



Komkommer in de Winterlichtkas

Teeltresultaten 2017-2019

Frank Kempkes, Jan Janse, Nastassia Vilfan, Marcel Raaphorst en Martine Brunsting

Rapport WPR-1113

Referaat

In eerdere studies is een optimaal kasdek ontwerp tot stand gekomen (Kempkes *et al.* 2015) voor verhoogde lichtdoorlatendheid in de wintermaanden. De uitkomsten hiervan zijn gebruikt voor het ontwerp van de winterlichtkas die in 2016 is gebouwd op testlocatie IDC-Energie bij Wageningen University & Research BU Glastuinbouw in Bleiswijk. In deze kas komt gedurende de wintermaanden 10% meer licht binnen dan in een standaard Venlo kas. Gedurende de jaren 2017-2019 hebben 4 komkommerteelten plaatsgevonden in de winterlichtkas waar werd gezocht naar een gewas- en klimaatstrategie waar deze extra hoeveelheid licht ook optimaal omgezet kon worden in assimilaten en daarmee versproductie. Principes uit het nieuwe telen stonden hierbij centraal evenals het doel een laag energiegebruik te realiseren. Goede resultaten zijn behaald met opbrengsten van 112 kg/m², 118 kg/m² en 77 kg/m² voor respectievelijk teeltjaar 2017, 2018 en 2019. De teelt van 2019 liep van december tot half juli. Hiermee waren voor 2017 en 2018 de opbrengsten gemiddeld 10-16% hoger dan de behaalde opbrengsten in de praktijk. Het energiegebruik in de winterlichtkas was voor alle teeltjaren tussen de 40-45% lager dan in de praktijk. In de winter werd er energie bespaard door zeer intensief te schermen. Er werd alle drie de teeltjaren gemiddeld 50% meer geschermd dan in de praktijk. Doordat er geen minimumbuistemperatuur aangehouden werd, was ook het energiegebruik gedurende de zomer beduidend lager dan in de praktijk waar vaak wel met een minimumbuistemperatuur werd gewerkt, onder andere in verband met de CO₂-productie.

Abstract

Earlier studies led to the design of an optimal greenhouse cover (Kempkes *et al.* 2015) with high light transmission in the winter months. The outcomes of these studies were used for the design of the Winterlichtkas which was built in 2016 at test location IDC-Energie at Wageningen University & Research BU Greenhouse Horticulture in Bleiswijk. During the winter months, 10% more light enters this greenhouse than a standard Venlo greenhouse. During the years 2017-2019, 4 cucumber crop cycles took place in the Winterlichtkas with the aim to find an optimal crop and climate strategy in which this extra amount of light can be converted into assimilates and thus fresh produce. Principles from 'Het Nieuwe Telen' were key as well as the aim to realize a low energy use. Yields of 112 kg/m², 118 kg/m² and 77 kg/m² for respectively year 2017, 2018 and 2019 can be considered as good results. The crop cycle of 2019 started in December and ended in July. The yields of 2017 and 2018 achieved in the Winterlichtkas were 10-16% higher than the production achieved by commercial reference growers in that period. Energy use in the Winterlichtkas was 40-50% lower for all crop cycles compared to commercial growers. During winter, energy was saved through intensive use of screens. On average the screens were used 50% more than by the commercial growers. Because no minimum pipe temperature was used, the energy use during summer was also significantly lower than at the commercial growers who used a minimum pipe temperature because of CO₂ production.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1113

Projectnummer: 742207600

DOI: <https://doi.org/10.18174/566962>

Thema: Klimaat en Energie

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research. Kamer van Koophandel nr.: 09098104. BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research. Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Voorwoord | 5 |
| | Samenvatting | 7 |
| 1 | Inleiding | 9 |
| 2 | Materiaal en Methoden | 11 |
| | 2.1 De winterlichtkas | 11 |
| | 2.1.1 Experimentele details | 14 |
| | 2.1.2 Klimaatmanagement | 14 |
| | 2.1.3 Waarnemingen en metingen | 15 |
| 3 | Resultaten | 17 |
| | 3.1 Klimaat | 17 |
| | 3.1.1 Temperatuur | 17 |
| | 3.1.2 Luchtvochtigheid | 20 |
| | 3.1.3 Luchtbehandelingskast | 22 |
| | 3.1.4 CO ₂ | 24 |
| | 3.1.5 Schermgebruik | 25 |
| | 3.1.6 Licht | 29 |
| | 3.1.7 Energiehuishouding | 31 |
| | 3.2 Gewasgroei | 34 |
| | 3.2.1 Teeltverloop | 34 |
| | 3.2.2 Lengtegroei | 39 |
| | 3.2.3 Bladeren | 41 |
| | 3.2.4 Uitgroeiduur | 43 |
| | 3.2.5 Productie | 44 |
| | 3.2.6 Economisch gevolgen | 48 |
| 4 | Lichtonderschepping van het gewas | 49 |
| | 4.1 Inleiding | 49 |
| | 4.1.1 Metingen van lichtonderschepping | 49 |
| | 4.1.2 Beoordeling van optimale gewasgroei-strategie | 50 |
| | 4.2 Resultaten | 50 |
| | 4.2.1 Lichtonderschepping over tijd en gewasdiepte | 50 |
| | 4.2.2 Effect van lichtonderschepping op oogstvoorspellingen | 53 |
| 5 | Conclusie en discussie | 55 |
| 6 | Literatuur | 57 |

Voorwoord

Bij de ontwikkeling van de Winterlicht kas heeft een maximalisatie van de transmissie vooropgestaan. Door aanpassingen aan de kas is het mogelijk gebleken de transmissie met meer dan 10% te verhogen ten opzichte van een referentiekas zoals die “standaard” in de praktijk veel gebouwd wordt. Hoewel in de ontwerpfase de focus vooral op de wintermaanden lag, bleek de transmissie jaarrond te zijn verbeterd.

Meer licht is in basis ook meer productie maar die meerproductie moet ook nog maar eens bereikt worden. Dat is in het algemeen goed tot zeer goed gelukt, ook door onconventionele teelttechnieken in te zetten als aanaarden om er één lange teelt van te maken.

Het is echter gebleken dat ondanks de 10% lichtwinst die ook in de winter bereikt is, deze winst te klein is om in de wintermaanden zonder belichting effectief komkommers te telen.

Dit project, *Winterlichtkas*, werd in het kader van het programma ‘Kas als Energiebron’ gefinancierd door het Ministerie van LNV en het Glastuinbouw Nederland.

De proef is intensief begeleid door de BCO bestaande uit de komkommertelers Jan Reijm en Jaco den Bakker, die naast de bezoeken ook altijd tussendoor klaarstonden om advies te geven.

Frank Kempkes
Wageningen University & Research
april 2022

Samenvatting

In eerdere studies is een optimaal kasdek ontwerp tot stand gekomen (Kempkes *et al.* 2015) voor verhoogde lichtdoorlatendheid in de wintermaanden. In september 2016 is de winterlichtkas gebouwd op testlocatie IDC-Energie bij Wageningen University & Research bu Glastuinbouw in Bleiswijk. In de winterlichtkas komt in de wintermaanden 10% meer licht binnen dan in een standaard Venlokas. Deze lichtwinst is te danken aan het diffuse glas met een hoge lichtdoorlatendheid, een grote glasmaat (300 x 167 cm) en een schermdoek met hoge lichttransmissie welke met een gelijke hoek met het kasdek geïnstalleerd is. Gedurende de jaren 2017-2019 hebben 4 komkommerteelten plaatsgevonden in de winterlichtkas waar werd gezocht naar een gewas- en klimaatstrategie waar deze extra hoeveelheid licht ook optimaal omgezet kon worden in assimilaten en daarmee versproductie. Principes uit het nieuwe telen stonden hierbij centraal evenals het doel een laag energiegebruik te realiseren.

Goede resultaten zijn behaald met opbrengsten van 112 kg/m², 118 kg/m² en 77 kg/m² voor respectievelijk teeltjaar 2017, 2018 en 2019. De teelt van 2019 liep van december tot half juli. Hiermee waren voor 2017 en 2018 de opbrengsten gemiddeld 10-16% hoger dan de behaalde opbrengsten in de praktijk. De vruchtkwaliteit was goed en er werd slechts ca. 2% binnenland geoogst. Verder is er geen *Mycosphaerella* en *Botrytis* op stengels en vruchten opgetreden. Deze hogere opbrengst is behalve aan het extra beschikbare licht ook mede te danken aan goed gewasonderhoud wat tijdig werd uitgevoerd.

In dit onderzoek leverde het aanhouden van extra vruchten (in de zomer steeds setjes van 2) of extra veel stengels (4.2 st/m²) geen duidelijke meerproductie op. De vruchten bleven bij deze behandelingen kleiner. De standaardbehandeling (in zomer wekelijks een setje van 2) was voldoende om een prima productie te realiseren. Voor respectievelijk de referentie, meer stengels, meer vruchten en niet getopt was de productie 118 kg/m², 119.8 kg/m², 119.7 kg/m², 120.3 kg/m². Bij extra stengels aanhouden worden er zo'n 3% meer vruchten geoogst, maar het vruchtgewicht was lager, waardoor het aantal kilo's ongeveer gelijk was aan de referentie. Bij meer vruchten aanhouden werd meer onbalans gezien en werd 1.2% meer klasse II geoogst dan bij de referentiebehandeling.

Het energiegebruik in de winterlichtkas was voor alle teeltjaren tussen de 40-45% lager dan in de praktijk. In de winter werd er energie bespaard door zeer intensief te schermen. In de jaren 2017-2019 werd het scherm respectievelijk 7206, 7824 en 4536 uur gebruikt. Hiermee werd er alle drie de teeltjaren gemiddeld 50% meer geschermd dan in de praktijk. Daarnaast werd er zo lang mogelijk gewacht met het openen van de luchtramen. Door een grote temperatuurrange toe te staan kon een voldoende hoge etmaaltemperatuur worden gerealiseerd met maximale gebruikmaking van het zonlicht. Door de stooklijn laag te leggen en de ventilatielijn hoog, werd het stoken zo lang mogelijk uitgesteld en het afluchten van warmte, die via de zon was ingebracht, tot een minimum beperkt. Het vele schermen en minder luchten was mogelijk door gebruik te maken van mechanische ontvochtiging door middel van een lucht-lucht luchtbehandelingskast (LBK) met warmteterugwinning. Een substantieel aandeel van de energiebesparing vond plaats gedurende de zomer. Doordat er geen minimumbuistemperatuur aangehouden werd, was het energiegebruik gedurende de zomer beduidend lager dan in de praktijk waar vaak wel met een minimum buistemperatuur werd gewerkt i.v.m. de CO₂-productie. Als er in overleg met de BCO toch "actiever" geteeld moest worden, is ervoor gekozen dit middels de buitenluchtaanzuiging te realiseren. Afhankelijk van het vochtcondities in de kas is er alleen kaslucht gerecirculeerd of in het geval van een ontvochtigingsvraag ook buitenlucht aangezogen en naverwarmd. Deze naverwarming is altijd gestuurd op 1°C boven de gemeten kasluchttemperatuur.

Door gebruik van de LBK kon de luchtvochtigheid ook met gesloten schermen en gesloten ramen goed onder controle gehouden worden. Telers die deel uitmaakten van de BCO waren positief over de resultaten van de LBK en stelden daarbij voorop dat de luchtvochtigheid makkelijker gestuurd kan worden door LBK dan door te luchten en als bijvangst dat er makkelijker geschermd kon worden en daarmee ook nog extra energiebesparing is te bereiken.

Als gevolg van het lage energiegebruik gedurende de zomermaanden moest er gemiddeld 10 kg/m² aan CO₂ worden ingekocht. Voor de CO₂-dosering werd gebruik gemaakt van OCAP-CO₂. De doseerstrategie was in het algemeen gelimiteerd op een doseercapaciteit van 100 kg/ha/uur.

De resultaten van de lichtonderscheppingsmetingen tonen aan dat de fundamentele vraag "Wat is de daadwerkelijke lichtonderschepping binnen gewassen?" open blijft. De exponentiële extinctiecurve gedefinieerd in het INTKAM-model is gebaseerd op veldomstandigheden en deze zijn heel anders dan in de kassen. Zonlicht is de enige lichtbron, maar wat nog belangrijker is, het licht in de kas is erg verspreid en er is veel lokale schaduwwerking van de kas constructiedelen. Deze forse verschillen in onderschepping zijn al vaker geconstateerd. Echter, alle beschikbare datasets over lichtonderschepping zijn erg beperkt: of er is een kwestie van kwantiteit, positie in de kas, of het feit dat de metingen alleen op vaste posities in de diepte van het gewas zijn uitgevoerd. Zeker bij een snelgroeiend gewas als komkommer welke 2 of 3 keer in de 2 weken wordt gezakt kan dit bij zo'n statische meting grote impact hebben.

Er is dus een duidelijke behoefte aan een goed gedefinieerde meetopstelling, die lichtinterceptie over het gewas, de tijd en diepte op een statistisch correcte manier aanpakt. Aangezien de omstandigheden in de onderste helft van het komkommernewas vrij constant zijn gedurende de dag en het seizoen, moeten de metingen vooral gericht zijn op de lichtonderschepping in de bovenste helft van het gewas. Bovendien moeten de metingen niet alleen de gewasdiepte maar ook LAI per laag omvatten.

1 Inleiding

In de winter is licht in Nederland voor vrijwel alle gewassen de limiterende factor voor de productie. Elke extra procent licht die de kas binnenkomt, zal dan ook resulteren in een toename van de potentiële productie. Dit kan verwezenlijkt worden door:

1. Hogere lichtdoorlatendheid van de kas.
2. Meer efficiënt gebruik van licht door de plant zelf.

In eerdere studies is een optimaal kasdek ontwerp tot stand gekomen (Kempkes *et al.* 2015) voor verhoogde lichtdoorlatendheid in de wintermaanden en is er specifiek naar de teelt gekeken (Kempkes *et al.* 2017). Vervolgens is samen met een consortium van toeleveranciers, namelijk BOM-Group, Glascom, Ludvig Svensson en BASF/Nunhems, de winterlichtkas ontworpen en in september 2016 gebouwd op testlocatie IDC-Energie in Bleiswijk.

In de winterlichtkas komt in de wintermaanden 10% meer licht binnen dan in een "standaard" Venlokas zoals die veel gebouwd wordt, 8 meter tralie met 2 kappen van 4 m en een 5 m vak. Deze lichtwinst is te danken aan het diffuse glas met een hoge lichtdoorlatendheid, een grote glasmaat (300 x 167 cm) en een schermdoek met hoge lichttransmissie welke in een gelijke hoek met het kasdek geïnstalleerd is om bij lage zonstanden minder reflecties te geven. Daarnaast zijn behalve de ijzeren- ook alle aluminium constructiedelen van de kas voorzien van een extra hoog reflecterende witte coating met meer lichtreflectie. In dit vervolgonderzoek wordt gekeken hoe het gewas in deze kas dit extra licht ook zo efficiënt mogelijk om kan zetten in een hogere productie door de beste teelt- en klimaatstrategie te kiezen.

In de wintermaanden is het een uitdaging om het weinige licht dat het gewas bereikt, om te zetten in een gewas dat met zo min mogelijk blad, zoveel mogelijk licht weet te onderscheppen. Door weinig blad aan te houden, komen de beschikbare assimilaten maximaal ter beschikking voor de vruchten. Vooral bij hoog opgaande gewassen als paprika, tomaat en komkommer (hoge draad teelten), speelt dit een grote rol. Deze gewassen worden traditioneel tussen eind november (paprika) en medio tot eind januari (komkommer) gestart en zijn meestal onbelicht.

Een tweede uitdaging gedurende de winterperiode is om het energiegebruik zo laag mogelijk te houden. Elke joule zonlicht die de kas binnenkomt is een gratis toevoer van energie die afgetrokken kan worden van de toegevoegde warmte met de verwarming en dus is een zo hoog mogelijke transmissie van het kasdek gewenst. Tegelijkertijd bevorderen schermen het binnenhouden van energie, maar schermen gaan ook gepaard met een verlies aan lichtinval. De schermen in de winterlichtkas hebben een hogere lichtdoorlatendheid dan standaard schermen en er zal in dit onderzoek naar de grenzen met schermgebruik gezocht worden om zoveel mogelijk energie te besparen en tegelijkertijd een hogere gewasopbrengst te behalen.

Tussen 2017 en 2019 hebben 4 achtereenvolgende komkommerteelten plaatsgevonden in de winterlichtkas waar is getracht om tot een optimale teeltstrategie voor de wintermaanden te komen. De doelstelling was om 40% minder energie te gebruiken en tegelijkertijd de opbrengst te verhogen met 5-10% per teelt ten opzichte van de gangbare praktijk.

2 Materiaal en Methoden

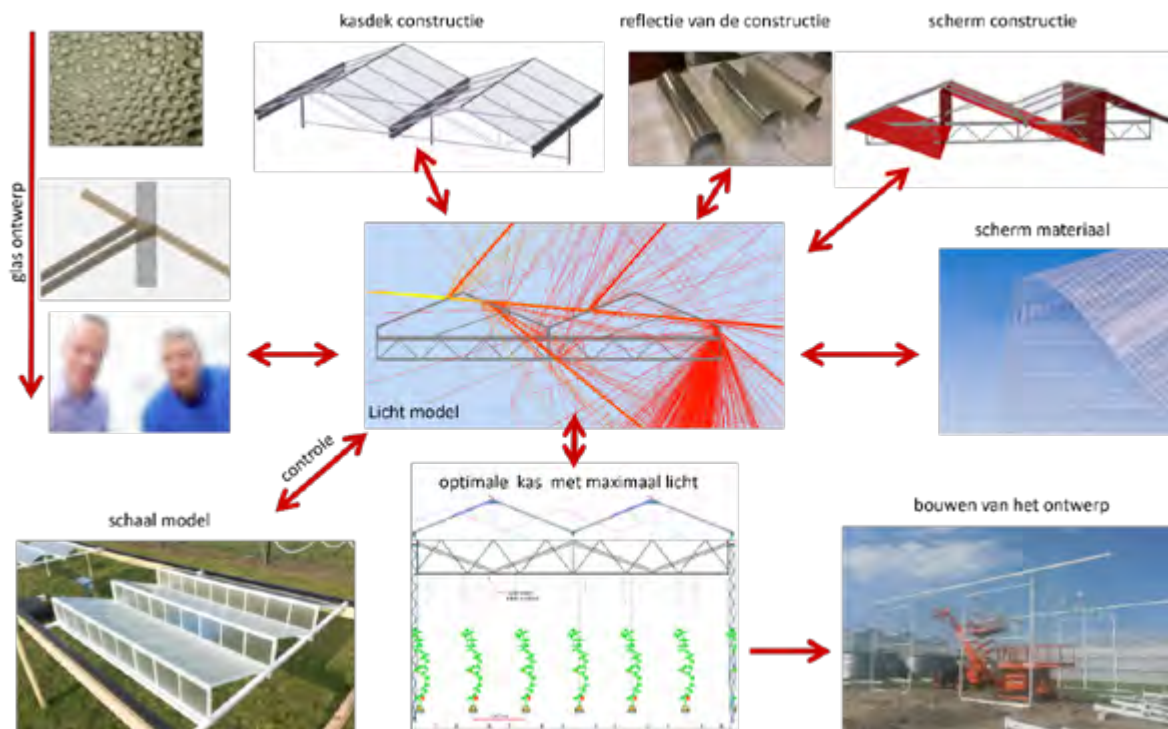
2.1 De winterlichtkas

Het ontwerp van de winterlichtkas is tot stand gekomen door gebruik van RAYSIM (een ray tracing model) (Swinkels *et al.* 2001), de uitkomsten hiervan staan beschreven in het rapport 'Verbetering lichtinval winterlicht'. Dit rapport concludeerde dat een lichtwinst van 13-14% behaald kan worden t.o.v. een standaard referentiekas, 8 meter tralie met 2 kappen van 4 m en een 5 m vak, door de combinatie van een asymmetrische zaagtand met een 25° dakhelling aan de noordzijde, perfect reflecterende constructie elementen en hydrofiel diffuus glas met een anti-reflectieve (AR) coating. Toen dit ontwerp op de tekentafel verder uitgewerkt werd met een consortium aan kasbouwleveranciers, bleek dat voor het realiseren van een asymmetrische zaagtand extra constructiemateriaal nodig was omdat de glaslengte aan de noordzijde van het dek bij een 4 meter gootafstand oploopt tot meer dan 4.3 meter en extra ondersteuning ingebouwd moeten worden waardoor er niet meer licht binnen komt dan bij een standaard Venlo kasdek. Daarom is gekozen om terug te gaan naar een ontwerp met een Venlo kasdek, wel de maximale ruitgrootte toe te passen waardoor de gootafstand vergroot kan worden naar 5.6 meter met een dubbel, onafhankelijk controleerbaar scherm. Er is gekozen om het scherm in W-vorm te plaatsen zodat het licht onder een gunstiger hoek op het schermdoek valt waardoor er meer licht door het doek gaat, Figuur 1. Het doek heeft een hemisferische transmissie van 76%.



Figuur 1 Het scherm is gelijkhoeks met de dekhelling om de hemisferische transmissie van de kas tijdens wintermaanden te verhogen.

Figuur 2 geeft het interactieve proces van doorrekenen van individuele onderdelen om de transmissie te verbeteren en het uiteindelijke integrale ontwerp weer.



Figuur 2 De zaagtand als startpunt voor uiteindelijke ontwerp.

Berekeningen met RAYSIM lieten zien dat in deze kas een toename in licht van 11.8% mogelijk is in vergelijking met de standaard referentiekas. Op basis van deze uitkomst is deze kas uiteindelijk in september 2016 gebouwd op testlocatie IDC-Energie Bleiswijk.

Bij het opschalen van de R&D monsters van glas, schermmateriaal en coatings van labformaat naar productieformaat is in totaal ongeveer 1% transmissie van het scherm en glas verloren gegaan en 2% reflectiviteit van de constructiematerialen. Een test met 12 par sensoren verspreid door de kas in een roostervorm liet zien dat het uiteindelijke resultaat nog steeds een 10.5% lichtwinst geeft voor zowel een droog als nat dek en met beide schermen gesloten t.o.v. de referentiekas, ook met 2 schermen uitgerust. De eigenschappen en afmetingen van de kas zijn beschreven in Tabel 1.

Tabel 1

Winterlichtkas eigenschappen en afmetingen.

| Parameter | Waarde | Eenheid |
|-----------------|------------------|----------------|
| Kasoppervlak | 526.7 | m ² |
| Pad breedte | 3 | m |
| Goot hoogte | 6.96 | m |
| Nok hoogte | 8.09 | m |
| kopgevelbreedte | 4 x 5.6 | m |
| diepte | 23 | m |
| Tralie breedte | 2 x 5.6 | m |
| Helling dek | 22 | ° |
| Dek materiaal | Glas | |
| Glasplaten | 3 x 1.67 x 0.005 | m |
| Scherm boven | Prototype Luxous | |
| Scherm onder | Prototype Luxous | |

Voor het dek is gebruik gemaakt van SmartGlass (Figuur 3) geleverd door Glascom Tuinbouw. Dit glas heeft als eigenschap dat de lichttransmissie enkele procentpunten stijgt wanneer het glas nat is in tegenstelling tot andere glasproducten waar de lichttransmissie vaak juist afneemt onder natte omstandigheden. Hierdoor is een lichtwinst mogelijk in de winterperiode. Daarnaast is SmartGlass hydrofiel waardoor condenswater geen druppels vormt maar een dunne waterfilm wat afloopt naar de condensgoot. Het glas heeft een hemisferische transmissie van 91%. Alle staalconstructie onderdelen en aluminium profielen zijn voorzien van een witte poedercoating met een reflectiegraad van ca. 90%. Voor de gevels is polycarbonaat met een lichttransmissie van ca. 67% gebruikt.



Figuur 3 Links: Zijaanzicht van de winterlichtkas, de gevels zijn in de onderste 2 gordingen voorzien van polycarbonaat met een lichttransmissie van ca 67% en in de bovenste gording evenals het dek voorzien van SmartGlass, met een lichttransmissie van 91%. Rechts: SmartGlass ruit, voor het dak zijn ruiten van 1.67 bij 3.00 m gebruikt. In verband met de doorbuiging is de dikte verhoogd van 4 naar 5 mm.

De kas is uitgerust met een Actief Ventilatie Systeem met Warmteterugwinning (AVS-WTW) van van Dijk Heating. Dit systeem werkt op basis van aangezogen buitenlucht, die met uittredende kaslucht wordt voorverwarmd. Dankzij twee ventilatoren en een klep zijn er meerdere opties voor luchtcirculatie en het mengen van binnen- en buitenlucht. Een ventilator zuigt de kaslucht centraal aan de achtergevel aan en blaast deze door de lucht-lucht warmtewisselaar naar buiten. Een tweede ventilator zuigt de buitenlucht door de lucht-lucht warmtewisselaar aan, waardoor deze opwarmt, en blaast de voorverwarmde lucht in luchtslangen die onder de teeltgoten zijn gemonteerd en de droge lucht verdelen. Wanneer de voorverwarmde lucht kouder is dan de kaslucht kan een cv-element de lucht verder verwarmen tot de ingestelde temperatuur. Hiervoor wordt in principe de kasluchttemperatuur aangehouden.

