



Het winterlicht gewas

Proof off principle met komkommer

Frank Kempkes, Esther Meinen, Jan Janse, Anne Elings, Pieter de Visser,
Marcel Raaphorst en Danijela Vukadinovic

Rapport WPR-725

Referaat

In de winter is licht in Nederland voor vrijwel alle gewassen de limiterende factor voor de productie. In de zoektocht naar het maximaal gebruik maken van het beperkte licht in de wintermaanden is het belangrijk het licht zo optimaal mogelijk om te zetten in gewasproductie. Om de mogelijkheden beter in kaart te brengen, is in aansluiting op de opgedane kennis in het project 'Verbetering lichtinval winterlicht', waar de lichttoetreding door het kasdek is geoptimaliseerd voor de wintermaanden. In dit project is de gewaskant aan bod gekomen. Het werk in dit project is gefinancierd door het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron. Dit onderzoeksprogramma is een samenwerkingsverband tussen het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en LTO-Glaskracht Nederland.

Voor maximalisatie van de lichtonderschepping is een oost-west pad richting de eerste stap. De raseigenschappen van het gekozen komkommer ras vragen door de variatie in bladafmeting tijdens de teelt van groot naar klein een adaptatie van het gewasmanagement aan de veranderende plantvorm in de tijd. Een smalle gootafstand om hier eenvoudig op in te spelen blijkt te veel gewasbeschadiging op te leveren. De beste resultaten kwamen naar voren bij de grootste gootafstand.

Abstract

In winter, for almost all crops light is the limiting factor for production. In the search for the maximum use of the limited light in the winter months, it is important to convert the light into crop production as optimal as possible. In order to improve, the knowledge gained in the project "verbetering lichtinval winterlicht", where natural light entrance of the greenhouse roof for the winter period was optimized, in this project the scope was on the crop itself.

The work in this project has been funded by the research program Kas Als Energiebron. This research program is a cooperation between the Ministry of Agriculture, Nature and Food quality and LTO-Glaskracht Nederland.

To maximize light interception by the crop, an east-west oriented crop direction is the first step. The characteristics of the chosen cucumber variety, due to the variation in leaf size during cultivation from large to small leaves, require adaptation of crop management to the change in plant shape. A narrow trough distance showed a lot of damage of the crop. The best results were shown by the biggest gutter distance.

Rapportgegevens

Rapport WPR-725

Projectnummer: 3742212600

PT nummer: 1/101622

DOI nummer: <https://doi.org/10.18174/428673>

Disclaimer

© 2017 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Verbetering lichtbenutting komkommergewas	11
	2.1 Maximalisering en optimalisering lichtonderschepping	11
	2.1.1 Resultaten	13
	2.2 Gewasplan	14
	2.2.1 Resultaat	14
	2.2.1.1 Stengeldichtheid	14
	2.2.1.2 Teeltplanning en padbreedte	15
3	De 2SaveEnergy kas, aanpassingen en inrichting	17
4	Gewas- klimaat- en energieperformance van het winterlichtgewasconcept	19
	4.1 Lichtonderschepping door het gewas	19
	4.1.1 Bepaling lichtonderschepping door middel van bladprojectie	19
	4.2 Gewas en productie	20
	4.2.1 Winterteelt	20
	4.2.2 Zomerteelt	24
	4.2.3 Product kwaliteit	27
	4.3 Modelmatige analyse (INTKAM)	27
5	Klimaat- en energieperformance van het winterlichtgewasconcept	35
	5.1 Kasklimaat en energieperformance	35
	5.1.1 Kasluchttemperatuur, luchtvochtigheid en CO ₂ -concentratie	35
	5.2 Energiehuishouding	40
6	Economische aspecten	45
	6.1 Arbeidskosten	45
	6.2 Investeringskosten	45
7	Conclusies	47
8	Discussie	49
	Literatuur	53
	Bijlage 1 Colour image-based” segmentatie methode	55

Voorwoord

Bij de ontwikkeling van de winterlichtkas waar de lichttoetreding van natuurlijk licht met minimaal 10% verbeterd moet worden, hoort ook een winterlichtgewas. Hoe kunnen we in de wintermaanden het beperkte licht zo goed mogelijk omzetten in productie? Bij de huidige rassen in het hogedraadsysteem zien we vaak een erg open gewasstructuur ontstaan. Hoe kan dan zoveel mogelijk van het beschikbare licht onderschept worden? In het onderzoek werd gezocht naar het optimaal sturen van het gewas bij verschillende padafstanden, waarbij zo zuinig mogelijk omgegaan met het inzetten van warmte en elektriciteit een tweede doelstelling was.

Het project werd in het kader van het programma 'Kas als Energiebron' gefinancierd door het Ministerie van LNV en het LTO Glaskracht, onder projectnummer 1/101622 "Proof of principle winterlicht gewas" (komkommer). Dank gaat uit naar Gerdien Kouwenhoven, Peter Lagas voor het uitvoeren en verwerken van een groot aantal metingen aan het gewas en naar het kaspersoneel van WUR Glastuinbouw voor het zorgvuldig verzorgen van het gewas.

De proef is 2-wekelijks begeleid door de BCO bestaande uit komkommertelers Jacco den Bakker en Jan Reijm. Tevens was zeer regelmatig adviseur Cees Ammerlaan van Bayer/Nunhems aanwezig. Dank daarvoor.

Frank Kempkes
Wageningen University & Research
December 2017

Samenvatting

In de winter is en blijft natuurlijk licht een beperkende productiefactor. Het is dan ook de uitdaging om dit weinige licht zo efficiënt mogelijk om te zetten naar productie en dat met zo min mogelijk blad zoveel mogelijk licht kan worden benut voor productie. In de traditionele niet belichte teelten wordt juist in de moeilijke lichtperiode in de vegetatieve fase geprobeerd zo snel mogelijk zoveel mogelijk blad te vormen. Echter veel blad dicht op elkaar zorgt nog steeds niet voor voldoende lichtonderschepping en zal in een later stadium zelfs voor onnodige verdamping zorgen. Het geproduceerde vocht moet later ten koste van energieverlies weer verwijderd worden. De structuur van het gewas 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. Voor de hogedraad komkommerteelt zijn er rassen ontwikkeld die een open structuur kennen, deze openheid is er zowel in verticale als horizontale richting. Openheid in horizontale richting, vaak gerelateerd aan plantdichtheid, zal kunnen leiden tot het niet optimaal onderscheppen van het zonlicht terwijl dit juist het ultieme doel is met zo min mogelijk blad. Openheid in verticale richting kan ook minder blad betekenen, en assimilaten die de plant niet in het blad stopt, komen ter beschikking van potentiële vruchtgroei.

Om in de winterperiode een maximale lichtonderschepping met een beperkte hoeveelheid blad te realiseren, is in een aantal stappen het teeltsysteem tegen het licht gehouden.

Met een 3D-plantmodel gebaseerd op het platform GROIMP in combinatie met INTKAM is gewerkt aan maximalisatie van de lichtonderschepping (3D model) en gewasmanagement (INTKAM). Daarbij is de output van het 3D model, de extinctie, gebruikt in het gewasgroeimodel INTKAM. Verschillende scenarioberekeningen hebben laten zien dat diverse gootafstanden verschillende momenten van aanhouden van extra stengels verlangen. Volgens de scenario's moet een padbreedte van 1.4 m in de winter teeltronde tot 10% meer productie kunnen leiden, voornamelijk veroorzaakt door meer vruchten met een wat lager gemiddeld vruchtgewicht. Door een variatie in gootafstanden aan te leggen moet het mogelijk zijn een optimum te vinden.

Op 28 december 2015 is er geplant met in alle behandelingen een gelijke plantdichtheid van 1.67 plant per vierkante meter. Gaande de eerste teeltmaand is besloten om af te wijken van de beschreven scenario's met betrekking tot het aanpassen van de stengeldichtheid. In de komkommer wordt de stengeldichtheid het best aangepast door het koppen van de plant, waarna twee scheuten voor de verdubbeling zorgen. Dit koppen heeft een terugslag op de plantgroei waardoor gekozen is de momenten van het verhogen van de plantdichtheid uit elkaar te trekken.

De lichtonderschepping is meerdere malen gemeten met behulp van beeldverwerking. In de beginfase is de 1.4 meter padbreedte in het voordeel maar bij een volgroeid gewas zijn de verschillen klein met in alle gevallen een lichtonderschepping van rond de 90%.

De producties, het aantal vruchten en het gemiddeld vruchtgewicht verschilden tussen de 1.4 en 1.8 meter, rond de 108.5 kg per vierkante meter weinig, maar de 1.6 m gootafstand bleef met 103 kg zo'n 5% achter. Het is opvallend dat bij beide teelten de middelste padbreedte van 1.60 m de laagste productie heeft. Analyse van de resultaten met INTKAM heeft laten zien dat een padbreedte van 1.40 m het meest gunstig is voor lichtonderschepping (hoogste extinctie coëfficiënt), fotosynthese en cumulatieve groei van het gewas, gevolgd door padbreedtes van 1.60 en 1.80 m, wat voor beide teelten zo zou zijn. De uiteindelijke productie wordt bepaald door de drogestofverdeling tussen vegetatieve en generatieve (vruchten) delen van het gewas. De generatieve sinksterkte was bij beide teelten het laagst voor de middelste padbreedte van 1.60 m, door de aanwezigheid van minder vruchten, waardoor er relatief minder drogestof naar de vruchten is gegaan. Dit leidde uiteindelijk tot de laagste productie voor de middelste padbreedte van 1.60 m. Het is niet duidelijk waarom een padbreedte van 1.6 m leidt tot een lagere bodembedekking; wel is duidelijk dat ten gevolge hiervan een lager aantal vruchten is uitgegroeid. Dit laat zien dat gewasmanagement een grote invloed heeft op de uiteindelijke productie. In absolute zin zijn de gewasproducties van alle drie de behandelingen erg goed te noemen als deze vergeleken worden met de praktijk. Analyse van de mogelijke redenen hiervan lieten een zeer divers beeld zien. Vergelijk van het gerealiseerde klimaat met praktijktelers liet op onderdelen verschillen zien waarbij met name de warmere eerste maand van de zomerteelt opviel. Hoewel moeilijk te kwantificeren, is in brede kring de kwaliteit van het gewaswerk aangedragen als mede oorzaak van de goede producties. Op praktijkbedrijven wordt gezien de hoge arbeidsintensiteit met de daarbij behorende kosten van deze teelt de arbeidsinzet meer in het oog gehouden dan in een proefkas wat de kans op plant- en vruchtbeschadiging verkleint. Ook het oog hebben voor de status van de plant in de kop kan hier een niet kwantificeerbare bijdrage leveren.

Voor beide teelten in de 2SaveEnergy kas stond een gezonde energiezuinige teelt, gebaseerd op de principes van Het Nieuwe Telen, voorop. Er is dan ook erg intensief geschermd. Dit intensief schermen, in combinatie met het achterwege laten van minimumbuizen en het tolereren van een lager vochtdeficiet dan in de praktijk, hebben het totaal energiegebruik voor deze teelt van 28 december tot 23 november op $17.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gebracht met een additionele inkoop van $10.2 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{ CO}_2$. Dit is een besparing van rond de $16.7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (ca. 50%) ten opzichte van de gangbare praktijk. Voor de ontvochtiging is een kleine kWh/m^2 gebruikt.

1 Inleiding

In de winter is en blijft natuurlijk licht een beperkende productiefactor in Nederland. Het is dan ook de uitdaging om dit weinige licht zo efficiënt mogelijk om te zetten naar productie en met zo min mogelijk blad, zoveel mogelijk licht te onderscheppen. Vooral bij hoog opgaande gewassen als paprika, tomaat en komkommer (hogedraadteelten) speelt dit een grote rol, ook in de gewasverzorging. Gelijktijdig zijn dit ook de gewassen waarvan de niet belichte teelten traditioneel tussen eind november (paprika) en medio tot eind januari (komkommer) worden gestart. Dit is juist de moeilijke lichtperiode waarbij standaard geprobeerd wordt om in de vegetatieve fase zo snel mogelijk zoveel mogelijk blad te vormen. Echter veel blad dicht op elkaar zorgt nog steeds niet voor voldoende lichtonderschepping, kost assimilaten voor bladopbouw en zal in een later stadium zelfs voor onnodige verdamping zorgen. Het geproduceerde vocht moet later ten koste van energieverlies weer verwijderd worden. De structuur van het gewas wordt naast de raseigenschappen ook bepaald door gewashandelingen, de plantverdeling (zowel in de rij, de plantafstand, als de padbreedte) en het aantal stengels per plant. Voor de hogedraad komkommerteelt zijn er al (winter)rassen ontwikkeld die een open structuur kennen, deze openheid is er zowel in verticale als horizontale richting. Openheid in horizontale richting, vaak gerelateerd aan plantdichtheid, zal kunnen leiden tot het niet optimaal benutten van het zonlicht terwijl dit juist het ultieme doel is met zo min mogelijk blad. Immers als de plantdichtheid laag wordt zullen planten in verticale richting geen overlappende bladeren hebben, in extreme gevallen zou je kunnen spreken van solitaire planten, en daarmee zal een deel van het (zon)licht op de grond komen. Openheid in verticale richting kan ook minder blad betekenen, en assimilaten die de plant niet in het blad stopt, komen ter beschikking van potentiële vruchtgroei.

De doelstelling van dit project is dan ook de ontwikkeling van een nieuw kas- en teeltconcept voor hoog opgaande groenten (hogedraad) gewassen, om in de winterperiode een maximale lichtbenutting met een beperkte hoeveelheid blad te realiseren.

Door middel van gewasmanagement (gewasverzorging) en de kasinrichting wordt een maximale lichtonderschepping met een beperkte hoeveelheid blad gerealiseerd. Hierdoor wordt:

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

Als doelgewas is komkommer genomen welke in een winter- en najaarsteelt in de 2SaveEnergy kas is geteeld, waarbij een gezonde energiezuinige teelt, gebaseerd op de principes van Het Nieuwe Telen, voorop heeft gestaan.

Om de juiste keuzes in gewasmanagement en kasinrichting te kunnen maken is in hoofdstuk 1 met behulp van gewasmodellen gerekend aan de mogelijkheden om de lichtbenutting van het komkommergewas te verbeteren. Uitgangspunt daarbij is geweest dat de uiteindelijke plantdichtheid gelijk zou moeten zijn om te veel variabelen te voorkomen. Nu zijn de gemeten verschillen toe te schrijven aan padbreedte, en daarnaast, de gemaakte keuzes kunnen ook daadwerkelijk in de 2saveEnergy kas ingepast worden.

Nadat de kasinrichting is aangepast (Hoofdstuk 2), zijn er twee teelten uitgevoerd. De gewasperformance en het kasklimaat en energieperformance worden in hoofdstuk 3 besproken.

Aanpassingen aan het teeltsysteem en gewasmanagement kunnen effecten hebben op de investeringen en arbeid welke zeker in deze teelt altijd een punt van aandacht is. In hoofdstuk 4 is een economische evaluatie beschreven.

2 Verbetering lichtbenutting komkommergewas

Om in de kasproeven gericht te kunnen sturen is een gewasplan noodzakelijk. Dit gewasplan wordt gebaseerd op oogstprognoses zoals berekend met simulatiemodellen. In dit hoofdstuk worden eerst de gebruikte modellen toegelicht. Hierbij maken we onderscheid in het architectuurmodel wat in 3 dimensies (3D) de gewasopbouw en de resulterende lichtabsorptie berekent (§1.1) en in het fysiologisch model dat met deze lichtabsorptie vervolgens de assimilatie en vruchtproductie simuleert (§1.2). Na de modelbeschrijving komen per paragraaf de gesimuleerde modelresultaten aan bod. Aansluitend wordt het gewasplan gepresenteerd.

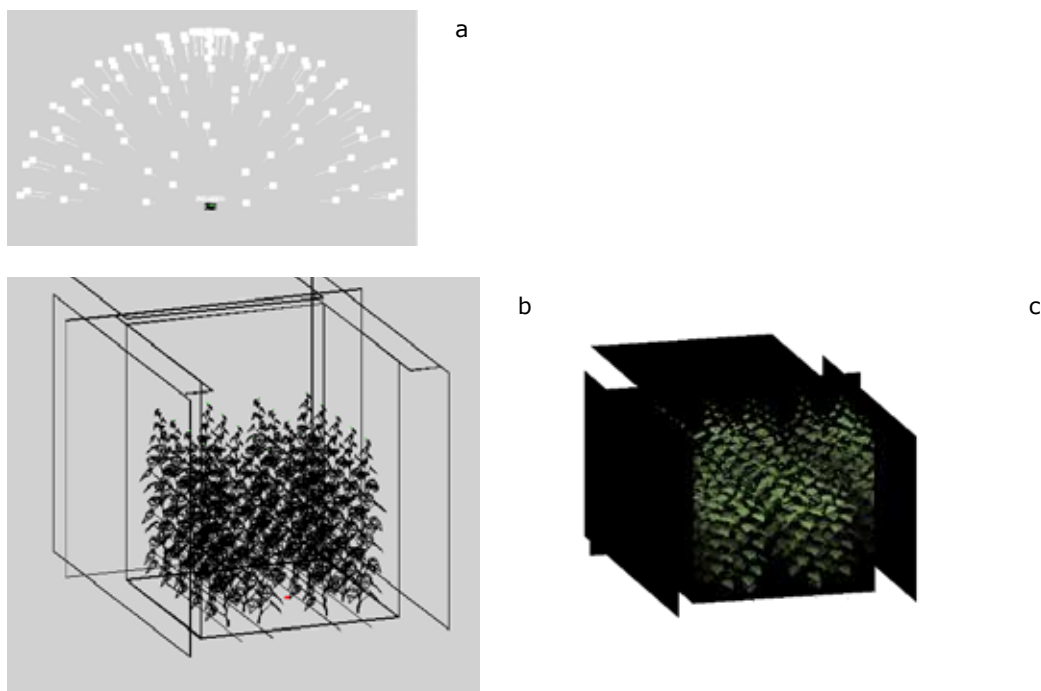
2.1 Maximalisering en optimalisering lichtonderschepping

Op basis van metingen aan de architectuur van een komkommergewas in juni 2015 in de Venlow Energy kas is een 3D-model geparametriseerd (de Visser *et al.* 2014). Het model is ontwikkeld in het modellerplatform GroIMP.

Doel van toepassing van een 3D model is het voorspellen van de gewasstructuur welke de hoogst mogelijke lichtabsorptie realiseert, binnen praktijkconforme marges van plantdichtheid.

Enkele scenario's van padbreedte en stengeldichtheid worden met het 3D model doorgerekend. Het einddoel is om de hoogst mogelijke vruchtproductie te realiseren. Echter, het 3D model berekent geen vruchtproductie. Voor assimilatenverdeling en vruchtproductie wordt het model INTKAM gebruikt waarbij de lichtbenutting uit het 3D model wordt ingevoerd. De berekeningen met INTKAM volgen in §1.2.

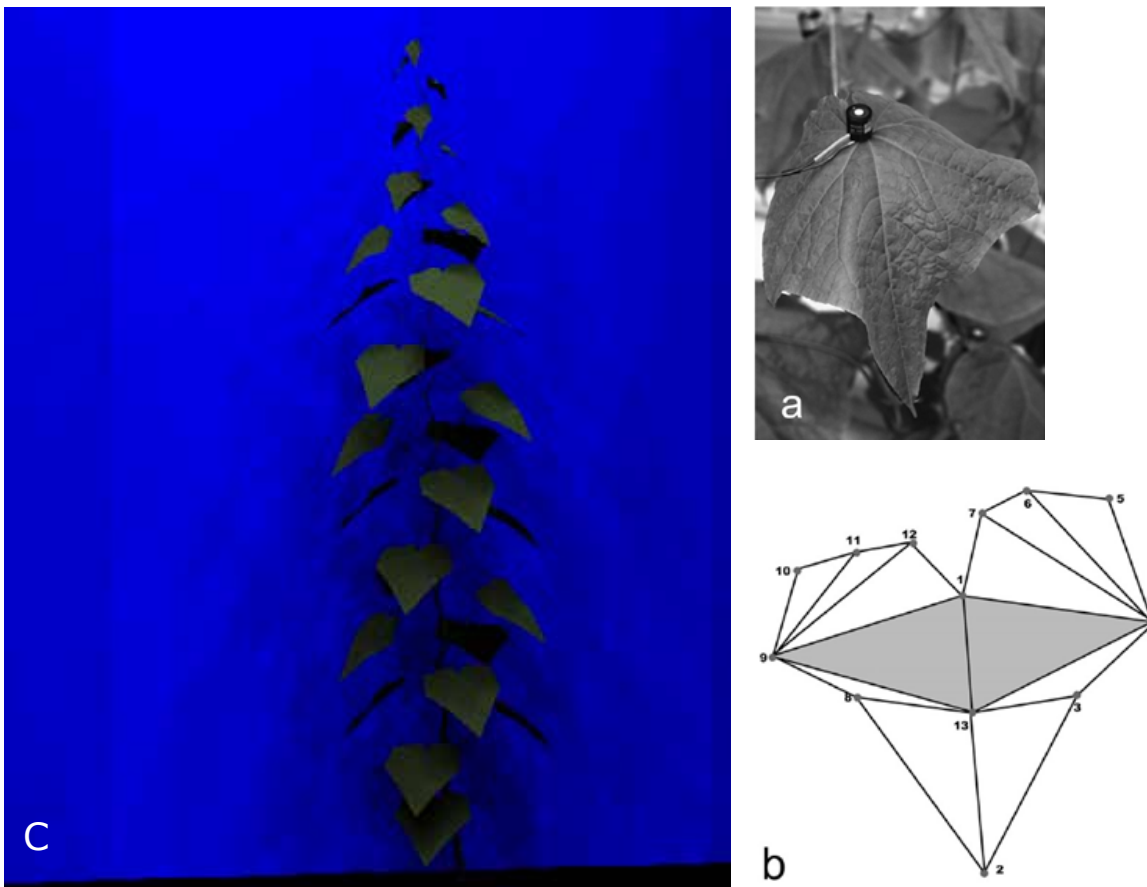
Het 3D-model bestaat uit een virtueel proefcompartiment en een virtueel gewas (Figuur 1). Het proefcompartiment bestaat uit de kleinst mogelijke eenheid waarbinnen een representatief gewas te plaatsen is: dit is een eenheid met 2 dubbele plantrijen welke minimaal 3 m lang zijn. De wanden van dit compartiment zijn spiegels met een hoogte van 4 meter. Deze wanden spiegelen het licht waardoor het 'Droste' effect optreedt en het systeem feitelijk een oneindig gewas zonder randeffecten vertegenwoordigt. Zodoende is de lichtverdeling vergelijkbaar met die in grote, commerciële teelten.



Figuur 1 Gemodelleerde systeem: (a) diffuse hemel met 12 x 9 lichtbronnen, (b) proefcompartiment met 2 dubbele plantrijen van 3m lang, (c) computerrendering van de 3D scene waarbij de spiegeling van de planten in de rechterwand zichtbaar is.

