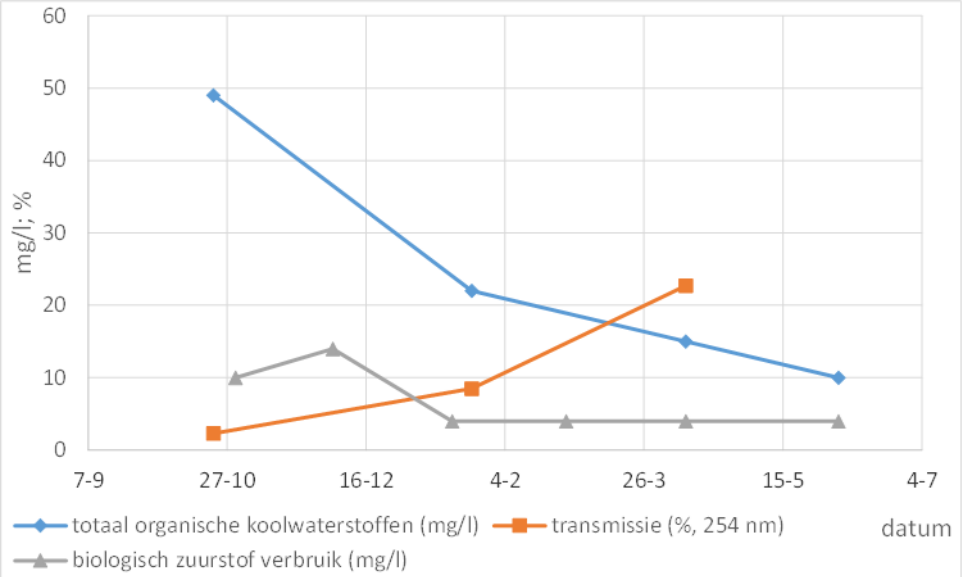

*Figuur 5-19 De gemiddelde bladgrootte van het 9e blad onder de bloeiende tros, drogestofgehalte van de bladeren en specifieke bladoppervlak in de proef en op een praktijkbedrijf op 5 oktober en 27 november.*




*Figuur 5-20 Het nummer van de gezette tros en het vruchtgewicht aan de plant per m² in de proef en op een praktijkbedrijf op 5 oktober en 27 november.*

## 5.6. Overige metingen

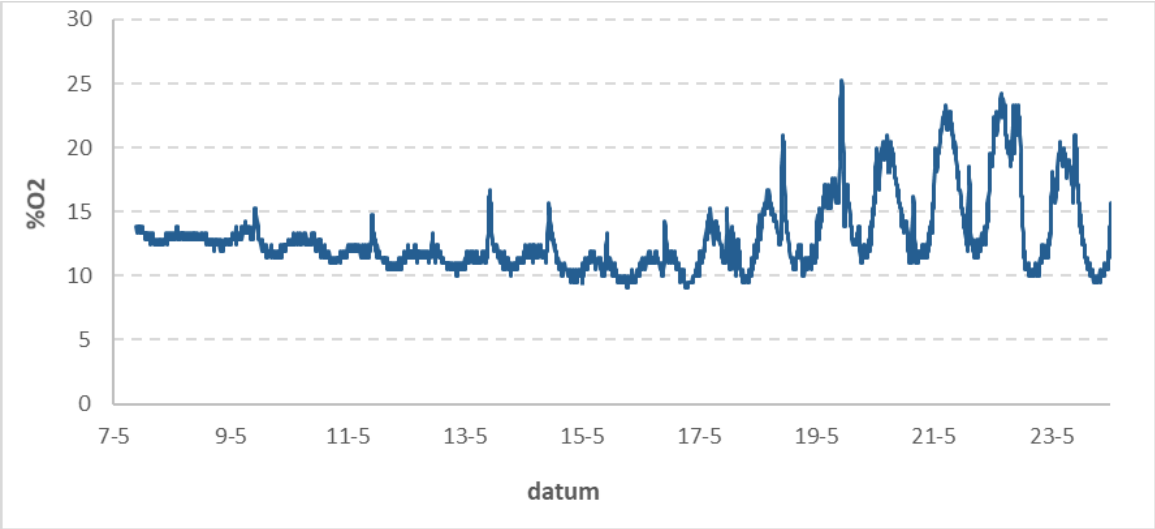
Het drainwater bevatte in op 27 oktober 50 mg/l koolwaterstoffen en een biologisch zuurstofverbruik van ongeveer 10 mg zuurstof per liter (in 5 dagen) met een zeer lage transmissie. Later in de teelt nam het gehalte koolwaterstoffen af en steeg de transmissie (Figuur 5-21).