De proef heeft als doel om door middel van gewasmanagement (gewasverzorging) en de kasinrichting een maximale lichtonderschepping met een beperkte hoeveelheid blad te realiseren. Hierdoor wordt:

- a. Het beschikbare licht maximaal onderschept.
- b. Komen de beschikbare assimilaten maximaal ter beschikking voor de vruchten.

Als doelgewas was komkommer gekozen welke volgens de beginselen van Het Nieuwe Telen werd geteeld. Gezien de beperkte lichthoeveelheid rond de plantdatum werd er een gewasplan opgesteld om middels vruchtdunning en bladmanagement de plantbelasting niet boven het verwachte beschikbare assimilatenaanbod te laten stijgen. Er zijn verschillende gewasmanagementbehandelingen toegepast om te onderzoeken welke behandeling optimaal is in het gebruiken van het weinige binnenvallende licht gedurende de winter. In de periode 2017-2019 hebben 4 teelten plaatsgevonden: een winter- en een zomerteelt in 2017, een jaarrond teelt in 2018 en een winterteelt in 2019.

Een hogedraad komkommer heeft normaalgesproken twee groeicyclusen per jaar waarbij de eerste half januari begint en doorgaat tot half juni, na een teeltwisseling gevolgd door een tweede cyclus van half juni tot half november. Voor de komkommerteelt van 2017 is deze planning aangehouden. Hier is wederom geconstateerd dat door de gewaswisseling die plaats vindt tijdens de zomer wanneer de hoogste zonnestraling de kas inkomt, de productie zo'n 3 weken wegvalt. Om de productie te maximaliseren is er in 2018 geprobeerd om deze productieloze periode te overbruggen door gebruik te maken van aanaarden. Bij aanaarden wordt een deel van de stengel met een bladoksel in vochtig substraat geplaatst waar de stengel vervolgens nieuwe wortels aanmaakt. Door gebruik van deze methode was het mogelijk om 1 gewascyclus in plaats van 2 cycli per jaar te realiseren waardoor er geen productiestop in de zomer plaatsvindt. Voor het jaar 2019 was het gewas iets eerder geplant dan gebruikelijk (17 december 2018) om te onderzoeken welke mogelijkheden deze kas biedt om het weinige winterlicht om te zetten in productie. Aanaarden is in 2019 niet gebeurd in verband met de installatie van LED belichting in de kas in de zomerperiode in verband met het uitvoeren van een teelt midden in de winter.

2.1.1 Experimentele details

De experimentele details van alle 3 de teeltjaren staan beschreven in Tabel 2.

Tabel 2

Experimentele details gewas.

| Jaar | 2017 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|------------------|------------------|----------------------|------------|
| Ras | Hi-Power | Hi-Power | Hi-Power | Hi-Power |
| Plantdatum | 27-12-2016 | 20-06-2017 | 28-12-2017 | 17-12-2018 |
| Plantdichtheid [planten/m ²] | 1.67 | 3 | 1.67 | 1.67 |
| Stengeldichtheid later in de teelt [stengels/m ²] | 3.33 | 2.6 | 3.33 | 3.33 |
| Laatste oogst | 08-06-2017 | 20-11-2017 | 21-11-2018 | 21-07-2019 |
| Substraat | Grodan Vital Dry | Grodan Vital Dry | Grodan Grotop expert | Cultilene |

De verschillende gewasbehandeling die zijn toegepast in 2018 en 2019 staan beschreven in Tabel 3.

Tabel 3

Verschillende gewasbehandelingen die in 2018 en 2019 werden toegepast.

| Behandeling | Stengel dichtheid [stengels/m ²] | Vruchtdunning [%] | Start toepassing 2018 | Start toepassing 2019 |
|---------------------------------------|--|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Referentie | 3.33 | 50 | - | - |
| Niet toppen, extra scheut laten staan | 3.33 | 50 | - | - |
| Extra stengels | 4.16 | 50 | 18-04 (Week 15) | 19-04 (Week 16) |
| Extra vruchten, setjes van 2 | 3.33 | 37.5 | 06-05 (Week 18) | 26-04 (Week 17) |

2.1.2 Klimaatmanagement

Het klimaatmanagement was gebaseerd op inzichten uit 'Het Nieuwe Telen' met als doel een zo laag mogelijk energiegebruik te realiseren. Hier was extra aandacht voor de ratio tussen de lichtsom en het etmaaltemperatuurgemiddelde, waar bij veel straling de temperatuurinstelling ook 0.5 tot 2°C hoger was. De klimaatinstellingen werden aangepast in overeenstemming met advies gebaseerd op het tweewekelijkse bezoeken van de Begeleidings Commissie Onderzoek (BCO). Om de warmtevraag te beperken mocht er intensief geschermd worden, op dagen met weinig licht betekende dat zelfs dat het scherm soms de hele dag dicht bleef.

Omdat de kas een relatief klein oppervlak heeft van 515 m² zijn de geveleffecten vele malen groter dan in productiekassen die gemiddeld 4 ha. beslaan. In een dergelijke praktijkkas is de bijdrage van de gevels gemiddeld 10% van het totale warmteverlies van de kas. Om voor deze geveleffecten te compenseren en de resultaten te kunnen vergelijken met de praktijk wordt de gevelverwarming onafhankelijk gestuurd op basis van het temperatuurverschil binnen/buiten waardoor een "oneindig grote" kas wordt gesimuleerd. Het warmtegebruik voor de horizontale verwarming is vervolgens verhoogd met 10% om de resultaten te kunnen vergelijken met de praktijk.

2.1.3 Waarnemingen en metingen

De periodieke gewaswaarnemingen zijn in Tabel 4 samengevat. Daarnaast werden klimaat- en weer-data met een interval van 5 minuten geëxporteerd. De winterlichtkasresultaten zijn vergeleken met de resultaten van twee telers in de praktijk. Deze telers zullen verder in dit rapport teler 1 en teler 2 genoemd worden. Teler 1 heeft een Venlo kas met standaard witte poeder coating op de kasconstructiedelen van de onderbouw. De kas is voorzien van een Luxous 4317 scherm en een RES 10 scherm (De Ridder Screens). Deze kas bevindt zich op enkele kilometers van de WUR-testfaciliteit en de weersomstandigheden zijn dus goed vergelijkbaar. In deze kas werd in de achtereenvolgende jaren in de 1^e teelt Proloog (Rijk Zwaan) geteeld en in de 2^e teelt Lausanne (Rijk Zwaan). De plantdichtheid in de 1^e teelt was 1.5 plant/m², met daarna een verdubbeling naar 3.0 stengels/m², en in de 2^e teelt 2.5 plant/m². Teler 2 heeft een Venlo kas en bevindt zich ca. 30 km van de testlocatie. Deze kas heeft geen gecoate onderbouw, een Luxous 4317 scherm en een PH70 scherm. In deze kas werd in de 1^e teelt Hi-Power (Nunhems) met een plantdichtheid van 1.65 planten/m² geteeld die later in het seizoen verdubbelde naar 3.3 stengels/m². In de 2^e teelt stond Lausanne (Rijk Zwaan) met een plantdichtheid in 2017 en 2018 van resp. 2.25 en 2.5 planten/m².

Tabel 4
Gewaswaarnemingen.

| Waarneming | Dimensie |
|--------------------------------|-------------------|
| Lengtegroei | cm/week |
| Cumulatieve plantlengte | cm |
| Bladeren | #/week |
| Cumulatief aantal bladeren | # |
| Uitgroeiduur (= bloei-oogst) | dagen |
| Oogst aantal vruchten klasse I | #/m ² |
| Oogstgewicht | kg/m ² |
| Gemiddeld vruchtgewicht | g |

3 Resultaten

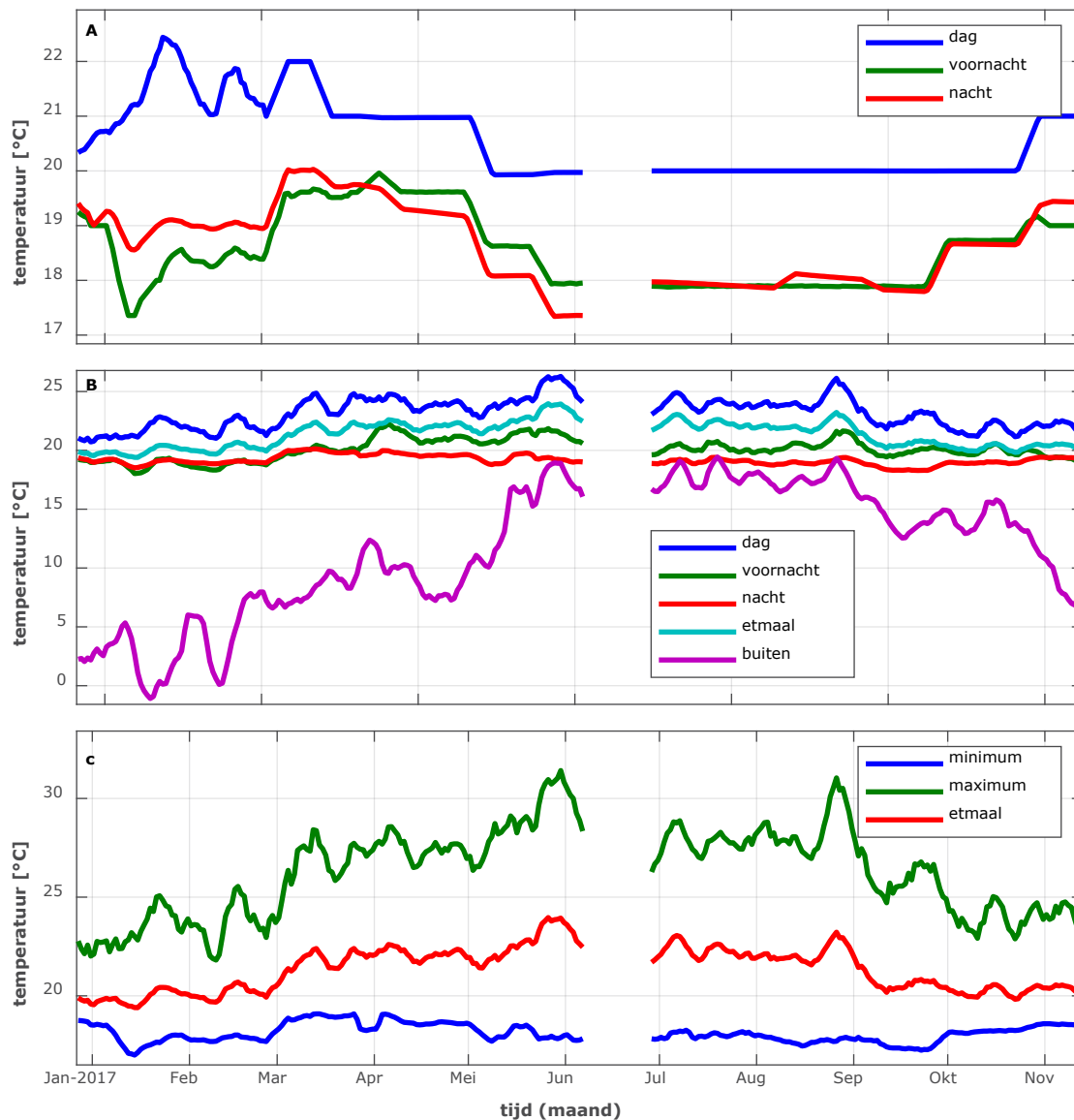
3.1 Klimaat

3.1.1 Temperatuur

In overeenkomst met Het Nieuwe Telen was er op de meeste dagen een groot verschil tussen de minimale en maximale temperatuur. Door een grote temperatuurrange toe te staan kon een voldoende hoge etmaaltemperatuur worden gerealiseerd met maximale gebruikmaking van het zonlicht. Door de stooklijn laag te leggen en de ventilatielijn hoog, werd het stoken zo lang mogelijk uitgesteld en het afluchten van warmte, die via de zon is ingebracht, tot een minimum beperkt. Er is geen gebruik gemaakt van een minimumbuis- of minimumraam-instelling. Als er in overleg met de BCO toch "actiever" geteeld moest worden, is ervoor gekozen dit middels de buitenluchtaanzuiging te realiseren. Afhankelijk van de vochtcondities in de kas is er alleen kaslucht gerecirculeerd of in het geval van ontvochtigingsvraag ook buitenlucht aangezogen en na verwarmd. Deze na verwarming is altijd gestuurd op 1°C boven de gemeten kasluchttemperatuur.

2017

De teelt van 2017 begon met een ingestelde stooktemperatuur van 19°C tijdens de nacht en 20.5°C tijdens de dag met een lichtverhoging van 0.5°C. Er werd gestreefd naar een etmaaltemperatuur van 20°C die iets hoger mocht zijn bij veel licht.



Figuur 4 A. daggemiddelden van de temperatuurinstellingen B. gerealiseerde temperaturen C. dagelijkse minima en maxima voor het jaar 2017 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

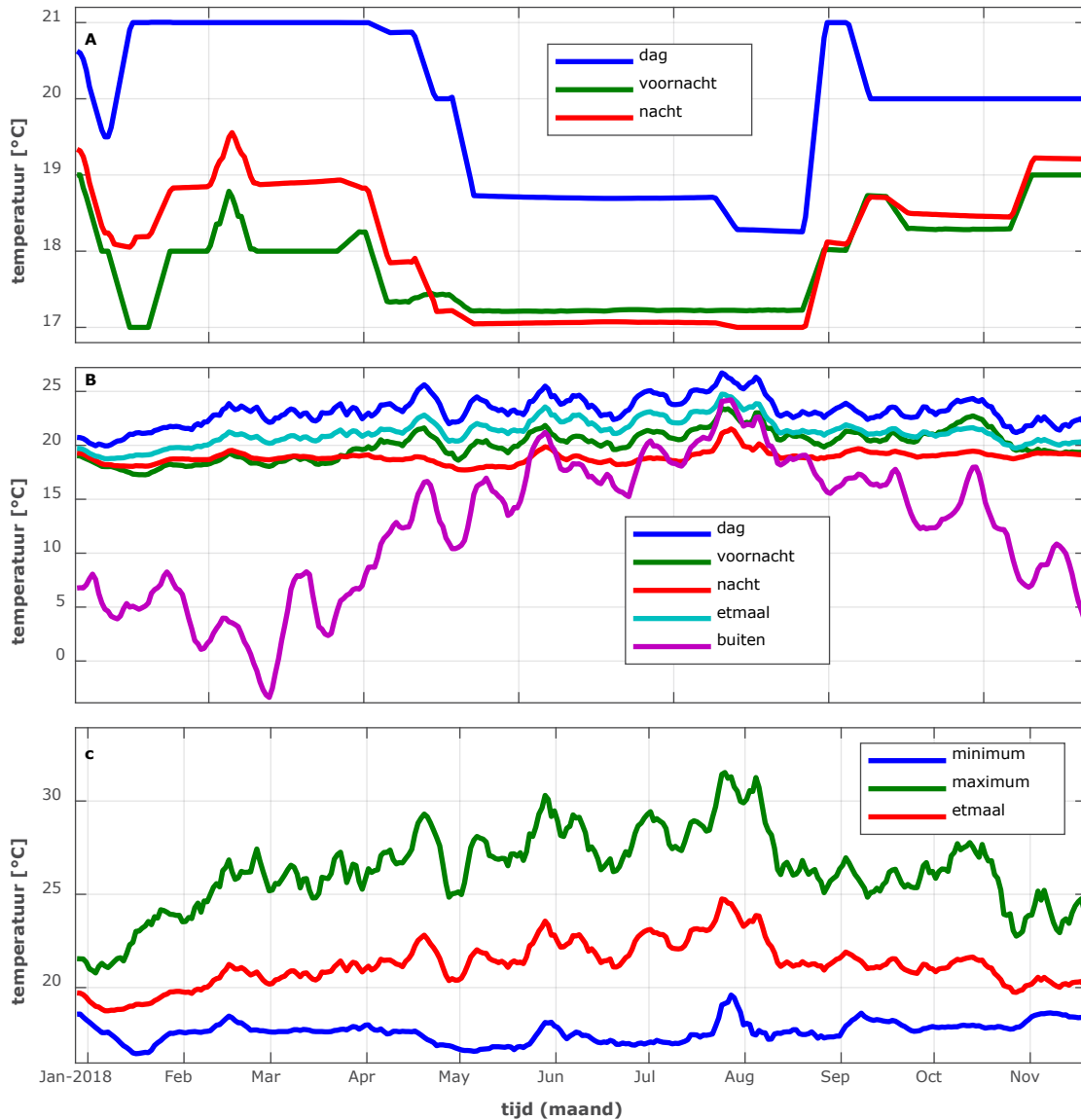
Gedurende de eerste maanden van het jaar werden de ingestelde temperaturen frequent veranderd en soms wekelijks aangepast op gewasstand en het weer met ingestelde dagtemperaturen tussen 20.5 en 23°C en ingestelde nachttemperaturen tussen de 18.5 en 19.5°C. In Figuur 4 zijn de temperatuur-instellingen en realisaties van teeltjaar 2017 getoond.

Bij hoge buitentemperaturen werd de voornacht langer gemaakt om de etmaaltemperatuur niet te hoog op te laten lopen. Halverwege maart werd de stooktemperatuur tijdens de nacht verlaagd naar 21°C wat werd aangehouden tot begin mei, 5 mei werd de stooktemperatuur verder verlaagd naar 20 °C tot het einde van de eerste teelt. De tweede teelt van 2017 begon 28 juni met een stooktemperatuur van 18/18/20°C (dag/voornacht/nacht) die werd aangehouden tot eind oktober, hierna werd de stooktemperatuur tijdens de voornacht en nacht verhoogd naar 19°C en voor de laatste twee weken werd de ingestelde dagtemperatuur verhoogd naar 21°C.

De gemiddeld gerealiseerde etmaaltemperatuur was 19.9°C gedurende de maand januari en nam vanaf daar geleidelijk toe tot een gemiddelde van 22.4°C gedurende de maand mei. De tweede teelt van 2017 begon met een gemiddelde etmaaltemperatuur van 22.4 gedurende de maand juli en eindigde met een etmaaltemperatuur van 20.3 voor de laatste teeltmaand.

2018

Het jaar 2018 was een jaarrond teelt die begon eind december met een ingestelde dagtemperatuur van 21°C, eind april werd deze verlaagd naar 18.5°C. Vanaf begin september werd de ingestelde dagtemperatuur weer verhoogd naar 20°C. De ingestelde nachttemperatuur was in de eerste maanden met 18°C, 3 graden lager dan de ingestelde dagtemperatuur. In Figuur 5 zijn de temperatuur-instellingen en realisaties van teeltjaar 2018 getoond.



Figuur 5 A. daggemiddelden van de temperatuurinstellingen B. gerealiseerde temperaturen C. dagelijkse minima en maxima voor het jaar 2018 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

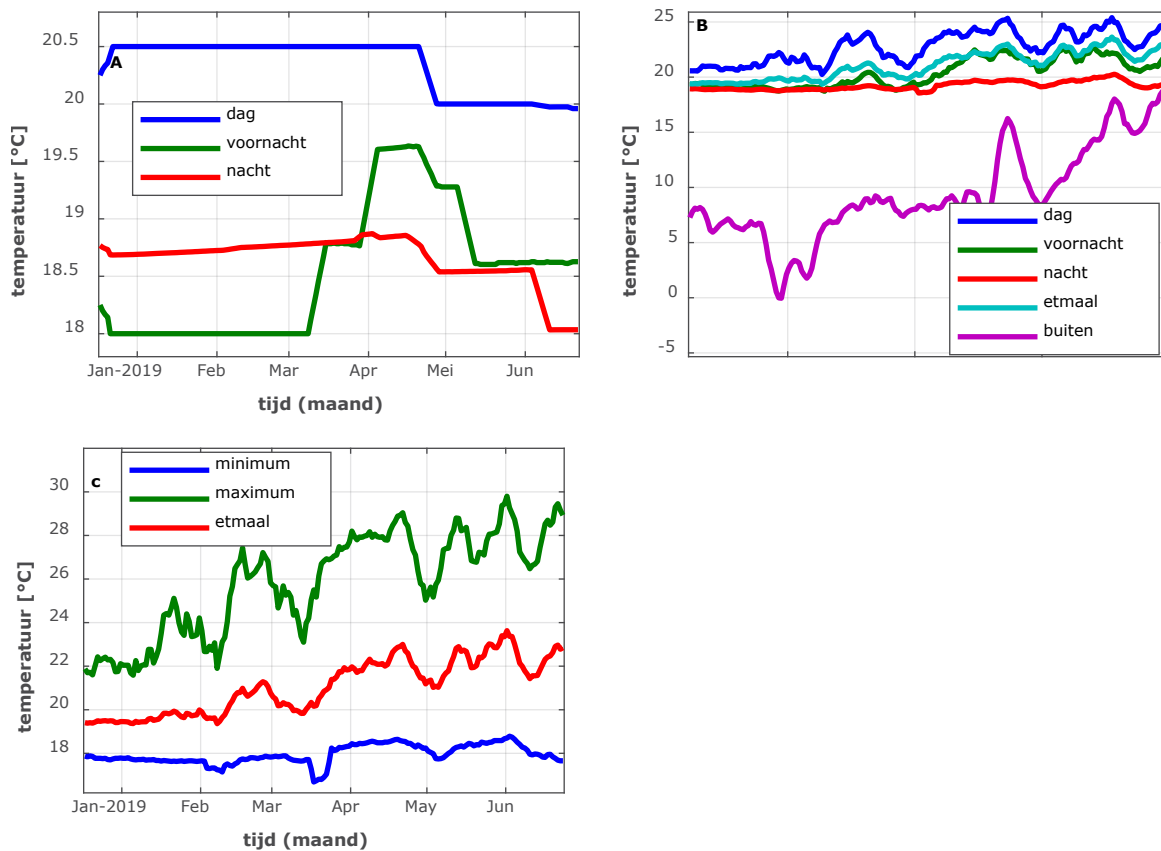
Eind april werd de ingestelde nachttemperatuur verlaagd naar 17°C en begin september werd deze verhoogd naar 18.5°C.

Gedurende de zomer werd er gewerkt met een ochtenddip: de stooklijn werd gedurende 3 uur voor zonopkomst op 20 gelegd om condensatie op gewasdelen te voorkomen. Een uur na zonopkomst werd er gelucht met een streef temperatuur van 18.5°C tot 12:00, daarna mocht de temperatuur hoger oplopen bij veel zon tot 26°C. Ventilatie- en stooktemperaturen waren beiden stralingsafhankelijk en lagen bij veel straling enkele graden hoger.

De gemiddeld gerealiseerde etmaaltemperatuur was 19.2°C gedurende de maand januari en liep op tot een gemiddelde van 22.3°C voor de maand juni. De gerealiseerde dag- en nachttemperaturen volgden deze trend en verschilden een paar graden van de etmaaltemperatuur.

2019

De teelt van 2019 begon met een ingestelde dagtemperatuur van 20.5°C en een nachttemperatuur van 18°C. Begin mei werd de ingestelde dagtemperatuur verlaagd naar 20°C en de nachttemperatuur naar 18.5°C. De ingestelde nacht en voornachttemperaturen varieerden tussen de 17°C en 19.5°C. In Figuur 6 zijn de temperatuur-instellingen en realisaties van de voorjaarsteelt 2019 getoond.



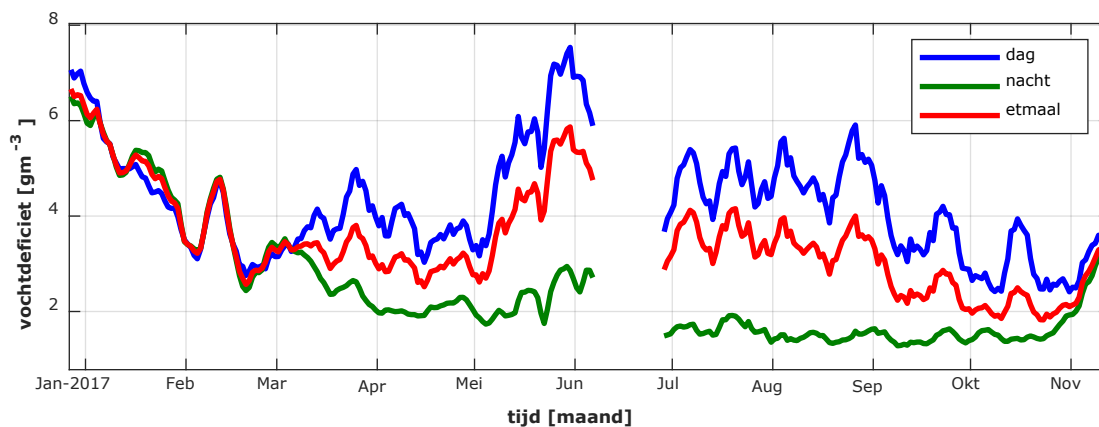
Figuur 6 A. daggemiddelden van de temperatuurinstellingen B. gerealiseerde temperaturen C. dagelijkse minima en maxima voor het jaar 2019 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

De gemiddelde gerealiseerde etmaal temperatuur was 19.9°C gedurende januari en 21.2°C gedurende de eerste twee weken van juni. De gemiddelde gerealiseerde dag- en nachttemperaturen volgden dezelfde trend als de etmaaltemperatuur en verschilden hier een paar graden van.