De planten worden in het model geplaatst in dubbele goten die 50 cm van elkaar verwijderd zijn. De stengels van de planten groeien niet recht omhoog maar met een lichte hoek van 3.5 graden waardoor een V-systeem ontstaat en bij een 1.6m pad de toppen van de planten respectievelijk 90 en 70 cm van elkaar verwijderd zijn boven de rij en boven het pad (zie Figuur 1). De stengels kennen een knik bij elk nodium waardoor de typische komkommerstengel ontstaat. De hoek van de bladsteel met de horizontaal is 40 graden, zoals waargenomen in het gewas in juni 2015. In het model bestaat het komkommerblad uit 13 afzonderlijke vlakjes (polygonen). De hellingshoek van deze polygonen is overgenomen uit een bestaand bladmodel van komkommer (Wiechers *et al.* 2011; Kahlen, 2007) en via de metingen van de bladhoek in juni aangepast voor het huidige ras Hi-Jack. Tevens is het oppervlak van zowel jong als uitgegroeid blad aangepast op basis van de juni-metingen: het uitgegroeide blad is gemiddeld 330 cm² en helt naar beneden met gemiddeld 20 graden t.o.v. de horizon. De bladinzet van opeenvolgende bladeren aan de stengel roteert om de stengel met de voor phyllotaxis bekende verhouding 2/5, i.e. 144 graden tussen 2 bladeren (Kahlen, 2007).

Lichtberekeningen zijn gebaseerd op 100% diffuus licht dat wordt gesimuleerd door een hemel met 9 ringen met 12 lichtbronnen. De lichtintensiteit per ring is conform de ISO-standaard zoals bepaald door de Internationale Commissie voor Belichting 'CIE' (zie <http://eivl.cie.co.at/term/169>).



Figuur 2 Simulatie van de blad- en plantvorm: (a) foto van blad, (b)blad model met 12 polygonen (Bron: Wiechers *et al.* 2011), (c) complete plant met bekende zigzag-vorm van de stengel.

INTKAM benut de door het 3D model voorspelde lichtabsorptie. Deze lichtabsorptie neemt vanaf de kop naar beneden in de plant toe en wordt uitgedrukt in een extinctie coëfficiënt. De extinctie coëfficiënt voor diffuus licht is berekend met het 3D model. Deze coëfficiënt wijzigt in afhankelijkheid van de gewasstructuur: een gewas met een breed pad heeft een lagere lichtextinctie (minder absorptie door gewas, en er valt meer op het pad) dan met een smaller pad, ook al is de LAI gelijk, want bij een breder pad zullen de bladeren dichter opeen zitten in de rij met dito meer zelfbeschaduwing.

2.1.1 Resultaten

De eerste scenario's zijn uitgevoerd om het effect van rijrichting t.o.v. het noorden op het percentage opgevangen licht te berekenen. De oost-west richting van de plantrijen geeft een duidelijk hogere lichtopvang (96.7% van de input op 15 februari, 12 uur) door het gewas dan een noord-zuid richting (68.5%). Dit wordt veroorzaakt doordat direct licht op zonnige dagen bij de noord-zuid rij rond het middaguur het pad veel belicht waardoor dit licht verloren is voor gewasopvang. Het verschil is erg groot maar is ook allen zo groot rond het middag uur bij een gewas van deze omvang. Op dagbasis is het verschil door integratie veel kleiner. De verdere simulaties zijn gedaan met een oost-west georiënteerd pad net zoals de pad oriëntatie in de kas.

De lichtberekeningen zijn gedaan voor 3 padbreedtes (1.4, 1.6 en 1.8 m) en bij oplopende stengeldichtheden. De uiteindelijke keus voor deze 3 breedten is tweeledig: a) uit verkennende berekeningen bleek dat door een "forse" spreiding in breedten er ook echt verschillen in gewasopbouw en lichtonderschepping ontstaan en b) deze breedten zijn in de kas te plaatsen.

Bij elke padbreedte – stengeldichtheid combinatie was elke stengel al gegroeid tot aan de draad, i.e. 34 bladeren waarvan de bovenste 10 nog niet volledig uitgegroeid waren. De lichtabsorptie door het komkommernewas neemt toe wanneer de padbreedte verkleind wordt van 1.8 naar 1.4 m (Tabel 1). Dit effect wordt sterker naarmate het aantal stengels, en dus de LAI, toeneemt.

Als bij aanvang van de teelt met een hoge stengeldichtheid wordt begonnen is er natuurlijk meer lichtopvang. Dit effect is bij aanvang aanzienlijk (van ca. 69% lichtopvang bij 1.5 stengels naar 75% bij 1.9 stengels per m², zie Tabel 1) maar nadat de 2^{de} stengel is aangehouden is er nog steeds een verschil van 3%.

De resulterende extinctie coëfficiënt, gebaseerd op de wet van Lambert-Beer, is doorgegeven aan het fysiologisch model INTKAM voor gewasplan berekeningen (§1.2)

Tabel 1

Opvang van diffuus licht en resulterende extinctie coëfficiënt zoals berekend met het 3D gewasmodel.

Stengeldichtheid	Padbreedte	LAI	Lichtopvang	Extinctie coëfficiënt
Aantal per m ²	m	-/-	% van input	-/-
1.7	1.4	1.54	73.3	0.54
1.7	1.6	1.54	72.8	0.53
1.7	1.8	1.54	71.2	0.49
1 ^{ste} extra stengel	1.4	2.31	81.8	0.57
Idem	1.6	2.31	79.5	0.51
Idem	1.8	2.31	75.2	0.41
2 ^{de} extra stengel	1.4	3.08	84.8	0.50
Idem	1.6	3.08	81.9	0.43
Idem	1.8	3.08	79.1	0.36
1.5	1.6	1.36	69.3	0.51
1.5 + 1 stengel	1.6	2.04	74.9	0.45
1.5 + 2 stengels	1.6	2.71	80.2	0.45
1.9	1.6	1.72	75.4	0.54
1.9 + 1 stengel	1.6	2.58	79.6	0.45
1.9 + 2 stengels	1.6	3.44	83.1	0.41

2.2 Gewasplan

Met een gewasgroeimodel voor komkommer is op basis van een verwacht klimaat berekend met een klimaatmodel en gebaseerd op een selectiejaar, de plantontwikkeling, drogestof productie en - verdeling berekend. Het model beschrijft een hogedraadteelt, waarbij op 2 momenten in de teelt een extra stengel wordt aangehouden bij de helft van de planten, waardoor uiteindelijk de plantdichtheid verdubbeld wordt.

Het Intkam model is gekalibreerd op een komkommerteelt uitgevoerd van 20 januari tot 1 juli 2015 in de Venlow Energy Kas van Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw in Bleiswijk met het ras Hi-Jack. In deze teelt werd op 1 moment bij alle planten een extra stengel aangehouden en werden bloemen om en om weggehaald (50%).

Met dit gekalibreerde model zijn vervolgens scenarioberekeningen uitgevoerd voor het "winterlichtgewas" met als doel de productie te optimaliseren met behoud van kwaliteit. Het winterlichtgewas wordt geteeld bij 3 padbreedtes (1.40 – 1.60 – 1.80 m) in de 2SaveEnergy kas van Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw in Bleiswijk met een diffuus kasdek (haze 60%). Er is een seljaar gebruikt voor straling en buitentemperatuur en een binnen klimaat voor komkommer zoals dat met "standaard" teeltsetpoints wordt bereikt. Een seljaar is een "gemiddeld" klimaatjaar waarbij om de dynamica van het klimaat te bewaren het jaar is samengesteld uit afzonderlijke maanden. De geselecteerde maanden liggen zo dicht mogelijk bij de gemiddelde maand (Breuer, 1989). Het winterlichtgewas wordt geplant op een ongebruikelijk vroege plantdatum voor komkommer (28 december 2015) waarbij het licht aanzienlijk lager is dan bij een reguliere plantdatum bij een hogedraadteelt na half januari. Bij de modelberekeningen is de eerste maand de kasluchttemperatuur verlaagd met 1°C om in balans te blijven met de lage lichtintensiteit.

Productie is berekend in kg versgewicht per m² en in aantallen komkommers per m². Uitgangspunt voor kwaliteit is dat vruchtgewichten niet lager dan 360 gram per vrucht mogen zijn. Maximale productie wordt theoretisch bereikt bij een hoge stengeldichtheid en het aanhouden van veel bloemen. Maar bij een hoge sinksterkte zullen bloemen aborteren of zijn de vruchtgewichten bij de oogst te laag. Met het model is een optimum gezocht tussen deze factoren: welke stengeldichtheid en hoeveel bloemen kunnen aangehouden worden bij de verschillende padbreedtes om tot een optimale productie te komen.

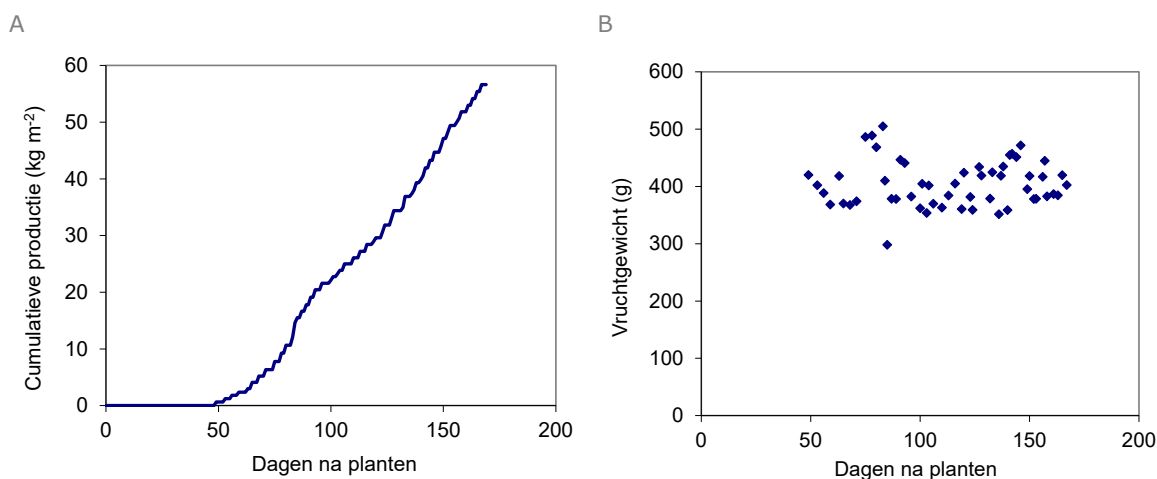
In het optimalisatie proces zijn de volgende stappen doorlopen:

- Er zijn berekeningen uitgevoerd bij 3 padbreedtes: 1.40 – 1.60 en 1.80 m met ieder een eigen extinctie coëfficiënt en een start plantdichtheid van 1.7 pl/m².
- Voor elke padbreedte is vervolgens berekend wanneer een extra stengel aangehouden kan worden.
- Voor elke padbreedte is berekend hoeveel bloemen er aan gehouden kunnen worden op verschillende momenten van de teelt.

2.2.1 Resultaat

2.2.1.1 Stengeldichtheid

In Figuur 3 is een voorbeeld gegeven van de cumulatieve productie tot 15 juni en het vruchtgewicht bij een berekening met een padbreedte van 1.60 en een start stengeldichtheid van 1.7 pl/m² die na 29 en 33 dagen is verdubbeld tot 3.4 pl/m².



Figuur 3 Cumulatieve productie komkommer (kg /m²) (A) en vruchtgewicht (g) (B) tot 15 juni berekend bij een padbreedte van 1.60 m en een start plantdichtheid van 1.7 planten/m².

De productie komt relatief laat op gang bij een plantdatum van 28 december (49 dagen na planten) door weinig licht en een relatief lage temperatuur maar is voor hogedraadteelt met deze plantdatum niet (te) lang.

In Tabel 2 zijn de resultaten weergegeven van de optimalisering van een komkommerteelt met 3 padbreedtes en een plantdichtheid van 1.7 pl/m² bij de start. De einddichtheid is bij alle 3 padbreedtes 3.4 stengels/m². De keus voor 1.7 pl/m² is ingegeven door de praktijk. Er is geen optimalisatie gedaan van de factoren plantdichtheid, aanhouden extra stengels en aanhouden bloemen, omdat het aanhouden van stengels en bloemen is afgeleid van de dichtheid. Dus het starten met een andere dichtheid leidt tot een ander moment van stengels aanhouden en een andere snoeistrategie van bloemen.

Tabel 2

Gesimuleerd teeltplan voor 3 padbreedtes (1.7 pl/m² bij de start) en berekende productie van komkommer geplant op 28 december tot 15 juni. Op 2 momenten is bij de helft van de planten een extra stengel aangehouden.

Padbreedte (m)	Dagnr. 1e stengel	Dagnr. 2 ^e stengel	Aanhouden Bloemen	Cumulatieve productie (kg/m ²)	Aantal vruchten/m ²)	Gemiddeld vruchtgewicht (g)
1.4	26	36	50% na dag 100 67%	58.1	143	408
1.6	29	33	50% na dag 102 67%	56.6	140	408
1.8	38	54	33%, vanaf dag 40 50%, na 112 67%	53.3	128	418

2.2.1.2 Teeltplanning en padbreedte

Bij een padbreedte van 1.40 m kan op dag 26 (30 dagen na planten) een extra stengel aangehouden worden en 10 dagen later een 2^e stengel. In eerste instantie wordt de helft van de bloemetjes aangehouden (om en om plukken), maar dit kan verhoogd worden op dag 100 (10 april) naar 2 bloemetjes van de 3 aanhouden. Dit resulteert op 15 juni in een cumulatieve productie van 58 kg/m² en 143 vruchten/m² met een gemiddeld vruchtgewicht van 408 g.

Bij een padbreedte van 1.60 m kan er pas 3 dagen later een extra stengel aangehouden worden (dagnummer 29). De 2^e stengel kan 4 dagen later aangehouden worden. Ook bij deze padbreedte kunnen later in de teelt meer bloemetjes aangehouden worden (2 van de 3). De productie is uiteindelijk iets lager (57 kg/m²) dan bij een padbreedte van 1.40 m.

Bij een padbreedte van 1.80 m is het aantal planten in de rij aanzienlijk hoger dan bij de andere padbreedtes (want de plantdichtheid is gelijk). Modelberekeningen lieten zien dat een extra stengel pas op dag 52 kan worden aangehouden (data niet gepresenteerd). Maar door de eerste 40 dagen meer bloemen te snoeien (2 van de 3) kan het moment van een extra stengel aanhouden vervroegd worden naar dag 38. Zestien dagen later kan een 2^e stengel aangehouden worden. Vanaf dag 112 (22 april) kunnen er 2 van de 3 bloemen aangehouden worden. Dit resulteert in een productie van 53 kg/m².

De teeltconcepten voor de 3 padbreedtes zijn verschillend en resulteren uiteindelijk in lagere producties bij een hogere padbreedte. Bij een padbreedte van 1.40 m is gerekend met een extinctiecoëfficiënt die hoger is dan bij de andere 2 padbreedtes. Het licht dringt dieper in het gewas en er wordt iets meer licht onderschept door het gewas. Daardoor kunnen eerder extra stengels aangehouden worden en extra bloemen, wat uiteindelijk resulteert in meer geogoste vruchten en een hogere productie in kg/m².

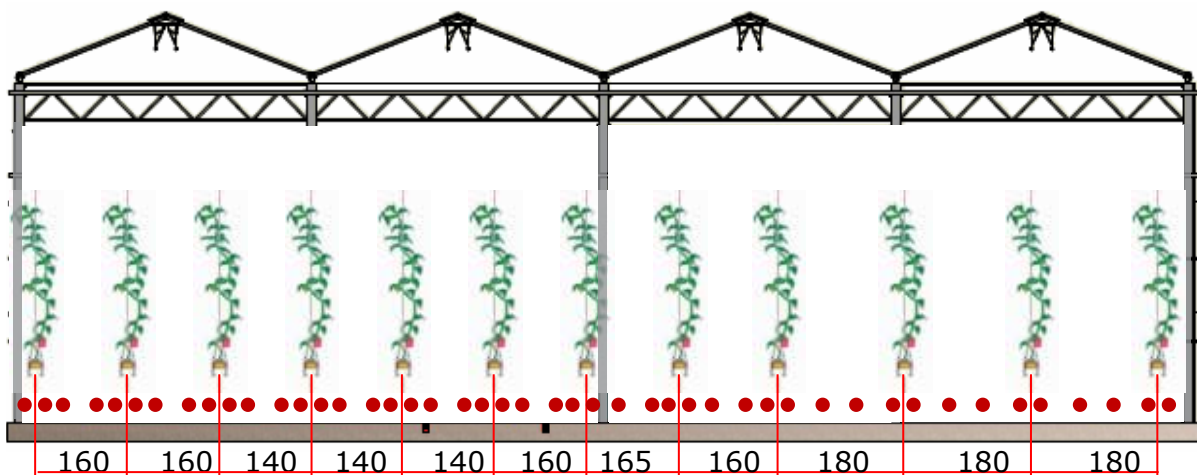
Op basis van deze concept teeltplannen is op 28 december komkommer geplant.

3 De 2SaveEnergy kas, aanpassingen en inrichting

De kas waarin de proef is uitgevoerd, is de 2SaveEnergy kas. Het 2SaveEnergy kasconcept is door een consortium van bedrijven bestaande uit VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe en Boal Systems geïnspireerd door een dubbelglas kas met isolatieglas, ontworpen en gebouwd. Het 2SaveEnergy kasconcept bestaat uit een combinatie van een 'standaard' kasdek met daaronder een ETFE-film (F-clean) om een goede isolatie te bereiken. De kas is zoals een standaard Venlo kas voorzien van enkelglas. Door aanpassingen aan goot en raamkalf is het mogelijk onder de roeden door een film te spannen. Om dit in lange rechte banen te kunnen doen is er voor een doorlopende nokluchting met dubbelglas gekozen. Er is één scherminstallatie met een dubbeldoek geïnstalleerd. De afstand tussen de doeken is ca. 5 cm. Beide doeken zijn Luxous 1347FR (LS) welke vooral voor energiebesparing ingezet worden. Het dubbele scherpakket loopt van (onderkant) tralie tot (onderkant) tralie. De kas beschikt over zuivere CO₂ en is voorzien van een dubbel 51mm buisennet om de kas met laagwaardige warmte, bijvoorbeeld via een warmtepomp, te kunnen verwarmen.

Deze kas heeft de hoogste lichttransmissie (ca. 70%) van alle kassen bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk en kent een oost –west nok en pad richting (Kempkes en Janse, 2016). Door de toepassing van de diffuse F-clean film wordt het licht, door de hoge haze factor van 77% van dit materiaal, mooi verspreid op het gewas.

De kas zelf is voor deze proef niet aangepast. Alleen zijn de gootafstanden en de bijbehorende buisposities van het buisraailysteem aangepast. In Figuur 4 zijn de toegepaste gootafstanden en de verdeling van het dubbele 51 mm verwarmingsnet getoond.



Figuur 4 Gootposities en de verdeling van de verwarmingsbuizen toegepast in de proef gezien vanaf het betonpad.

Omdat de kolom die midden in de kas staat ca. 25 cm breed is, moet er iets ruimte gecreëerd worden om met de buisrailkar voldoende afstand van het gewas te houden. Daarom is daar de padafstand 1.65 m.

4 Gewas- klimaat- en energieperformance van het winterlichtgewasconcept

4.1 Lichtonderschepping door het gewas

De meting van de lichtonderschepping is gedurende het project op twee manieren uitgevoerd. Vanuit foto's, genomen vanaf vaste posities is met behulp van beeldverwerking bepaald hoeveel bladoppervlak zichtbaar is (§ 3.1.1).

4.1.1 Bepaling lichtonderschepping door middel van bladprojectie

Lichtonderscheppingsmetingen met behulp van de Sunscan zijn tijdrovend en voor een goede meting zijn de lichtcondities, diffuse omstandigheden, van belang. Om toch een goede indicatie van de lichtonderschepping in de verschillende behandelingen te krijgen is met behulp van beeldverwerking van foto's die wekelijks op dezelfde dag vanaf vaste posities gemaakt zijn, bepaald hoeveel blad er in het geprojecteerde oppervlak aanwezig is. Deze vaste positie is voor iedere behandeling vanaf de tralie, fototoestel met de rug tegen de tralie, vanaf het midden van het pad en vanaf het midden van de teeltgoot. In Figuur 5A t/m C zijn van de 1.4 meter behandeling van 3 willekeurige dagen, net na planten (A), midden winterteelt (B) en einde winterteelt (C) de foto's getoond.

A (6 januari)



B (22 maart)



C (23 mei)

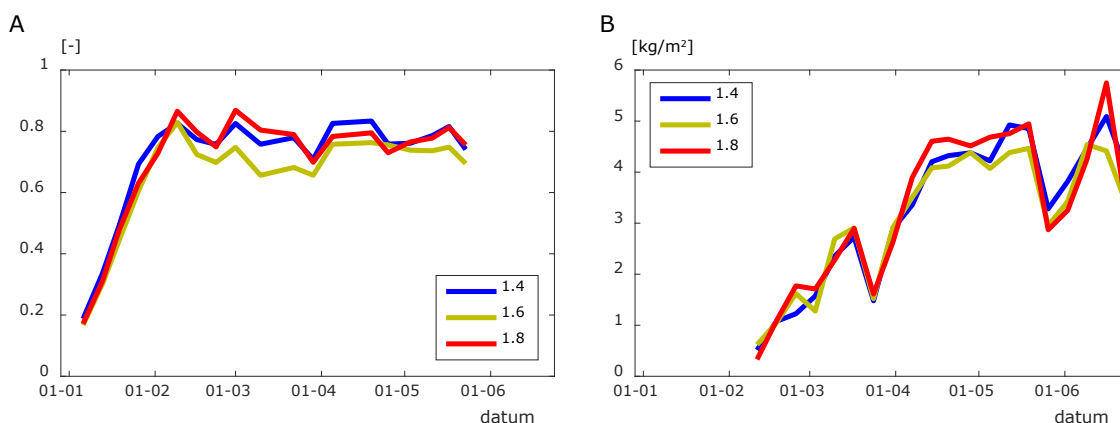


Figuur 5 Foto's van de 1.4 meter behandeling genomen op 3 momenten in de winterteelt vanaf het midden van het pad vanaf de tralie.

De foto's laten duidelijk zien dat er in het begin van de teelt een beperkte bladbedekking is, en de kleuren van de bladeren verschillen tussen de foto's. Het verschil in bladkleur kent twee belangrijke oorzaken. Afhankelijk van de buitenomstandigheden, bewolkt dan wel zonnig is de lichtinval anders maar vooral de kop van het gewas liet in de tweede helft van de teelt soms alleen in de bladranden maar af en toe ook volledige bladeren een zeer lichte kleur zien. In plaats van donker groen waren deze bladeren soms erg gelig alsof er een gebrek aan nutriënten aanwezig was. Bij het ouder worden van het blad kleurden al deze bladeren uiteindelijk mooi donker groen. Om de foto's te kunnen nemen is er gebruik gemaakt van de in de kas aanwezig buisrailkar. In de tijd zijn daar twee verschillende types voor gebruikt, één met een oranje schaar frame met een gegalvaniseerd hek rond het plateau (Figuur 5, foto A en C) en één met witte hefscharen en een groen gekleurd veiligheidsframe rond het plateau (foto B).

Met behulp van de zogenaamde "Colour image-based" methode is segmentatie van de foto's naar verschillende onderdelen, waaronder blad, uitgevoerd. Deze stappen zijn in bijlage 1 beschreven.