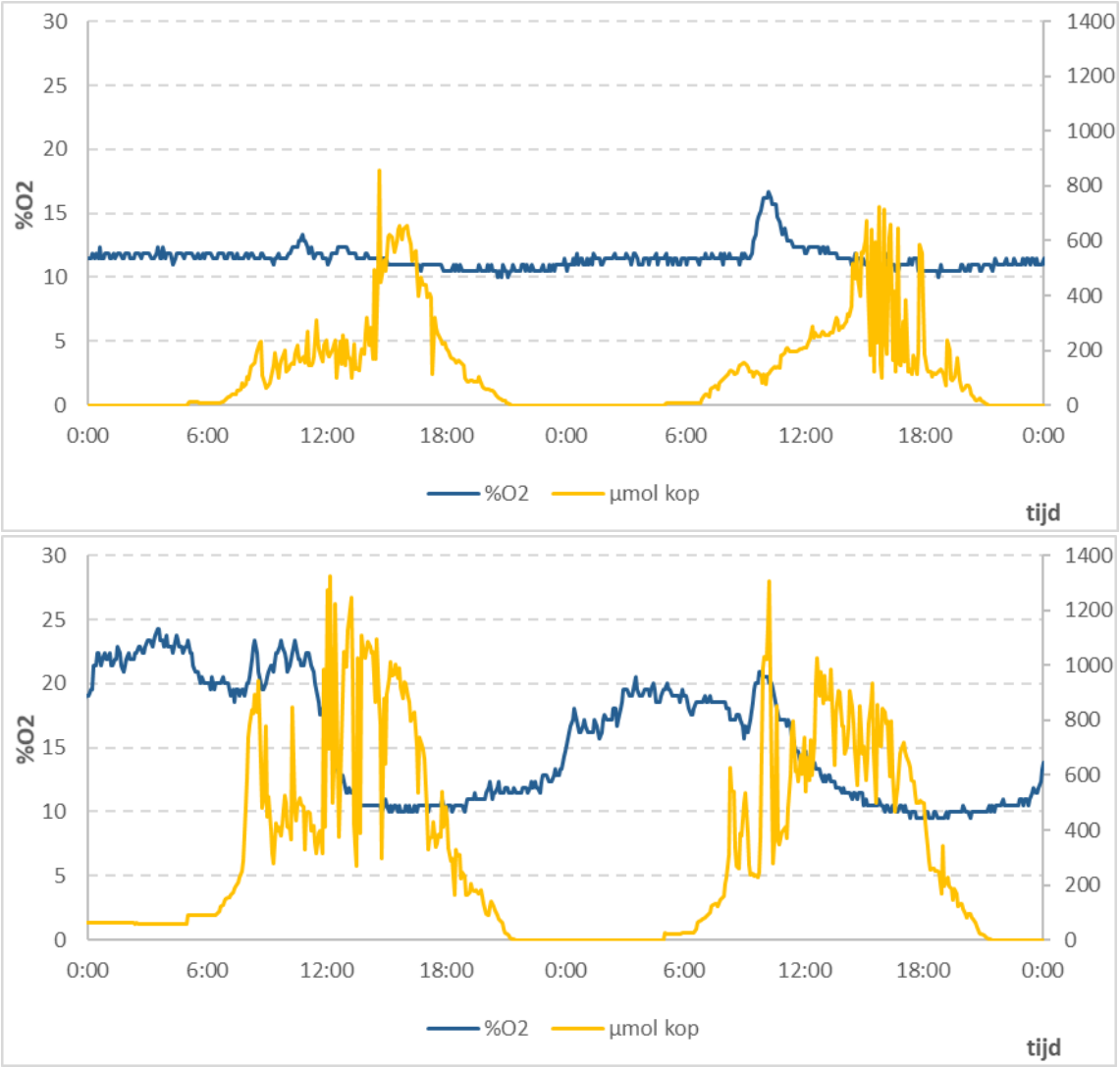

*Figuur 5-21 Totaal organische koolwaterstoffen(mg/l), het biologisch zuurstofverbruik mg/l (5 dagen) en de transmissie bij 254 nm(%) in drainwater.*

## 5.7. Zuurstof metingen substraat

Op basis van de watergiftstrategie begin mei zijn indicatieve metingen verricht om inzicht te krijgen in de beschikbaarheid van zuurstof. Op 12 en 13 mei werd zeer frequent water gegeven in houtvezelsubstraat dat relatief weinig vocht vasthoudt. Het zuurstofgehalte blijft vrijwel continu laag ca 10% van het maximale zuurstofgehalte. Daarna is de pauze tussen de druppelbeurten in de nacht groter gemaakt en loopt het zuurstofgehalte in de nacht op tot 20-25% van de maximale verzadiging om overdag als de planten meer zuurstof verbruiken terugzakt naar 10%. Het zuurstofgehalte gedurende de lichtperiode is lager naarmate er meer licht is, wortels verbruiken meer zuurstof naarmate de instraling toeneemt (Figuur 5-22, Figuur 5-23).




*Figuur 5-22 Ontwikkeling van het % gemeten $0_2$ in het substraat. Op 17 mei is een duidelijke trendbreuk te zien waarbij met het zuurstof in de nacht sterk oploopt.*




*Figuur 5-23 Zuurstofgehalte in de mat in relatie tot het licht op 12&13 mei (boven) en 22&23 mei (onder).*