3.1.2 Luchtvochtigheid

2017

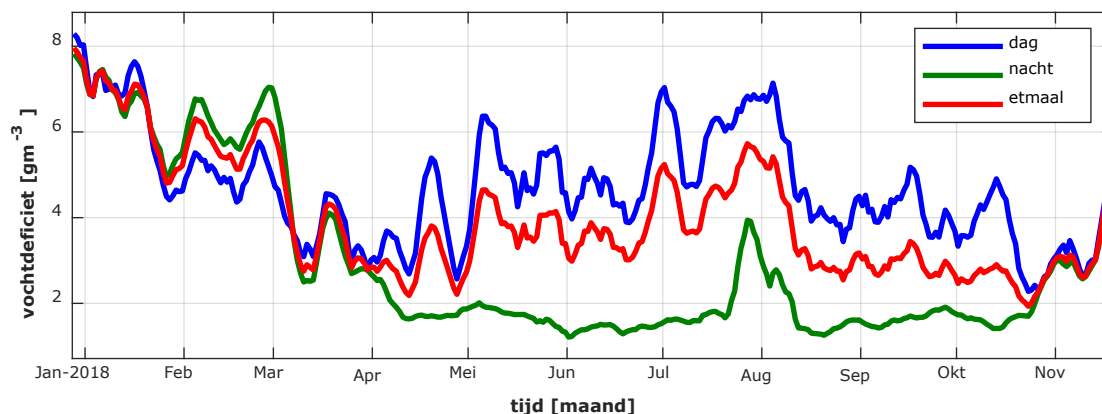
Er werd vanaf begin februari overdag en 's nachts ontvochtigd bij een VD van respectievelijk 2.5 en 2.0 g/m³. Rondom de zomermaanden werd er regelmatig geschermd tegen excessieve straling, waarna het vochtdeficiet (VD) alsnog flink opliep. Hier speelt ook een rol dat de hoge transmissie van de kas tot veel zonne-energie leidt, terwijl de diffusiteit van het kasdek relatief laag is. Om deze reden is in 2018 een vernevelingsinstallatie geïnstalleerd. In Figuur 7 zijn de etmaalgemiddelden van het vochtdeficiet voor het teeltjaar 2017 te zien.



Figuur 7 Dag-, nacht- en etmaalgemiddelden van het vochtdeficiet voor het jaar 2017 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

2018

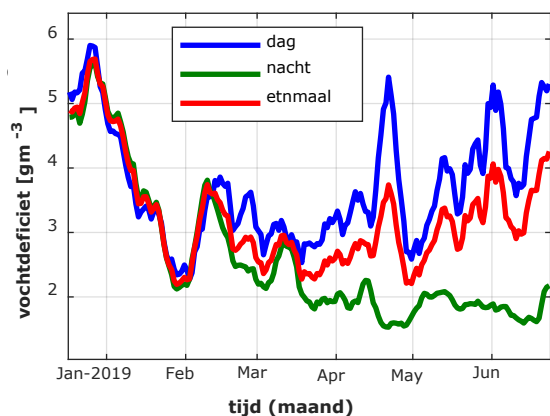
De teelt is begonnen met een hoog vochtdeficiet omdat er geen gebruik werd gemaakt van luchtbevochtiging. Dit zou alleen extra energiegebruik tot gevolg hebben omdat er te weinig zon-energie is om de nevel te verdampen. Ondanks plastic folie langs de gevels bleef het VD de eerste maanden hoog. Een mogelijke oorzaak is dat het vocht door het dubbele scherm gaat en condenseert tegen het koude glasdek. Ervaring uit de praktijk is ook dat het VD hoger is met een dubbel dan met een enkel gesloten scherm. Het kan ook deels veroorzaakt zijn door het 15% grotere oppervlak van het scherm door de W-constructie. In Figuur 8 zijn de etmaalgemiddelden van het vochtdeficiet voor het teeltjaar 2018 getoond. Vanaf 3 april werd vernevelen ingesteld bij een temperatuur boven de 26°C in combinatie met een RV van minder dan 80% en een straling hoger dan 540 W/m². Midden september is de ingestelde RV om de verneveling te starten verlaagd naar 75%.



Figuur 8 Dag-, nacht- en etmaalgemiddelden van het vochtdeficiet voor het jaar 2018 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

2019

Omdat er in 2018 een te lage luchtvochtigheid gedurende de wintermaanden was, is voor de teelt van 2019 een horizontaal geperforeerd AC-folie geïnstalleerd om een hogere luchtvochtigheid te behouden. Toch was er in de eerste maanden (december-januari) weer een hoog VD, gemiddeld wel lager dan in 2018. Om deze reden werd het pad dagelijks nat gemaakt om het VD wat te verlagen. Vanaf eind januari ging het VD snel naar beneden. Er werd ontvochtigd bij een VD N/D van 2/1.5 g/m³. Begin februari is het AC folie verwijderd. Vanaf midden maart werd de verneveling aanzet, wederom afhankelijk van RV, T en instraling, zie 2018.



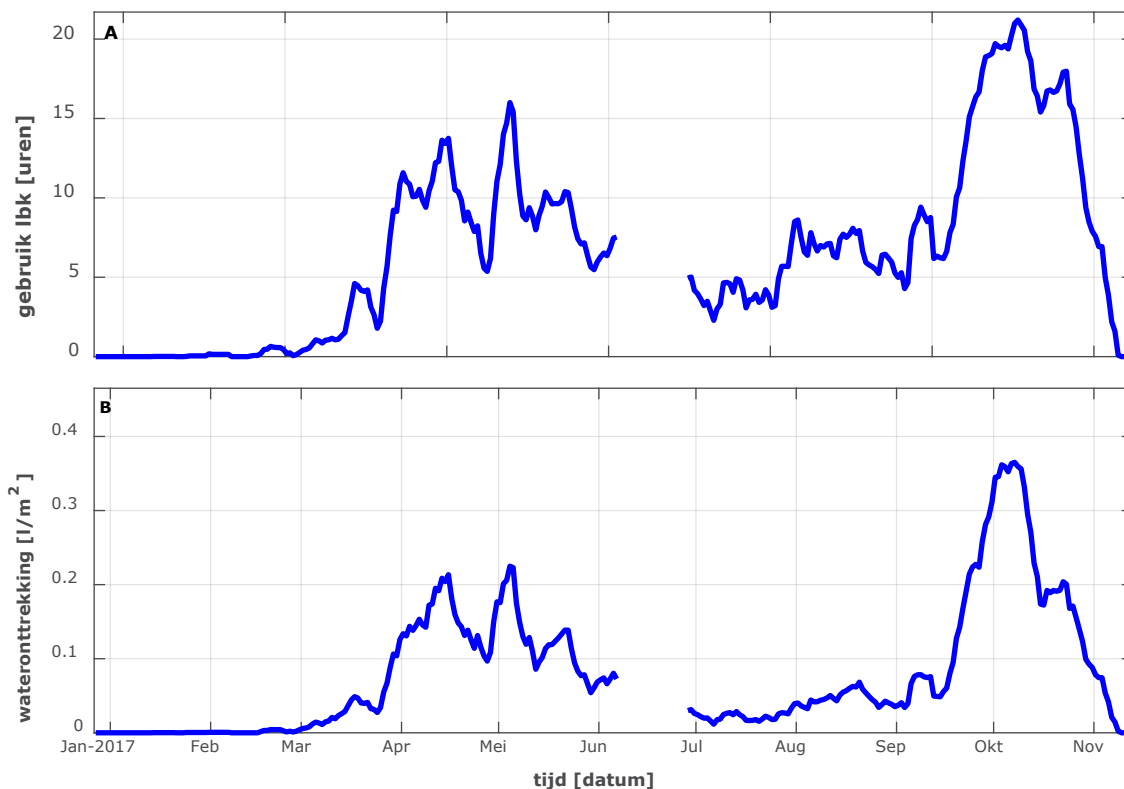
Figuur 9 Dag-, nacht- en etnmaalgemiddelden van het vochtdeficiet voor de voorjaarsteelt 2019 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

3.1.3 Luchtbehandelingskast

Door gebruik van de luchtbehandelingskast (LBK) kon de luchtvochtigheid ook met gesloten schermen en gesloten ramen goed onder controle gehouden worden. Telers die deel uitmaakten van de BCO waren positief over de resultaten van de LBK en stelden daarbij voorop dat de luchtvochtigheid makkelijker gestuurd kan worden door een LBK dan door te luchten en als bijvangst dat er makkelijker geschermd kan worden en daarmee ook nog energie bespaard kan worden.

2017

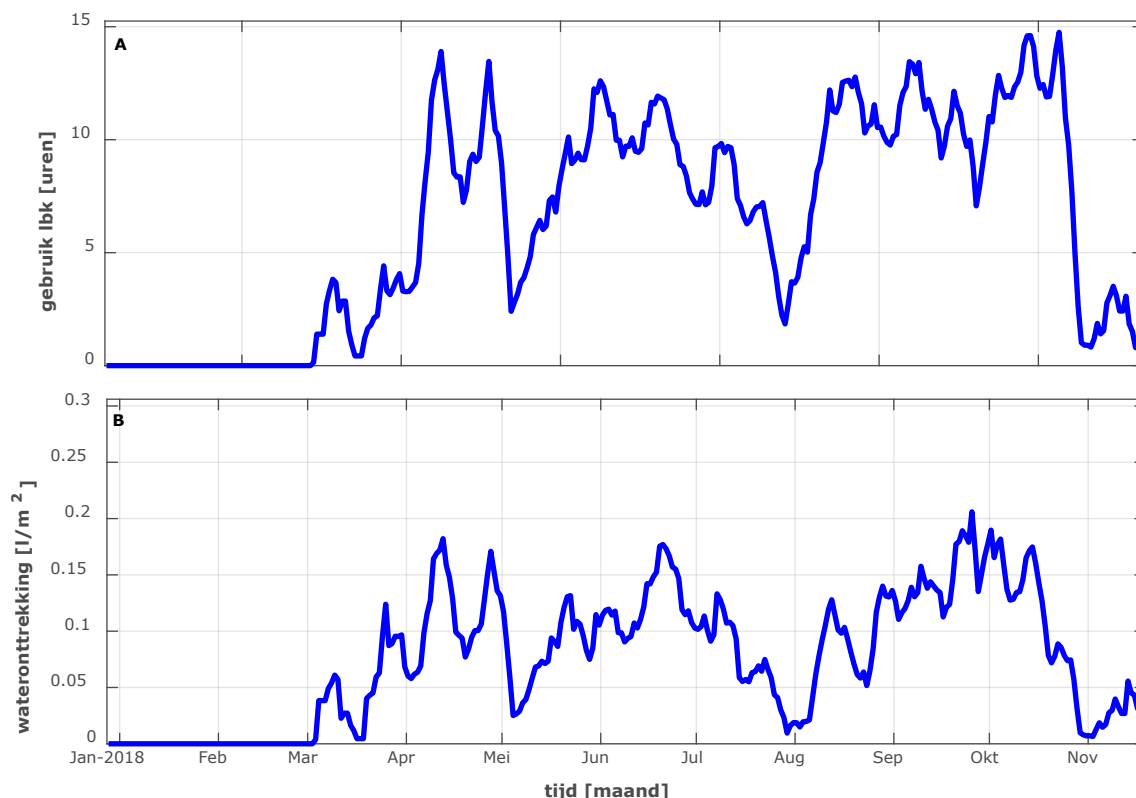
Gedurende 2017 is de LBK in totaal 2015 uur in gebruik geweest en heeft daarmee ca. 24 l/m² onttrokken aan de kaslucht. Deze wateronttrekking is niet gemeten maar berekend op basis van de capaciteit van de LBK, het gebruik en het absoluut vochtverschil van buiten- en kaslucht. In Figuur 10 is de gebruiksduur van de LBK en de resulterende wateronttrekking aan de kaslucht per dag weergegeven.



Figuur 10 A. dagelijks gebruik LBK in uren B. dagelijkse wateronttrekking door LBK weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

2018

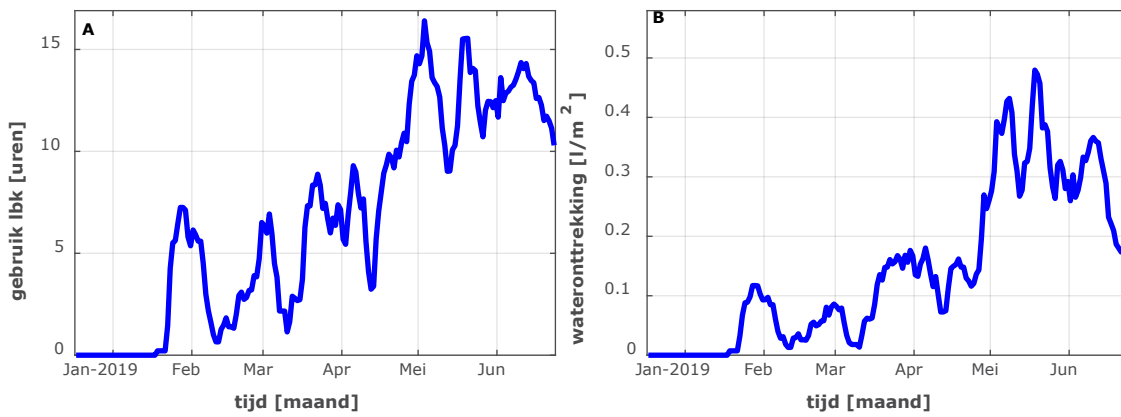
Gedurende 2018 is de LBK in totaal 2087 uur in gebruik geweest en heeft daarmee ca. 24.5 l/m² water onttrokken aan de kaslucht. De eerste drie maanden van de teelt is de LBK niet gebruikt in verband met het hoge VD in de kas. Eenmaal in gebruik hoefden tussen maart en begin mei de schermen nooit geopend te worden op vocht. In Figuur 11 is de gebruiksduur van de LBK en de resulterende wateronttrekking aan de kaslucht per dag getoond.



Figuur 11 A. dagelijks gebruik LBK in uren B. dagelijkse wateronttrekking door LBK weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

2019

Gedurende de voorjaarsteelt 2019 is de LBK in totaal 1257 uur in gebruik geweest en heeft daarmee ca. 27 l/m² onttrokken aan de kaslucht. Gedurende dit half jaar is meer water onttrokken dan in de twee voorafgaande teelten in deze periode. Dit kan mede verklaard worden omdat gedurende de zomermaanden het VD setpoint met een halve gram per kuub verhoogd was en doordat de maximale capaciteit (toegestane ventilatorsnelheid) van de LBK-kast eveneens verhoogd was en daardoor gedurende mei en juni de LBK-kast op volle toeren draaide. Deze periode kenmerkt zich wel door veelal kleinere verschillen in absoluut vocht binnen – buiten in perioden van ontvochtigingsvraag wat het ontvochtigen, en dus de capaciteit, bemoeilijkt.



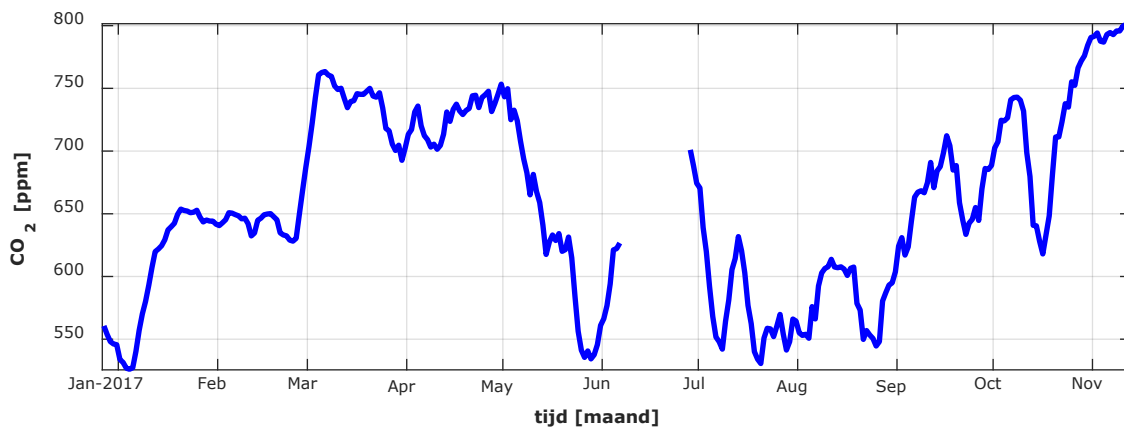
Figuur 12 A. dagelijks gebruik LBK in uren B. dagelijkse wateronttrekking door LBK weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

3.1.4 CO₂

Voor de CO₂ dosering wordt gebruik gemaakt van OCAP CO₂. De doseerstrategie is in het algemeen gelimiteerd op een doseercapaciteit van 100 kg/ha/uur.

2017

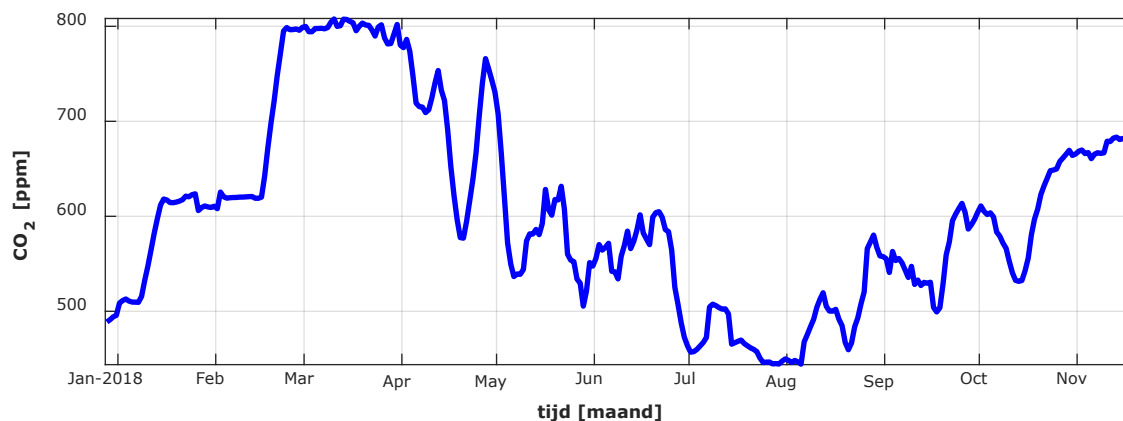
Gedurende de wintermaanden, bij minder licht, stond het doseringsniveau op 650 ppm ingesteld. Vanaf maart werd dit verhoogd naar 750 ppm. Vanaf begin mei daalde de gerealiseerde CO₂ ver onder de streefwaarde omdat vanaf hier door de oplopende ventilatie de verliezen ook sterk toenamen. Er is gedurende teeltjaar 2017 19.2 kg/m² CO₂ gedoseerd. In Figuur 13 is het dagelijks CO₂ niveau in de kas gedurende de lichtperiode weergegeven.



Figuur 13 Dagelijks CO₂ niveau in de kas gedurende de teelt in 2017 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

2018

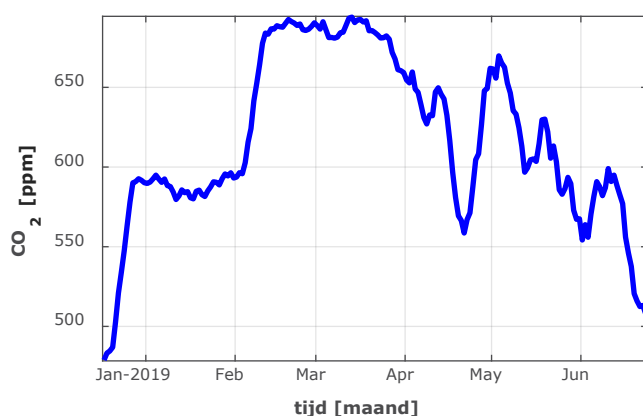
Gedurende de wintermaanden, bij minder licht, stond het doseringsniveau op 600 ppm. Vanaf maart werd dit verhoogd naar 800 ppm. Vanaf begin april daalde de gerealiseerde CO₂ ver onder de streefwaarde omdat vanaf hier meer werd geventileerd. Er is gedurende 2018 22.8 kg/m² CO₂ gedoseerd. In Figuur 14 is het dagelijks CO₂ niveau in de kas gedurende de lichtperiode weergegeven.



Figuur 14 Dagelijks CO₂ niveau in de kas gedurende de teelt in 2018 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

2019

Gedurende de wintermaanden, bij minder licht, stond het doseringsniveau op 600 ppm. Vanaf maart werd dit verhoogd naar 700 ppm. Vanaf begin april daalde de gerealiseerde CO₂ concentratie ver onder de streefwaarde omdat meer werd geventileerd. Er is gedurende de voorjaarsteelt van 2019 9.8 kg/m² CO₂ gedoseerd.



Figuur 15 Dagelijks CO₂ niveau in de kas gedurende de voorjaarsteelt in 2019 weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

3.1.5 Schermgebruik

In overeenkomst met inzichten uit Het Nieuwe Telen werd er intensief geschermd tijdens alle 3 de teelten. De schermstrategie was gericht op het creëren van een homogeen klimaat en lichtafhankelijke temperatuursturing. Op winterdagen ging het scherm alleen open als dit nodig was voor het gewas om meer licht te kunnen opvangen onder verder gunstige klimaatomstandigheden, dusdanig dat door het openen van het scherm er geen "extra" warmtevraag ontstond. Als de omstandigheden ongunstig waren, of het voor het gewas niet nodig was, bleven de schermen gesloten. In Tabel 5 is een overzicht van de gebruiksduur van de schermen per teelt en teeltjaar gegeven.