Het uiteindelijke resultaat van deze fotobewerking is in Figuur 6A weergegeven als een bodembedekkingsgraad die aangeeft hoeveel van het vloeroppervlak (in het tweedimensionale vlak) blad is. Dit is van een gedefinieerd oppervlak in de gesegmenteerde foto's de hoeveelheid als blad gedefinieerde pixels ten opzichte van het totaal aantal pixels.



Figuur 6 De bodembedekkingsgraad bij de 3 padbreedtes in de winterteelt (A) en de wekelijkse oogst van de 3 behandelingen tijdens de winterteelt (B).

Figuur 6A laat duidelijk zien dat de 1.4 padbreedte behandeling zoals verwacht, een snellere bladbedekking weet te creëren. De 1.80 behandeling gaat eind januari langer door omdat daar de kop van de planten in de 1.4 en 1.6 behandelingen op 29 januari zijn verwijderd om de stengeldichtheid te verdubbelen en in de 1.8 behandeling is dit pas op 12 februari gebeurd. Daarna is het opvallend dat de 1.60 behandeling een consequent lagere bedekkingsfractie laat zien. De gemiddelde bedekkingsfractie is 0.707, 0.655, 0.701 voor respectievelijk 1.4, 1.6 en 1.8. Wordt vervolgens naar de productie gekeken, in Figuur 6B is de wekelijkse oogst getoond, dan laten de totalen met 64.6, 62.1 en 65.5 kg/m² voor respectievelijk 1.4, 1.6 en 1.8 een vergelijkbare trend zien. De lagere bodembedekking in de 1.6 m behandeling leidt uiteindelijk tot een lager aanbod van assimilaten en een lager aantal vruchten dat het gewas kan dragen. In de onderzoekskas kan het aantal vruchten van behandeling 1.4 lager zijn omdat het kaspersoneel toch meer dunt dan geïnstrueerd omdat het gewas er op het oog niet voldoende sterk bij stond of doordat er natuurlijke abortie heeft opgetreden. In beide gevallen gaat het om een iets minder sterk gewas.

De lagere totaalproductie is het gevolg van een lagere productie halverwege mei en aan het einde van de teelt (Figuur 6B). Het is dus niet zo dat de productie van behandeling 1.6 op ieder moment lager was. Figuur 19, paragraaf 4.3 laat zien dat dit samenvalt met de generatieve sinksterkte en drogestofverdeling naar de vruchten. Het is helaas niet duidelijk waarom de bodembedekking bij behandeling 1.6 lager is geweest. We kunnen ook niet te zeggen dat dit een structureel effect is vanwege het ontbreken van herhalingen in de proef.

4.2 Gewas en productie

4.2.1 Winterteelt

Plant- en stengeldichtheid. Op 29 december 2015 zijn de planten van het ras Hi-Jack (Nunhems) met zaaidatum 30 november in de kas gezet bij een plantdichtheid van 1.67 planten/m². Er waren zoals eerder vermeld 3 behandelingen, namelijk padbreedtes van 1.4, 1.6 en 1.8 m. Om dezelfde plantdichtheid te realiseren stonden de planten op de matten dichter op elkaar naarmate de paden breder waren.

Het aantal stengels is verdubbeld via toppen. Bij de padbreedtes van 1.4, 1.6 en 1.8 m gebeurde dit op respectievelijk 29 januari, 29 januari en 12 februari. Dit week iets af van het gewasplan (zie par. 1.2). Volgens de teeltstrategie gebaseerd op berekeningen met behulp van Intkam, zou de eerste extra stengel bij de padbreedtes van 1.4, 1.6 en 1.8 m aangehouden moeten worden op resp. 21 januari, 24 januari en 2 februari en de tweede stengel op resp. 31 januari, 28 januari en 18 februari. In overleg met de twee komkommertelers en een adviseur van Nunhems is in de Begeleidingscommissie Onderzoek (BCO) besloten om ze via toppen te verdubbelen, maar dan iets later. Anders bestond de kans dat de scheuten te ver achter zouden blijven op de hoofdstengel.

Vruchtsnoei. De eerste vrucht zat op het 8^e à 9^e blad. Daarna zijn er in principe steeds om en om vruchtjes aangehouden. Na het toppen zijn er echter bovenin 2 setjes van 2 vruchten aangehouden om een gat in productie door het toppen zoveel mogelijk te compenseren. In week 19, 21 en daarna werd er afhankelijk van de stand van de plant wekelijks al dan niet één setje van 2 vruchten aangehouden. Na het koppen tegen het einde van de winter teelt, hebben we bovenin 4 à 5 vruchtjes aan de plant laten zitten. In het algemeen is er weinig vruchtabortie opgetreden.

Gewasstand. De BCO is meestal tweewekelijks bij elkaar geweest. Daarbij werd de gewasstand beoordeeld en geadviseerd over klimaatinstellingen en andere te nemen teeltmaatregelen. Hieronder worden per maand de belangrijkste bevindingen van de BCO weergegeven.

Januari:

In week 2 zagen de koppen er goed uit. Eind januari stond er een forse kop op de plant, maar sommige koppen zaten tegenaan een broeirandje, met name bij een padbreedte van 1.4 m. De bladkleur was wat aan de donkere kant en er werden wat zwarte koppen gezien. Dit was bij de betreffende planten mogelijk een gevolg van tijdelijk wat watertekort. Bij 1.4 en 1.6 m zijn de planten eind januari gekopt.

Februari:

Mogelijk als gevolg van een relatief hoge RV waren de bladeren in de 2^e week van februari opvallend groot voor een kleinbladig type. Om de plant te ontlasten is in de 2^e helft van februari tijdelijk eerder geoogst, voornamelijk 30-ers (vruchten in de gewichtsklasse 310- 360 gram). In week 8 waren de bovenste bladeren wat chlorotisch, maar dit leek naar onderen toe weer weg te trekken. Ook aborteren er wat vruchtjes in de verschillende behandelingen. Het gewas stond er eind februari generatief op en was vrij open, wat juist positief was.

Maart:

Halverwege de maand maakte het gewas een wat versleten indruk: koppen stonden vrij schraal. Vruchten vulden echter goed uit en bloei vond op de goede hoogte, dat is ca. 7 blaadjes onder de kop, plaats. Eind maart was het gewas duidelijk verbeterd: groener blad, minder broeirandjes, goede vruchtopvolging en sterkere vruchtbeginsels.

April:

In april stond het gewas er prima op: goede, krachtige kop, goede vruchtopvolging, en bladeren waren van voldoende grootte. Kortom: plant stond in balans. Opvallend was dat de kop licht, wat chlorotisch van kleur was, maar dat dit steeds naar onderen toe wegtrok. Het vruchtgewicht nam duidelijk toe.

Mei:

Begin mei stond er een erg open gewas met kleine bladeren en sterke vruchtbeginsels. Om voldoende licht op te vangen werd er van onderen meer blad aangehouden. Half mei was de kop nog steeds sterk. De vruchten groeiden snel uit en trad er weinig abortie op. In tegenstelling tot in de praktijk werd er bij een hoge instraling nooit licht weggeschermd, maar in de 2SaveEnergy kas zit dan ook een diffuus kasdek. Een enkele plant had een gele kop, mogelijk door tijdelijk (te) hoge plantbelasting. Eind mei was aan de plant te zien dat er in de afgelopen 6 weken erg veel was geoogst, gemiddeld 4.5 kg/week! Er moest zwaar worden gesneden, omdat de vruchten lang en wat puntig waren. Verschillende planten waren hierdoor wat uit balans geraakt.

Juni:

I.v.m. het beëindigen van de teelt zijn de planten in week 22 getopt. In eerste instantie bleven er 2 scheuten inzitten, waarvan er later 1 is verwijderd. Half juni trad er bij de laatste vruchten nog wel wat abortie op. De teelt is 24 juni beëindigd. In de gehele teelt is er geen mycosphaerella opgetreden, wel echte meeldauw. Hiertegen is regelmatig een bestrijding toegepast, deels met het biologische middel Serenade.

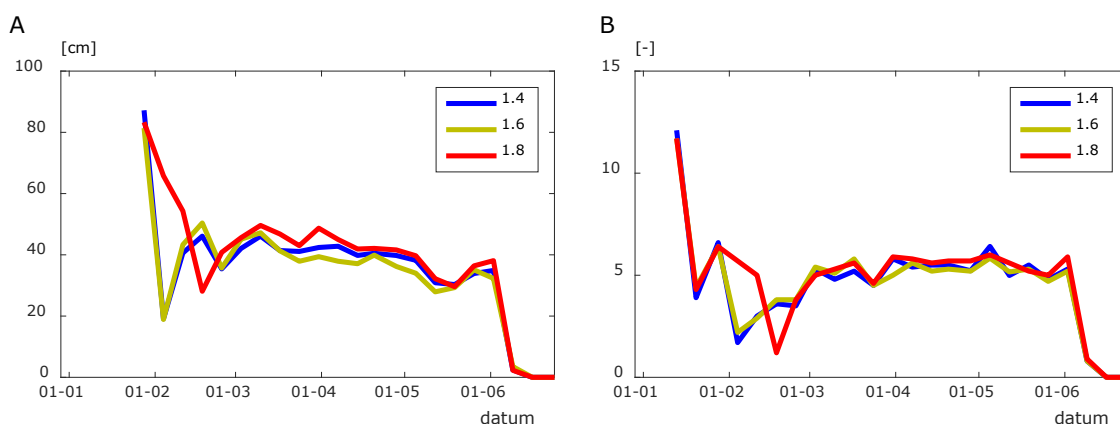
Gewaswaarnemingen. Wekelijks werden van 10 planten per padbreedte de lengtegroei en het aantal gevormde bladeren genoteerd. Om een indruk te krijgen van de uitgroei duur van de vruchten zijn van 3 planten per behandeling alle bloemen gelabeld. De totale lengtegroei aan het einde van de teelt, het aantal bladeren per stengel en de gemiddelde uitgroei duur van de vruchten is weergegeven in Tabel 3. Indien de uitgroei duur wordt uitgerekend in graaddagen, het surplus boven de 10 wordt geteld, is gemiddeld 186 graaddagen nodig, hoewel er grote variatie is tussen de verschillende weken.

Tabel 3

Totale lengtegroei, internodiuumlengte, aantal gevormde bladeren en de gemiddelde uitgroei duur van de vruchten bij de 3 padbreedtes.

Padbreedte (m)	Totale lengtegroei (m)	Totaal aantal bladeren	Internodiuumlengte (cm)	Uitgroei duur (dagen)
1.4	9.8	109	8.9	15.0
1.6	9.6	109	8.8	14.1
1.8	10.6	116	9.1	14.8

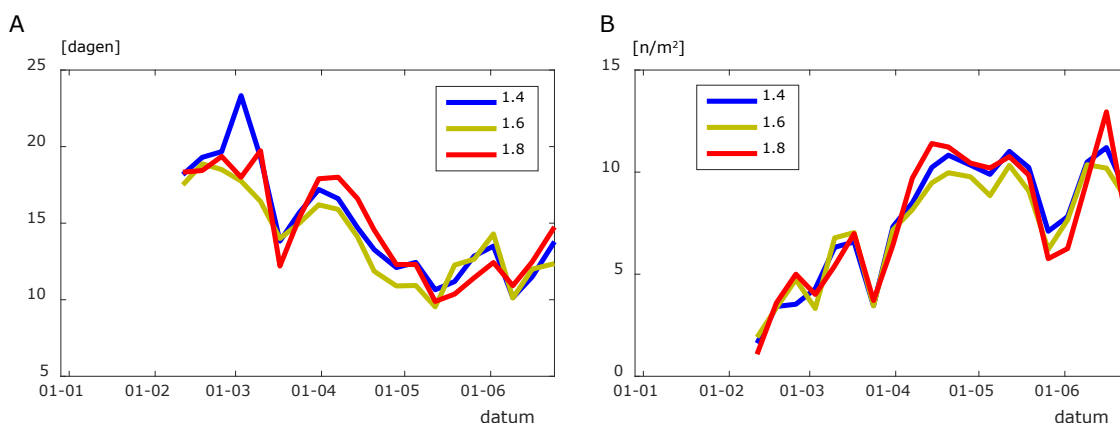
Bij een padbreedte van 1.8 m zijn de planten ongeveer een meter langer (+ 9%) en ook zijn er meer bladeren (+ 6%) gevormd. De uitgroei duur is gemiddeld iets korter bij een padbreedte van 1.6 m t.o.v. de andere behandelingen. Het verloop van de stengelgroei, het aantal bladeren en de uitgroei duur per week is weergegeven in resp. Figuur 7A, B en Figuur 8A.



Figuur 7 De lengtegroei per week van de planten bij de 3 padbreedtes in de winterteelt (A) en het aantal gevormde bladeren/stengel per week bij de 3 padbreedtes (B).

In week 5 zijn de planten bij een padbreedte van 1.4 en 1.6 getopt, waardoor de lengtegroei in die week veel minder was dan bij 1.8 m. Bij 1.8 m is dit 14 dagen later gebeurd, wat weer in de Figuur 7A terug te zien is. Vanaf eind februari vertoonden de planten bij het breedste pad meestal wat meer lengtegroei dan bij de smallere paden. In de bladplukproef komkommer (Elings *et al.* 2017) werd waargenomen dat meer bladpluk in minder lengtegroei resulteerde. Ook was er een negatief effect op de ontwikkelingssnelheid, al was dat minder eenduidig. De bladplukproef geeft aan dat een goede assimilatenbeschikbaarheid een positief effect heeft op lengtegroei en ontwikkelingssnelheid. De gemiddelde internodiuumlengte bij de padbreedtes van 1.4, 1.6 en 1.8 m was resp. 8.9, 8.8 en 9.1 cm.

Het toppen van de planten is evenals bij de lengtegroei duidelijk terug te zien in het aantal bladeren (Figuur 7B). Vanaf maart worden er bij de padbreedte van 1.8 m veelal iets meer bladeren gevormd.



Figuur 8 De uitgroeiduur van de vruchten bij de 3 padbreedtes in de winterteelt (A) en het aantal geogste vruchten per week bij de 3 padbreedtes (B).

De uitgroeiduur (Figuur 8A) schommelt tot en met de 2^e week van maart rond de 18 à 19 dagen. Daarna daalt deze met wat fluctuaties in de 2^e week van mei tot ongeveer 10 dagen en blijft in de volgende periode rond de 11 dagen schommelen. Tot half mei groeien de vruchten bij 1.6 m wat sneller uit. Het totaal aan geogst gewicht, het totaal aantal vruchten en het gemiddeld vruchtgewicht bij de 3 padbreedtes in de winterteelt zijn in Tabel 4 samengevat.

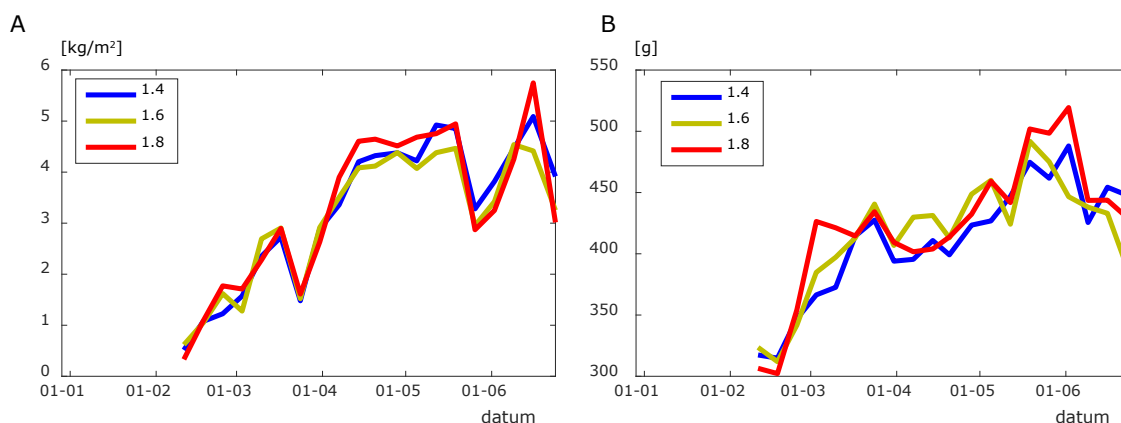
Tabel 4

Het totaal aan geogst gewicht, totaal aantal vruchten en het gemiddeld vruchtgewicht bij de 3 padbreedtes in de winterteelt.

Padbreedte (m)	Totaal geogst gewicht (kg/m ²)	Totaal aantal vruchten (#/m ²)	Gemiddeld vruchtgewicht (g)
1.4	64.6	153	423
1.6	62.1	146	425
1.8	65.5	151	433

De productie in deze winterteelt is erg goed geweest: gemiddeld 150 vruchten en 64 kg/m² bij een prima gemiddeld vruchtgewicht van 427 g. De padbreedte van 1.6 m blijft zowel in stuks als kilo's achter op de andere behandelingen. Hiervoor kan nog geen goede verklaring worden gegeven.

In Figuur 9B is te zien dat het aantal stuks 6 weken lang vanaf half april t/m in de 2^e helft van mei met ruim 10 stuks erg hoog is geweest. De padbreedte van 1.6 m bleef daarbij iets achter op de padbreedte van 1.4 en 1.8 m. In week 21 en 22 volgt wel een terugslag in productie, maar daarna is deze weer hoog.



Figuur 9 De totaal oogstgewicht per week bij de 3 padbreedtes in de winterteelt (A) en het gemiddeld vruchtgewicht per week bij de 3 padbreedtes (B).

Met wat schommelingen is er een duidelijke stijgende lijn in de productie (Figuur 9A). Dit heeft hoogstwaarschijnlijk met de toenemende instraling te maken. In kilo-productie blijft 1.6 m wat achter op de andere twee behandelingen.

Om de plant te ontlasten moesten de vruchten in de 1^e weken wat eerder van de plant worden gehaald, wat te zien is aan het relatief lage vruchtgewicht (Figuur 9B). Omdat de vruchten in de 2^e helft van mei aan de lange kant waren, zijn er toen zware komkommers geoogst. In veel weken blijft het gemiddelde vruchtgewicht bij 1.4 m wat achter.

De vruchtkwaliteit was de gehele teelt uitstekend.

4.2.2 Zomerteelt

Plant- en stengeldichtheid. De planten van het ras Hi-Power (Nunhems), welk ras beter past bij een zomerteelt, zijn op 15 juli 2016 geplant bij een plantdichtheid van 2.25 planten/m². Er is voor deze plantdichtheid gekozen om meer bij de praktijk aan te sluiten. Tussen de winter en zomer-teelt zat dus een periode van 3 weken, omdat we het gewas in de zomerteelt zoveel mogelijk in een minder lichtrijke periode wilden toetsen. De stengeldichtheid is tot het eind toe aangehouden.

In eerste instantie was het de bedoeling om de koppen tot het einde toe door te laten groeien, maar omdat er steeds meer abortie kwam is in week 45 besloten om toch de kop eruit te halen. Onder lichtarme omstandigheden is het dus toch gewenst om tijdig te toppen, zodat de weinige assimilaten zoveel mogelijk richting de vruchten worden gestuurd. De instraling is in de herfst van 2016 wel hoger geweest dan langjarig gemiddeld. Op 23 november vond de laatste oogst plaats.

Vruchtsnoei. Om snel belasting te realiseren is de 1^e vrucht in het 5^e oksel aangehouden, daarna is één vrucht verwijderd en vervolgens zijn 2 setjes van twee aangehouden. In de week erna is nog een keer een setje van 2 aangehouden, waarna is overgeschakeld op om en om dunnen.

Gewasstand. Ook in de zomerteelt heeft de BCO om de 2 weken de proef bezocht.

Juli:

In de 1^e 10 dagen na het planten was de instraling en daarmee ook de kasttemperatuur hoog. Pythium trad niet op. De 1^e bloei vond plaats op 22 juli. Een enkele plant had last van een brandkop. Omdat de koppen wat donker stonden is een wat lagere EC gedoseerd.

Augustus:

De planten bleven goed doorgroeien en hadden kracht genoeg. De eerste vruchten waren wat aan de korte kant, maar het was zeker nog acceptabel. Ondanks hoog gerealiseerde temperaturen van 23°C of hoger, deed het gewas het prima met een goede vruchtopvolging en hoge producties van zo'n 10 vruchten/m².

September:

In deze maand stond er nog steeds een goed gewas met een goede regelmaat in het gewas en nauwelijks abortie. De instraling was in deze periode wel bovengemiddeld. De internodiuumlengte werd kleiner.

Oktober:

Begin oktober werd de variatie tussen de planten wat groter, mogelijk hebben we wat tegen het randje gezeten qua temperatuur. Deze plantvariatie is echter half oktober niet meer te zien. De vruchtkwaliteit was steeds prima met een goede vorm en kleur. Stengelbotrytis trad niet op, wel een enkel vruchtje met een botrytispuut. Hiertegen is een keer Luna Privilege gebruikt.

November:

Door het zeer donkere weer in de 1^e weken van november viel de vruchtgroei half november tegen: er aborteerden vruchtjes en vruchten bleven kleiner. De vruchtkleur en -vorm waren wel goed. De gehele teelt is het gewas erg gezond gebleven: er trad totaal geen plantuitval op.

Gewaswaarnemingen. Evenals in de winterteelt werden wekelijks van 10 planten per padbreedte de lengtegroei en het aantal gevormde bladeren genoteerd. Om een indruk te krijgen van de uitgroeiduur van de vruchten zijn van 3 planten per behandeling alle bloemen gelabeld. De totale lengtegroei aan het einde van de teelt, het totaal aantal bladeren per stengel en de gemiddelde uitgroeiduur van de vruchten is weergegeven in Tabel 5.

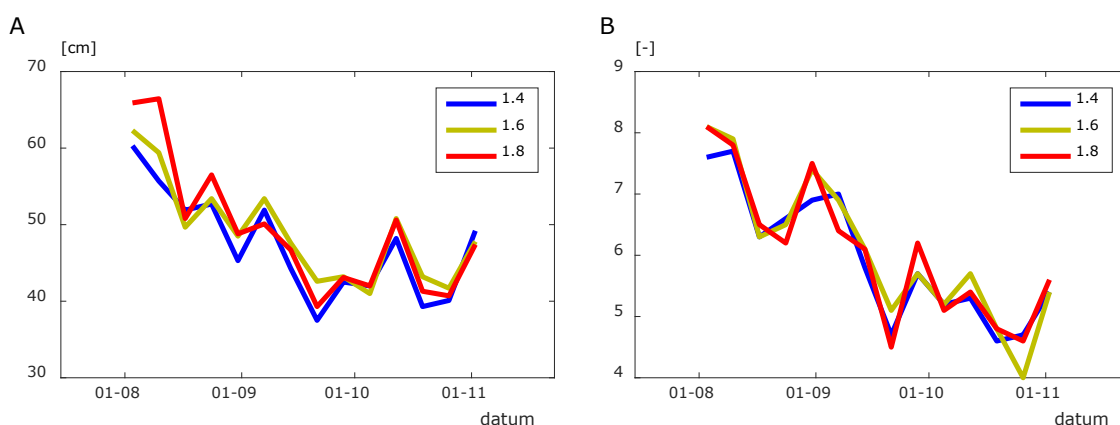
Tabel 5

Totale lengtegroei, aantal gevormde bladeren, internodiuumlengte en de gemiddelde uitgroeiduur van de vruchten bij de 3 padbreedtes in de zomerteelt.