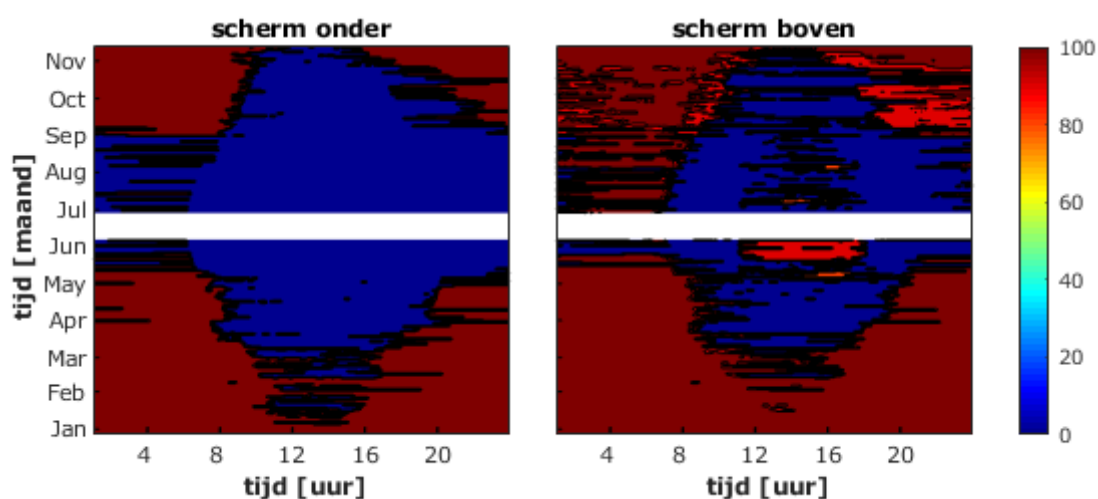
Tabel 5

Totaal aantal schermuren per teeltjaar.

| | 2017 | 2017 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------------------|--------|-------|--------|----------|--------|
| | Winter | Zomer | Totaal | Jaarrond | Winter |
| Totaal uren teeltperiode | 3888 | 3312 | 7200 | 7824 | 4536 |
| Schermbeneden | 1199 | 543 | 1742 | 3259 | 1339 |
| Schermboven | 1469 | 869 | 2338 | 4529 | 1633 |

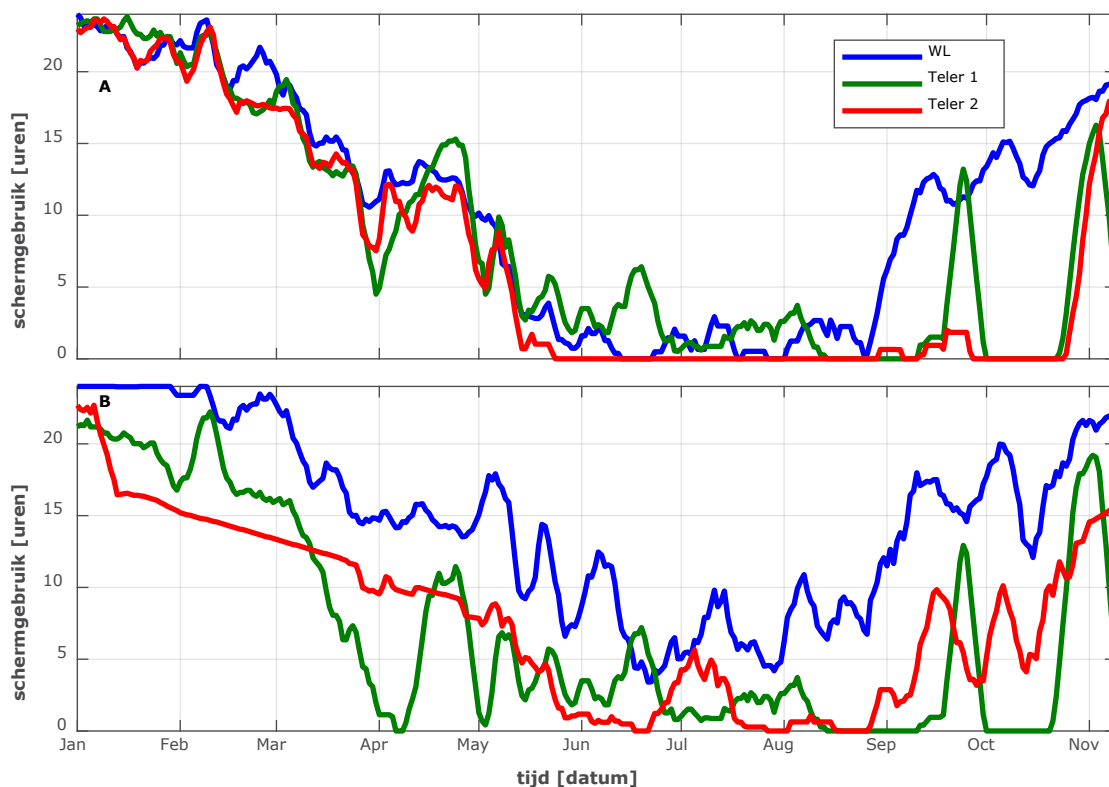
2017

In de maanden januari en februari waren er meerdere dagen dat beide schermen gesloten bleven. Er werd geschermd op temperatuur met de instelling dat één scherm openging als de buitentemperatuur boven de 8°C lag. Wanneer de buistemperatuur ook wegviel, werd het bovenste scherm ook geopend. Vanaf ongeveer 1 maart gaan beide doeken overdag open. Eerst het onderste scherm en daarna het bovenste scherm. Omdat de Winterlichtkas in de zomer ook minimaal 9 procent meer licht doorlaat, moest er bij dit komkommengewas ten behoeve van wat zonwering ook meer geschermd worden dan bij de meestal gebruikelijke 700-750 W/m². Vanaf half april was dit het geval, dit werd gedaan door het bovenste doek voor 80% dicht te trekken. Vanaf begin juni waren er nachten dat er helemaal niet meer geschermd werd. In de contourplot in Figuur 16 is voor ieder uur van de dag (x-as) gedurende de gehele teelt(y-as) de gemiddelde schermstand per uur getoond. De Figuur laat zien dat met name in de periode voor de teeltwisseling overdag geschermd ten behoeve van zonwering, schermboven. Ook in het najaar is het schermboven in de avond en nacht regelmatig niet volledig gesloten geweest omdat de kasluchttemperatuur dan nog te hoog was om de kas nog wat versneld af te laten koelen om de gewenste etmaaltemperatuur te bereiken.



Figuur 16 Contourplot van de gemiddelde schermstand per uur per dag gedurende de gehele teelt van 2017. Tussen 8 juni en 6 juli was er een teeltwissel.

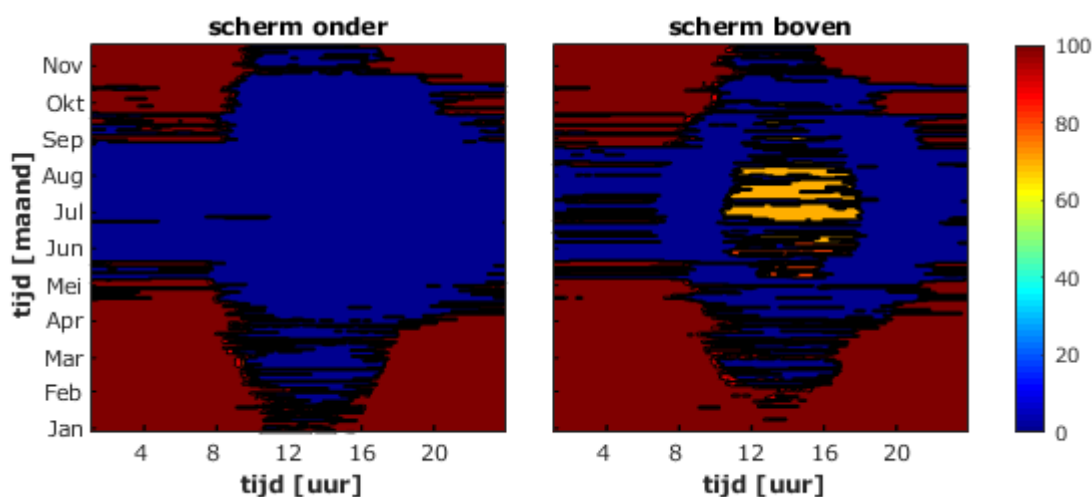
Het schermgebruik in de winterlichtkas was hoger dan het schermgebruik in de praktijk. Vooral in de maanden februari-mei en augustus-oktober (Figuur 17). Dit heeft alles te maken met vochtbeheersing en de in de Winterlichtkas aanwezige LBK waarmee in het algemeen de gewenste vochtniveaus bij gesloten scherm gehandhaafd kunnen blijven. Omdat teler 2 als 2^e scherm een schaduwdoek heeft, moet dat in de winter en voorjaar overdag geopend worden omdat dit anders te veel licht kost. In Figuur 17 B is dit duidelijk herkenbaar omdat de gebruiksduur van het 2^e scherm in het voorjaar de daglengte volgt.



Figuur 17 Dagelijks schermgebruik in uren voor de Winterlichtkas, Teler 1 en Teler 2. A. bovenste scherm B. onderste scherm

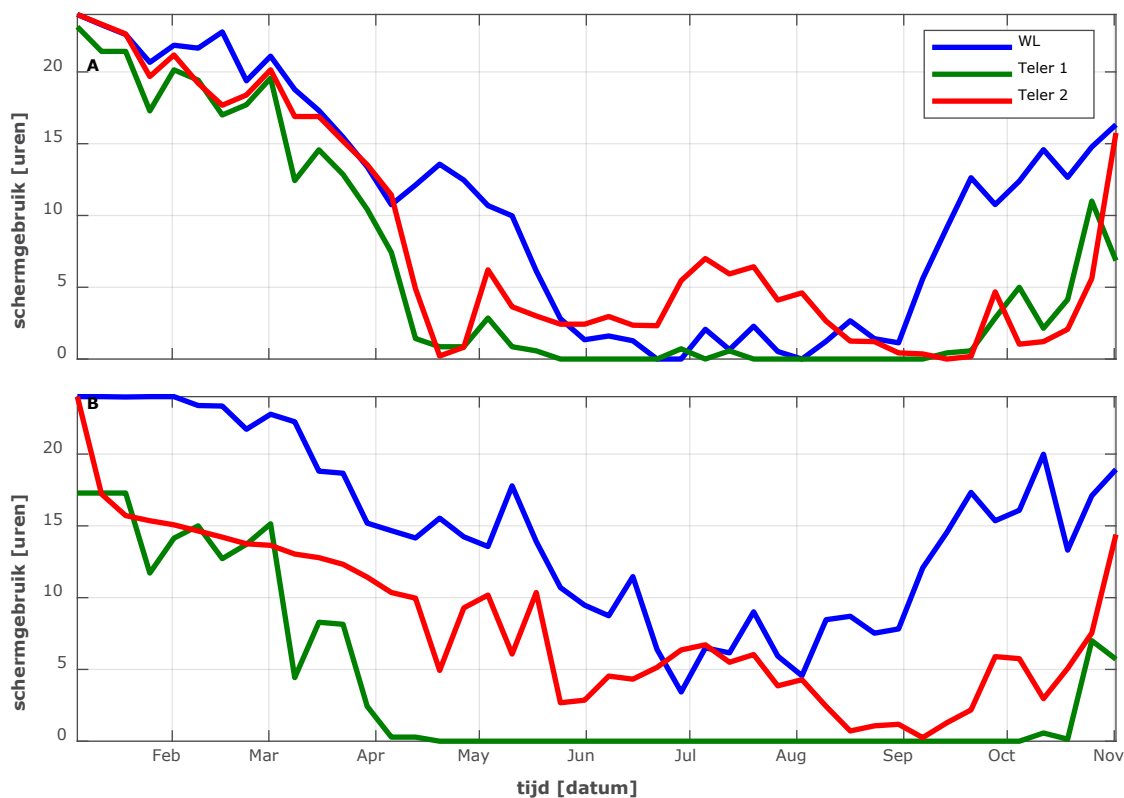
2018

In de maanden januari en februari waren er meerdere dagen dat beide schermen gesloten bleven. In de contourplot in Figuur 18 is voor ieder uur van de dag gedurende de gehele teelt de gemiddelde schermstand per uur getoond.



Figuur 18 Contourplot van de gemiddelde schermstand per uur per dag gedurende de gehele teelt van 2018.

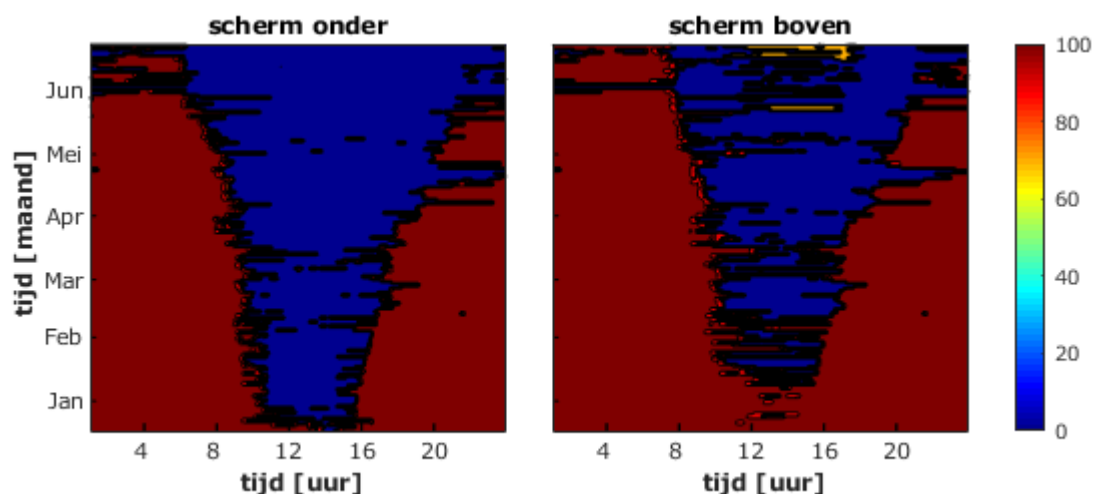
Vanaf ongeveer 1 maart gingen beide doeken overdag open. Vanaf begin juni werd het onderste scherm nog amper gebruikt en werd het bovenste scherm voor 70% gesloten om licht weg te schermen. Tijdens de zomermaanden werd het schaduw scherm gebruikt wanneer de straling 700 W/m^2 overschreed. Het schermgebruik in de winterlichtkas was ook dit jaar veel hoger dan het schermgebruik in de praktijk, Figuur 19. De Figuur laat zien dat de extra schermen vooral plaatsvinden in April, Mei en September en Oktober.



Figuur 19 Dagelijks schermgebruik in uren voor de Winterlichtkas, Teler 1 en Teler 2. A. bovenste scherm B. onderste scherm.

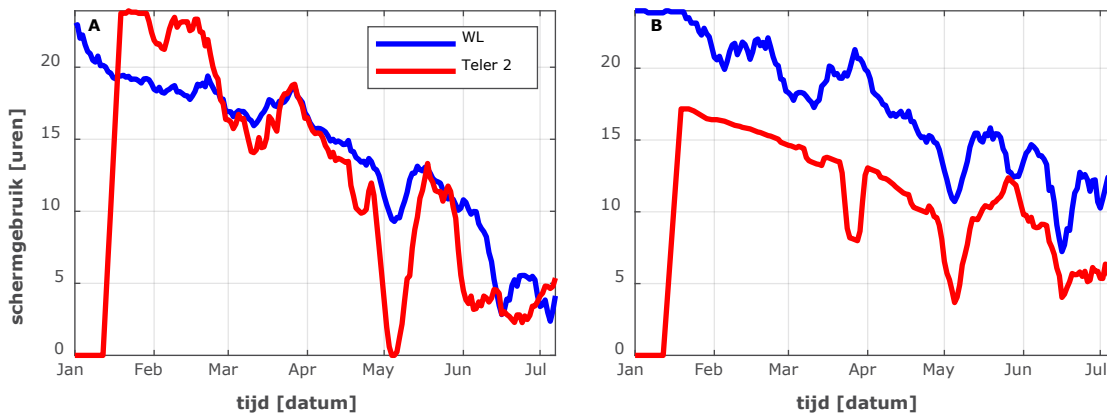
2019

In de maand januari was het onderste scherm vaker open dan in de voorafgaande jaren. Dit was zo omdat er dit jaar naast de twee beweegbare schermen er ook een vast transparant geperforeerd anticondensscherm geïnstalleerd was in de periode van de teeltstart t/m 6 februari. Het onderscherm werd in die periode geopend zodra de warmtevraag (op de buis) wegviel.



Figuur 20 Contourplot van de gemiddelde schermstand per uur per dag gedurende de voorjaarsteelt van 2019.

Van teler 1 is geen data voorhanden, teler 2 is de teelt pas op 10 januari gestart.



Figuur 21 Dagelijks schermgebruik in uren voor de Winterlichtkas en Teler 2. Gedurende deze periode was geen data van teler 1 beschikbaar. A. bovenste scherm B. onderste scherm.

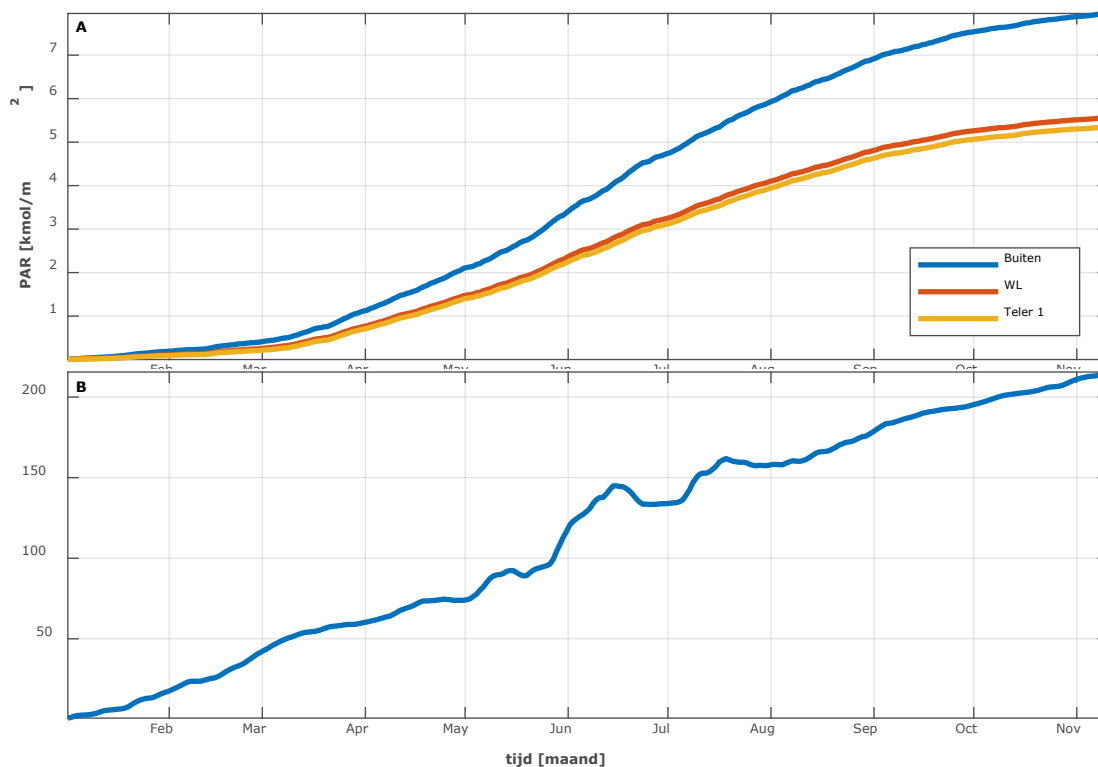
Gemiddeld genomen waren er voor alle 3 de jaren 50% meer schermuren dan in de praktijk.

3.1.6 Licht

De winterlichtkas is speciaal gebouwd om meer natuurlijk licht in de kas voor het gewas beschikbaar te hebben. In deze paragraaf worden de gerealiseerde lichtsommen op het gewas met elkaar vergeleken. Omdat continue lichtmeten erg lastig is, zeker op praktijkbedrijven, is dit aan de hand van de kaseigenschappen en transmissie rapportages berekend. Hierbij is alleen teler 1 in ogenschouw genomen omdat deze exact de referentiekas zoals besproken bij het ontwerp van de winterlichtkas heeft met twee beweegbare transparante schermen. Daarnaast is dit bedrijf op enkele kilometers van Bleiswijk gesitueerd zodat de klimatologische omstandigheden als gelijk kunnen worden beschouwd. Van teler 1 waren alleen de schermdata uit 2017 beschikbaar daarom kunnen de behaalde lichtsommen in de winterlichtkas alleen voor 2017 vergeleken worden met de praktijk.

2017

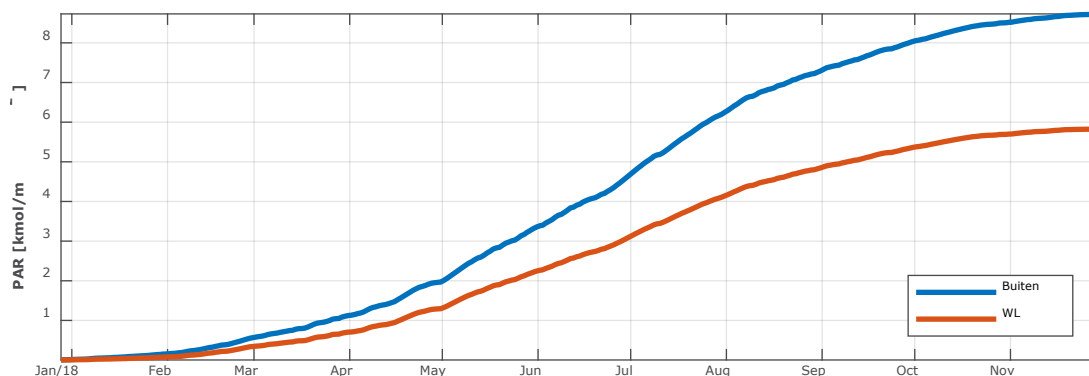
Ondanks dat in de winterlichtkas beide schermdoeken veel vaker gesloten waren dan in de praktijkkas, was er over het gehele teeltseizoen een kleine hoeveelheid meer licht in de winterlichtkas binnengekomen dan in de praktijkkas, in totaal was dit 216 mol/m². Op een totaal van ca. 5400 mol/m² is dit een verschil van ca. 4%. In Figuur 22 de lichtsom op het gewas in de winterlichtkas en in de kas van teler 1 en het verschil tussen deze 2 locaties getoond.



Figuur 22 Lichtsom op het gewas in de winterlichtkas en in de kas van Teler 1. B. cumulatief verschil mol som winterlichtkas – kas teler 1.

2018

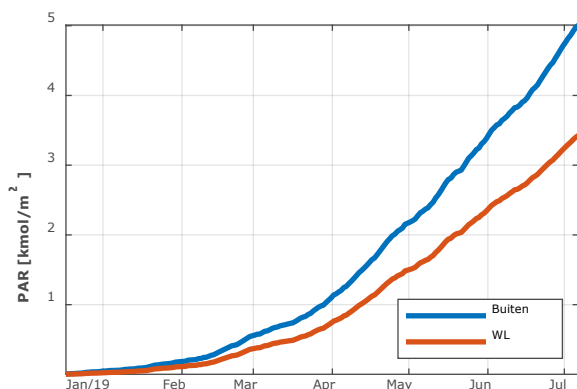
In 2018 was er in de winterlichtkas een vergelijkbare hoeveelheid licht op het gewas als in 2017. Figuur 23 weergeeft het verloop gedurende 2018 van de lichtsom.



Figuur 23 PAR buiten en lichtsom op het gewas in de winterlichtkas gedurende teelt 2018.

2019

Hoewel er een vast folie gemonteerd is geweest, is er in overleg met de BCO besproken de schermen "makkelijker" te laten openen. Op het scheidsvlak energiebesparing door te schermen versus meer licht, is het lastig kiezen, en wat kan de lichtwinst bijdragen aan de productie.



Figuur 24 PAR buiten en lichtsom op het gewas in de winterlichtkas gedurende de eerste teelt van 2019.

3.1.7 Energiehuishouding

De doelstelling was om in de winterlichtkas 40% minder energie te gebruiken dan in de praktijk. In Tabel 6 zijn de energiegebruiken van de WLK in de teeltjaren 2017 – 2019 weergegeven. Het verschil CO₂ inkoop versus CO₂ gedoseerd is bepaald alsof alle warmte met behulp van een ketel geproduceerd zou zijn.

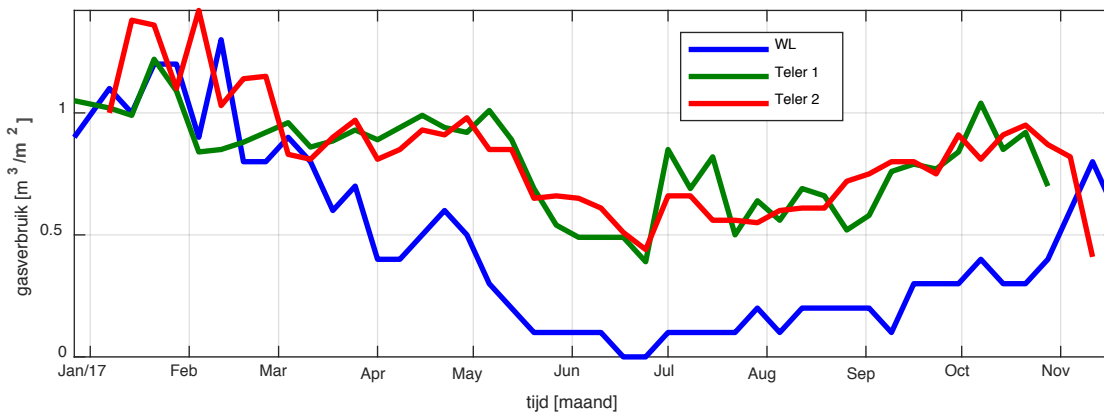
Tabel 6

Belangrijkste energiestromen winterlichtkas tijdens de teelt 2017,2018 en 2019.

| Bron | | 2017 | 2018 | 2019 (dec-jul) |
|---------------------------|--------------------------------|------|------|----------------|
| Elektriciteitsgebruik lbk | kWh/m ² | 1.2 | 1.8 | 1.5 |
| Warmte buisrail | m ³ /m ² | 21 | 20.2 | 13.7 |
| Warmte naverwarming lbk | m ³ /m ² | 0.2 | 0.25 | 0.04 |
| CO ₂ gedoseerd | Kg/m ² | 20.3 | 22.6 | 13 |
| CO ₂ inkoop | Kg/m ² | 8.8 | 10.2 | 4.8 |

2017

In Figuur 25 is het wekelijkse warmtegebruik van de WLK en telers 1 & 2 getoond. Teler 2 start de teelt pas 2^e week januari. De Figuur maakt duidelijk dat het verschil in warmtegebruik in de winter beperkt is, zeker in vergelijking met teler 1 die ook 2 beweegbare transparante schermen heeft, alleen wordt daar gekozen om het scherm overdag makkelijker te openen. Teler 2 heeft ook 2 schermen, maar één is een zonne-doek en kent door de open structuur een lagere besparing. Daarnaast moet deze overdag geopend worden. Het grote verschil wordt in het voorjaar, zomer en vroege najaar gemaakt. De ontvochtigingsinstallatie maakt juist in die periode het mogelijk om nog veel schermuren te maken. Het gasverbruik gedurende 2017 was gemiddeld ruim 40% lager dan in de praktijk.

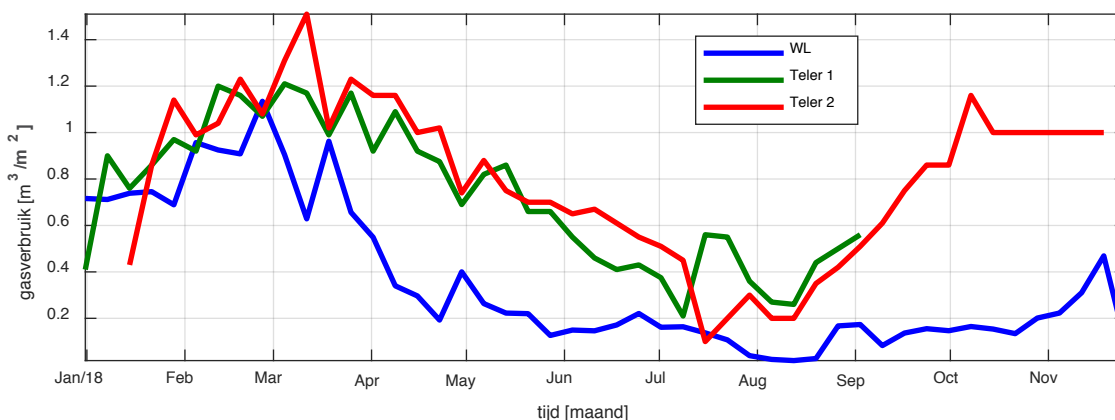


Figuur 25 Gasverbruik van de winterlichtkas gedurende 2017 in vergelijking met Teler 1 en Teler 2.

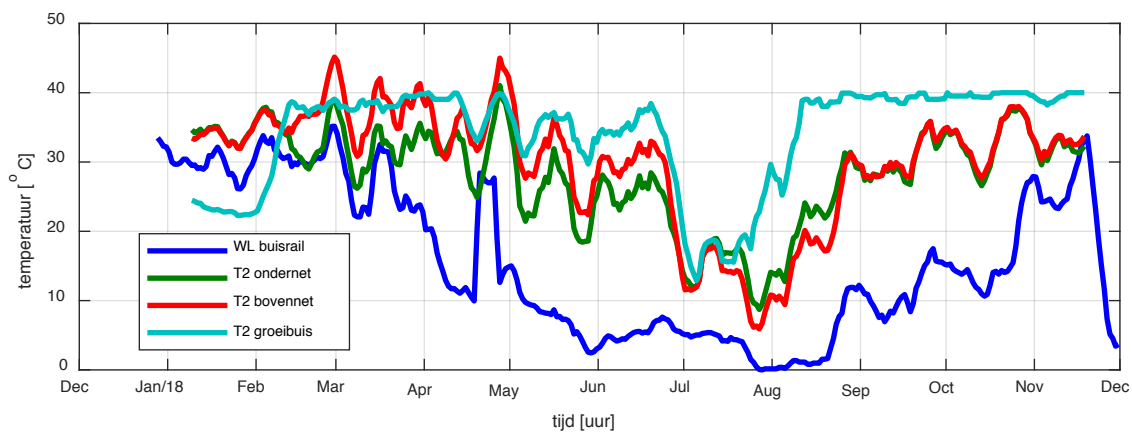
2018

Het gasverbruik in de winterlichtkas gedurende 2018 was gemiddeld 43% lager dan het gasverbruik in de praktijk (Figuur 26). Een groot deel van deze vermindering vindt plaats in de zomermaanden en is te verklaren doordat er in de winterlichtkas geen minimumbuistemperatuur is aangehouden (Figuur 27). In de Figuur moet wel rekening gehouden worden dat in de WLK er maar één verwarmingsnet is (buisrail) maar welke meer buizen heeft dan bij dan bij teler 2 omdat bij het ontwerp van de kas een deel van de transportleiding van kunststof is gemaakt is de buistemperatuur begrensd op 60°C. De buistemperatuur zegt dus niet alles over hoeveel vermogen er per vierkante meter kas is afgegeven bij een bepaalde buistemperatuur. In Figuur 27 zijn de etmaal gemiddelde buistemperaturen van de winterlichtkas en van teler 2 getoond. De groeibuis is begrensd op 40 graden en staan een groot deel van het jaar altijd aan.

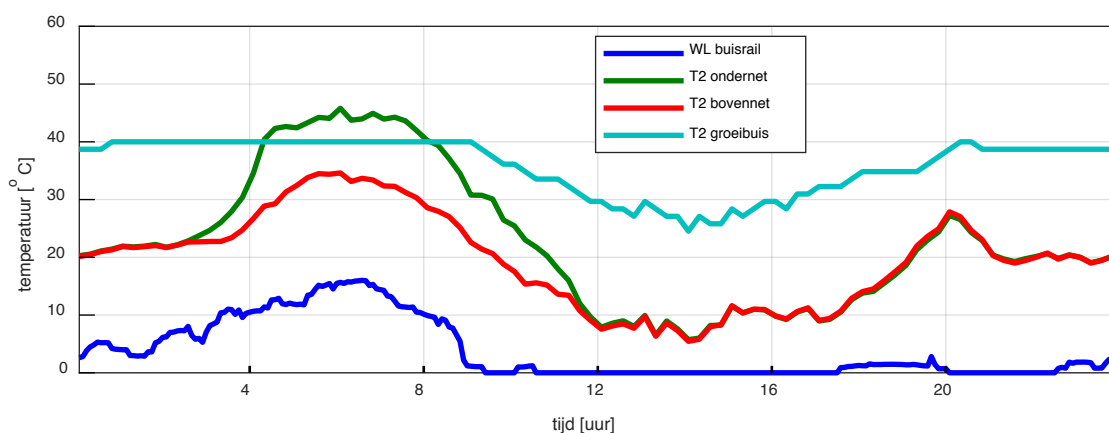
Gedurende de zomermaanden werd in de winterlichtkas de verwarming enkel in de ochtenduren gebruikt. Vlak voor zonsopgang is de verwarming kort aanzet om het gewas op te warmen en daarmee condensatie te voorkomen (Figuur 28). Door het lage energiegebruik gedurende de zomer moest er wel CO₂ ingekocht worden. Gedurende de wintermaanden werd er energie bespaard door intensief te schermen (zie ook sectie 3.1.5 Schermgebruik).



Figuur 26 Gasverbruik van de winterlichtkas gedurende 2018 in vergelijking met Teler 1 en Teler 2.



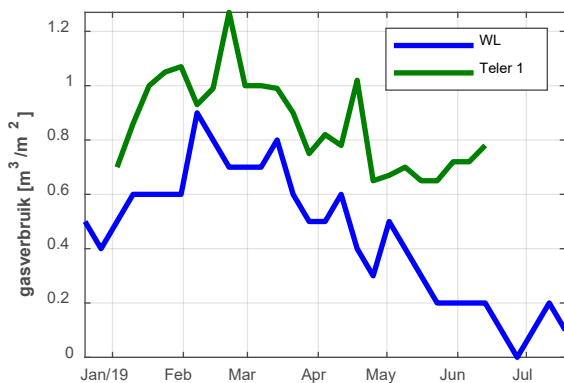
Figuur 27 Gemiddelde dagelijks buistemperatuur in de winterlichtkas en bij Teler 2 in 2018.



Figuur 28 Cyclisch gemiddelde van de buistemperaturen gedurende de maand augustus 2018 in de winterlichtkas en bij Teler 2.

2019

In 2019 was het gasverbruik in de winterlichtkas in de eerste teelt 35% lager dan bij Teler 1 in de periode van teeltstart tot teeltwisseling. Waar in de andere teeltjaren er nauwelijks verschil was tussen teler 1 en de WLK is dat tot eind januari nu wel duidelijk het geval. Een gevolg van het toepassen van ac-folie vanaf de start van de teelt tot begin februari. In Figuur 29 is ook duidelijk te zien na het verwijderen van dit folie, het energiegebruik weer wat toeneemt.



Figuur 29 Gasverbruik winterlichtkas in vergelijking met Teler 1.

3.2 Gewasgroei

3.2.1 Teeltverloop

2017

Teelt 1

De planten (Hi-power) met een zaaidatum van 29 november zijn op 27 december geplant, 1.67 stengels/m². Na het planten werd meteen trips in het gewas geconstateerd. Tegen de trips werden roofmijten gestrooid, vangplaten gehangen bij de kop en onder in het gewas, bij elke plant werd een zakje met Swirski-roofmijten opgehangen en is er ook nog met Tracer gespoten.

Vier weken na de plantdatum waren er kleine en kromme vruchtbeginsels en was er nauwelijks plantbelasting. 26 januari is de kop eruit gehaald en daarmee werd de stengeldichtheid verdubbeld. Dit was eerder dan oorspronkelijk de planning was. De vruchtjes werden om en om gesnoeid en net voor het toppen werden 2 setjes van 2 vruchtjes aangehouden. Om het gewas opener te maken, werd er eind januari 1 klein blaadje per stengel verwijderd op de plaats waar geen vrucht in een oksel zat.

Begin februari hadden de planten broeikopachtige verschijnselen terwijl de plantbelasting nog steeds laag was. Ondanks alle getroffen maatregelen, waren er midden februari nog steeds te veel trips te vinden. Half februari werd bij elke stengel een klein blaadje uit de kop weggenomen om meer licht op de vruchten te laten vallen en daarmee de vruchtgroei te stimuleren. Eind februari zijn alle stengels nogmaals getopt omdat er nog steeds broeikoppen waren. De meeste vruchtjes bleven klein, waarschijnlijk was dit toe te schrijven aan de trips. Omdat de plantbelasting laag bleef en de plant veel blad aanmaakte werd bij elke stengel 2 bladeren verwijderd op de plaats waar geen vruchtjes zaten, daarnaast werd bij de nieuwe scheuten het 2^e blad weggenomen. Half maart waren broeikoppen nog steeds een probleem, het was onduidelijk wat de oorzaak hiervoor was. Vanaf eind maart nam de aanwezigheid van broeikoppen af, waarschijnlijk door het mooie weer. Het gewas bleef vegetatief met opvallend veel lange blad- en vruchtstelen en grote bladeren. Daarom werd eind maart weer blad verwijderd halverwege de plant en er werd er een blad uit de kop weggenomen. Ook werd het dunschema veranderd naar 1 eruit en 2 erin.

Begin april leek de trips onder controle maar er was nog wel schade op vruchten te vinden. Wanneer het gewas te vol was, werd in het onderste gedeelte van de plant een blad verwijderd. Eind april viel op dat er een behoorlijke variatie was tussen de planten. Bij sommige planten zat de bloei vrij laag en de mate van opvolging varieerde sterk per plant, de planten waren niet selectief genoeg. De reden voor afwijkende vruchten was waarschijnlijk de tripsschade.

Begin mei werd in een aantal planten Pythium geconstateerd, om dit te bestrijden is Previcur gebruikt. Soms was er Pythium in een hele mat waardoor er gaten in de rijen ontstonden. De wortelvorming in veel matten was matig. 23 mei werd door het BCO besloten om de kop eruit te halen, de planten zijn 18 juni geruimd.

Teelt 2

De planten, wederom Hi-power, zijn 20 juni geplant met een plantdichtheid van 3 planten/m². Na een week zagen de planten er sterk uit, er was wel veel blad. Beleid was om veel blad weg te snijden, vooral in het midden van de plant, om een open gewas te creëren. De eerste vruchten werden 9 juli geoogst. 10 augustus werd een grote kop uit de planten gehaald bij 1 op de 8 stengels, hierdoor werd de stengeldichtheid ruim 2.6 st/m². Ongeveer 2 weken later werd bij één helft van de kas weer een kop bij 1 stengel per 4 planten eruit gehaald, waardoor begin september de stengeldichtheid in dit kasgedeelte op 2.25 st/m² uitkwam en in het andere kasgedeelte nog steeds 2.6 st/m² bedroeg.

Gedurende de gehele teelt werd vrijwel wekelijks preventief met Serenade gespoten en kon de meeldauw goed onder de duim gehouden worden. Deze teelt was er amper trips. De gehele zomer zag het gewas er goed uit en was in evenwicht met een goede uitgroei van de vruchten.

Begin september zag het gewas er generatief uit maar werden vruchtbeginsels bovenin wat zwakker. Vruchten werden korter maar niet te kort. Ondanks het vele schermen gedurende de nacht was er nauwelijks Botrytis en geen Mycosphaerella, wel wat valse meeldauw. Aangetaste bladeren werden weggeplukt.

15 oktober zijn de koppen eruit gehaald, op dat moment hingen er nog ongeveer 10 vruchten aan de plant.

Leerpunten 2017 die meegenomen werden voor 2018:

- De vruchtopvolging was niet altijd goed. Mogelijk was de etmaaltemperatuur iets te hoog. In de teelt van 2018 werd daarom met een ochtenddip gewerkt.
- Om productiestop in zomermaanden te voorkomen werden de planten in 2018 aangeworteld door gebruik te maken van speciale aanwortelbakjes.
- Om te zoeken naar de optimale gewasstrategie werden 3 verschillende gewasbehandelingen toegepast.
- Extra letten op broeikoppen in de eerste weken en op het juiste moment de koppen eruit halen.
- Er werd hogedrukverneveling geïnstalleerd om extra koelcapaciteit te creëren en lage RV's in de zomer te voorkomen.

2018

De planten (Hi-Power) zijn 27-12-2017 geplant. De eerste weken is geen luchtbevochtiging toegepast om niet te vegetatief te sturen. Daarnaast zal verneveling in deze periode van het jaar extra energie-input van de verwarming vergen. Er werden snel goede vruchtbeginsels aangemaakt. 16 januari zijn kleine koppen uit de planten verwijderd omdat er een aantal zwarte koppen ontstonden, Figuur 30. Er is met één scheut verder gegaan.

Begin februari stond er een open gewas met goede vruchtopvolging en een goede vruchtlengte. De koppen van de nieuwe scheuten hadden zich goed ontwikkeld en waren niet te zwaar. De vruchten zagen er kwalitatief goed uit. 9 februari was de eerste oogst. Er werd besloten om bij een vruchtgewicht van ca. 380 g te oogsten zodat assimilaten niet te veel naar het vruchten gingen. Eind februari is de kop eruit gehaald en zijn planten verdubbeld. De verschillende behandelingen zijn tussen week 16 en 18 begonnen (zie sectie 2.1.1 voor details).



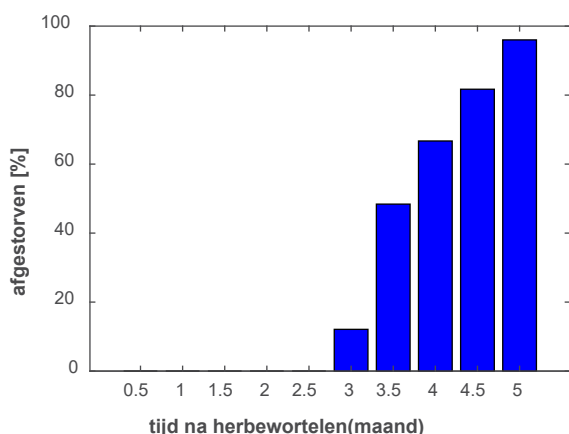
Figuur 30 Zwarte kop.

Eind april werden de planten aangeworteld. Voor het aanaarden zijn speciaal ontwikkelde bakjes door teler Floris van der Linden en geleverd door Beekenkamp, gebruikt en gevuld met kokosvezel (Figuur 31 A). Deze bakjes werden op de steenwolmatten geplaatst waar een stuk van het plastic was weggehaald zodat drain uit het bakje via de mat mogelijk was en de nieuwe wortels ook weer de steenwolmat in konden groeien (Figuur 31 D).

Eerst werden aan beide zijden de stengels na de splitsing in de uitsparing van het bakje gelegd. Nieuwe wortels ontwikkelden zich vlak bij de bladoksels. Daarom werd er altijd een stengel met minstens 1 bladoksel binnen een bakje gelegd. Per aanwortelbakje werden 2 druppelaars geplaatst. Hiervoor was een 2^e druppelleiding geïnstalleerd zodat de druppelaars die er al stonden op hun plek konden blijven staan. Hierdoor was het aantal druppelaars in de kas verdubbeld, de druppelgift werd langzaam verminderd totdat er een drain van 30% was. Het idee is dat herbeworteling assimilaten kost en daarom werd de voornacht- en nachttemperatuur een graad verlaagd naar respectievelijk 17°C en 18°C om de koppen sterker te maken. Twee maanden hierna werd er nog een keer aangeworteld. De eerste worteltjes kwamen al na 4 dagen tevoorschijn. Eind mei waren er volop wortels te zien in de kokos en van de meeste stengels zaten al veel wortels in de steenwol. Het duurde echter relatief lang voordat deze wortels de water- en voedingsopname geheel van de oorspronkelijke wortels overnamen en het eerste stengeldeel afstierf. Pas vanaf eind juli was te zien dat het eerste stengeldeel bij de eerste planten afstierf. Het aanwortelen was niet op alle stengels even succesvol (Figuur 31 E en F). Het aantal weggefallen planten was toen nog zeer beperkt. Circa vijf maanden na de 1^e keer herbewortelen was echter 96% van de 1^e stengeldelen afgestorven (zie Figuur 32).



Figuur 31 A. Aanwortelbakje gevuld met kokosvezel. B. De aanwortelbakjes werden dwars op de steenwolmatten geplaatst en voorzien van 2 druppelaars. C. Eerste wortels die na enkele dagen zichtbaar werden in de aanwortelbakjes. D. Overtollig water loopt in de steenwol matten en wordt via de goot afgevoerd. E. Links: geen aanworteling. Rechts: Wortels hebben zich gevormd onder de oksel. F. Stengels waar aanworteling succesvol heeft plaatsgevonden.



Figuur 32 Percentage afgestorven stengeldelen in de tijd na het herbewortelen.

Begin mei waren de vruchtjes bovenin vrij zwak, dit werd ook in de praktijk geconstateerd. Mogelijk was dit het gevolg van de hoge temperaturen 2 weken daarvoor en/of van de relatief lage instraling i.c.m. de hoge producties van 10.5 vrucht/m² van de voorgaande week.

Tussen week 16 en 18 werden verschillende gewasbehandelingen toegepast. Bij één behandeling werden meer vruchten aangehouden, bij één behandeling werden meer stengels aangehouden en bij één behandeling werd er niet getopt maar een zij scheut aangehouden (voor details zie sectie 2.1.1).

Er was veel variatie tussen de planten variërend tussen perfect en slecht. Gedurende de zomermaanden was er een korte afstand tussen de kop en vrucht.

Omdat in de week van 20 juli het aantal gevormde bladeren erg hoog was (bijna 7) in combinatie met afnemend licht in de opvolgende maanden, werd er een nieuwe dunningsstrategie toegepast bij de verschillende behandelingen:

- Standaard: i.p.v. wekelijks setje van 2, nu om en om dunnen.
- Extra vruchten: i.p.v. steeds setjes van 2, nu 1 maal per week setje van 2 en rest om en om dunnen.
- Extra stengels: i.p.v. om en om dunnen, nu wekelijks een setje van 2 vruchten achter elkaar eruit en rest om en om. Vooralsnog geen stengel weghalen. Eventueel in toekomst blaadjes wegnemen.

Bij de behandeling met meer vruchten waren de vruchten kleiner en er was meer abortie. Meer vruchten aanhouden betekent niet meer goede vruchten; ze zijn kleiner. Daarnaast was er bij deze behandeling duidelijk meer abortie en een slechtere vruchtkwaliteit. Bij de standaardbehandeling was er relatief weinig abortie.

Vanaf begin september werd bij de behandeling met extra stengels bij 1 op de 4 stengels een grote kop verwijderd en gestopt met een klein blaadje uit de kop te verwijderen. Dit omdat er minder licht beschikbaar is in de herfstmaanden en de stengeldichtheid dan zeker te groot zou worden. Eind september begonnen vruchtbeginsels er zwak uit te zien, achteraf gezien was het misschien beter geweest om de stengeldichtheid via koppen te verminderen naar 2,5 stengels/m². Op vrijdag 19 oktober werd een klein kopje uit de planten gehaald. Het duurt in deze periode ongeveer 5 weken voordat de laatste vruchten kunnen worden geoogst. Vanaf oktober werden vruchten evenals in de praktijk wat kleiner geoogst (ca. 360 – 380 g). Laatste oogst was 23 november.

Leerpunten voor 2019:

- In de herfst moet de stengeldichtheid verlaagd worden naar ca 2.5 stengels/m² om veel abortie door lichtgebrek te voorkomen.
- Standaardbehandeling liet minste abortie zien en had beste vruchtkwaliteit.
- Net als in 2018 was er een grote variatie tussen verschillende planten.
- Om een lage RV in januari te voorkomen is het zinvol om een geperforeerd plastic folie gebruiken bij de start van de teelt.
- Om het seizoen iets te verlengen en de mogelijkheden van de winterlichtkas maximaal uit te nutten nog eerder starten met de teelt.
- De herbewortelingsbakken stonden soms wat scheef op de mat, waardoor de drain langs stengels kon lopen en dit kon weer de ontwikkeling van stengelrot stimuleren. Bakken zijn eigenlijk ontwikkeld voor op bakken gevuld met perliet waardoor de basis stabiel is.
- De kokos was in de 2^e helft van de teelt vrij nat, wat waarschijnlijk de ontwikkeling van Pythium stimuleerde. In 2019 is daarom voor een mix van perliet en kokos gekozen.

2019

De planten van het ras Hi-Power zijn op maandag 17 december 2018 geplant. In januari waren ondanks de aanwezigheid van het plastic folie enkele planten met zwarte koppen geconstateerd. Bij de planten met erg zwarte koppen is een grote kop eruit gehaald en is er een zijscheut aangehouden. 30 januari werden alle planten gekopt, dit was iets vroeger dan gepland om de plant generatiever te sturen. Er werden 2 zijscheuten aangehouden zodat de stengeldichtheid verdubbelde.

Eind februari stond het gewas er vegetatief bij met lange bladeren. Ook was er abortie bij sommige planten; dit was echter ook het geval op de praktijkbedrijven. De opvolging van vruchten was niet goed: de vruchtjes waren aangelegd in een donkere periode en groeiden in een lichte periode uit. Sommige planten hadden broeikoppen: deze werden gekopt. Koppen met broei gaven ook zwakkere vruchten. Toen het weer in maart beter werd, werden de broeikoppen ook minder.

In maart zaten halverwege de plant een aantal zwakkere vruchtjes met soms een bepaalde kromming. Zwakke vruchtjes zijn waarschijnlijk enkele weken daarvoor veroorzaakt door de broeikoppen. Het vroege koppen en de vroege verdubbeling van het aantal stengels is nadelig uitgepakt omdat er weinig licht was. Vruchten waren kort en er trad abortie op.

Broeikoppen vormden ook in maart soms nog een probleem. Het is onduidelijk wat hier de reden voor was. Het scherm werd al vroegtijdig dichtgetrokken voordat er netto-uitstraling was en als de RV te hoog werd, werd er ontvochtigd. Vanaf eind maart werd er 6 keer per week geoogst, hiervoor was dat 4 keer.

8 april zijn de planten aangeworteld. De stengels werden door de reroot-bakjes met 50% kokos/50% perliet geleid. Ervoor is het substraat wat vochtig gemaakt.

Midden april werd met de behandelingen met extra stengels of vruchten begonnen. Het waren dezelfde behandelingen als in 2018. In het begin waren er nog wat dagen met donker weer wat bij de behandeling met steeds setjes van 2 vruchtjes aanhouden een beetje teveel van het goede bleek te zijn. Extra stengels aanhouden is in deze omstandigheden waarschijnlijk beter, maar kost extra arbeid.

In april was het gewas erg generatief. Om het gewas vegetatiever te krijgen zijn de volgende acties uitgevoerd:

- Eerder scherm dicht voor zonwering: op 650 i.p.v. 750 W/m².
- Later opstoken naar dag om 's morgens zoveel mogelijk kou te pakken, ofwel 1 uur voor zonop opstoken en 1 uur na zonop op dagtemperatuur zijn.
- Lichtverhoging op ventileren eraf en met ventilatie vooral op vocht werken
- Meer blad eraan laten zitten: na blad snijden is LAI nu 2.7 à 2.8 m²/m².
- EC gift van 2.6 naar 2.4 mS/cm. EC in mat is nu 3.0
- Wat meer watergeven op de juiste momenten, dus meer drain realiseren, vooral bij veel instraling: watergift ca 3 maal instraling

De acties leken effect te hebben en twee weken hierna was het gewas duidelijk opgeknappt: meer groei en sterkere vruchtbeginsels. Bij de hoge stengeldichtheid van 4.16 st/m² zag het gewas er frisser uit en vruchten hingen lager in de plant. Ook was er minder broei in de kop. Een verklaring voor dit laatste ontbreekt. Onder zomerse omstandigheden lijkt een hoge stengeldichtheid dus positief uit te pakken.