Padbreedte (m)	Totale lengtegroei (m)	Totaal aantal bladeren	Internodiuumlengte (cm)	Uitgroeiduur (dagen)
1.4	8.2	102	8.0	15.6
1.6	8.4	104	8.1	15.8
1.8	8.5	104	8.2	15.2

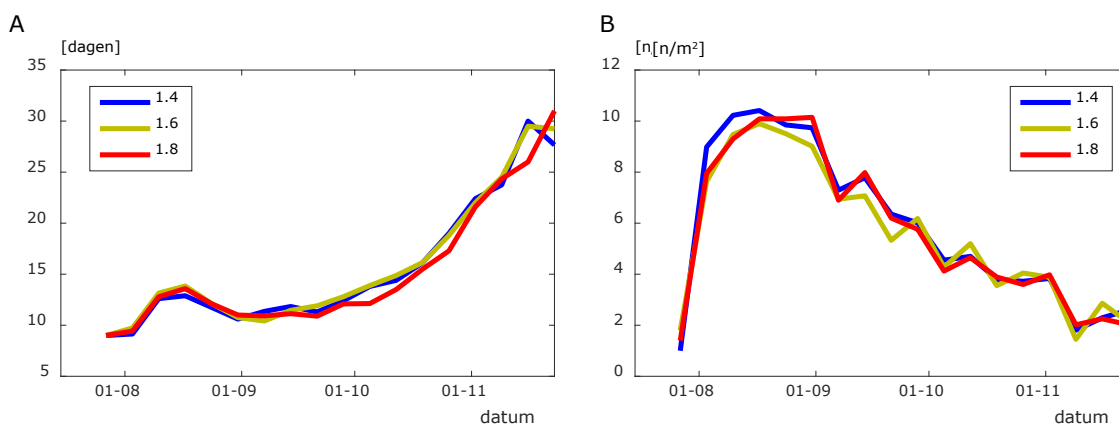
De verschillen tussen de 3 behandelingen in lengtegroei, aantal bladeren en uitgroeiduur zijn gering.

De lengtegroei, het aantal bladeren en de uitgroeiduur per week is weergegeven in Figuur 10A en B en Figuur 11A.



Figuur 10 De lengtegroei per week van de planten bij de 3 padbreedtes in de zomerteelt (A) en het aantal gevormde bladeren/stengel per week bij de 3 padbreedtes (B).

Naarmate de teelt vordert, neemt het aantal wekelijks gevormde bladeren af. Eind juli/begin augustus was dit ca. 8 bladeren per week en eind oktober was dit 4 à 5 bladeren. De planten zijn op 11 november getopt.



Figuur 11 De uitgroeiduur van de vruchten bij de 3 padbreedtes in de zomerteelt (A) en het aantal geoogste vruchten per week bij de 3 padbreedtes (B).

In de loop van de tijd neemt de uitgroeiduur van de vruchten duidelijk toe van 9 dagen begin augustus tot ca. 30 dagen aan het einde van de teelt (Figuur 11A).

In Tabel 6 staan de productiegegevens van de zomerteelt en in Figuur 11B en Figuur 12A en B is resp. het aantal geoogste kilo's, aantal vruchten en het gemiddeld vruchtgewicht per week weergegeven.

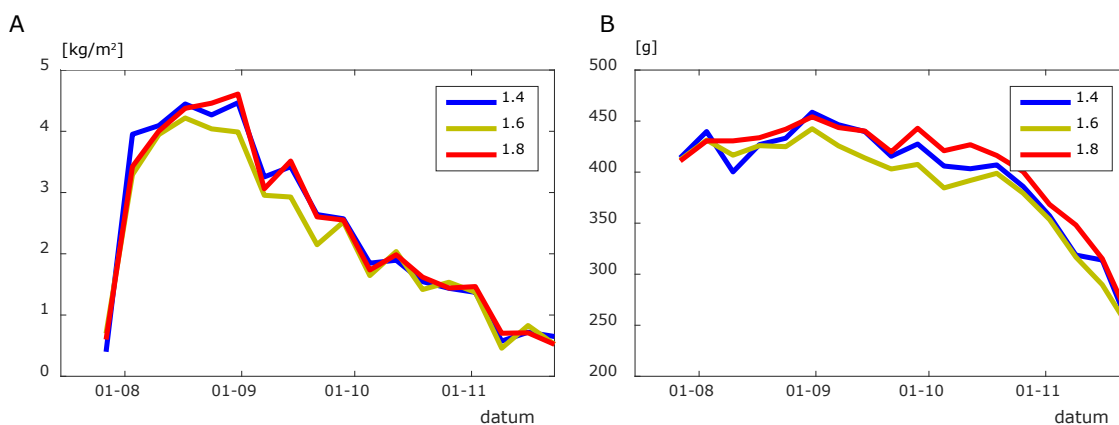
Tabel 6

Het totaal aan geoogst gewicht, totaal aantal vruchten en het gemiddeld vruchtgewicht bij de 3 padbreedtes in de zomerteelt.

Padbreedte (m)	Totaal geoogst gewicht (kg/m ²)	Totaal aantal vruchten (#/m ²)	Gemiddeld vruchtgewicht (g)
1.4	43.6	104.9	415
1.6	40.6	100.2	405
1.8	43.3	102.3	424

Evenals in de winterenteelt blijft de padbreedte van 1.6 m wat achter in productie, in dit geval zowel in stuks, gemiddeld vruchtgewicht als in kilo's. Bij 1.8 m zijn de vruchten het zwaarst en bij 1.4 m worden de meeste vruchten geoogst. De padbreedte van 1.4 en 1.8 verschillen niet in kiloproductie.

In augustus worden er wekelijks ongeveer 10 vruchten/m² geoogst (Figuur 11B). In de volgende maanden neemt dit duidelijk af tot ca. 2 vruchten/m² in november. De verschillen in stuks tussen de 3 behandelingen zijn gering.



Figuur 12 De totaal oogstgewicht per week bij de 3 padbreedtes in de winterteelt (A) en het gemiddeld vruchtgewicht per week bij de 3 padbreedtes (B).

Een aantal weken wordt er meer dan 4 kg/m² geoogst (Figuur 12A). De padbreedte van 1.6 m blijft een aantal weken achterelkaar wat achter in kiloproductie. Later loopt de productie in kilo's bij de verschillende behandelingen praktisch gelijk.

Vrijwel elke week is het vruchtgewicht bij de padbreedte van 1.6 m lager dan bij de andere padbreedtes (Figuur 12B). Bij 1.8 m ligt deze meestal het hoogst.

4.2.3 Product kwaliteit

Het percentage binnenland was in beide teelten erg gering en er waren geen duidelijke verschillen tussen de behandelingen. In percentage van aantal stuks lag dit op 0.4 tot 0.7%. Er zijn geen bewaarproeven uitgevoerd.

4.3 Modelmatige analyse (INTKAM)

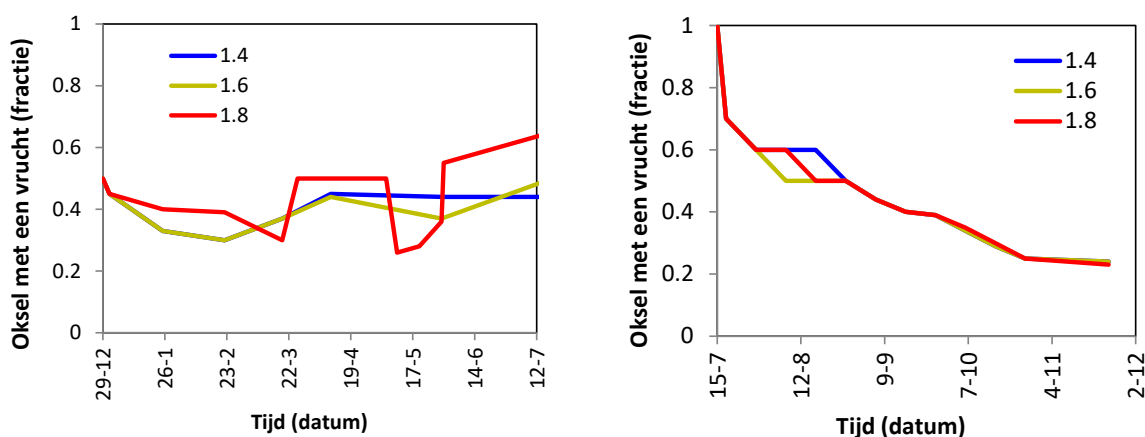
De ontwikkeling, groei en productie zijn geanalyseerd met het INTKAM gewasgroeimodel. Dit model is in het verleden ontwikkeld voor een paraplueteelt van komkommer (Gijzen, 1994), en is omgezet naar een hogedraadteelt (Elings *et al.* 2017, in voorbereiding). Dit biedt de mogelijkheid om andere processen dan de gemeten processen bij de analyse te betrekken en zo een beter begrip te krijgen van de experimentele resultaten. Omdat in dit experiment alleen de vruchtproductie is gemeten, kon het model niet geparаметeriseerd worden op basis van gewaswaarnemingen van dit experiment. Maar in het project 'bladpluk komkommer' (2016) (Elings *et al.* 2017, in voorbereiding) zijn uitgebreide gewaswaarnemingen gedaan (ontwikkeling oksels, zetting, oogst) en deze parameterisatie is gebruikt om de 2 teelten na te rekenen. De gemeten klimaatgegevens in de proeven zijn gebruikt als input voor het model. De ontwikkeling van LAI is niet gemeten; daarom is er een aanname gedaan voor LAI ontwikkeling tijdens de teelt (opbouw naar LAI 3.5 en lichte terugval naar LAI 2.9 na toppen) en deze was gelijk voor de 3 padbreedtes. Bij de modelberekeningen is voor de 3 padbreedtes gerekend met eenzelfde plantdichtheid van 1.7 planten m⁻² en dezelfde LAI, maar met verschillende extinctie coëfficiënten voor diffuus licht (Tabel 1) berekend door het 3D gewasmodel, dat gebruik maakt van een gedetailleerde gewasarchitectuur. De extinctiecoëfficiënt is een maat voor de lichtabsorptie van boven naar beneden door het gewas en is afhankelijk van de gewasstructuur. Bij een smaller pad wordt er meer licht opgevangen door het gewas en bij een breder pad valt er meer licht op het pad.

Het periodiek aantal geoogste vruchten is gebruikt om in INTKAM het aantal aangehouden bloemetjes per oksel als 'input' in te geven uitgedrukt als fractie (2 bloemetjes per oksel is fractie 1). Hierbij is er vanuit gegaan dat er geen abortie is opgetreden.

In Figuur 13 is de fractie van het aantal bloemen per oksel weergegeven voor de winterteelt en de zomerteelt.

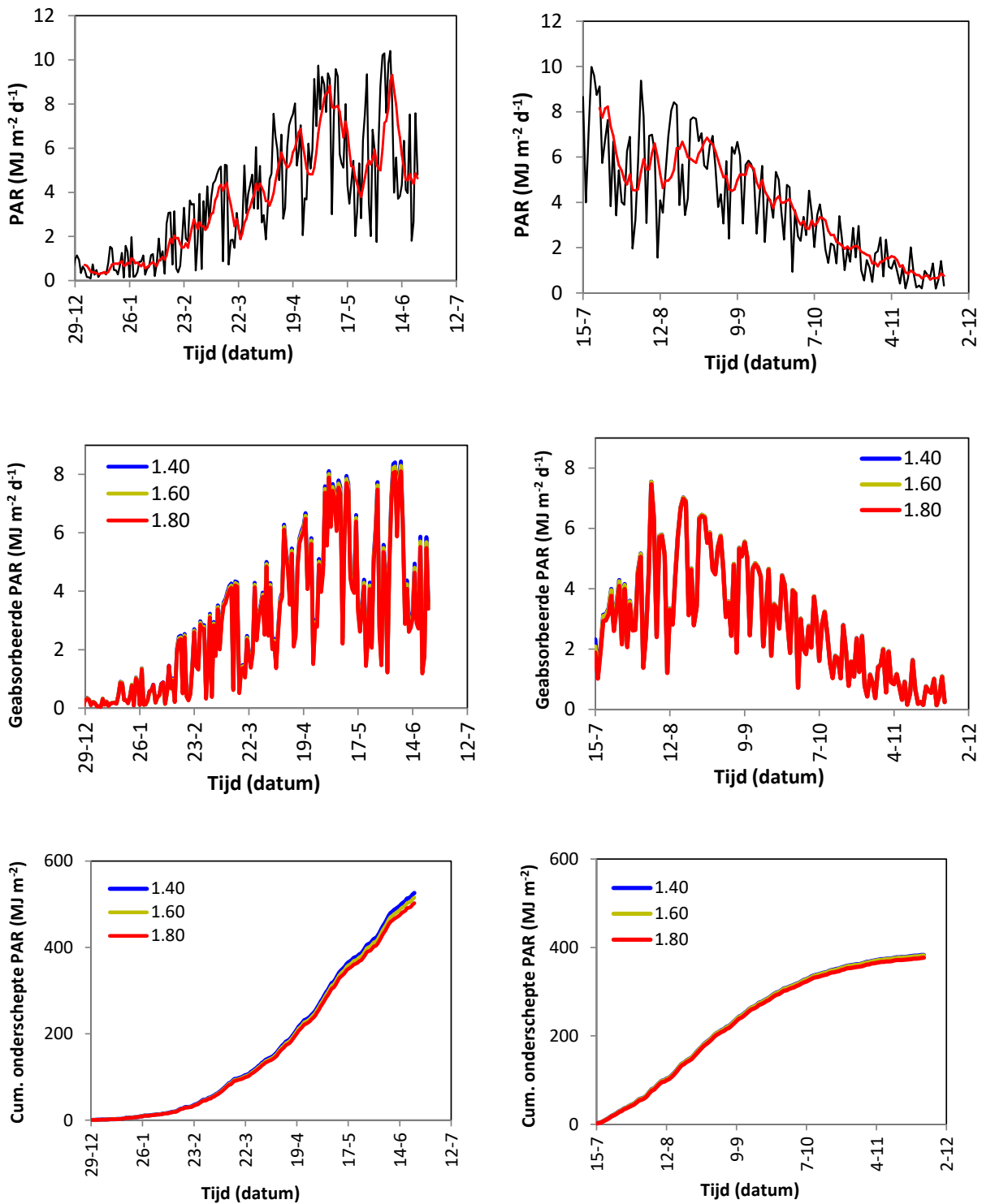
In de winterteelt zijn er meer fluctuaties in de fractie oksels die resulteert in vruchten voor de 1.80 m padbreedte vergeleken met de andere 2 padbreedtes. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Voor de winterteelt is de gemiddelde fractie oksels met vruchten voor de padbreedtes 1.40 en 1.80 m 39% en voor de middelste padbreedte 38% en daarmee iets lager. Dit zijn opmerkelijk lage percentages, omdat er gestreefd is 50% van de bloemetjes aan te houden. Alle padbreedtes zijn op dezelfde manier 'gedund'. Maar blijkbaar heeft dit toch geresulteerd in verschillende vruchtaantallen. De oorzaak kan liggen in het feit dat er abortie optreedt (nog voor het dunnen), soms in een heel vroeg stadium, soms in een later stadium.

In de zomer is in alle teelten gestart met het aanhouden van 2 bloemen per oksel (fractie=1). Gedurende de teelt neemt de fractie af naar 24%. Het aantal oksels met vruchten was voor de 3 padbreedtes nagenoeg gelijk; alleen in augustus is er gedurende 3 weken een andere fractie vruchten uitgegroeid. Bij een padbreedte van 1.60 m is er een fractie van 50% bloemen uitgegroeid tot vrucht en bij de andere padbreedtes 60% (Figuur 13). Voor de zomerteelt is de gemiddelde fractie oksels met vruchten voor de padbreedtes 1.40, 1.60 en 1.80 m respectievelijk 49%, 47% en 48%. Dus voor zowel de winter- als de zomerteelt was de fractie oksels met vruchten iets lager bij de middelste padbreedte van 1.60 m.



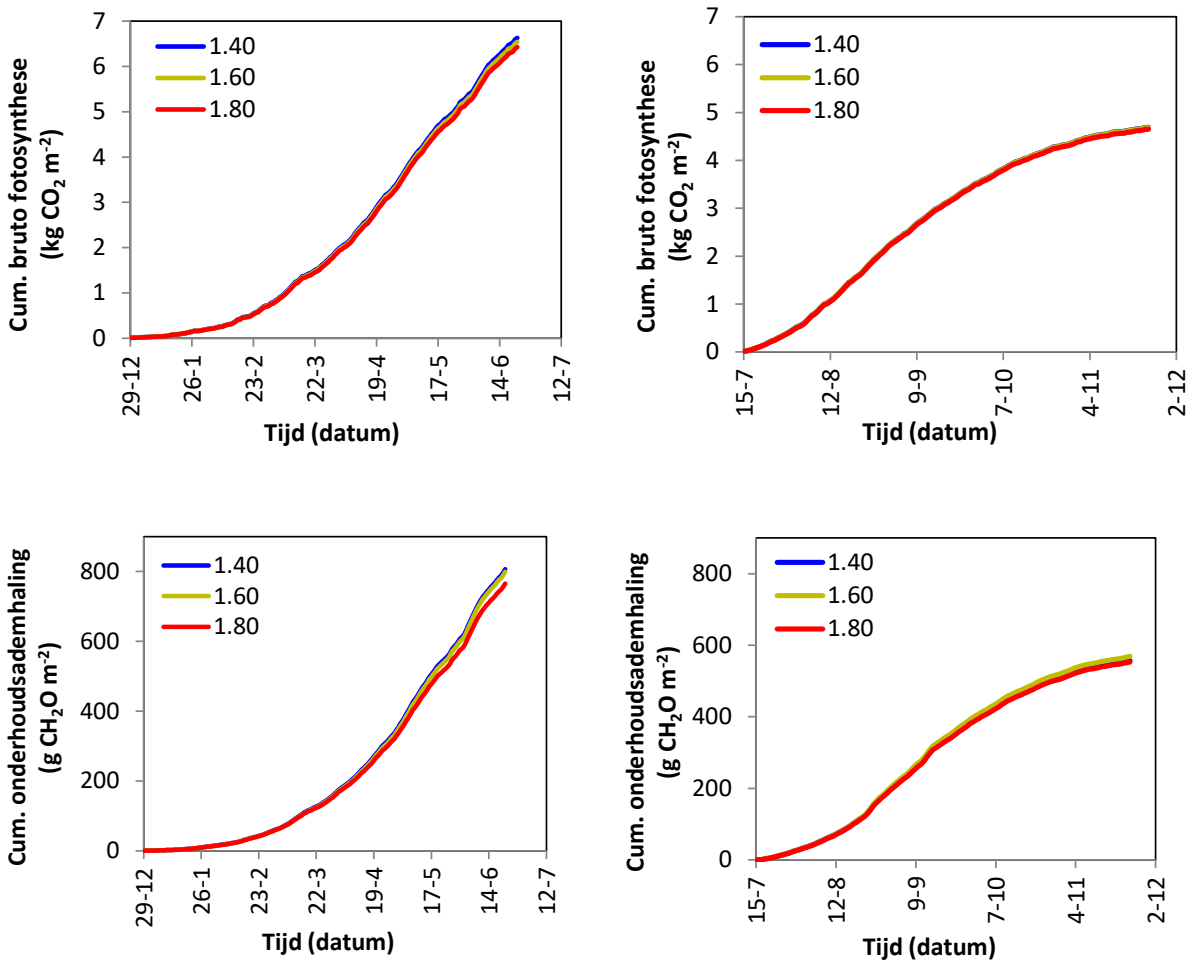
Figuur 13 Het aandeel oksels dat uiteindelijk in een vrucht resulteert in de winterteelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

Het verloop van de hoeveelheid PAR in de kas was verschillend voor beide teelten en volgde de seizoenen. In de winterteelt was de hoeveelheid licht bij de start laag ($1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en nam toe tot $30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ met een behoorlijke 'dip' eind mei en half juni (Figuur 14). In de zomerteelt is het verloop precies andersom waarbij de lichtsom laag was in de laatste weken van de teelt. De onderschepte PAR wordt bepaald door de hoeveelheid PAR in de kas, de LAI en de extinctiecoëfficiënt van het gewas. De hoeveelheid PAR in de kas en de LAI waren gelijk voor de 3 padbreedtes dus een eventueel verschil in onderschepte PAR kan alleen veroorzaakt zijn door verschillende extinctie coëfficiënten. Cumulatief werd er meer PAR onderschept bij padbreedte van 1.40 m vergeleken met de andere 2 padbreedtes bij beide teelten door een hogere extinctie coëfficiënt. Cumulatieve resultaten van de simulaties, waaronder cumulatief onderschepte PAR, zijn in Tabel 7 samengevat.



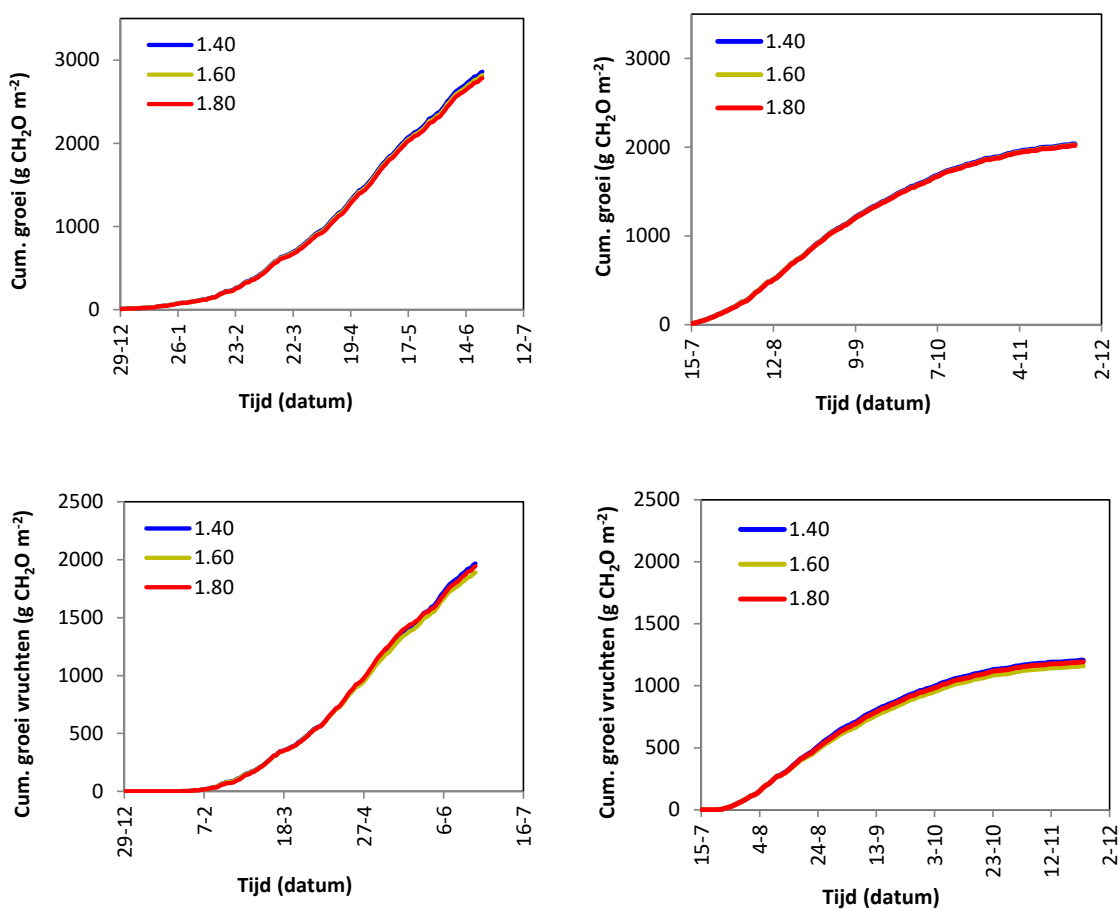
Figuur 14 Dagelijkse hoeveelheid PAR (met voortschrijdend gemiddelde) en onderschepte PAR in de winter-teelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

De cumulatieve bruto fotosynthese is het hoogst bij een padbreedte van 1.40 m voor beide teelten (Figuur 15 en Tabel 8). Dit is te verklaren door een hogere cumulatieve lichtonderschepping. De onderhoudsademhaling is ook hoger bij een padbreedte van 1.40 m bij de winterteelt. Dit is het gevolg van het hogere totaalgewicht van deze behandeling. De onderhoudsademhaling is afhankelijk van de hoeveelheid plantmateriaal dat onderhouden moet worden. Hierbij draagt het vegetatieve gedeelte van het plantmateriaal meer bij aan de onderhoudsademhaling, omdat de stengel in de loop van de tijd veel gewicht heeft. De onderhoudsademhaling is bij een padbreedte van 1.80 m in de winterteelt duidelijk lager (Figuur 15). Dat wordt veroorzaakt door een lager vegetatief drooggewicht als gevolg van de lagere groei (data niet gepresenteerd). In de zomerteelt is de onderhoudsademhaling het hoogst bij een padbreedte van 1.60 m wat verklaard kan worden door het hoge vegetatieve drooggewicht (data niet gepresenteerd).