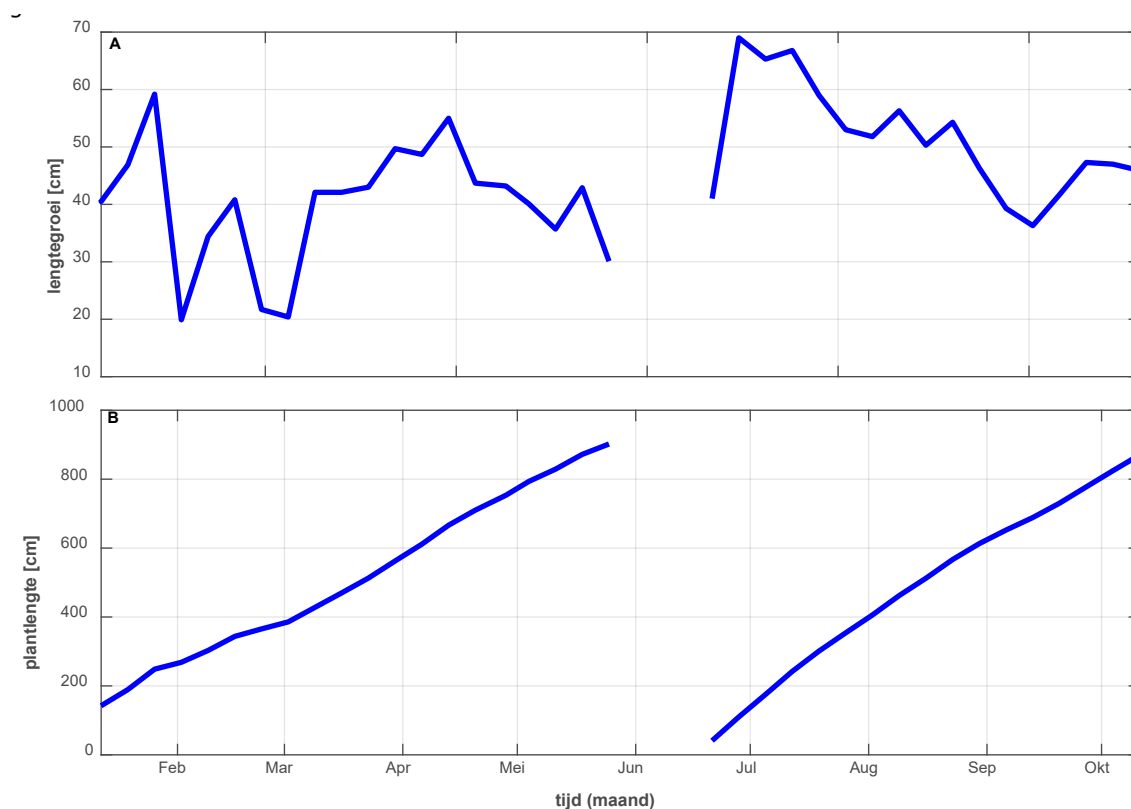
2 juli is de kop is eruit gehaald. De variatie tussen de planten was erg groot geworden. Bij een aantal planten met veel abortie bleek dat er weinig tot geen herbeworteling had plaats gevonden. Dat zou een verklaring kunnen zijn voor de grote abortie op deze planten. Waarom de herbeworteling op die planten zo matig was zou aan een mogelijk hoge plantbelasting op het moment van herbewortelen worden toegeschreven. Herbeworteling kan ook moeizaam verlopen als bij het blad snijden de wortelprimordia aan de stengels (deels) waren verwijderd.

De erg vroege start lijkt niet echt vruchten te hebben afgeworpen. Het gewas had het duidelijk moeilijker dan het jaar daarvoor en het gewas is eerder in onbalans geraakt. Deze teelt werd half juli beëindigd. Hierna zijn LED-modules geïnstalleerd en half september werd een nieuwe teelt gestart.

3.2.2 Lengtegroei

2017

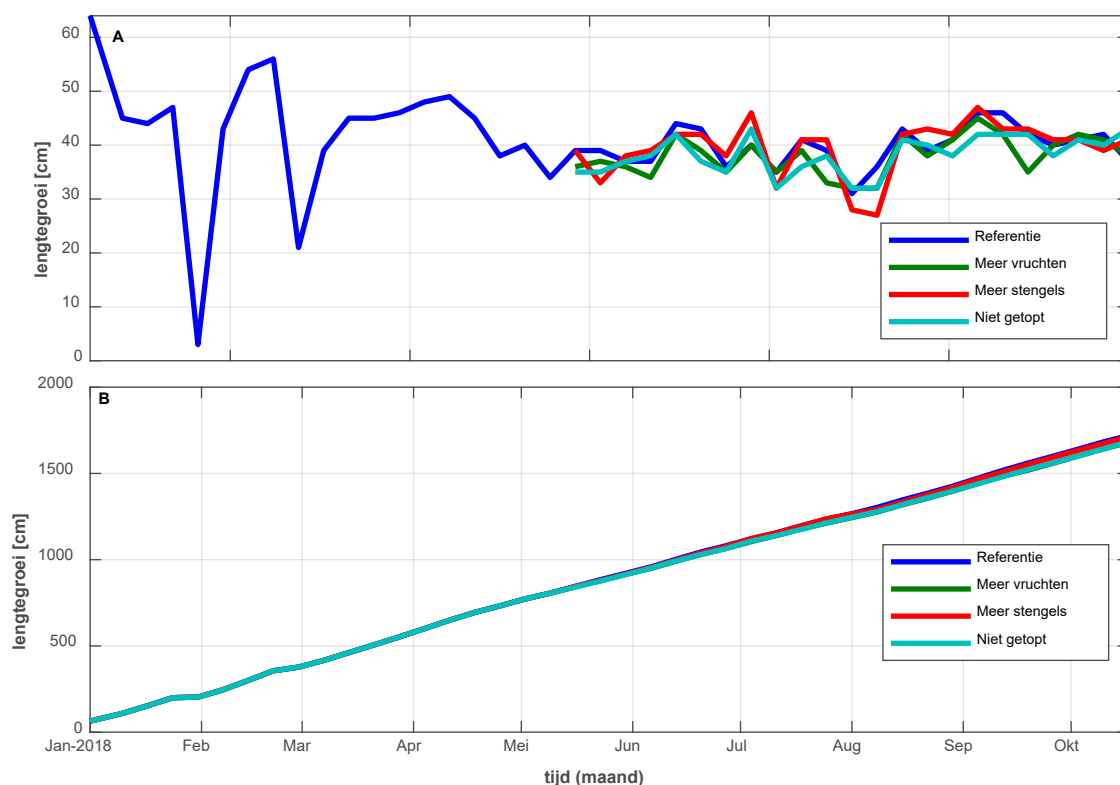
Eind januari zijn de planten getopt en in februari is dit een tweede maal gebeurt i.v.m. broeikoppen. Hierdoor is er in enkele weken nauwelijks lengtegroei. Begin maart ging het aanzienlijk beter en vanaf hier lag de lengtegroei tussen de 40 en 55 cm/week. Enkele weken voor het beëindigen van de 1^e teelt is er op 24 mei een klein kopje uit de plant gehaald, waardoor de lengtegroei in de laatste waarnemingsweek beperkt was. De tweede teelt van 2017 lag de lengtegroei hoger, deze begon op 69 cm/week en daalde geleidelijk tot ca. 40 cm/week in september. In Figuur 33 is de lengtegroei per week en cumulatief voor de teelt getoond.



Figuur 33 A. Wekelijkse lengtegroei gedurende teelt 2017, in juni was er een teeltwissel. B. Cumulatieve lengtegroei gedurende teelt 2017.

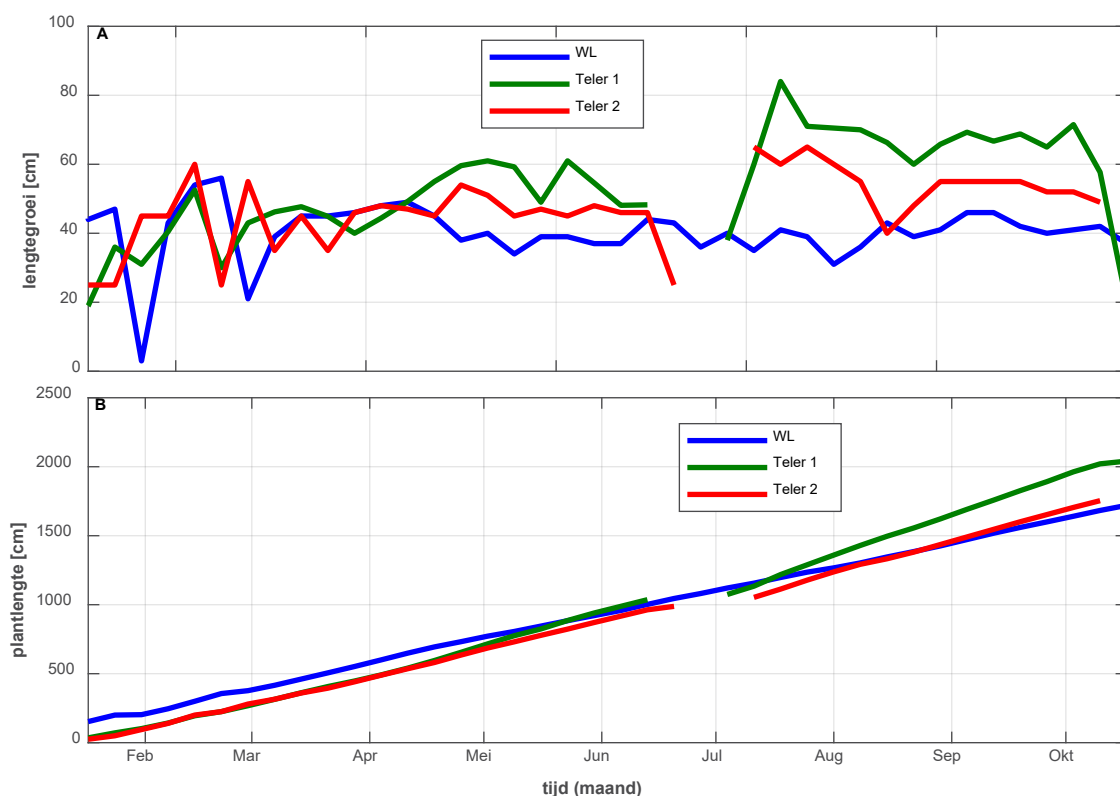
2018

Midden januari is een kleine kop eruit gehaald en eind februari zijn de planten nogmaals gekopt. Vanaf eind april schommelde de lengtegroei tussen de 35cm en 40cm/week, wat vrij beperkt is. De verschillende gewasbehandelingen lieten weinig verschil zien in lengtegroei. N.B. In de eerste periode tot medio mei waren er nog geen verschillende behandelingen aangelegd, Figuur 34.



Figuur 34 A. Wekelijkse lengtegroei gedurende teelt 2018. B. Cumulatieve lengtegroei gedurende teelt 2018.

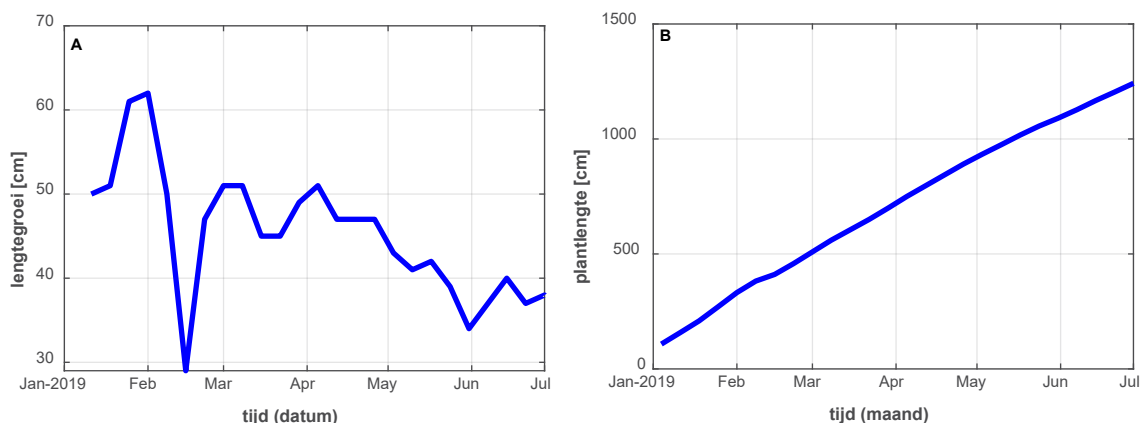
In de praktijkkassen werd half juni opnieuw geplant. Er was vanaf half april meer lengtegroei in de praktijkkassen, maar vooral na de start met een nieuw gewas in de 2^e helft van het jaar, Figuur 35. De lengtegroei was vooral groot bij teler 1, wat waarschijnlijk mede door het gebruikte ras werd veroorzaakt. De uiteindelijke plantlengte bij één lange teelt met herbewortelen in de winterlichtkas was ruim 17 m.



Figuur 35 A. Wekelijkse lengtegroei gedurende teelt 2018. B. Cumulatieve lengtegroei gedurende teelt 2018 voor de winterlichtkas (referentie behandeling) en de twee praktijk bedrijven.

2019

De planten werden midden februari gekopt, hierna was de lengtegroei 50cm per week, begin maart en nam geleidelijk af naar ongeveer 35cm per week in juni. De uiteindelijke plantlengte was 12 m.



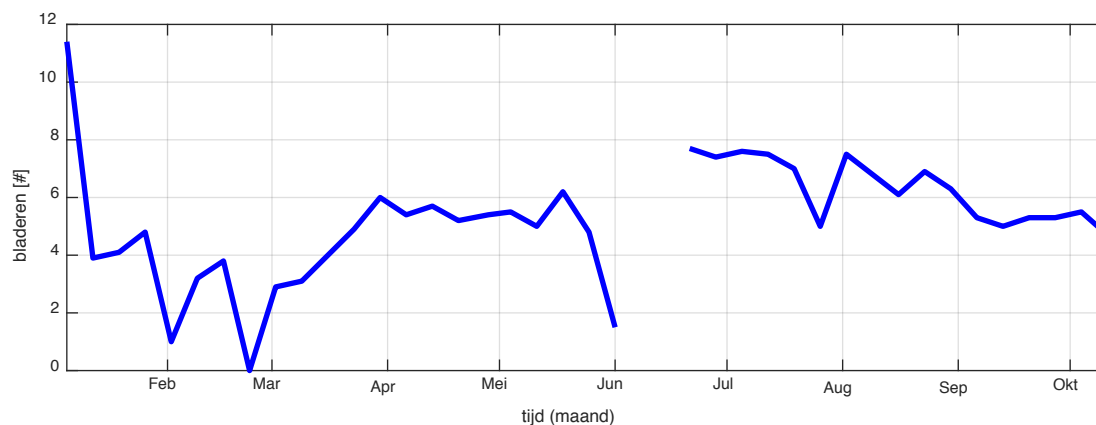
Figuur 36 A. Wekelijkse lengtegroei gedurende teelt 2019. B. Cumulatieve lengtegroei gedurende teelt 2019.

3.2.3 Bladeren

Het aantal bladeren die in een week worden aangemaakt, staat gelijk aan het aantal potentiële vruchten welke gevormd kunnen worden. De dunningstrategie bepaald verder de uiteindelijke plantbelasting.

2017

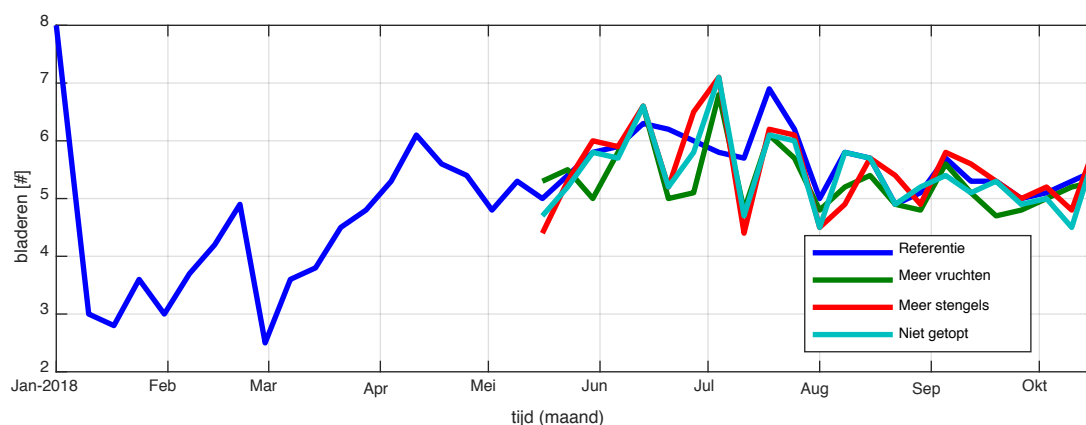
Het aantal nieuwe bladeren aan de plant in het begin van het jaar was laag omdat er de planten een paar maal zijn getopt. In Figuur 37 is de wekelijkse bladaanmaak voor de twee teelten in 2017 getoond. De piek in aantal bladeren bij de eerste waarneming is het gevolg van een telling van het totaal aantal bladeren aan de plant.



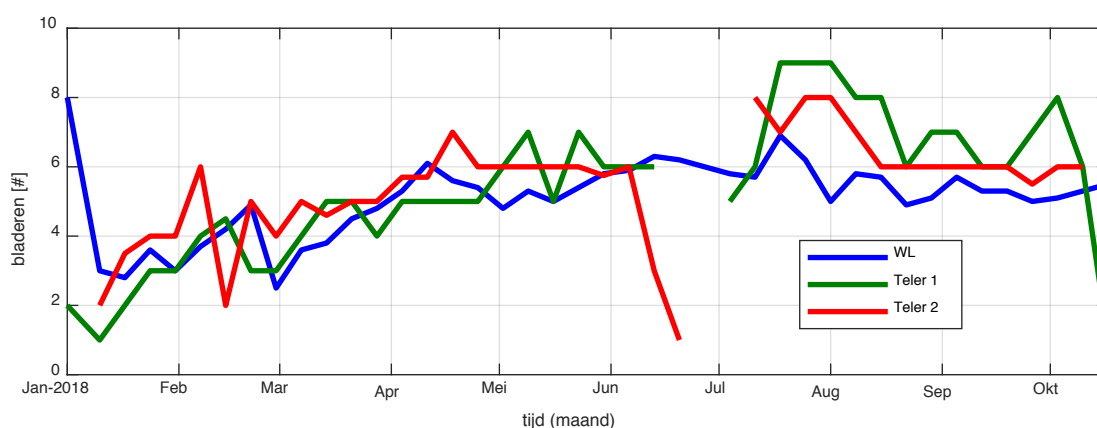
Figuur 37 Wekelijkse bladaanmaak gedurende teeltjaar 2017.

2018

Er was geen significant verschil in de bladaanmaak van de verschillende behandelingen die vanaf medio mei zijn aangehouden (Figuur 38). Wel was er in de winterlichtkas meestal, vooral in de tweede teelthelft minder bladvorming dan dat in de praktijk gezien werd. In de 2^e helft van het jaar zal dit mede te maken hebben met de ouderdom van de plant in de winterlichtkas, Figuur 39.



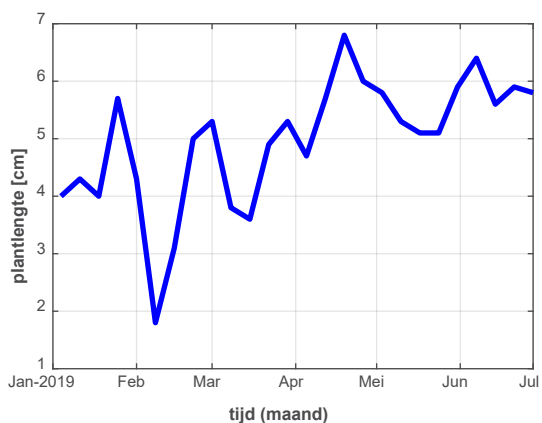
Figuur 38 Wekelijkse bladaanmaak gedurende teelt 2018. Halverwege mei werden 3 verschillende behandelingen toegepast.



Figuur 39 Wekelijkse bladaanmaak gedurende teelt 2018. De referentiebehandeling van de winterlichtkas wordt hier vergeleken met Teler 1 en Teler 2.

2019

In Figuur 40 is de wekelijkse bladaanmaak van de voorjaarsteelt 2019 getoond.

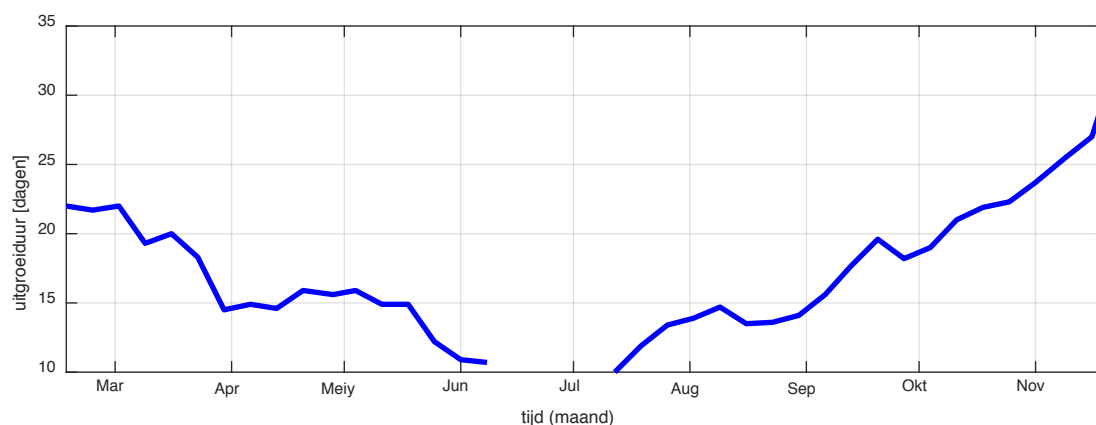


Figuur 40 Wekelijkse bladaanmaak gedurende de voorjaarsteelt 2019.

3.2.4 Uitgroeiduur

2017

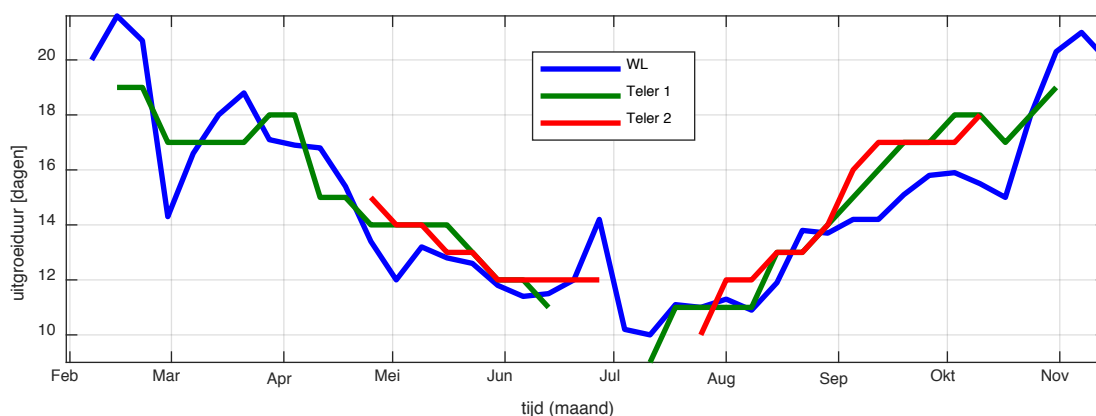
De uitgroeiduur in dagen gemeten nam af van 22 dagen in februari tot 12 dagen tijdens de meest lichtrijke periode. De uitgroeiduur voor de tweede teelt was 10 dagen voor de eerst geoogste vruchten in juli en nam toe tot zelfs 30 dagen in de lichtarme periode in november, Figuur 41. Dit is erg lang en lijkt vooral het gevolg te zijn van de beperkte hoeveelheid instraling in deze periode, mogelijk in combinatie met een (te) hoge stengeldichtheid. Een lange uitgroeiduur heeft ook gevolgen voor de houdbaarheid van het geoogste product.



Figuur 41 Uitgroeiduur vruchten gedurende teeltjaar 2017.