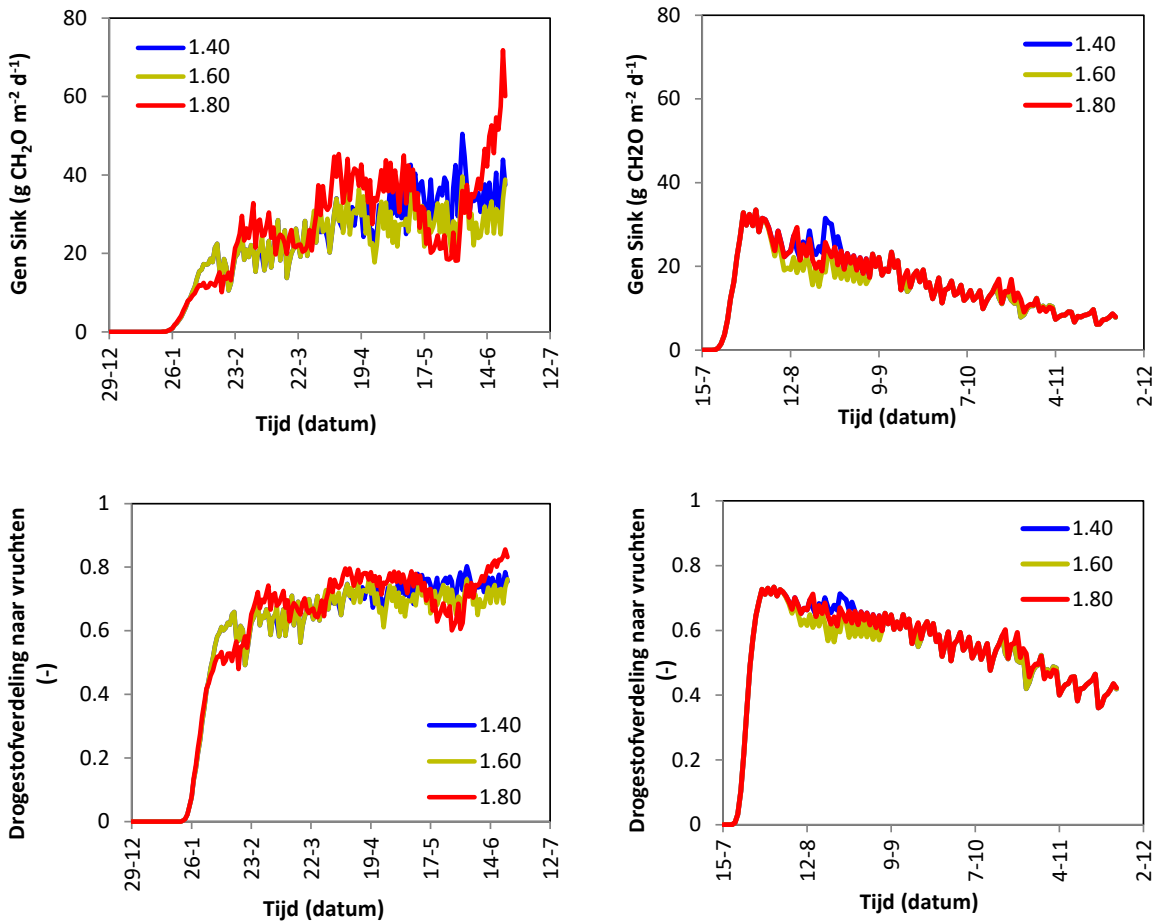
Figuur 15 Cumulatieve bruto fotosynthese en cumulatieve onderhoudsademhaling in de winterteelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

De netto groei van het gewas wordt berekend op basis van de dagelijkse bruto beschikbaarheid van assimilaten minus de onderhoudsademhaling. De cumulatieve netto groei is bij beide teelten het hoogst bij een padbreedte van 1.40 m gevolgd door die bij een padbreedte van respectievelijk 1.60 m en 1.80 m (Figuur 16 en Tabel 8). Deze hogere cumulatieve groei voor het gewas is logisch (er zijn meer assimilaten gevormd), maar dat dit ook tot een hogere vruchtproductie leidt is niet vanzelfsprekend. In Figuur 16 is te zien dat de cumulatieve groei van de vruchten het hoogst is bij een padbreedte van 1.40 m. De cumulatieve groei van de vruchten is echter niet het laagst bij een padbreedte van 1.80 m, maar bij een padbreedte van 1.60 m bij beide teelten. De drogestofverdeling van de assimilaten tussen de verschillende organen van de plant speelt hierbij een cruciale rol. De drogestofverdeling wordt bepaald door de sinksterkte van de verschillende organen. De generatieve sinksterkte is in de winterteelt duidelijk hoger gedurende 3 momenten voor padbreedte 1.80 m dan bij de andere 2 padbreedtes (Figuur 17), waardoor er meer drogestof naar de vruchten wordt getransporteerd. De generatieve sinksterkte wordt onder andere bepaald door het aantal vruchten. Bij een padbreedte van 1.60 m is de generatieve sinksterkte vooral in de tweede helft van de winterteelt het laagst. Er zullen dus minder assimilaten naar de vruchten getransporteerd worden.



Figuur 16 Cumulatieve groei en groei van de vruchten (drogestof) in de winterteelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

In de zomerteelt is de generatieve sinksterkte in de laatste week van augustus het hoogst bij een padbreedte van 1.40 m. Bij de middelste padbreedte van 1.60 m is de generatieve sinksterkte over een periode van 3 weken in augustus lager dan bij de andere 2 padbreedtes, wat leidt tot een lagere drogestofverdeling naar de vruchten.



Figuur 17 Generatieve sinksterkte en drogestofverdeling naar de vruchten in de winterteelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

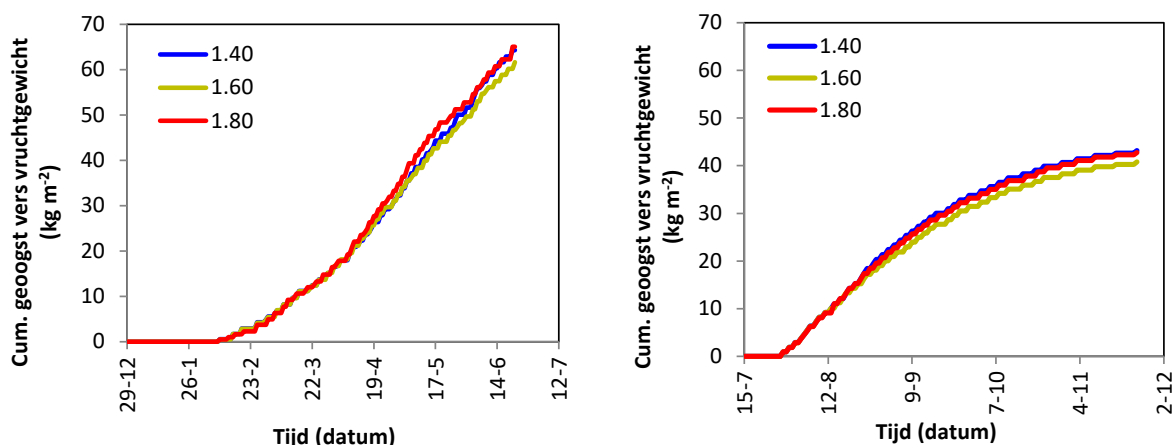
Tabel 7

Simulatie resultaten (INTKAM) bij de 3 padbreedtes in 2 teelten.

Teelt	Parameter (cumulatief)	1.40 m	1.60 m	1.80 m
Winterteelt	Onderschepte PAR (MJ m ⁻²)	526	515	503
	Bruto fotosynthese (kg CO ₂ m ⁻²)	6.63	6.54	6.43
	Onderhoudsademhaling (g CH ₂ O m ⁻²)	807	799	765
	Netto groei gewas (g CH ₂ O m ⁻²)	2861	2819	2783
	Vruchtgroei (g droog CH ₂ O m ⁻²)	1968	1890	1944
	Aantal vruchten (m ⁻² ; gesimuleerd)	152.0	145.3	150.3
Zomerteelt	Onderschepte PAR (MJ m ⁻²)	383	382	377
	Bruto fotosynthese (kg CO ₂ m ⁻²)	4.69	4.68	4.65
	Onderhoudsademhaling (g CH ₂ O m ⁻²)	557	568	553
	Netto groei gewas (g CH ₂ O m ⁻²)	2038	2025	2020
	Vruchtgroei (g droog CH ₂ O m ⁻²)	1206	1161	1192
	Aantal vruchten (m ⁻² ; gesimuleerd)	105.6	101.3	103.5

Samengevat is voor zowel de winter- als de zomerteelt de cumulatieve groei van het gewas het grootst bij een padbreedte van 1.40 m, gevolgd door de cumulatieve groei bij padbreedtes van respectievelijk 1.60 m en 1.80 m. Maar door een lagere generatieve sinksterkte bij een padbreedte van 1.60 m vergeleken met de andere padbreedtes wordt er relatief minder drogestof naar de vruchten getransporteerd wat leidt tot een lagere vruchtproductie (drooggewicht). Het is niet te verwachten dat er teveel gedund is in de 1.60 behandeling. In het geval dat de plant niet meer aangekund zou kunnen hebben, zouden de gewasverzorgers uit voorzorg wat minder vruchten aangehouden hebben. Dit is echter niet met waarnemingen te onderschrijven.

Het gesimuleerde geogoste cumulatieve versgewicht van de vruchten is voor beide teelten het hoogst voor de padbreedtes 1.40 en 1.80 m en het laagst voor een padbreedte van 1.60 m (Figuur 18 en Tabel 8). Uit de Tabel blijkt dat de waarnemingen en simulaties door INTKAM goed overeenkomen.



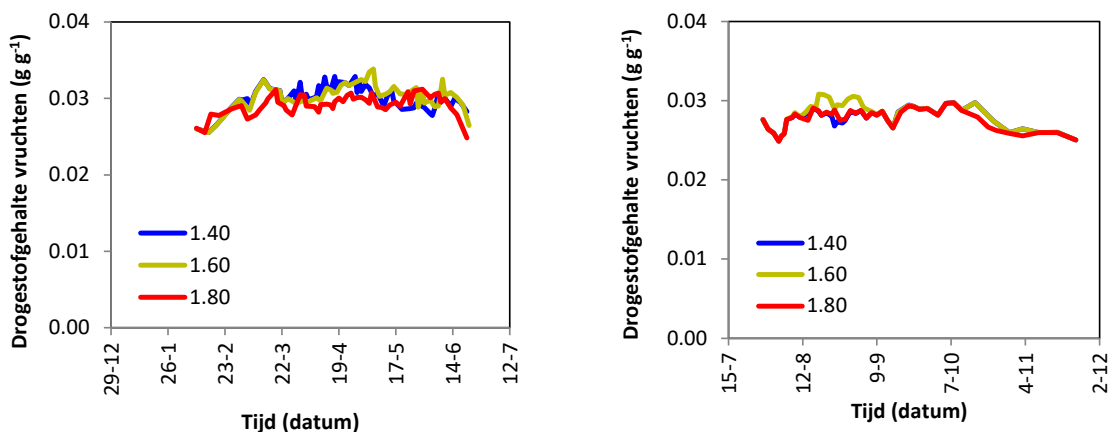
Figuur 18 Cumulatief versgewicht geogoste vruchten in de winterteelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

Tabel 8

Het waargenomen en gesimuleerd geogost gewicht, totaal aantal vruchten en het gemiddeld vruchtgewicht bij de 3 padbreedtes in 2 teelten.

Padbreedte (m)	Versproductie (kg m ⁻²)		Aantal vruchten (# m ⁻¹)		Gemiddeld vers vruchtgewicht (g vrucht ⁻¹)	
	Waargenomen	Gesimuleerd	Waargenomen	Gesimuleerd	Waargenomen	Gesimuleerd
Winterteelt						
1.4	64.7	64.3	153.0	152.0	423	423
1.6	62.2	61.6	146.3	145.3	425	424
1.8	65.5	65.1	151.4	150.3	433	433
Zomerteelt						
1.4	43.6	43.2	104.9	105.6	415	408
1.6	40.6	40.8	100.2	101.3	405	403
1.8	43.3	42.8	102.3	103.5	424	413

In Figuur 18 is te zien dat de productie bij een padbreedte van 1.80 m in sommige perioden hoger is dan 1.40 m, wat niet verklaard kan worden op basis van netto fotosynthese en drogestofverdeling. Niet alleen drogestofverdeling speelt een rol in de uiteindelijke productie, ook het drogestofgehalte van de vruchten bepaalt de uiteindelijke productie in kg versproduct m^{-2} . Het drogestofgehalte van vruchten is afhankelijk van fysiologische leeftijd, etmaaltemperatuur, gewicht en source-sink verhouding (Marcelis, 1994). Omdat de vruchten bij een padbreedte van 1.80 m iets zwaarder waren bij oogsten (Tabel 7) zal dit tot een lager drogestofgehalte leiden. Uit analyse met INTKAM blijkt dat het drogestofgehalte van de vruchten in sommige perioden van de teelt lager is (meer water per vrucht, zie Figuur 19) wat uiteindelijk resulteert in een iets hogere cumulatieve productie van $65.1 \text{ kg } m^{-2}$ bij een padbreedte van 1.80 m dan een padbreedte van 1.40 m met $64.3 \text{ kg } m^{-2}$ (gesimuleerd).



Figuur 19 Drogestofgehalte van de geoogste vruchten in de winterteelt (links) en de zomerteelt (rechts) bij 3 padbreedtes van 1.40, 1.60 en 1.80 meter.

Het is opvallend dat bij beide teelten de middelste padbreedte van 1.60 m de laagste productie heeft, zowel gemeten als gesimuleerd.

De analyse met INTKAM heeft laten zien dat een padbreedte van 1.40 m het meest gunstig is voor lichtonderschepping (hoogste extinctie coëfficiënt), fotosynthese en cumulatieve groei van het gewas, gevolgd door padbreedtes van 1.60 en 1.80 m. Dit is voor beide teelten aangetoond. Maar de uiteindelijke productie wordt bepaald door de drogestofverdeling tussen vegetatieve en generatieve (vruchten) delen van het gewas. De generatieve sinksterkte was bij beide teelten het laagst voor de middelste padbreedte van 1.60 m (Figuur 17), door de aanwezigheid van minder vruchten, waardoor er relatief minder drogestof naar de vruchten is gegaan. Dit leidde uiteindelijk tot de laagste productie voor de middelste padbreedte van 1.60 m. Waarom er dan minder vruchten waren is onduidelijk. Vanuit gewaswerkzaamheden is in alle behandelingen een gelijke vruchtdunning strategie aangehouden.

5 Klimaat- en energieperformance van het winterlichtgewasconcept

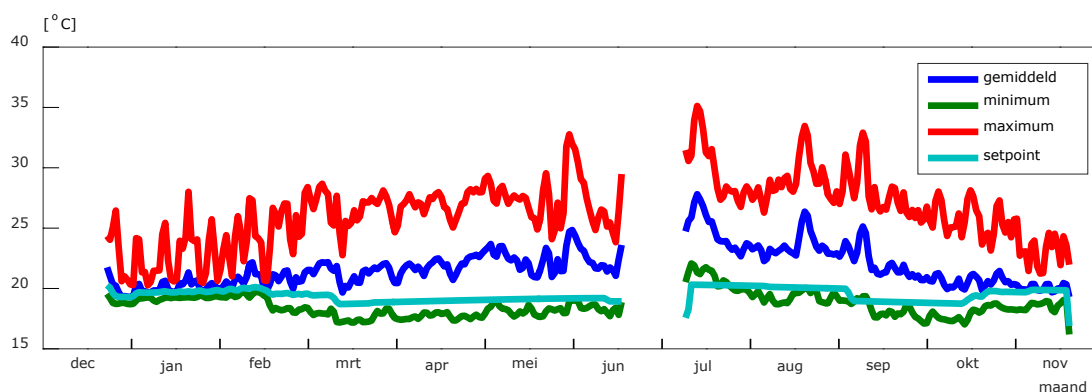
5.1 Kasklimaat en energieperformance

Het teeltjaar 2016 is er geen referentiekas en -gewas aanwezig geweest. Voor een klimaat- en energievergelijk met de praktijk is teruggevallen op enkele hogedraadtelers.

5.1.1 Kasluchttemperatuur, luchtvochtigheid en CO₂-concentratie

De toepassing van de teeltstrategie die rond Het Nieuwe Telen is ontwikkeld, betekent dat er op de meeste dagen een groot verschil is tussen de minimale en maximale temperatuur. Door een grote temperatuurrange toe te staan kan een hoge etmaaltemperatuur worden gerealiseerd met maximale gebruikmaking van het zonlicht. Door de stooklijn laag te leggen en de ventilatielijn hoog, wordt 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 minimumraaminstelling. Als er in overleg met de BCO toch "actiever" geteeld moest worden, is ervoor gekozen dit middels de buitenluchtaanzuiging te realiseren. Vanaf medio mei is er dan een minimumventilatorstand (25%) ingesteld. Afhankelijk van de vochtcondities in de kas is er alleen kaslucht gerecirculeerd of in het geval van ontvochtigingsvraag ook buitenlucht aangezogen en naverwarmd. Deze naverwarming is altijd gestuurd op 1 °C boven de gemeten kasluchttemperatuur.

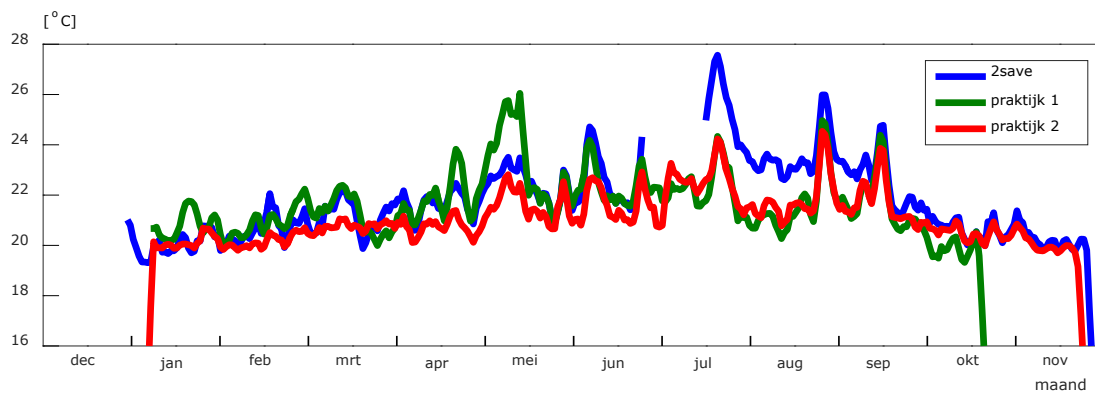
In Figuur 20 is het verloop van de gemiddelde, minimale en maximale kasluchttemperatuur en het gemiddelde setpoint verwarmen in de kas tijdens de teelt getoond. Omdat er van eind 24 juni t/m 15 juli geen gewas is geteeld, zijn deze data uit de Figuur achterwege gelaten.



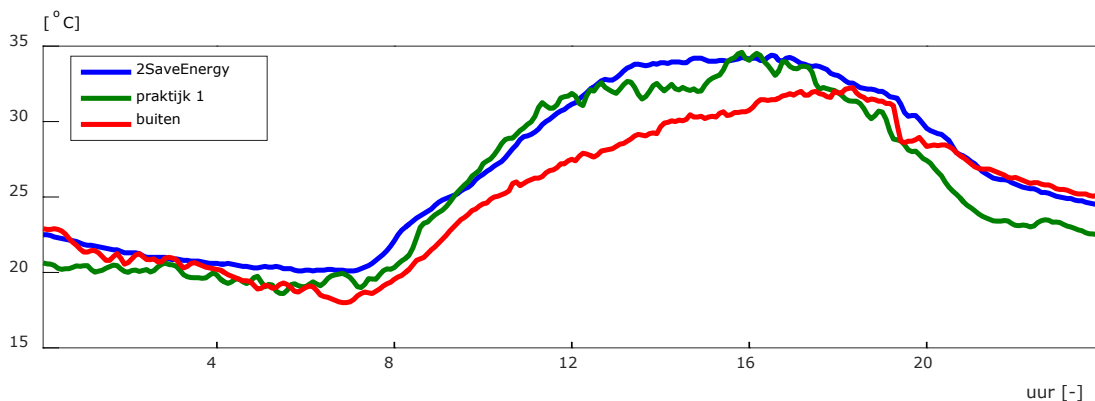
Figuur 20 Verloop van de daggemiddelde, dag minimum en dag maximum kasluchttemperatuur en het gemiddelde setpoint verwarmen in de kas tijdens de teelt, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 2 dagen.

In Figuur 20 valt direct de hoge piek (ruim 35 °C) rond 19 en 20 juli op, dagen waarin de buitentemperatuur ook tot respectievelijk 30 en 32 graden opliep met stralingssommen van rond de 2800 J/cm². Die dagen stond er nog een relatief klein gewas van de tweede planting wat de koelcapaciteit van de kas door het gewas beperkte. De praktijkbedrijven hadden op die dagen al een wat groter gewas staan waardoor daar de kasluchttemperatuur een stuk lager bleef. In Figuur 21 is van de proefkas en van beide praktijkbedrijven de etmaaltemperatuur getoond.

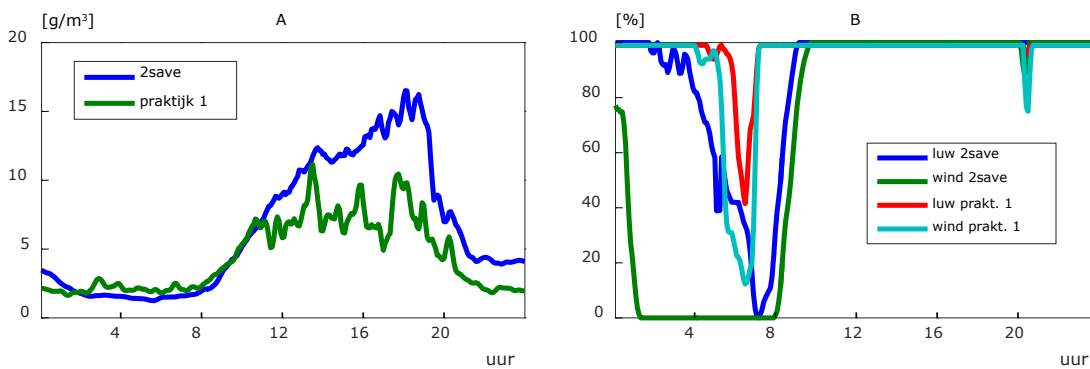
Door de verschillende data waarop de teelten zijn gestart en beëindigd lopen de lijnen niet altijd synchroon. Praktijkbedrijf 2 laat over het algemeen, maar juist ook op de warme dagen een wat lagere kasluchttemperatuur zien. Dat zal ongetwijfeld met de geografische locaties van beide bedrijven te maken hebben. Praktijkbedrijf 1 is op slechts enkele kilometers van de 2SaveEnergy kas gesitueerd waar praktijkbedrijf 2 op slechts enkele kilometers van de kust ligt. In de eerste weken van de zomerteelt is er in de 2SaveEnergy kas duidelijk warmer geteeld dan op de praktijkbedrijven. Gedeeltelijk is dat het gevolg van de latere planting met het kleine gewas zoals eerder beschreven. Ook rond 25 augustus is er een warme periode. Het gerealiseerde klimaat van 25 augustus in de 2SaveEnergy kas en op praktijkbedrijf 1 is in Figuur 22 getoond. Opvallend daarbij is dat maximumtemperaturen gelijk zijn maar dat de 2SaveEnergy kas gemiddeld gesproken vrijwel 1°C hogere etmaaltemperatuur heeft 26.8 om 25.7 bij een buitenetmaal van 25.2°C. In de nacht en vroege ochtend is het verschil nog te verklaren uit verschillende ventilatiestrategieën (Figuur 23B) maar overdag en in de avond staan bij beiden de ramen volledig open. Een verklaring voor de verschillende kasluchttemperaturen in de namiddag en avond ligt mogelijk in het verschillend gerealiseerde vochtdeficiet (Figuur 23A). In de 2SaveEnergykas is het veel droger wat aangeeft dat de verdampings- en koelcapaciteit van het gewas in de 2SaveEnergy kas op dat moment een beperkende factor was.



Figuur 21 Verloop van de etmaaltemperatuur van de 2SaveEnergy kas en de twee praktijkbedrijven, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 2 dagen.

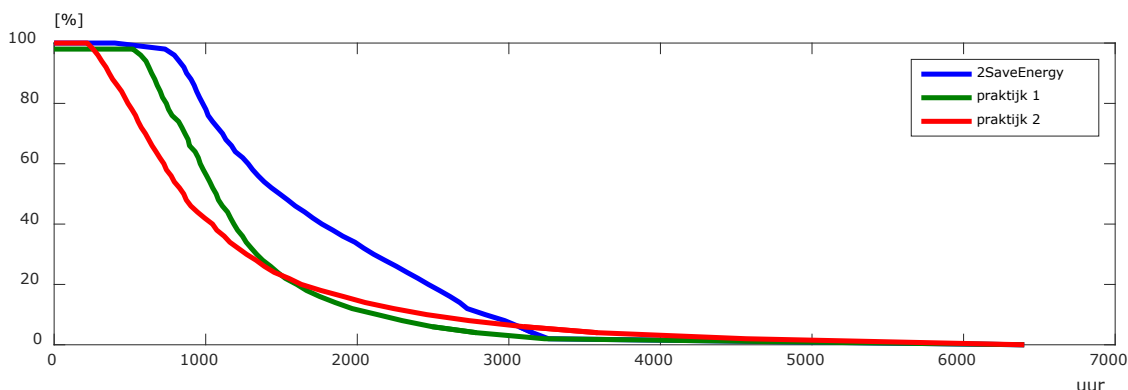


Figuur 22 Verloop van de buitentemperatuur en de kasluchttemperatuur van de 2SaveEnergy kas en praktijkbedrijf 1 op 25 augustus.



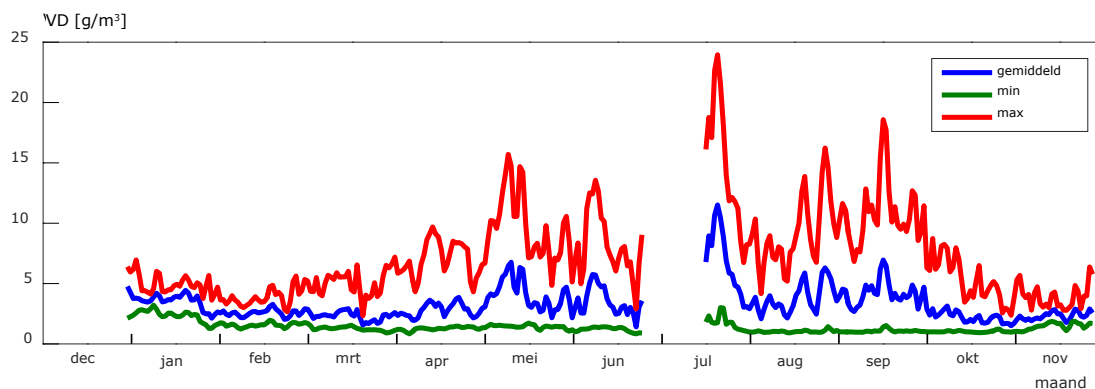
Figuur 23 Verloop van het vochtdeficiet (A) en de raamstanden van de luwe en windzijde (B) van de 2SaveEnergy kas en praktijkbedrijf 1 op 25 augustus.

Door keuzes bij de bouw van de 2SaveEnergy kas is de ventilatiecapaciteit enigszins beperkt. Dit kan versterkt worden door de doorlopende nokluchting waardoor de luchtstroom door de nok kan gaan maar juist weinig uitwisseling met het gewasdeel kan hebben. Een manier om duidelijk te maken of de ventilatiecapaciteit beperkt was, is te zien of de ramen de maximale raamstand hebben bereikt. Zo ja, dan was volgens de regeling meer ventilatie vereist. Op de uren dat de ramen niet volledig open gestuurd waren, was de ventilatiecapaciteit nog niet beperkend. In Figuur 24 is van de periode dat er op alle 3 de bedrijven geteeld, dan wel data voorhanden was, gekeken naar de raamstand en daar is een Jaarbelastingduurkromme van gemaakt van de luwe kant. In uren uitgedrukt waren de ramen meer dan 700 uur volledig geopend waar dat op de praktijkbedrijven beduidend minder was.



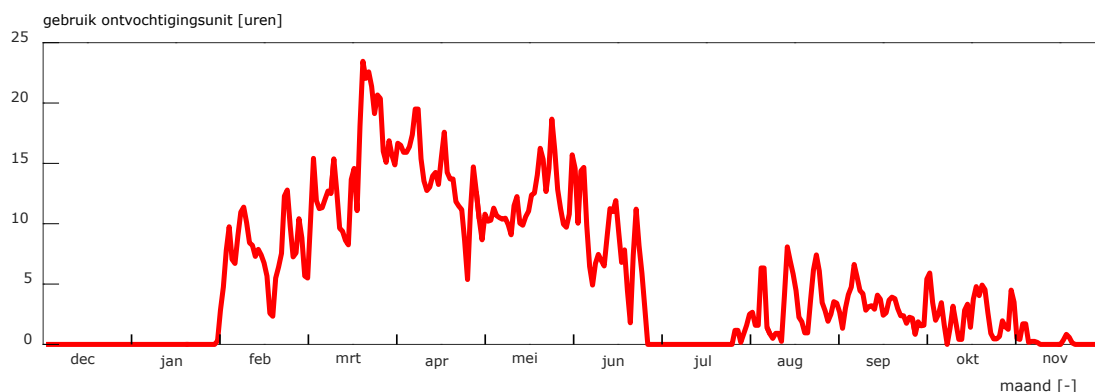
Figuur 24 Jaarbelastingduurkromme van de raamstand aan de luwe zijde van de 2saveEnergy kas en de beide praktijkbedrijven voor de uren dat op alle 3 de bedrijven geteeld dan wel data voorhanden was.

Onderdeel van het nieuwe telen is dat er ook wat vochtiger geteeld wordt. Daarvoor is in de regeling een minimaal VD van 1.5 g/m^3 ingesteld. Wel is op verzoek van de BCO in de nacht/vroeg ochtend "actiever" geteeld (meer verdamping stimuleren) en is vooral in de tweede helft van de winter teelt de unit wat meer ingezet met ook een hoger ingestelde capaciteit. Door deze manier van regelen is vrijwel iedere dag een minimale VD die in de kas bereikt van rond de 1 g/m^3 . Dit heeft nooit tot zichtbare negatieve effecten op het gewas, bijv. Botrytis, geleid. In Figuur 25 is het verloop van de daggemiddelde, dagminimum en dagmaximum VD in de kas tijdens de teelt getoond.



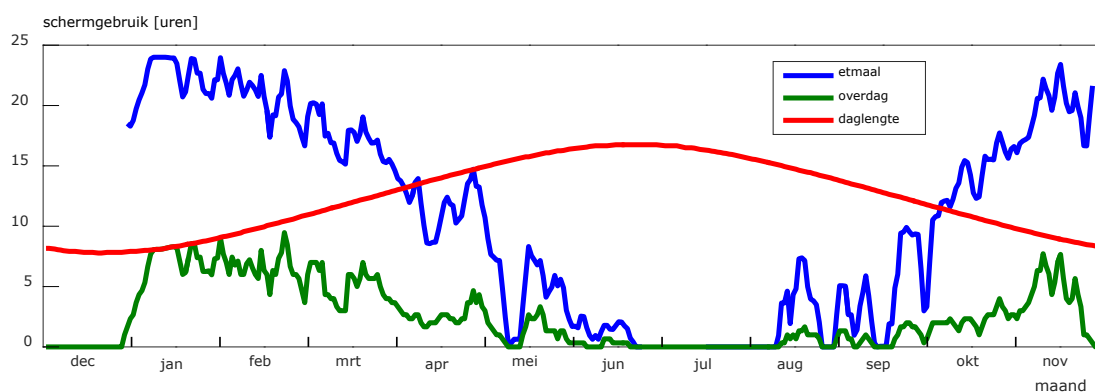
Figuur 25 Verloop van het daggemiddelde, dag minimum en dag maximum van de VD in de kas tijdens de teelt.

De LBK werd van de start van de teelt tot eind januari niet gebruikt. Naast een laag vochtsetpoint, zijn er nog 2 andere factoren die de gebruiksduur van de ontvochtigingsinstallatie beperken. In de winter en het voorjaar is het temperatuurverschil binnen – buiten groot waardoor er door condensatie op de gevel alsnog een behoorlijke ontvochtiging van de kas plaatsvindt. Daarnaast is er ingesteld dat bij een raamstand van meer dan 20% de unit ook wordt uitgeschakeld. Bij dergelijke raamopeningen is de luchtuitwisseling ten gevolge van de ventilatie al snel vele malen groter dan ooit met het systeem kan worden gerealiseerd. In Figuur 26 is het gebruik van de ontvochtigingsunit weergegeven. Tijdens de teelt is de unit 1967 uur ingezet.



Figuur 26 Inzet van de ontvochtigingsunit tijdens de teelt, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 2 dagen.

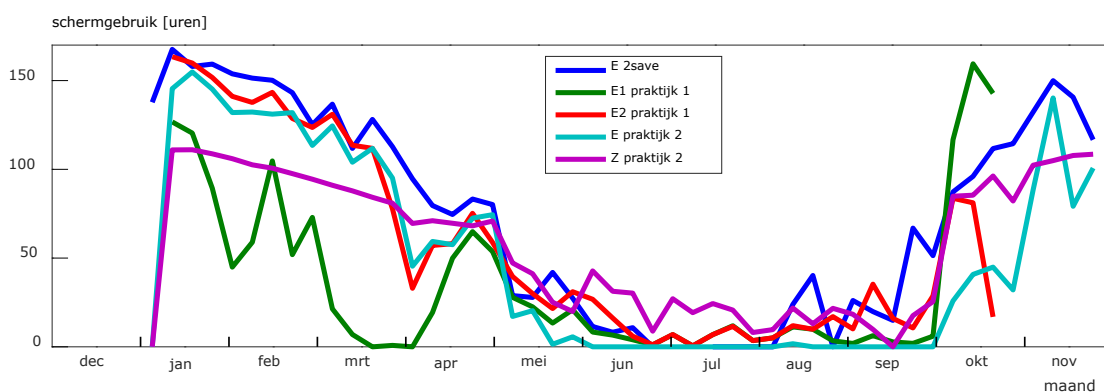
Naast vochtiger telen is intensief schermgebruik een ander belangrijk onderdeel van het nieuwe telen. De scherminstallatie bestaat uit één sturing met twee schermdoeken die met een spouwafstand van ca. 5 cm samen geopend en gesloten worden. In Figuur 27 is het schermgebruik tijdens de teelt opgesplitst naar totaal aantal uren en de uren tijdens de dagperiode getoond.



Figuur 27 Inzet van de schermen tijdens de teelt, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 2 dagen.

De Figuur laat zien dat er vrijwel het gehele jaar door geschermd wordt waardoor het totaal aantal schermen op 3554 komt. Bij intensief schermgebruik zal er afhankelijk van de buitencondities ook overdag geschermd worden. Dit is in Figuur 27 weergegeven met 'overdag' waarbij de randvoorwaarden zijn dat het scherm meer dan 50% gesloten moet zijn en dat de globale straling meer dan 20 W/m² is. Volgens deze methode wordt er dan nog 914 uur overdag geschermd. Het scherm is overdag niet ingezet om zonnestraling uit de kas te weren. Om de schermintensiteit overdag te tonen is ook de daglengte in de grafiek weergegeven.

Ook de praktijkbedrijven hebben veel geschermd hoewel het onderlinge vergelijk door de verschillende doeken die men heeft wat lastiger te maken is. Zowel praktijkbedrijf 1 als 2 hebben twee beweegbare schermdoeken. Bij praktijkbedrijf 1 zijn het twee energiedoeken RES 10 (de Ridder) welke vergelijkbaar zijn met Luxous 1347 doeken van LS. Praktijkbedrijf 2 heeft een energiedoek en een halfopen zomerdoek. In Figuur 28 zijn de schermen van de verschillende doeken per week getoond. Figuur 28 laat zien dat praktijkbedrijf 2 het zonnedoek ook in de winterperiode tijdens de nachturen consequent sluit.



Figuur 28 Inzet van de schermen tijdens de teelt per week in de 2SaveEnergy kas en op praktijkbedrijf 1 en 2.

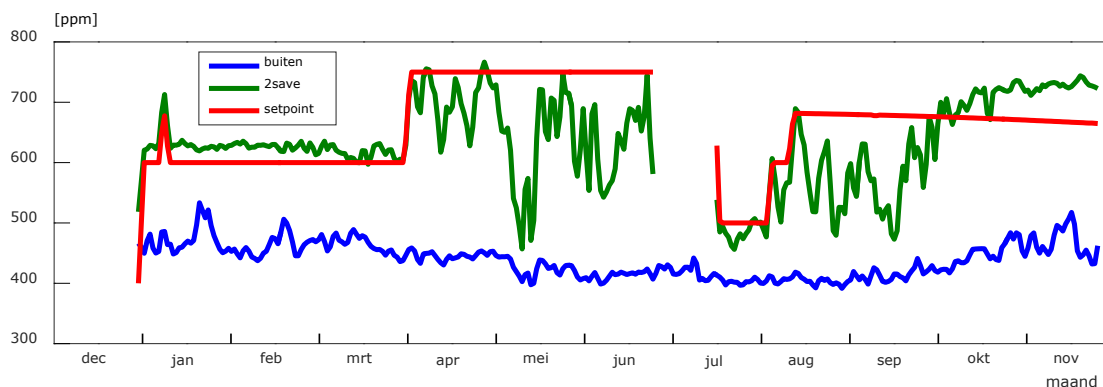
Het totaal aantal schermen, geteld dat in de periode dat er op alle 3 de bedrijven geteeld ofwel data voorhanden waren, zijn in Tabel 9 getoond en laat zien dat er in de 2SaveEnergy kas meer schermen zijn gemaakt dan op de praktijkbedrijven waarbij bedacht moet worden dat er altijd gelijk 2 schermen gesloten zijn.

Tabel 9

Schermuren in de 2SaveEnergy kas tijdens de teelt 2016 en bij de praktijkbedrijven.

bedrijf	scherm	schermuren
2SaveEnergy	Energiescherm	2565
Praktijk1	Energiescherm 1	2170
	Energiescherm 2	1232
Praktijk 2	Energiescherm	1849
	Zonnescherm	1952

De CO₂ wordt tijdens de lichtperiode verhoogd tot 600 á 750 ppm, afhankelijk van de teeltfase. In Figuur 29 is het setpoint CO₂, de gerealiseerde CO₂-concentratie tijdens de dagperiode in de kas en van buiten getoond. In de zomer zijn er dagen dat door de grote ventilatiebehoefte de gerealiseerde CO₂-concentratie in de kas amper boven de buitenconcentratie uitkomt ondanks de CO₂-dosering die was gemaximaliseerd op 120 kg/ha.uur.

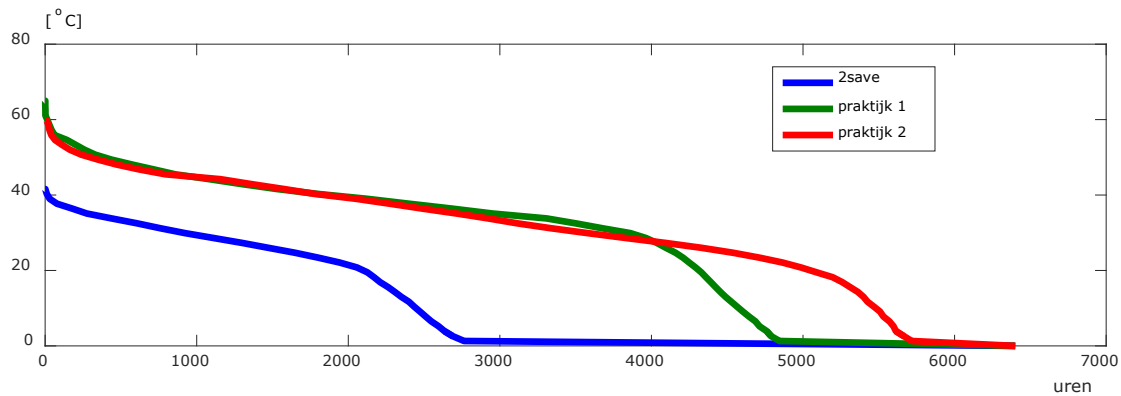


Figuur 29 Gemiddelde CO₂-concentratie van de kas en buitenlucht en het setpoint CO₂ tijdens de dagperiode, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 2 dagen.

In totaal is er deze teelt 20.6 kg CO₂ gedoseerd. In paragraaf 5.2. zal hier verder op worden ingegaan.

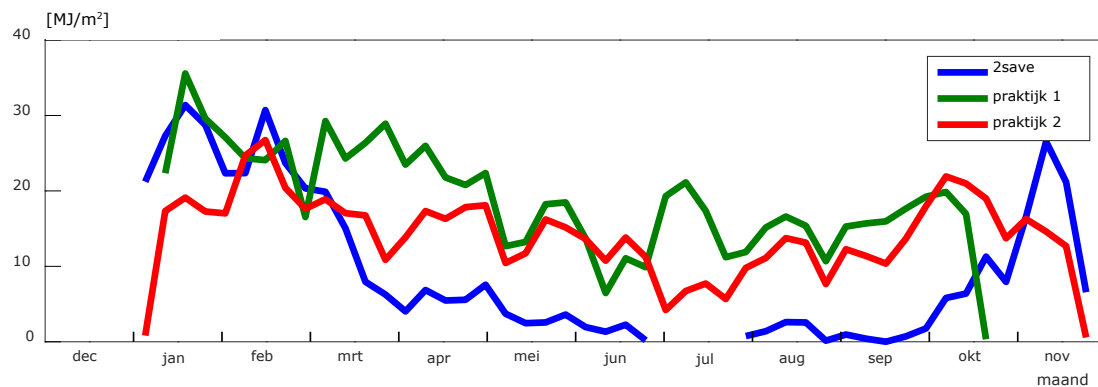
5.2 Energiehuishouding

De 2SaveEnergy kas wordt met een dubbel 51 mm buizenet verwarmd. Hierdoor kan de kas met relatief lage buistemperaturen verwarmd worden. In Figuur 30 is een jaarbelastingduurkromme van de berekende buistemperatuur van het buisrailnet van de 2SaveEnergy kas en de twee praktijkbedrijven getoond. Hierbij zijn alleen de uren in ogenschouw genomen dat er in alle 3 de teelten geteeld werd en data voorhanden waren. De praktijkbedrijven hebben ook nog additionele verwarmingsnetten. Deze teelt is de buistemperatuur slechts 40 uur boven de 40 °C berekend. De verwarming kan dus met recht een Lage Temperatuurverwarming genoemd worden.



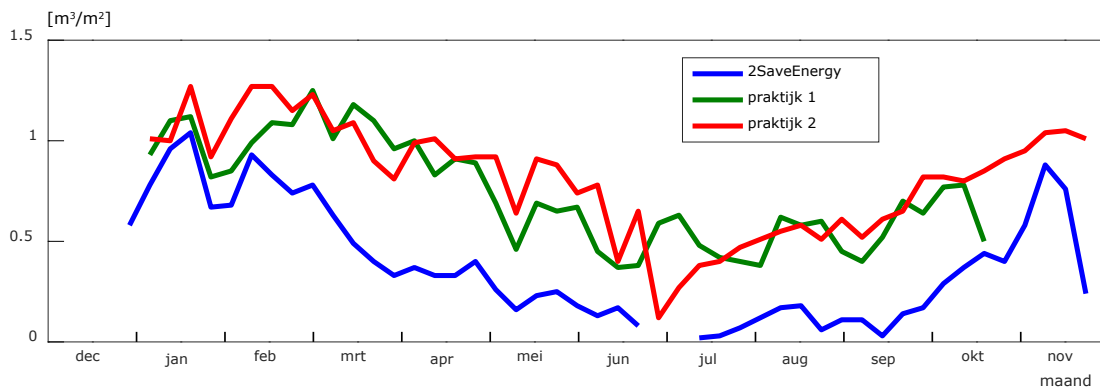
Figuur 30 Jaarbelastingduurkromme van de berekende verwarmingstemperatuur van het ondernet voor de uren dat op alle 3 de bedrijven geteeld dan wel data voorhanden was.