2018

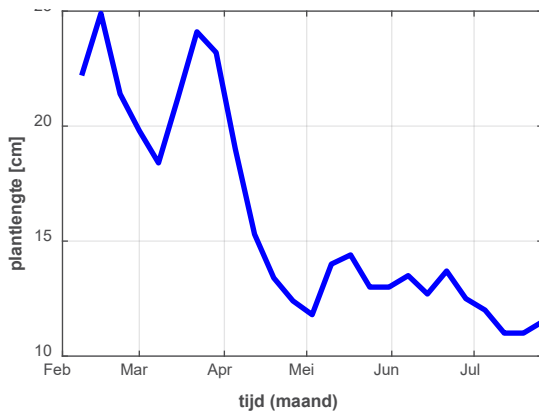
De uitgroeiduur in dagen gemeten nam van 20 dagen in februari af tot 10 dagen tijdens de meest productieve fase met veel licht en hoge temperaturen in juli. Vanaf hier nam de uitgroeiduur toe tot 20 dagen in november. De uitgroeiduur van de winterlichtkas liep meestal gelijk op met die in de praktijk, Figuur 42. In de maanden september en oktober was de uitgroeiduur in de winterlichtkas wat korter dan in de praktijk. Ook de laatste teelfase laat in 2018 en beduidend kortere uitgroeiduur zien dan in 2017, wat zeker ook een gevolg is van de aangepaste teeltstrategie in het najaar van 2018.



Figuur 42 Uitgroeiduur vruchten gedurende 2018 in de winterlichtkas en op de praktijkbedrijven.

2019

De uitgroeiduur begon in februari met 23 dagen en nam af tot 12 dagen in juli, Figuur 43. De trend is erg vergelijkbaar met de voorgaande jaren.



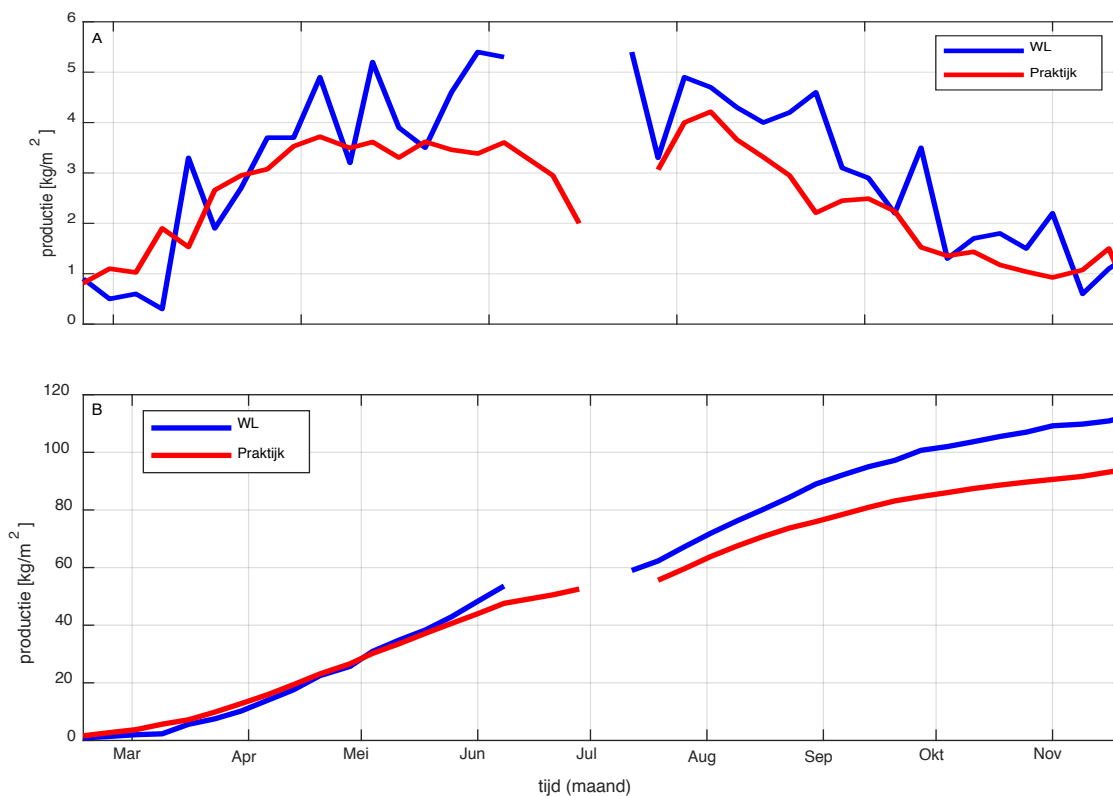
Figuur 43 Uitmoeiduur vruchten gedurende de voorjaarsteelt 2019.

3.2.5 Productie

2017

Ondanks de hardnekkige aanwezigheid van trips gedurende de eerste teelt, is de totale productie met een gewicht van 112 kg/m² zeker niet laag te noemen. Daarmee is de productie in de winterlichtkas 16% hoger dan de productie in de praktijk. In Figuur 44 is de productie per week en cumulatief van de winterlichtkas in vergelijking met het gemiddelde van de 2 praktijkbedrijven getoond. De productieverschillen komen vooral in de lichtrijke zomerperiode sterk naar voren. De winterlichtkas is inderdaad lichter dan de praktijkkassen maar uitgebreide discussie met de BCO heeft ook tot de conclusie geleid dat de kwaliteit van arbeid aan het gewas ook een behoorlijke invloed heeft op de productie.

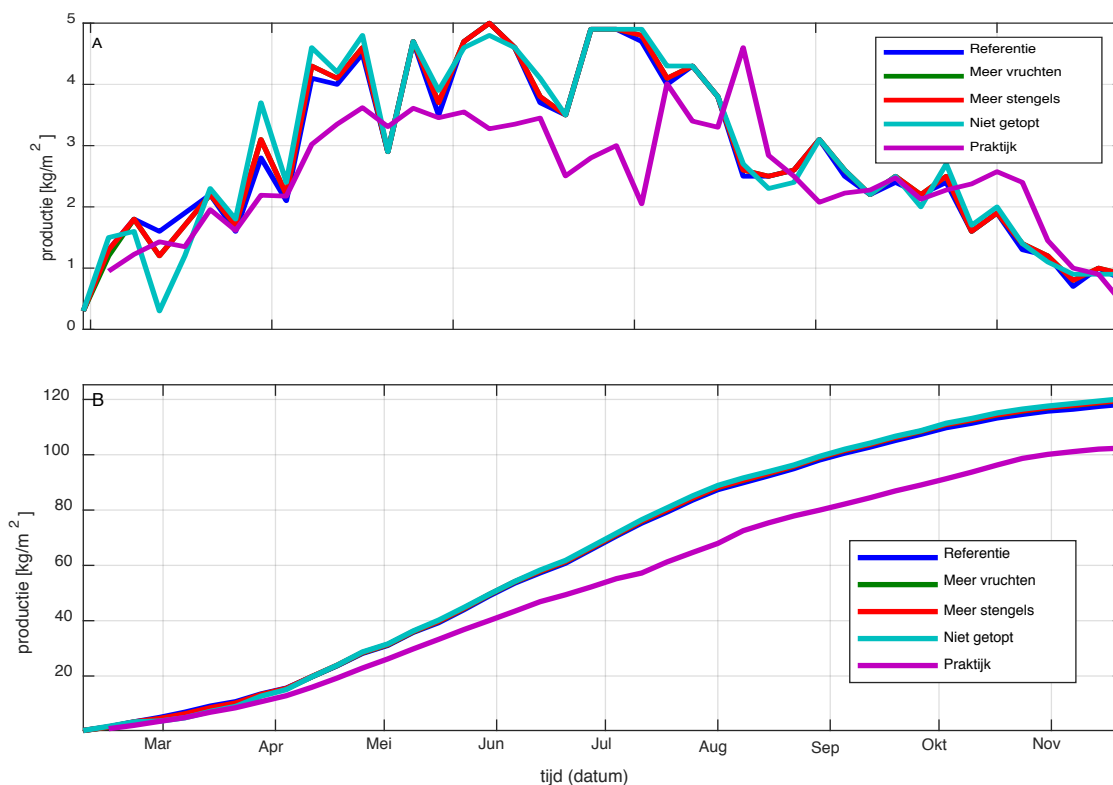
Gedurende het hele jaar zijn er gemiddeld 277 vruchten per m² geoogst. Het gemiddeld vruchtgewicht varieerde van 269 gram (in de week van 23 februari) tot 455 gram (in de week van 25 juni). Gemiddeld over de gehele periode was het gemiddeld vruchtgewicht van 404 gram per stuk.



Figuur 44 A. De productie per week en B. de cumulatieve productie (B) van de winterlichtkas in vergelijking met het gemiddelde van de 2 praktijkbedrijven.

2018

In dit onderzoek leverde het aanhouden van extra vruchten (in de zomer steeds setjes van 2) of extra veel stengels (4.2 st/m^2) geen duidelijke meerproductie in kilo's op, Figuur 45. De standaardbehandeling, waarbij in de zomer wekelijks één setje van 2 werd aangehouden en verder om en om werd gedund, was dit jaar voldoende om een uitstekende productie te realiseren. Voor respectievelijk de referentie, meer vruchten, meer stengels en niet getopt was de productie 118.4 120.7 119.2 119.1 kg/m^2 . De Figuur laat ook zien dat tot medio juli als de praktijkbedrijven weer beginnen te oogsten van de tweede planting, er in de winterlichtkas een grote voorsprong is opgebouwd van meer dan 20 kg/m^2 aan geoogst product. Hoewel de tweede teelthelft door de onregelmatige stand van het gewas in de winterlichtkas niet vanzelf ging, is de voorsprong tot aan het einde zo ongeveer vastgehouden.



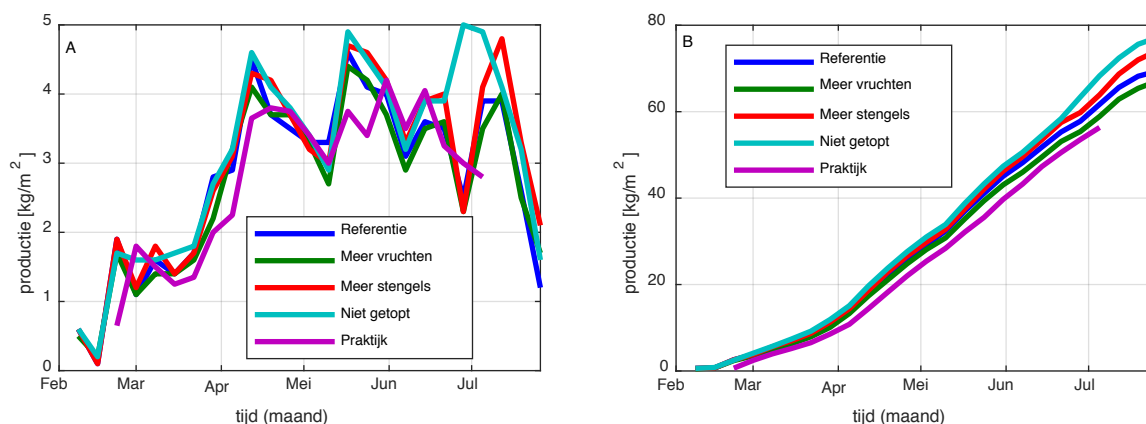
Figuur 45 A. De productie per week van de winterlichtkas in vergelijking met het gemiddelde van de telers uit de praktijk B. Cumulatieve productie.

In aantallen vruchten was dit respectievelijk 280, 283, 281 en 281 vruchten/m², dus ook zeer geringe verschillen. Bij niet toppen waren de vruchten gemiddeld 4 g per stuk zwaarder dan bij de referentie, namelijk 426 i.p.v. 422 g per stuk. Bij meer vruchten aanhouden werd meer onbalans gezien en werd 1.2% meer klasse II geoogst dan bij de referentiebehandeling.

De productie in de winterlicht kas was 14% hoger dan in de praktijk. Dit kwam door de oogst van zowel meer als van zwaardere vruchten. De meerproductie in de winterlichtkas kan verklaard worden door meer licht in de kas, het toepassen van verneveling gedurende de zeer hete zomerdagen en geen productieverlies door het ontbreken van een teeltwissel. Hiernaast zijn een aantal factoren zoals het op tijd uitvoeren van werkzaamheden, wat in de praktijk niet altijd mogelijk is, en goede gewasverzorging door ervaren gewasverzorgers ook belangrijke onderdelen die aan het totaalresultaat hebben bijgedragen. Er was een lage plaagdruk, er was geen komkommerbontvirus of *Mycosphaerella* en pas half mei werd de eerste meeldauw geconstateerd. Alleen factoren die invloed hebben op het totaalresultaat.

2019

In deze teelt is er 11 dagen eerder geplant dan in voorgaande teelt, dit heeft in tegenstelling tot de verwachting niet geleid tot een hogere productie. Het aantal vruchten was ongeveer gelijk, maar de vruchten waren veel lichter in gewicht en korter.



Figuur 46 A. De productie per week van de winterlichtkas in vergelijking met het gemiddelde van de 2 telers uit de praktijk B. Cumulatieve productie.

De kiloproductie t/m week 12 lag daardoor 1.8 kg/m^2 lager dan in teeltjaar 2018. Verder was de instraling dit jaar lager dan voorafgaande jaren wat ook de lagere productie mede kan verklaren. De behandeling waar meer vruchten werden aangehouden had uiteindelijk de laagste productie. De andere 3 behandelingen liepen vrijwel de gehele teelt gelijk met elkaar op, waar meer stengels aanhouden resulteerde in de hoogste kilo-opbrengst, 79.8 kg/m^2 gevolgd door niet toppen met 77.2 kg/m^2 en de referentie met 74.1 kg/m^2 . Meer vruchten aanhouden gaf duidelijk het laagste vruchtgewicht (zie Tabel 7). Als we de productie in week 27 vergelijken met de praktijk was er op dat moment 11% meer productie in de winterlichtkas.

Tabel 7

Productie winterlichtkas en praktijk alle jaren¹⁾.

| | Behandeling | Stuks | Gewicht | Gem. vruchtgewicht |
|------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| | | [aantal/m ²] | [kg/m ²] | [g] |
| 2017 | Referentie | 277 | 112.2 | 390 |
| | Praktijk | 228 | 94 | 412 |
| 2018 | Referentie | 280 | 118.4 | 422 |
| | Meer stengels | 281 | 119.2 | 424 |
| | Meer vruchten | 282 | 119.1 | 423 |
| | Niet getopt | 283 | 120.7 | 426 |
| | Praktijk | 240 | 102.5 | 405 |
| 2019 | Referentie ¹⁾ | 172 | 69.5 | 402 |
| | Meer stengels ¹⁾ | 183 | 74.0 | 404 |
| | Meer vruchten ¹⁾ | 175 | 67.1 | 383 |
| | Niet getopt ¹⁾ | 178 | 71.7 | 403 |
| | Praktijk ²⁾ | 143 | 56.3 | 390 |

1) Productie t/m week 29, 2) Productie t/m week 27

Voor alle 3 de teeltjaren lag de productie in de winterlichtkas gemiddeld 10-16% hoger dan in de praktijk. In 2017 was het vruchtgewicht in de praktijk hoger dan in de winterlichtkas, in 2018 en 2019 was het vruchtgewicht in de winterlichtkas juist hoger. De verschillende gewasbehandelingen hadden in 2018 weinig effect op de productie, in 2019 was de productie bij de behandeling met meer stengels hoger dan in de referentie door de oogst van meer vruchten. In zowel 2018 als 2019 leek het niet toppen van de planten bij het verdubbelen van het aantal stengels wat positief voor de productie te zijn. Het toppen om de planten te verdubbelen kan een verstoring betekenen in de plantbalans, waardoor de productie iets negatief kan worden beïnvloed.

3.2.6 Economisch gevolgen

De winterlichtkas weet een hoge productie +10 á 16% te koppelen aan een relatief laag energiegebruik ten opzichte van de praktijk -40 á 50 %. Hoewel er aan de ene kant in de winterlichtkas op energiekosten wordt bespaard doordat er minder wordt gestookt, zal echter het lage energiegebruik gedurende de zomer resulteren in weinig eigen CO₂ productie en zal CO₂ dus deels ingekocht moeten worden. Uiteindelijk draagt de hogere productie/m² ertoe dat de opbrengsten van de winterlichtkas gemiddeld €7.22/m² hoger zijn dan in de praktijk. In Tabel 8 is deze berekening uitgewerkt.

Tabel 8

Extra kosten en opbrengsten winterlichtkas t.o.v. standaard kas.

| | eenheid | aantal | €/eenheid | €/m ² |
|---------------------------------|------------------------|--------|-----------|------------------|
| Besparing gas | m ³ | 14.7 | 0.20 | 2.95 |
| Meer CO ₂ | kg | -8.97 | 0.10 | -0.90 |
| Meer productie | kg | 15 | 0.43 | 6.45 |
| Meer arbeid oogsten en sorteren | uur | 0.084 | 18.5 | -1.56 |
| Meer verpakking | €/kg productie | 17.30 | 0.0375 | -0.65 |
| Meer afzetkosten | €/€ omzet | 7.49 | 0.015 | -0.11 |
| Totaal verschil | €/m ² .jaar | | | 6.18 |

Zoals eerder al is aangegeven is een deel van de goede productie in de winterlichtkas mede te danken aan de kwaliteit van de gewaswerkzaamheden. De arbeidskosten in de winterlichtkas zijn dan ook mogelijk hoger zijn dan in de praktijk omdat gewasonderhoud door ervaren medewerkers werd gedaan en altijd op tijd werd uitgevoerd. In de berekening is hier geen rekening mee gehouden omdat deze factor niet te kwantificeren is. Het in Tabel 8 berekende verschil creëert een investeringsruimte ten opzichte van een standaard kas met 15 jaar afschrijving 5% onderhoud en 2% rente die gelijk is aan 56 €/m².

4 Lichtonderschepping van het gewas

Voor een goede en optimale gewasgroei is het belangrijk het beschikbare licht ook te benutten.

Lichtonderschepping is daarbij een belangrijke parameter. In het project de winterlichtkas was naast de toename van de lichttransmissie in de kas ook de efficiëntie van het gewas een speerpunt. In dit hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.

4.1 Inleiding

Groei en ontwikkeling van gewassen is in de eerste plaats afhankelijk van de lichtgebruiksefficiëntie. Die is bepaald door de structuur van het gewas. De structuur wordt naast de raseigenschappen ook bepaald door gewashandelingen, de plantverdeling (zowel in bed/rij, de plantafstand, als de padbreedte) en het aantal stengels per plant. Vanuit een meer fundamenteel oogpunt, verschillen de lichtonderschepping en de hoeveelheid geabsorbeerde fotosynthetisch actieve straling (photosynthetically active radiation, PAR) per gewaslaag, en worden bepaald door, onder andere, bladoppervlakindex (LAI), oriëntatie van bladeren en morfologische en anatomische verschillen van bladeren in elke laag (Gitelson *et al.* 2015; Tang *et al.* 2017). Het is ook belangrijk om rekening te houden met de kwaliteit van het licht dat elke laag bereikt en het effect ervan op de ontwikkeling van bladeren en gewassen.

De gewasbeheerstrategie bepaalt dus de lichtonderschepping van het gewas. Omgekeerd, door de optimale lichtonderschepping voor een gewas in te schatten, kunnen we de optimale beheerstrategie berekenen. Er zijn verschillende experimenten uitgevoerd om de beste beheerstrategie te schatten op basis van beide praktische experimenten en scenarioberekeningen met 3D-plantmodel gebaseerd op het platform GROIMP in combinatie met het INTKAM-gewasgroei-model (Elings & Janse, 2016; Kempkes *et al.* 2017). Uit deze studies volgde dat de meer fundamentele maar cruciale vragen open bleven: wat is de daadwerkelijke lichtonderschepping van het komkommersgewas? En op basis van deze getallen, wat zou het optimale beheer zijn van een komkommer die in de winterlichtkas wordt gekweekt om de efficiëntie van lichtgebruik te verhogen en het energieverbruik te verlagen?

Om een indruk te krijgen over de lichthoeveelheid over de gewasdiepte, werd het continue gemeten met PAR lijnsensoren gedurende de dag en het seizoen. De data werd geanalyseerd en vergeleken met de functies voor lichtonderschepping die momenteel in het INTKAM gewasgroei-model zijn gebruikt. We proberen de hierboven gestelde vragen te beantwoorden en te bepalen, welke experimentele en modelleringsstappen nodig zijn om ons inzicht in de lichtgebruiksefficiëntie en bijgevolg de productie van verschillende gewassen te verbeteren.

4.1.1 Metingen van lichtonderschepping

Zes lijnsensoren met 10 kwantumsensoren per lijn (SQ-311-SS, Apogee Instruments, Inc., Logan, USA) werden vanaf bovenkant mat op een afstand van 60 cm van elkaar (Figuur 47), tot 3 meter hoogte (vanaf de mat) geplaatst. Metingen van fotosynthetisch actieve straling (photosynthetically active radiation, PAR, 410 tot 655 nm) werden continu uitgevoerd, in intervallen van 5 minuten, van 16 maart 2018 tot het einde van het experiment. Elke meting bestond uit een geïntegreerde waarde van de 10 kwantumsensoren voor elke lijnsensor. Metingen werden geanalyseerd met gegevens vanaf 16 maart tot 2 september 2018, per gewasdiepte, tijd van de dag en gedurende het seizoen. Gemiddelde waarden en standaardafwijkingen werden berekend voor dagelijkse- en seizoenswaarden. Verschillen in seizoenswaarden per sensor werden verder vergeleken met geselecteerde andere metingen (bijvoorbeeld LAI en gemiddeld vruchtgewicht) door de paarsgewijze Pearson lineaire correlatiecoëfficiënt te berekenen. De overeenkomstige p-waarden voor het testen van de hypothese dat er geen correlatie is en het alternatief dat er een niet-nulcorrelatie is, werden ook berekend. De gegevens zijn gefilterd op onregelmatigheden veroorzaakt door het openen en sluiten van de schermen, het plukken van fruit en het snijden van het blad.

Het is belangrijk te realiseren, dat de metingen tot slechts één locatie in de kas beperkt was. De meetopstelling was alleen in het referentiegewas geplaatst: het gewas met normale vruchtsnoei en 3.3 stengels/m². Er waren dan ook geen herhalingen. De lichtmetingen zijn dus beïnvloed door de positie in het gewas, het kascompartiment en de gewaseigenschappen. Maar dat was vanaf het begin een geaccepteerd gevolg van het feit dat dit een verkennend experiment was en de metingen indicatief zouden zijn.



Figuur 47 Lijnkwantumsensoren geplaatst verticaal in de komkommer voor continue metingen van lichtonderschepping in het gewas.

4.1.2 Beoordeling van optimale gewasgroei-strategie

De metingen aan lichtinterceptie over de gewasdiepte werden geanalyseerd en de extinctiecurve van licht door het gewas werd bepaald. Voor een modelanalyse, hebben we de INTKAM versie gebruikt, die voor het komkommernewas eerder is gebruikt en geparameteriseerd (het 2016 bladplukexperiment, Elings & Janse (2016)). De gemeten extinctiecurve is vervolgens geïntegreerd in het INTKAM-gewasgroei-model, waar het de standaard exponentiële lichtuitdoving verving (Goudriaan & Laar, 1994). Het doel van deze analyse was om het effect te bepalen van de wiskundige beschrijving van de lichtinterceptiecurve op de INTKAM-simulaties van komkommer productie.