Figuur 30 laat zien dat er op de praktijkbedrijven veel meer uren gestookt is dan in de 2saveEnergy kas. Door de verschillen in omvang van de netten zegt de buistemperatuur nog weinig over de warmteafgifte van het verwarmingsnet. Voor de totale warmte-input zou dan ook nog de warmteafgifte van de additionele netten meegenomen moeten worden. Indicatief is aan de hand van de berekende buistemperaturen en de buisrailconfiguratie, het aantal buizen, buismaat en buistemperatuur ten opzichte van de gemeten kasluchttemperatuur een warmteafgifte van het buisrailnet berekend, Figuur 31. Let wel dit is niet de totale warmteafgifte, omdat geen rekening is gehouden met eventuele inzet van additionele netten. Het grote verschil in het aantal uren inzet van het ondernet zoals in Figuur 30 is getoond vertaalt zich naar een groot verschil in warmteafgifte die vooral tot uiting komt in de periode maart t/m oktober, Figuur 31.



Figuur 31 Berekende warmteafgifte van het ondernet voor de 2SaveEnergy kas en praktijkbedrijf 1 en 2.

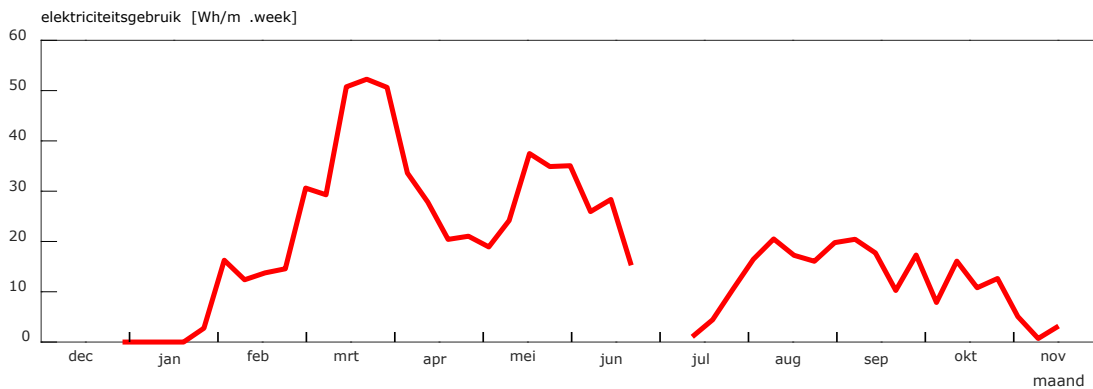
De LBK van de ontvochtigingsunit is niet primair ingezet om de kas te verwarmen. De LBK verwarming is gestuurd om de ingeblazen lucht 1 °C boven de kaslucht op te warmen. Samen met de beperkte hoeveelheid lucht die door het systeem wordt gestuurd, is de verwarmingscapaciteit hiervan klein. De energieinput van het verwarmingssysteem, samen met dat van de LBK en dat van de praktijkbedrijven is in Figuur 32 getoond. De naverwarming van de LBK heeft ongeveer 2.2 m³/m² gekost. Dit gebruik heeft dus maar beperkt bijgedragen aan het verwarmen van de kas maar was benodigd om het latente warmteverlies ten gevolge van de ontvochtiging op te heffen. Het totaalgebruik van de 2SaveEnergy kas voor dit teeltjaar is op 17.9 m³/m² uitgekomen.



Figuur 32 Het energiegebruik en de besparing van de 2SaveEnergy kas ten opzichte van de praktijk.

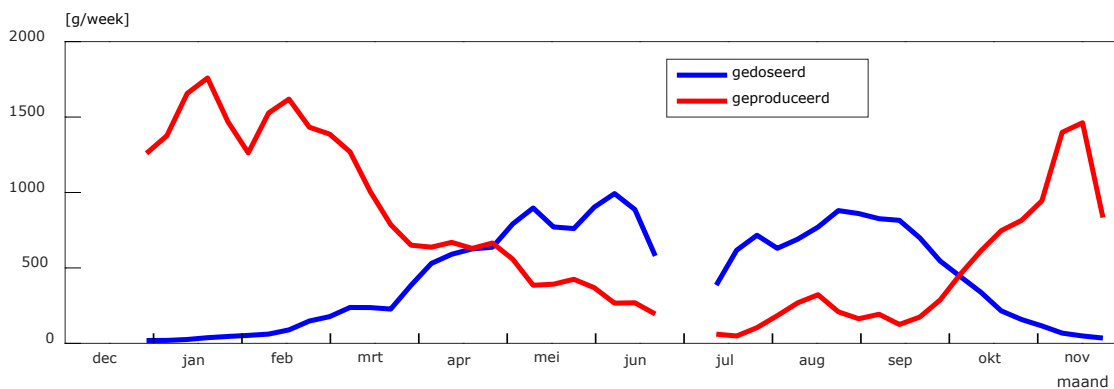
De prestaties van de 2SaveEnergy kas in vergelijking met de twee praktijkbedrijven is zonder meer goed te noemen.

De LBK is pas vanaf eind januari ingezet. Een deel van de ontvochtiging van de kas zal via de zijgevels zijn verlopen, wat het gebruik van de LBK verminderd heeft. Het is niet te kwantificeren hoeveel deze ontvochtiging via de zijgevels heeft bijgedragen aan de totale ontvochtiging van de kas. Het wekelijkse elektriciteitsgebruik hiervoor is in Figuur 33 getoond. De LBK heeft in totaal 0.8 kWh/m² gebruikt.



Figuur 33 Wekelijkse elektriciteitsgebruik van de LBK van de 2SaveEnergy kas.

Zoals in paragraaf 4.1 al besproken, is er in deze teelt 20.6 kg CO₂ gedoseerd. Bij een zo laag energiegebruik, met name in de zomerperiode wanneer de CO₂-vraag het hoogst is, zal er een grote mismatch zijn tussen aanbod van CO₂ als rookgas en de vraag naar CO₂, dat wat gedoseerd is. In Figuur 34 is deze mismatch op weekbasis weergegeven. Hoewel er op jaarbasis een overschot aan geproduceerde CO₂ (32.2) en gedoseerde CO₂ (20.6) is, is er toch sprake van een mismatch 10.2 kg CO₂. Deze zal dus van een andere CO₂ bron betrokken moeten worden.



Figuur 34 Gedoseerde en geproduceerde CO₂ in de 2SaveEnergy kas.

De bereikte besparing is zonder meer goed te noemen. Hierbij is het wel van belang 2 kanttekeningen te plaatsen. 1) de CO₂ mismatch van 10.2 kg (6 m³ gas) en 2) het niet/weinig activeren van het gewas, wat onderdeel is van Het Nieuwe Telen, vormen samen een wezenlijk onderdeel van de bereikte besparing. Hoewel deze twee punten niet gesplitst kunnen worden van het kasconcept, dubbel dek bestaande uit glas-film combinatie en het dubbele energie scherm, zorgt dit kasconcept zonder meer voor het grootste deel van de besparing.

In Tabel 10 is een overzicht gegeven van de afzonderlijke energiecomponenten.

Tabel 10

Energiegebruik in de 2SaveEnergy kas tijdens de teelt 2016 en bij de praktijkbedrijven.

Gebruik	Teeltjaar 2016
Totaal warmtegebruik ^{a)} (m ³ /m ²)	17.9
Warmtegebruik naverwarming LBK (m ³ /m ²)	2.2
Elektriciteitsgebruik LBK ^{b)} (kWh/m ²)	0.8
Warmtegebruik praktijk 1 (m ³ /m ²)	30.9
Warmtegebruik praktijk 2 (m ³ /m ²)	38.3
Besparing 2SaveEnergy t.o.v. gangbare praktijk (m ³ /m ²)	16.7 (49%)
CO ₂ inkoop (kg/m ²)	10.2 ^{c)}

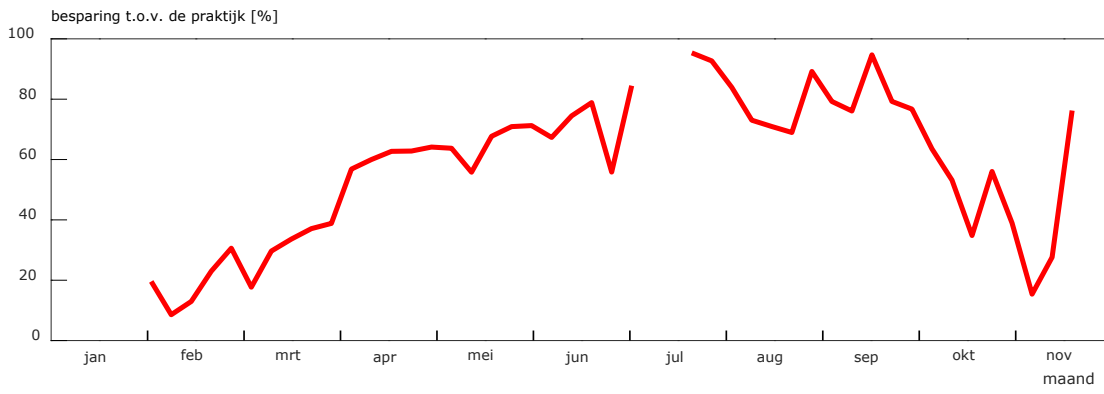
a. Dit is inclusief 10% gevelverlies, dus voor een kas op een schaal van ca. 4 ha.

b. Het elektriciteitsgebruik van pompen, motoren waterontsmetting e.d. welke op moderne bedrijven met enige omvang 6- 8 kWh/m² op jaarbasis bedraagt, is hier niet in opgenomen.

c. Een besparing van 17 m³ a 15 ct rechtvaardigt wel een inkoop van 10 kg CO₂ á 10 ct.

De besparing varieert door het jaar heen. In de zomer is deze ten opzichte van de praktijk duidelijk hoger wat zeer zeker te maken heeft met beschikbaarheid van CO₂ en minder 'gewasactivering'.

De procentuele besparing ten opzichte van de praktijk is in Figuur 35 te zien.



Figuur 35 De procentuele besparing ten opzichte van de praktijk.

6 Economische aspecten

De padbreedte kan invloed hebben op de investeringskosten en de arbeidskosten. In de volgende paragrafen wordt hier nader op ingegaan.

6.1 Arbeidskosten

Als er geen veranderingen in de plantdichtheden worden doorgevoerd maar de padbreedte verandert, gaan de volgende factoren een rol spelen met betrekking tot de arbeidskosten:

- De te oogsten vruchten hangen dichter bij elkaar, wat de oogst kan versnellen.
- Door de grotere gewasdichtheid in de lengte van de rij kan de oogst en ook de gewashandelingen (dieven, draaien, bladsnijden) vertragen.
- De oogst- en gewasbehandelingswagen hoeft minder vaak van pad te verwisselen.

Omdat geen observatie is gemaakt van de arbeidsproductiviteit bij verschillende padbreedtes, is in Tabel 9 alleen een berekening weergegeven van de lagere arbeidskosten bij grotere padbreedten, rekening houdende met een padlengte van 100 meter en 200 beurten voor oogst en gewashandelingen per jaar, een padwisseling van 60 seconden en 16,5 €/uur aan arbeidskosten.

6.2 Investeringskosten

Als de padbreedte verandert, gaan de volgende factoren een rol spelen met betrekking tot de investeringskosten:

- Bij een grotere padbreedte moet de oogstwagen meer producten kunnen dragen. Er zullen dus grotere oogstwagens nodig zijn. Dit zal leiden tot iets hogere kosten.
- Bij een grotere padbreedte liggen, uitgaande van 2 buizen per pad voor een buisrailsysteem, minder buizen per m² kas, met minder aansluitingen op het distributienet. Om tot een vergelijkbaar verwarmend oppervlak te komen, moet de buisdiameter groter worden. Dit kan ook nodig zijn om de zwaardere oogstwagens te kunnen dragen.

De totale geschatte kostenverschillen zijn weergegeven in Tabel 11. In totaal zijn de verschillen gering en komen ze neer op € 0.07 per m² per jaar ten voordele van het bredere pad.

De arbeidskosten voor oogsten, dieven, draaien, bladplukken en laten zakken zijn op jaarbasis 0.8 h/m² à € 18.50 = 14.80 €/m².jaar. De benodigde opbrengsten liggen rond 55 €/m².jaar. De geschatte kostenverschillen liggen dus slechts in de ordegrrootte van 0.5% aan verschil in arbeidskosten en 0.13% aan opbrengstverschillen.

Tabel 11

Schatting van de kostenverschillen tussen 1,4 en 1,8 m brede paden.

Padbreedte (m)	1.4		1.8	
	Investering (€/ha)	Kosten (€/m ² .jaar)	Investering (€/ha)	Kosten (€/m ² .jaar)
Arbeidskosten padwisseling		0.39		0.31
Oogstcontainers	8000	0.14	10000	0.18
Buisrailsysteem	50000	0.48	48000	0.46
Totaal		1.01		0.94

7 Conclusies

In de 2SaveEnergy kas zijn twee succesvolle hogedraad komkommerteelten uitgevoerd. Voor het maken van het teeltplan is gebruik gemaakt van een combinatie van 3D modellen die de gewasarchitectuur beschrijven en een gewasgroeimodel die de teelthandelingen en keuzes kunnen optimaliseren. Tijdens de proef zijn er 3 gootafstanden (1.4, 1.6 en 1.8 m) met gelijke plantdichtheden per m² gebruikt.

De productie verschilde tussen de 1.4 en 1.8 meter met rond de 108.5 kg per vierkante meter weinig, maar de 1.6 m gootafstand bleef met 103 kg zo'n 5% achter. Het is opvallend dat bij beide teelten de middelste padbreedte van 1.60 m de laagste productie heeft.

Analyse van de productie met INTKAM heeft laten zien dat een padbreedte van 1.40 m het meest gunstig is voor lichtonderschepping (hoogste extinctie coëfficiënt), fotosynthese en cumulatieve groei van het gewas, gevolgd door padbreedtes van 1.60 en 1.80 m, wat voor beide teelten zo zou zijn. De uiteindelijke productie wordt bepaald door de drogestofverdeling tussen vegetatieve en generatieve (vruchten) delen van het gewas. De generatieve sinksterkte was bij beide teelten het laagst voor de middelste padbreedte van 1.60 m, door minder vruchten danwel grotere abortie van gezette vruchten, waardoor er relatief minder drogestof naar de vruchten is gegaan. Dit leidde uiteindelijk tot de laagste productie voor de middelste padbreedte van 1.60 m. Dit laat zien dat gewasmanagement en het sturen van de plantbelasting een grote invloed kan hebben op de uiteindelijke productie. De inzet van dit type modellen in de analyse van de proefresultaten is van grote waarde gebleken om de resultaten te duiden. De aanleiding van het minder presteren van de 1.60 behandeling, de lagere bodembedekking in de 1.6 m behandeling die uiteindelijk leidt tot een lager aanbod van assimilaten en een lager aantal vruchten dat het gewas kan dragen leidt, blijft onbekend.

Het absolute productieniveau van deze teelten wordt door telers als hoog ervaren. Middels een analyse is geprobeerd hier duiding aan te geven maar die is niet echt gevonden. Wel wordt de conclusie dat net gewaswerk, waarbij planten soms een aangepaste behandeling met vruchtdunning krijgen als de kop een goede of slechte stand heeft, breed gedragen als een belangrijke bijdrage aan de totaal productie.

Analyse van de lichtonderschepping liet zien dat de 1.8 meter gootafstand in het begin van de teelt wat achterbleef maar eenmaal volgroeid was de totale onderschepping vrijwel gelijk. Voor beide teelten in de 2SaveEnergy kas stond een gezonde energiezuinige teelt, gebaseerd op de principes van Het Nieuwe Telen, voorop. Er is dan ook erg intensief geschermd, een kleine 2600 uur, zeker vergeleken met de praktijk (krap 2200 uur), waarbij bedacht moet worden dat er in de 2SaveEnergy kas door de keuze van twee schermen op één installatie altijd gelijk twee schermen gesloten werden.

Dit intensief schermen, in combinatie met het achterwege laten van minimumbuizen en het tolereren van lagere vochtdeficieten dan in de praktijk, hebben het totaal energiegebruik voor deze teelt van 28 december tot 23 november op 17.9 m³/m² gebracht met een additionele inkoop van CO₂ van 10.2 kg/m². Dit is een besparing van rond de 16.7 m³/m² (49%) ten opzichte van de gangbare praktijk.

Ook in deze proef is weer gebleken dat een groot deel van de besparing in de zomermaanden wordt gerealiseerd, wat ook mede de reden is van de benodigde inkoop van additionele CO₂.

Voor de ontvochtiging is een kleine (0.8) kWh/m² gebruikt.

De padbreedte kan invloed hebben op de investeringskosten en de arbeidskosten. Omdat geen observaties met betrekking tot de arbeidsproductiviteit zijn gemaakt, is er met schattingen gewerkt. De berekende verschillen zijn gering en komen neer op € 0,07 per m² per jaar ten voordele van het bredere pad. Dit valt waarschijnlijk in het niet ten opzichte van de opbrengstverschillen en de nog niet geobserveerde arbeidsproductiviteit van oogsten, dieven, draaien, bladplukken en laten zakken.

8 Discussie

De resultaten van deze proef waren met betrekking tot de productie zeer goed te noemen. Dat laat onverlet dat de resultaten niet eenduidig zijn. Bij de keus voor de 3 padbreedtes is met 1.4, 1.6 en 1.8 m juist een behoorlijke spreiding aangelegd om daarbinnen een te verwachten optimum te vinden. Dat bleek niet het geval. Daarom is middels een aantal gesprekken met telers, onderzoekers en voorlichters en aanvullende berekeningen die al in dit rapport verwerkt zijn, geprobeerd de resultaten beter te duiden. Hierbij is met name gericht gezocht naar plantfysiologische verklaringen voor de resultaten. Er zijn een aantal sporen te volgen:

Lichtsom, CO₂ en temperatuur

De resultaten van deze proef zijn ook vergeleken met 2 praktijkbedrijven. Uiteraard waren er verschillen in licht (locatie invloed) en daarmee ook in temperatuur- en CO₂-niveau. Hieruit zijn geen duidelijk aanwijsbare redenen naar voren gekomen als verklaring.

Met het INTKAM model welke vooral informatie over fotosynthese, wat vertaald wordt in groei, welke hoger of lager kan uitvallen, zijn de teelten nogmaals doorgerekend. Hierin zijn niet sec de ontwikkelingsprocessen van de plant betrokken, wel zijn de dunningsstrategie, stengeldichtheid en het gerealiseerde klimaat als input meegenomen. Deze resultaten geven een aanwijzing wat er gebeurd is maar niet waarom het gebeurd is. Doordat in de 1.60 behandeling er waarschijnlijk al dan niet bewust minder vruchten zijn aangehouden en of voor welke reden dan ook geaborteerd zijn, was er voor de plant minder sink mogelijk. De generatieve sinksterkte was hierdoor lager, waardoor er relatief minder drogestof naar de vruchten is gegaan. Dit leidde uiteindelijk tot de laagste productie voor de middelste padbreedte van 1.60 m.

Arbeid

Vanuit de BCO bijeenkomsten tijdens de proef, maar ook tijdens telersbijeenkomsten in Grubbenvorst en Berkel en Rodenrijs waar de onderzoeksresultaten werden gepresenteerd, is er door de deelnemers duidelijk aangegeven dat er met netjes werken en een "individuele" plantbehandeling er zeker meer opbrengst te realiseren is. Grote vraag hierbij is of dit wel goed in getallen is uit te drukken en te onderbouwen. Het is bekend dat arbeidsprestaties op bedrijven verschillen en dat die effecten op het gewas kunnen hebben, maar het blijft bij indrukken..

Plantbelasting/abortie

Vanuit de gewaswaarnemingen van deze proef is voor deze rapportage een analyse gemaakt. Het bleek niet goed mogelijk gewaswaarnemingen van praktijkbedrijven op te vragen en deze op gelijke wijze te analyseren. Reden hierbij is onder andere de verschillende plantdata, methode van waarnemen etc.. Wel zijn naar aanleiding van deze duiding de procedures en resultaten van deze teelten nogmaals geanalyseerd. Dat heeft geen nieuwe aanwijzingen opgeleverd.

Diffuus kasdek

De 2SaveEnergy kas is voorzien van glazen kasdek van helder glas met daaronder geïntegreerd in de kasdekconstructie een diffuse F-clean film met een hoge "F-Scatter". Het materiaal kent een hoge haze zodat daar gewastechisch een grote plus aan mag worden toegekend gezien de resultaten met eerdere proeven (Hemming, 2007). Daar staat tegenover dat het kasdek dubbel is zodat de "overall" transmissie lager uitkomt dan een enkeldeks kas. De positieve effecten van het hoog diffuse licht worden groter ingeschat dan het lichtverlies ten gevolge van het dubbel dek en kunnen dus mede een verklaring zijn voor de hoge productie.

Vergelijk ander teelten

In de loop der jaren is in een drietal IDC kassen komkommer geteeld. Hoewel verschillende rassen en plantdata wordt de kasuitrusting en de productieresultaten kort beschreven:

a. Sunergie kas:

Van 13 januari tot 13 mei 2014 is er één teelt van komkommer met het ras 'Proloog' (Rijk Zwaan) met 2,4 planten/m² in een hogedraad systeem geteeld. Het betreft hier een enkeldeks kas met een scherminstallatie bestaande uit twee gealuminiseerde doeken die met een kleine onderlinge afstand van enkele centimeters via één schuifstelsel over twee dradenbedden worden geschoven plus een tweede scherminstallatie met dradenbed met daarop een transparante PVDF folie die individueel dicht getrokken kan worden. Een PVDF folie is hoog transparant voor PAR. Het glas op deze kas is een Horti Glass International (Typ D75+AR). Het glas is diffuus met een Haze-factor van ca. 75 % en een „Sunarc“-Anti Reflectie coating. De hemisferische transmissie van dit glas is ca. 89 %. Deze kas zal een hogere transmissie hebben dan de 2SaveEnergy kas. Concluderend: hoog diffuus kasdek waarbij veel geschermd is. 's Nachts warme kop gegarandeerd, overdag vaak PVDF dicht en in de randen van de dag ook geperforeerd AC folie dicht. Later in teelt overdag geen scherm gebruikt. Van week 9 t/m 19 33.8 kg geoogst bij 76 stuks/m². Eind februari en maart vrij veel broeikoppen.

b. Venlow Energy kas:

De plantdatum (Hi-Power & Hi-Jack) is 20 januari 2015 met een plantdichtheid van 1.5 plant.m⁻². De stengeldichtheid is half februari verhoogd naar 3 stengels.m⁻² door een scheut per plant aan te houden. Op 9 juni is de kop uit de planten gehaald. De productie van Hi-Jack kwam over de periode 20 januari (plantdatum) tot en met 2 juli (laatste oogstdatum) uit op 127 stuks en 53.7 kg.m⁻². Het vruchtgewicht was gemiddeld 424 gram. Voor Hi-Power zijn deze getallen resp. 130, 54.3 en 419. Het betreft hier een dubbeldeks kas met helder glas. Door de low-emission coating is de overall transmissie van deze kas met ca. 65% (bij geopend scherm) het laagst van deze 3 proeven. Er is een transparant scherm maar deze is overdag zeer beperkt gebruikt. Deze kas kent noord-zuid gerichte paden waardoor de lichtonderschepping niet optimaal geweest is. Slechts een korte periode met enige broeikoppen. Concluderend: geen diffuus effect, door glaseigenschappen warme kop dag en nacht gegarandeerd, lage transmissie maar weinig tot geen verlies t.g.v. overdag schermen, suboptimale lichtonderschepping door gewas i.v.m. noord-zuid padrichting.

c. 2Save Energy kas:

Op 29 december 2015 zijn de planten van het ras Hi-Jack (Nunhems) met zaaidatum 30 november in de kas gezet bij een plantdichtheid van 1.67 planten/m². Er waren 3 behandelingen, namelijk padbreedtes van 1.4, 1.6 en 1.8 m. Om dezelfde plantdichtheid te realiseren stonden de planten op de matten dichter op elkaar naarmate de paden breder waren. De planten zijn verdubbeld via toppen. Bij de padbreedtes van 1.4, 1.6 en 1.8 m gebeurde dit op respectievelijk 29 januari, 29 januari en 12 februari. Hoewel deze proef jaarrond is geteeld, wordt voor het vergelijk met de andere proeven alleen de voorjaarsteelt beschouwd. De productieresultaten zijn in Tabel 4 weergegeven.

De kas is voorzien van een hoog diffuus F-clean folie (haze > 70 %) met daarboven enkel glas. Daarnaast is er een dubbel schermdoek aanwezig op 2 dradenbedden met 1 sturing dus alles of niets open. De hemisferische transmissie van het enkele - aan 2 zijden van AR coating voorziene - glas is 90.5%, dat van het F-clean diffuse 83.3 % en van de combinatie 76 %. De kastransmissie is ca. 68% bij geopend scherm. Door het dubbele dek en doek is in de nacht een warme kop verzekerd en ook overdag zal dit redelijk gehandhaafd blijven als het dubbele doek open is.

Concluderend: een hoog diffuus kasdek, in de nacht is door dubbel dek en dubbele scherm een warme kop verzekerd, overdag bij geopend scherm blijft warme kop redelijk gehandhaafd. Hogere plantdichtheid dan in de praktijk, geen plantuitval door schimmels.

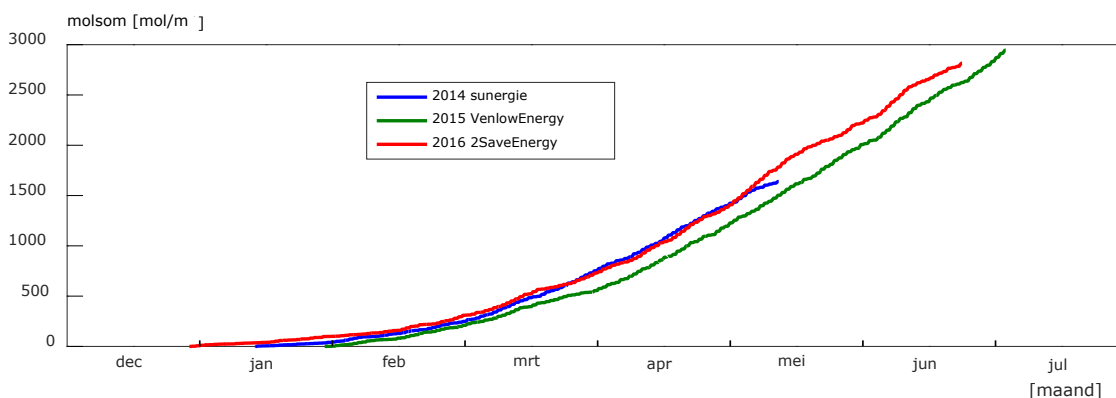
De onderdelen die invloed hebben op de kastransmissie (T) van deze drie proeven zijn in Tabel 12 samengevat.

Tabel 12

De hemisferische transmissie, de haze en de totale kastransmissie van de verschillende proeven.

		τ hemisferisch	haze	τ kas
Sunergie	hortiglas/sunarc D75+AR	89	75	73
	PVDF folie	84.6	20	
	alu doeken	0	0	
	ac folie geperforeerd	79	-	
Venlow Energy	Scheuten glas	79.4	0	65
	ac folie niet geperforeerd	80	-	
2Save Energy	DA glas	90.5	0	70
	f-clean diffuse	83.3	75	
	ls10 ultra	74 per doek	-	

Door de verschillende kassen, plantdata en gedeeltelijk ook rassen is onderling vergelijk op detailniveau lastig. Voor deze 3 proeven is de lichtsom op de plant berekend met behulp van de in bovenstaande Tabel weergegeven transmissies, zie Figuur 36. De Figuur laat duidelijk zien dat er, ondanks de spreiding in start van de teelt bij de lage lichtniveaus in de winter, de ontstane verschillen in de zomer met enkele dagen weggewerkt kunnen zijn.



Figuur 36 De cumulatieve lichtsom van de komkommerteelt in de Sunergiekas, de VenlowEnergy kas en de 2SaveEnergy kas.

Met de lichtsommen op gewasniveau en de kg-opbrengsten kan een "licht efficiency" mol licht per kg product berekend worden. Deze zijn 48.5, 54.2 en 43.6 mol per kg product voor respectievelijk de Sunergie, VenlowEnergy en 2SaveEnergy kas. Het achterblijven van de VenlowEnergy kan gedeeltelijk verklaard worden uit het niet diffuse glas en de padrichting. Voor het verschil (10%) in de Sunergie kas en de 2saveEnergy kas is anders dan het ras en het isolerende dek geen directe verklaring te geven omdat een verschil van 10 % niet direct te verwachten is door deze twee genoemde parameters.

Hier is een vergelijk gemaakt in de totale productie, maar uiteindelijk gaat het om de opbrengst en die kan verschillen. Het moment van de productie is dan ook van belang, echter in de scope van dit project is hier geen aandacht aan geschonken.

Aanbevelingen

De proef heeft laten zien dat een teeltstart die zo vroeg (eind december) ligt niet met teveel planten begonnen moet worden. Nu was het al wat meer dan in de praktijk, terwijl de kas zeker niet lichter is dan in de praktijk. Te dicht planten leidt tot meer vegetativiteit en daarmee abortie. Ook is het koppen en verdubbelen van de stengeldichtheid aan de vroege kant gedaan. Er ligt in die fase ook wezenlijk gevaar van broeikoppen op de loer. Om hier nog verbeteringen in aan te brengen zal nog een hele toer zijn en het projectteam kan over deze fase in de teelt niet aangeven waar verbeterstappen nog mogelijk zijn.

De periode met 10 of meer vruchten was in het voorjaar al een week langer dan in de praktijk het geval was. Het gevaar van onbalans, met productie meer in vluchten of langere uitgroeiduur, is in dat jaargetijde het gevaar als de klimaatomstandigheden net wat tegen vallen. Keuzes in plantbelasting kunnen eenvoudig omslaan van positief naar negatief en omgekeerd.

Dat de kwaliteit van gewasverzorging veel invloed heeft op het eindresultaat is een breed gedragen conclusie. In de praktijk is het lastig een balans tussen (arbeids) kosten en baten te maken. In dit project is daar "beperkt" rekening mee gehouden maar de nette gewasverzorging heeft ontegenzeggelijk een positieve bijdrage aan het eindresultaat geleverd.

Mogelijk zou in de lichtrijke periode de stengeldichtheid nog verder verhoogd kunnen worden door een extra zijscheut aan te houden, maar dit betekent wel extra arbeid waar telers in deze periode in het algemeen niet om staan te springen. Meer vruchtjes per m² aanhouden in die periode is ook een mogelijkheid hoewel er een tendens lijkt dat meer vruchten verdeeld over meer stengels tot een beter resultaat leiden dan de gelijke hoeveelheid vruchten verdeeld over minder stengels.

Literatuur

Breuer, J.J.G. , Braak, van de, N., 1989.

Reference Year for Dutch Greenhouses. Acta Hort. 248, pp 101-108.

Broekhoven, G., and H. Savenije. 2012.

Moving forward with forest governance, ETFRN news; issue no. 53. Wageningen: Tropenbos International.

Elings, A., J. Janse, G. Kouwenhoven, J. Steenhuizen, 2017.

Energiebesparing door bladpluk bij komkommer. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB-1451.

Gijzen, H., 1994.

Ontwikkeling van een simulatiemodel voor transpiratie en wateropname en van een integraal gewasmodel.

Rapport 18, AB-DLO, Wageningen.

Marcelis, L.F.M., 1994.

Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. Dissertation Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 173 pp.

Kahlen, K., 2007.

Towards Functional-Structural Modelling of Greenhouse Cucumber. In: Vos, J., Marcelis, L.F.M., Visser, P.H.B.d., Struik, P.C., Evers, J.B. (Eds.), *Functional-Structural Plant Modelling in Crop Production.*

Wageningen UR. Frontis Series. Springer, Dordrecht, pp. 209–217.

Kempkes, F.L.K., Janse, J. 2016.

Teelt en energie 2SaveEnergy kas. Rapport GTB 1402 - 42 p.

Visser, P.H.B. de, Buck-Sorlin, G.H., Heijden, G.W.A.M. van der (2014).

Optimizing illumination in the greenhouse using a 3D model of tomato and a ray tracer. *Frontiers in Plant Science* 5, 7–14.

Wiechers, D., Kahlen, K. and Stützel, H. 2011.

Evaluation of a radiosity based light model for greenhouse cucumber canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 906–915

Bijlage 1 "Colour image-based" segmentatie methode

Met behulp van de zogenaamde "Colour image-based" methode is segmentatie van de foto's naar verschillende onderdelen, waaronder blad, uitgevoerd. In deze bijlage is beschreven hoe deze methode werkt.

In Figuur 37A t/m C zijn van de 1.4 meter behandeling van 3 willekeurige dagen, net na planten (A), midden winterteelt (B) en einde winterteelt (C) de foto's getoond.

A (6 januari)



B (22 maart)



C (23 mei)

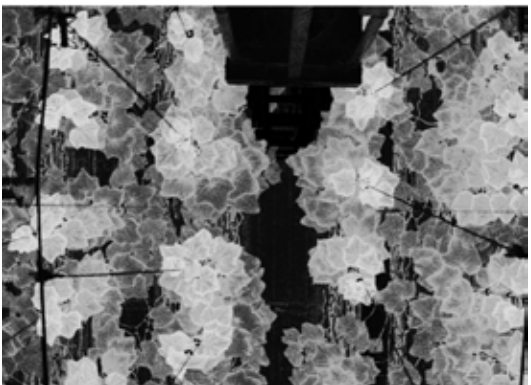
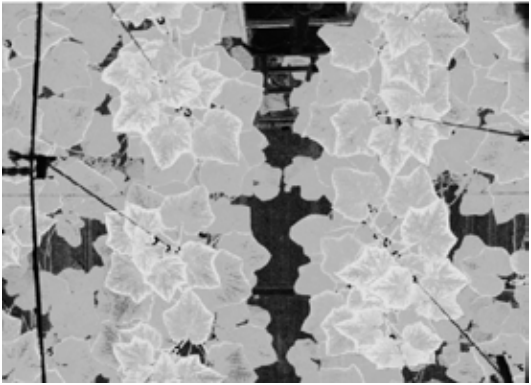
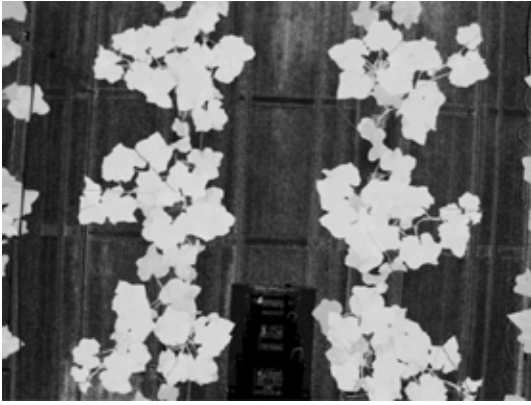


Figuur 37 Foto's van de 1.4 meter behandeling genomen op 3 momenten in de winterteelt vanaf het midden van het pad vanaf de tralie.

De foto's laten duidelijk zien dat er in het begin van de teelt een beperkte bladbedekking is, de kleuren van de bladeren verschillen en er verschillende voorwerpen in beeld staan die niets met het gewas te maken hebben. Om de foto's te kunnen nemen is er gebruik gemaakt van de in de kas aanwezig buisrailkar. In de tijd zijn daar twee verschillende types voor gebruikt, één met een oranje schaar frame met een gegalvaniseerd hek rond het plateau (Figuur 37, foto A en C) en één met witte hefscharen en een groen gekleurd veiligheidsframe rond het plateau (foto B).

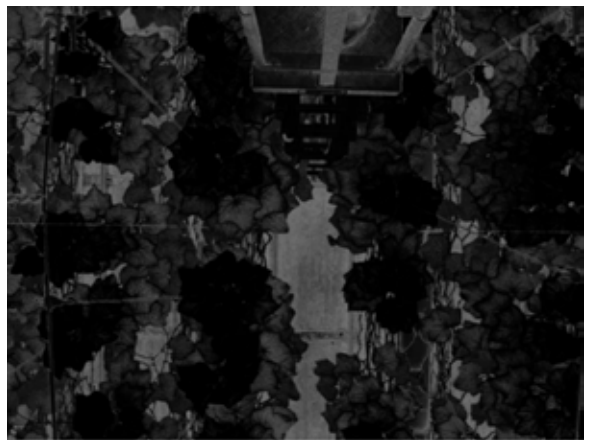
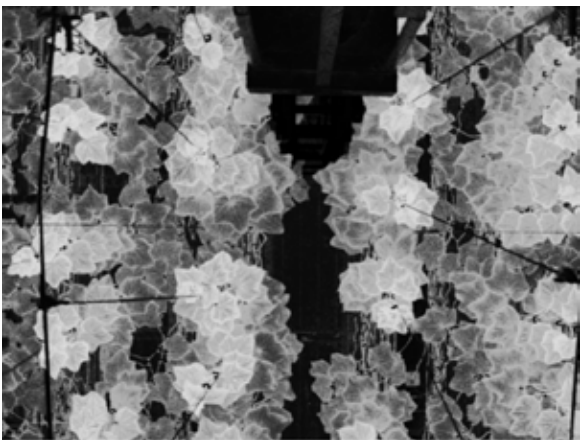
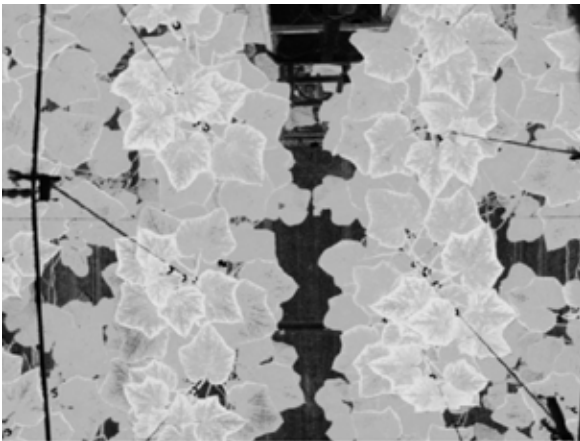
Om vanuit deze foto's de bladsegmentatie met behulp van de "Colour image-based" methode te kunnen maken, zijn de volgende stappen toegepast:

1. Alle informatie van de foto's wordt opgesplitst in verschillende groepen, gebaseerd op de beeldvorming. De kleuren op de foto's variëren afhankelijk van de verschillende lichtomstandigheden welke veroorzaakt worden door:
 - a. De variërende planthoogte, en als gevolg daarvan de afstand tot de 'vaste' camerapositie en de verschillende weersomstandigheden op verschillende opnamedata
 - b. Een ander stadium van de plantenontwikkeling (jonger gewas, de bovenste bladeren waren groen en later bij ouder gewas vaak wat geler, waarschijnlijk door een gebrek aan voedingsstoffen).
 - c. Daarom worden verschillende parameters toegepaste in de verwerking van de verschillende gegevensgroepen.
2. De kleur segmentatie is uitgevoerd met de Matlab functie `\ ColorNaming \ im2c.m`. De functie neemt een kleurenbeeld als Figuur 37A als invoer en retourneert de kans op elf kleur namen , te weten : zwart, blauw, bruin, grijs, groen, oranje, roze, paars, rood, wit en geel voor alle pixels in het beeld. In de hier toegepaste benadering, geeft de functie een parameter kleur (uitgedrukt als getalswaarde) terug. Elk pixel krijgt een waarde gelijk aan de kans dat het tot een bepaalde kleur in het originele beeld behoort. Dit gebeurt per kleur. In Figuur 38 zijn deze resultaten weergegeven waarbij de foto's van Figuur 37 zodanig zijn bewerkt, dat de kans voor ieder pixel om groen te zijn (links) of juist grijs te zijn (rechts) zijn weergegeven.



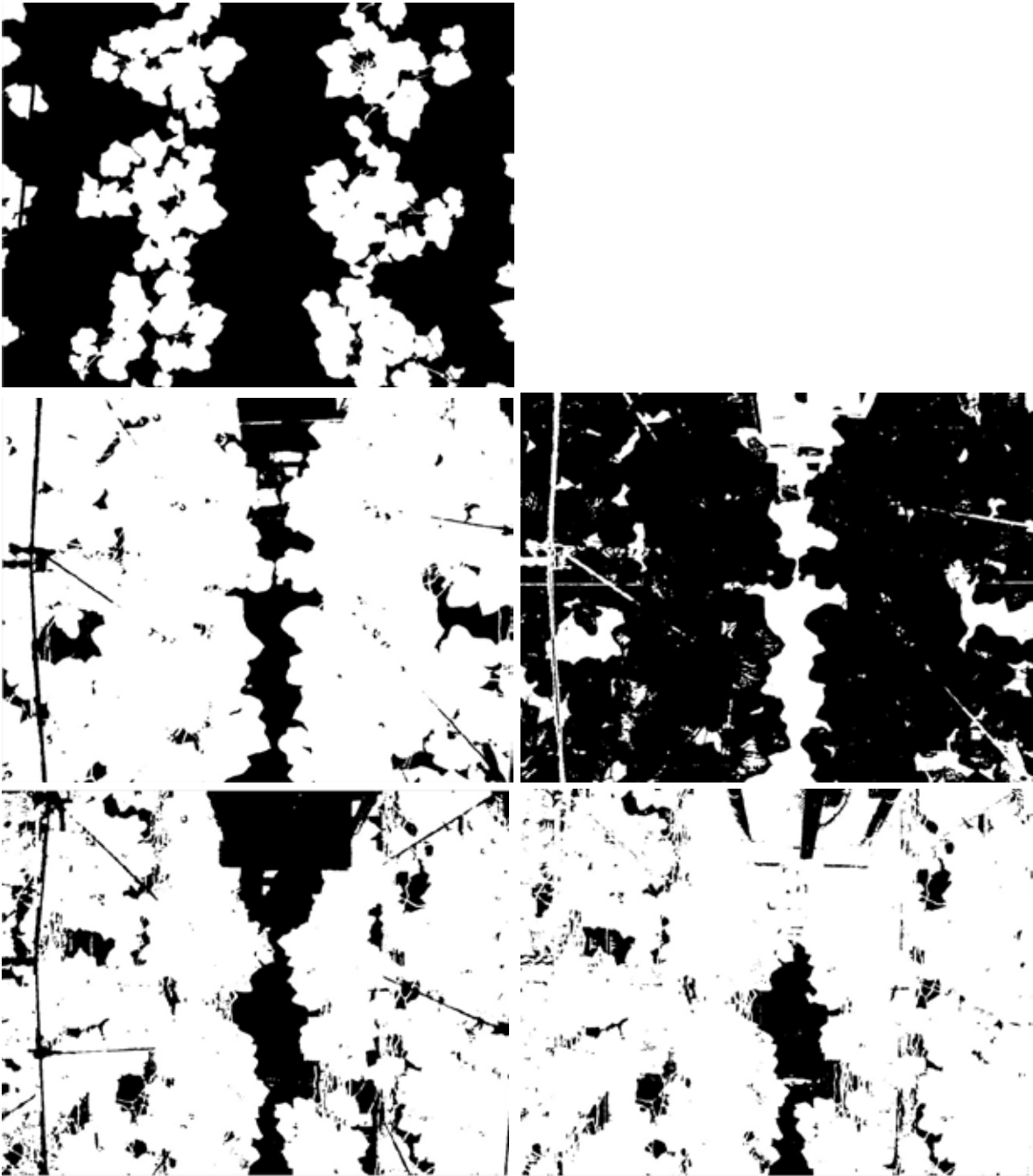
Figuur 38 Beelden met de voorspelling voor groene pixels (links) of juist grijze pixels (rechts) voor van boven naar beneden voor respectievelijk 6 januari, 22 maart en 23 mei.

In deze stap worden de beelden uit Figuur 38 "ge-smoothed" naar de waarschijnlijkheid dat ze bij een bepaalde groep behoren met behulp van Gauss-filters (imgaussfilt functie). Daarbij is σ verschillend voor verschillende soorten gegevens. Deze stap is voor ieder foto uit Figuur 38 in Figuur 39 weergegeven.



Figuur 39 De waarschijnlijkheids beelden van Figuur 38 nadat ze zijn "ge-smoothed" met een Gausiaans filter, voor groene pixels (links) of juist grijze pixels (rechts) voor van boven naar beneden voor respectievelijk 6 januari, 22 maart en 23 mei.

De 'smoothed' of afgevlakte beelden worden vervolgens met verschillende drempelwaarden voor verschillende kleuren en de verschillende soorten gegevens gewaardeerd. De resulterende beelden worden vervolgens gecombineerd (crosssection of union) om het uiteindelijke de gewenste blad segmentatie te verkrijgen. Verschillende kleuren werden gesegmenteerd voor verschillende groepen beelden en vervolgens gecombineerd. Zo is er soms meer grijze kleur in het blad, zodat een combinatie van grijs en groene kleuregebieden wordt geëxtraheerd met als laatste stap het geprojecteerde bladoppervlak. Voor sommige gegevensgroepen zijn de bladeren geler en wordt dus een combinatie van groene en gele kleur segmentaties gebruikt. Het eindresultaat van deze bewerkingsstap is in Figuur 40 weergegeven.



Figuur 40 De beelden van Figuur 39 met verschillende drempelwaarden bewerkt om groene bladdelen waar te nemen weergegeven als grijsbeelden voor van boven naar beneden voor respectievelijk 6 januari, 22 maart en 23 mei.

De verschillende stappen die hier per beeld gemaakt worden zijn voor de verschillende foto's niet gelijk. Zo is het eindresultaat van 22 maart verkregen door de combinatie "immultiply(greenmask, imcomplement(graymask))" terwijl voor 23 mei de bladeren worden bepaald door de combinatie immultiply(greenmask, graymask). Immultiply is een matlab functie en die vermenigvuldigt twee beelden.

De resulterende laatste stap is de bladoppervlak berekening waarbij per foto-opname het totale aantal groene pixels in het beeld en het totale aantal pixels van de afbeelding worden bepaald. De verhouding tussen het aantal bladeren pixels en het totale aantal beeldpunten is de bladbedekking.

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
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport WPR-725

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

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