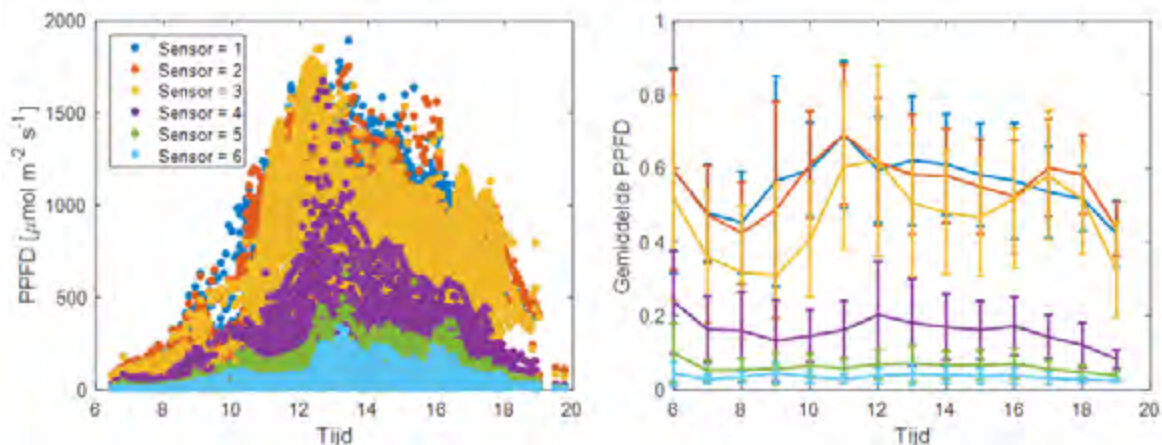
4.2 Resultaten

4.2.1 Lichtonderschepping over tijd en gewasdiepte

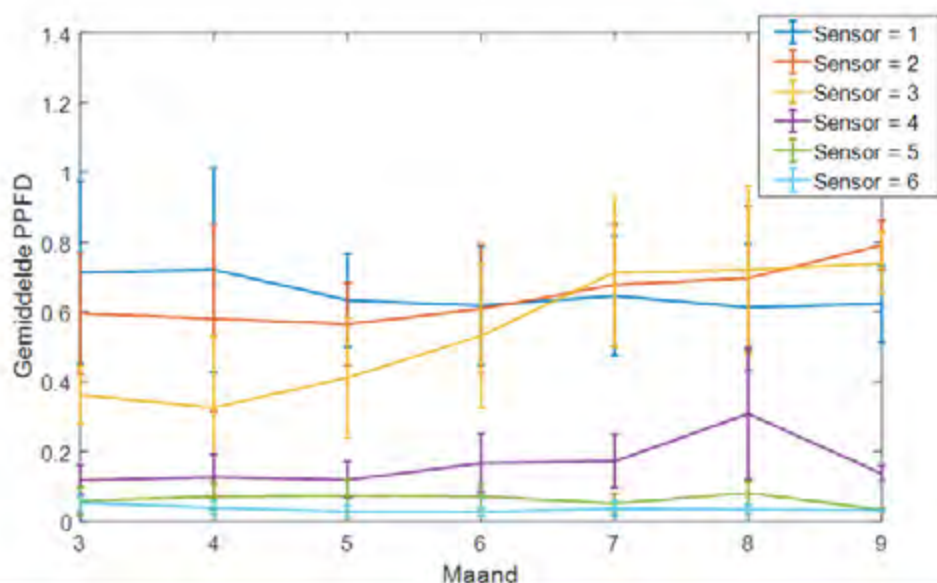
Figuur 48 toont de dagelijkse variaties in binnenkomende PAR, sensor 1 is boven en sensor 6 is op de mat. De maximale dagelijkse binnenkomende straling aan de bovenkant van het gewas varieerde van minimaal 642 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ op 12 mei tot 1895 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ op 13 juni. Wanneer de gegevens worden gemiddeld en vergeleken met de totale dagelijkse PAR buiten (rechterdeel van Figuur 48), wordt het duidelijk dat de meeste dagelijkse variaties in lichtonderschepping in de bovenste helft van het gewas plaatsvinden.

De variaties lijken lager te zijn gedurende het seizoen (Figuur 49), met een interessante omschakeling in de vroege zomer: tussen mei en juli is het patroon van lichtonderschepping door de bovenste helft van het gewas veranderd, en de sensoren 2 en 3 (op een diepte van 60 en 120 cm van de bovenste sensor) ontvangen meer licht in vergelijking met sensor 1. Meer licht bereikt op dit moment ook sensor 4 (op een diepte van 180 cm vanaf de bovenste sensor). Dit kan worden verklaard doordat de plant merkbaar kleinere bladeren vormt, mogelijk veroorzaakt door bladplukken en/of door het vaker gebruiken van het diffuse scherm (Elings & Janse, 2016). Ook de ras-eigenschap van Hi-Power om in een later stadium van de teelt kleinere bladeren te maken speelt ongetwijfeld een rol.

Over het algemeen laten de resultaten zien dat de omstandigheden aan de onderkant van het gewas vrij constant zijn, zowel overdag (Figuur 48) als over het seizoen (Figuur 49). De variaties in de bovenste helft van het komkommernet zijn veel groter. Voor dit experiment werd geen kunstlicht gebruikt en variaties over de dag zijn meestal te wijten aan de positie van de zon gedurende de dag en verstrooiing van het licht in de kas. Seizoensgebonden, hebben deze variaties voornamelijk te maken met de gewasbehandeling: het gewas werd regelmatig ingedraaid tot een vaste hoogte van ongeveer drie meter en de bladeren werden onderin weggenomen om een de vruchten goed te kunnen oogsten en een constante bladoppervlakindex (LAI) te behouden van ongeveer 3 m²/m².

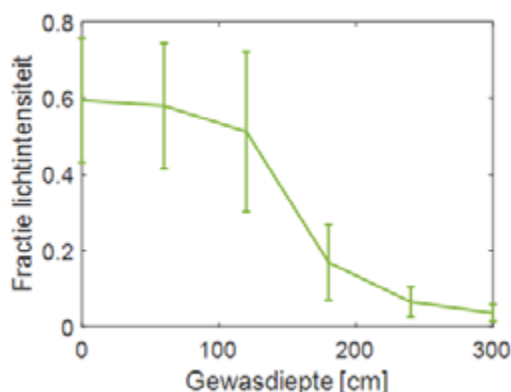


Figuur 48 Links: Dagelijkse verandering in lichtverdeling over 6 gewasdieptes (in fotosynthetische fotonfluxdichtheid, PPFD [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]). Rechts: Gemiddelde verandering in daglichtverdeling van de mat (sensor 6) tot 3 m boven de mat (sensor 1) op gelijke afstand van 60 cm. Waarden werden genormaliseerd naar de externe PAR-waarden. De foutbalken vertegenwoordigen de standaarddeviatie van het gemiddelde. De gegevens zijn verzameld tussen maart en september 2018.



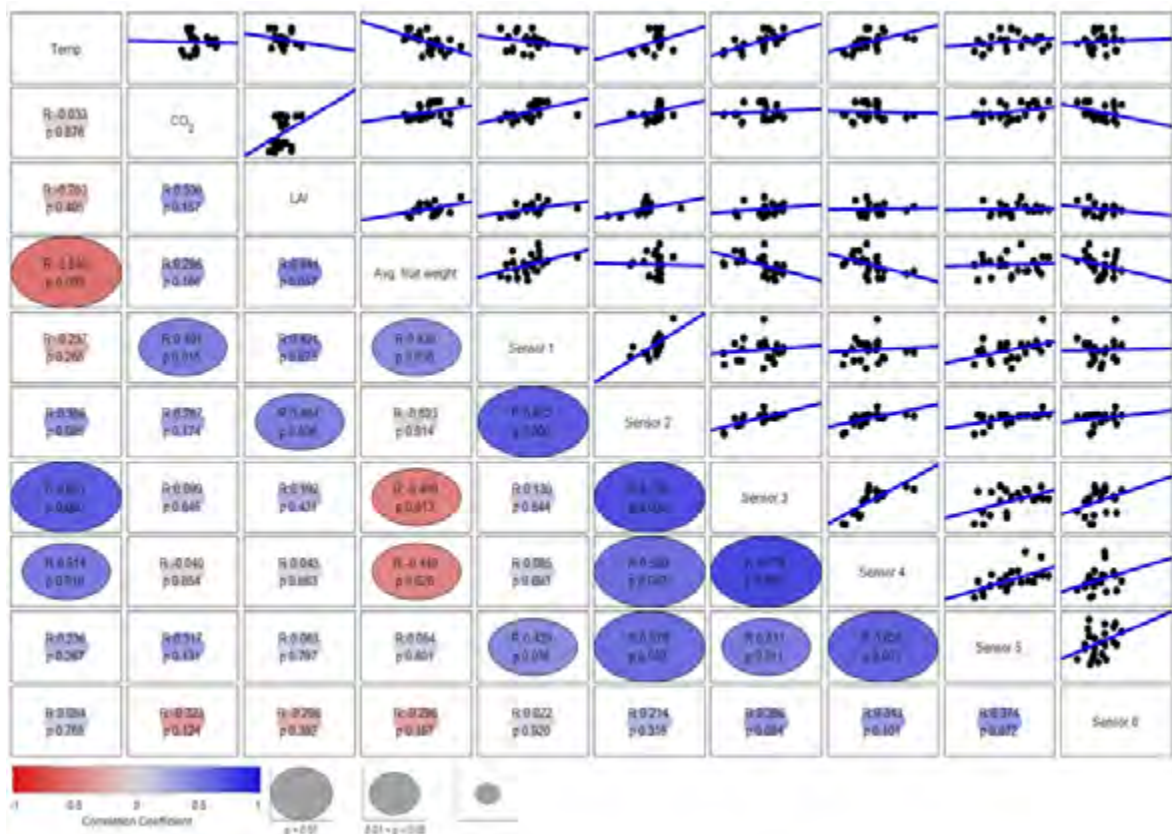
Figuur 49 Gemiddelde verandering in de seizoenslichtverdeling over 6 gewasdieptes om twaalf uur. De waarden werden genormaliseerd naar de externe PAR-waarden. De foutbalken vertegenwoordigen de standaarddeviatie van het gemiddelde. De weergegeven gegevens zijn verzameld tussen maart en september 2018.

Onderzoek naar de lichtonderschepping over de gewasdiepte (Figuur 50) bevestigt dat de meeste variaties zijn opgetreden in de bovenste helft van de gewasdiepte, met een relatieve fout tot 64% (sensor 3). Dit is waarschijnlijk een gevolg van het wekelijks laten zakken van het gewas, waardoor de gewasstructuur en dus de lichtonderschepping aan de bovenkant aanzienlijk veranderen. Ongeveer 60% van de externe straling bereikte de sensoren, en de bovenste 1.5 meter van het gewas onderschepte tot 70% van de binnenkomende straling. Op basis van de gemiddelde waarden kan de vorm van de curve worden beschreven met een eenvoudige logistische functie (Figuur 50), die verder wordt gebruikt in de modelanalyse in de volgende sectie.



Figuur 50 Gemiddelde lichtonderschepping over de gewasdiepte: de fractie van het totale inkomende licht neemt van de bovenkant naar de onderkant van het gewas af (links naar rechts). De waarden werden genormaliseerd naar de externe PAR-waarden. De foutbalken vertegenwoordigen de standaarddeviatie van het gemiddelde. Relatieve root mean square error (RMSE) voor sensoren 1 tot 6 (links naar rechts) is respectievelijk 50, 50, 64, 30, 12 en 7%.

Figuur 51 laat zien dat, zoals verwacht, informatie van verschillende sensoren nauw verwant is, met uitzondering van sensor 6. Zoals blijkt uit eerdere grafieken, zijn de omstandigheden aan de onderkant van het gewas het meest stabiel en dus het minst gevoelig voor veranderingen in de hoeveelheid licht. Dit zou de onafhankelijkheid van de sensor in de diepte van het gewas kunnen verklaren. Het is interessant dat sensoren 3 en 4 (gewas op respectievelijk 120 en 180 cm diepte) nauw en omgekeerd evenredig zijn met het gemiddelde vruchtgewicht. De relatie met het gemiddelde vruchtgewicht is negatief en dit geeft aan dat hoe meer licht de sensoren 3 en 4 bereikt, hoe minder assimilaten in de vruchtgroei terecht kunnen komen. Vanwege een gebrek aan relevante gegevens over de assimilaatverdeling, kan deze aanname niet worden getest. Dit vergt nader onderzoek.



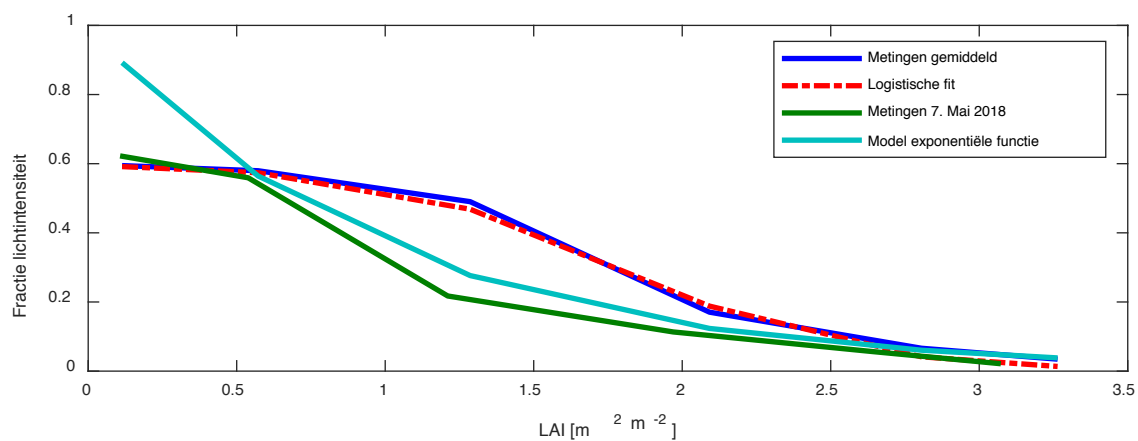
Figuur 51 Pairwise Pearson lineaire correlatie vergelijkt verschillende factoren, gemeten tijdens het experiment. De bovenste driehoek toont de lineaire correlaties voor gegevensparen. In de onderste driehoek worden Pearson's correlatiecoëfficiënt en de bijbehorende p-waarde weergegeven voor elk gegevenspaar. De correlatie wordt weergegeven door het blauw-rode kleurenschema: blauw staat voor positieve en rood voor negatieve correlatie, waarbij de kleurintensiteit de sterkte van de relatie aangeeft. De statistische significantie (p-waarde) wordt aangegeven door de grootte van de cirkel. Sensorgegevens werden genormaliseerd naar de externe PAR-waarden, om de factor van toenemende lichtintensiteit met het seizoen te elimineren.

4.2.2 Effect van lichtonderschepping op oogstvoorspellingen

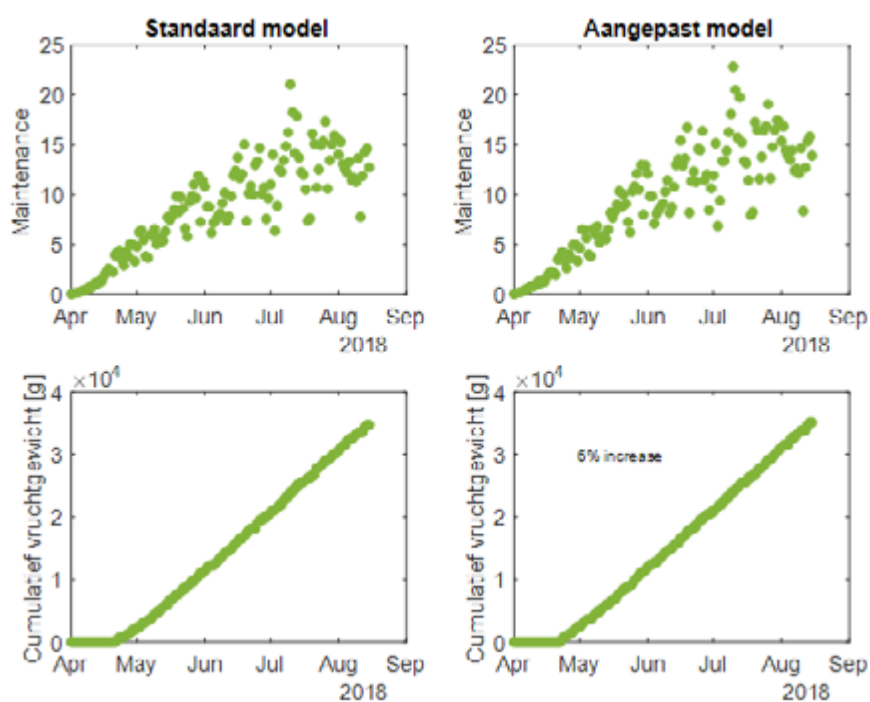
In Figuur 52 is de huidige wiskundige beschrijving van lichtonderschepping in INTKAM vergelijken met de uit de gegevens verkregen extinctiecurve. Om de twee curven vergelijkbaar te maken zijn ze tegen de LAI per laag geplot. De LAI per laag werd bepaald uit de totale LAI, door gebruik te maken van Gauss integratie, ook gebruikt in het model. Het is niet eenvoudig om de LAI en de lichtonderschepping met elkaar te vergelijken (Trouwborst *et al.* 2010), maar omdat de LAI over de gewasdiepte niet gemeten, zijn de aannames van het model behouden.

De gemiddelde gemeten extinctiecurve kan precies worden aangepast met een logistieke curve. Om de mate van gegevensvariabiliteit te tonen, zijn ook de metingen met de laagste uitdovingswaarden, gemeten op 7 mei 2018, uitgezet. De gemeten curven verschillen duidelijk van de exponentiële extinctie, gebruikt in INTKAM: er is altijd een plateau aanwezig aan de bovenkant van het gewas en het licht dringt dieper door dan in het model wordt aangenomen. Andere rapporten hebben vergelijkbare verschillen in lichtonderschepping gevonden (Dueck *et al.* 2010a,b; Elings & Janse, 2016), voor zowel komkommer- als tomatenteelt.

De logistieke vergelijking, $\text{Fractie intensiteit} = 0.6 / (1 + e^{-(4.544 + 2547 \cdot \text{LAI})})$, is ingevoegd in het INTKAM-model en wordt uitgevoerd met exact dezelfde instellingen als het standaardmodel, geparameteriseerd voor het 2016 bladplukexperiment (Elings & Janse, 2016). De simulatie (Figuur 53) voorspelt een toename van ongeveer 6% in cumulatief vruchtgewicht voor de extinctiecurve van de metingen, vergeleken met het standaardmodel.



Figuur 52 Lichtonderschepping over de LAI. De LAI-verdeling werd geschat met het model van de totaal gemeten LAI.



Figuur 53 INTKAM-simulaties van het onderhoud van het komkommergewas en cumulatieve vruchtoogst in de loop van het experiment.

5 Conclusie en discussie

Zeer goede resultaten zijn behaald met opbrengsten van 112 kg/m², 118 kg/m² en 77 kg/m² voor respectievelijk teeltjaar 2017, 2018 en 2019. In 2019 betrof dit echter de periode tot half juli. Hiermee waren voor de eerste 2 jaren de opbrengsten gemiddeld 10-16% hoger dan de behaalde opbrengsten in de praktijk. Dit kan verklaard worden door meer licht in de kas, het toepassen van verneveling gedurende de zeer hete zomerdagen (2018) en geen productieverlies door teeltwissel (2018). Hiernaast zijn een aantal factoren zoals het op tijd uitvoeren van werkzaamheden, wat in de praktijk niet altijd mogelijk is, en goede gewasverzorging door ervaren gewasverzorger ook belangrijke onderdelen die aan het totaalresultaat hebben bijgedragen. Deze bijdrage is echter bijzonder moeilijk tot niet te kwantificeren.

De vruchtkwaliteit was goed, er was circa 2% binnenland die voornamelijk in het 2^e halfjaar geoogst werd. Er is ook geen *Mycosphaerella* en/of *Botrytis* op stengels en vruchten opgetreden.

Een goede gewasverzorging gaat vrijwel altijd gepaard met extra arbeid. Voor de proef is extra arbeid niet direct een probleem maar voor de praktijk moet hierin altijd de afweging over economische haalbaarheid worden gemaakt. De economische analyse laat zien dat er zeker ruimte is om meer arbeid in het gewas te steken.

Het energieverbruik in de winterlichtkas was op jaarbasis rond de 20 m³/m² voor alle jaren en is daar mee 40-50% lager dan in de praktijk. In de winter werd energie bespaard door intensief te schermen en de ramen zoveel mogelijk gesloten te houden wat werd mogelijk gemaakt door de mechanische ontvochtiging. In de zomer werd energie bespaard door geen minimumbuistemperatuur aan te houden. Het lage energieverbruik in de zomer heeft wel als bijkomstigheid dat er CO₂ ingekocht moet worden, meestal rond de 10 kg/m² per jaar.

De resultaten van de lichtonderscheppingsmetingen tonen aan dat de fundamentele vraag "Wat is de daadwerkelijke lichtonderschepping binnen gewassen?" openblijft. De simulaties laten zien dat kleine veranderingen in de aannames over de wiskundige beschrijving van lichtonderschepping significante gevolgen kunnen hebben voor de berekeningen. De exponentiële extinctiecurve gedefinieerd in het INTKAM-model is gebaseerd op veldomstandigheden. En deze zijn heel anders dan in de kassen. Zonlicht is de enige lichtbron, maar wat nog belangrijker is, het licht in de kas is erg verspreid en er is veel lokale schaduwwerking van de kas constructiedelen. Aangezien andere rapporten vergelijkbare verschillen in lichtonderschepping tussen het model en metingen hebben gevonden voor zowel komkommer- als tomatengewassen (Dueck *et al.* 2010a,b; Elings & Janse, 2016), geeft dit aan dat dit meer dan een willekeurige gebeurtenis is. Echter, alle beschikbare datasets over lichtonderschepping zijn erg beperkt: of er is een kwestie van kwantiteit, positie in de kas, of het feit dat de metingen alleen op ongeveer elke 50 cm diepte werden uitgevoerd. Zeker bij een snelgroeiend gewas als komkommer welke 2 of zelfs 3 keer in de 2 weken wordt gezakt kan dit veel impact hebben op statische metingen op vaste posities.

Er is dus een duidelijke behoefte aan een goed gedefinieerde meetopstelling, die lichtinterceptie over het gewas, de tijd en diepte op een statistisch correcte manier aanpakt. Aangezien de omstandigheden in de onderste helft van het komkommergewas vrij constant zijn gedurende de dag en het seizoen, moeten de metingen vooral gericht zijn op de lichtonderschepping in de bovenste helft van het gewas. Bovendien moeten de metingen niet alleen de gewasdiepte maar ook LAI per laag omvatten. Een ander aandachtspunt is de lichtkwaliteit, dus de lichtbron die in het experiment is gebruikt, en het effect ervan op lichtonderschepping. Verschillende lichtbronnen hebben een significant effect op lichtonderschepping en op de ontwikkeling van planten (Dueck *et al.* 2010a; Hogewoning *et al.* 2012; Bian *et al.* 2015; Särkkä *et al.* 2017). Een uitgebreide dataset zou de modellering van lichtonderschepping en lichtgebruiksefficiëntie verbeteren, in zowel 1D-groeimodellen, zoals INTKAM, als in 3D-modellen. En met verbeterde modellen kan de vraag naar de optimale beheersstrategie voor verschillende gewassen beter worden aangepakt.

6 Literatuur

- Bian ZH, Yang QC, Liu WK. 2015.
Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 869–877.
- Dueck TA, Janse J, Schapendonk AHCM, Kempkes FLK, Eveleens-Clark BA, Scheffers CP, Pot S, Trouwborst G, Nederhoff E, Marcelis LFM. 2010a.
Lichtbenutting van Tomaat onder LED en SON-T Belichting. Rapport GTB-1040.
- Dueck T, Nederhoff E, Nieboer S, Scheffers K, Steenhuizen J, Chizhmak S, Uenk D, Sarlikioti V, Visser P de. 2010b.
Verbetering van de lichtonderschepping in een tomatengewas door aanpassing van de rijstructuur. Rapport GTB-1029.
- Elings A, Janse J. 2016.
Energiebesparing door bladpluk bij komkommer: experiment 2016. Rapport GTB-1451. Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw.
- Gitelson AA, Peng Y, Arkebauer TJ, Suyker AE. 2015.
Productivity, absorbed photosynthetically active radiation, and light use efficiency in crops: Implications for remote sensing of crop primary production. *Journal of Plant Physiology* 177: 100–109.
- Goudriaan J, Laar HH van. 1994.
Modelling potential crop growth processes : textbook with exercises.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Meinen E, Van Ieperen W. 2012.
Finding the optimal growth-light spectrum for greenhouse crops. *Acta Horticulturae* 956: 357–363.
- Kempkes F, Swinkels GJ, Hemming S. 2015.
Verbetering lichtinval winterlicht. Rapport GTB-1375.
- Kempkes F, Meinen E, Janse J, Elings A, De Visser P, Raaphorst M, Vukadinovic D. 2017.
Proof of principle met komkommer: Het winterlicht gewas. Rapport WPR-725.
- Särkkä LE, Jokinen K, Ottosen CO, Kaukoranta T. 2017.
Effects of HPS and LED lighting on cucumber leaf photosynthesis, light quality penetration and temperature in the canopy, plant morphology and yield. *Agricultural and Food Science* 26: 101–109.
- Swinkels, G.L.A.M., Sonneveld, P.J., and Bot, G.P.A., (2001).
Improvement of Greenhouse Insulation with Restricted Transmission Loss through Zigzag Covering Material. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 79 (1). 91–97 <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0676>
- Tang L, Yin D, Chen S, Chen C, Huang H, Lin D. 2017.
Virtual Geographic Simulation of Light Distribution within Three-Dimensional Plant Canopy Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6: 405.
- Trouwborst G, Oosterkamp J, Hogewoning SW, Harbinson J, van Ieperen W. 2010.
The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum* 138: 289–300.

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



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

Rapport WPR-1113

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.