

## Richting de toekomst telen met doordragers *Doordragers in balans: deel 2*

Worldwide Expertise for Food & Flowers



Stijn Jochems<sup>1</sup>, Bart Jongenelen<sup>2</sup>, Barry Dorrestijn<sup>2</sup>, Govert Trouwborst<sup>3</sup>

1 Delphy Improvement Centre

2 Delphy

3 Plant Lighting

Bleiswijk, mei 2022

Projectnummer Kas als Energiebron: 20180

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



Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit

**Disclaimer**

© 2022 Delphy Improvement Centre, Violierenweg 3, 2665 MV Bleiswijk, Tel. 010- 522 1771

Dit document is auteursrechtelijk beschermd.

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

## Inhoudsopgave

Samenvatting .....	5
1. Inleiding .....	7
1.1. Doelstellingen .....	7
2. Aanpak en Kasinrichting .....	8
2.1. Kasinrichting .....	8
2.2. Teeltplanning .....	10
2.3. Metingen .....	11
3. Resultaten en discussie .....	12
3.1. Klimaat en meteogegevens .....	12
3.2. Energieverbruik en CO <sub>2</sub> .....	14
3.3. Schermgebruik .....	15
3.4. Gewasontwikkeling .....	17
3.5. Productie .....	19
3.6. Vruchtkwaliteit .....	21
3.7. Overig .....	23
4. Assimilatenbalans aardbei .....	24
4.1. Introductie en aanpak .....	24
4.2. Bladfotosynthese .....	24
4.2.1. Huidmondjesopening bij start van de dag .....	24
4.2.2. Lichtrespons van de fotosynthese .....	27
4.2.3. CO <sub>2</sub> -respons van de fotosynthese .....	28
4.3. Gewasfotosynthese .....	30
4.3.1. Van blad naar gewas: lichtuitdoving en verliezen .....	30
4.3.2. LAI en gewasbreedte .....	31
4.3.3. Assimilatensom .....	31
4.3.4. Assimilatensom versus PAR .....	34
4.3.5. Analyse kosten van de daglengteverkorting .....	35
4.4. Berekeningen aan de sinks .....	38
4.5. Vergelijking met teeltjaar 2020 .....	40
4.5.1. Drogestofverdeling .....	40
4.5.2. Vergelijking op hoofdlijnen .....	40
4.5.3. Assimilatenbalans .....	41
5. Leerpunten en conclusies .....	46
6. Literatuur .....	48
<i>Bijlage I Plattegrond kasafdeling .....</i>	<i>1</i>
<i>Bijlage II Teeltplanning .....</i>	<i>1</i>
<i>Bijlage III Plantbelasting en productie .....</i>	<i>2</i>
<i>Bijlage IV Gemiddelde vruchtgrootte per ras en planttype .....</i>	<i>3</i>
<i>Bijlage V Klimaatdata op meetdagen fotosynthese .....</i>	<i>8</i>



## Samenvatting

De Nederlandse bedekte aardbeienteelt groeit en intensificeert gestaag, maar wordt op dit moment met name ingevuld door een doorteelt met gekoelde junidragende aardbeirassen zoals Elsanta, Sonata, en Sonsation. Een teelt met verse doordragers biedt potentie voor een energiezuinig en langdurig teeltconcept, mits deze planten in balans geteeld kunnen worden. In het project van 2020 'Aardbei in balans met verse doordragers' is veel ervaring opgedaan in het telen van verse doordragers waarin de uitdagingen met name in de zomer waren. In dit vervolgproject werd een koelere temperatuurstrategie aangehouden om de assimilatenvraag te onderdrukken, en werd een vaste daglengte aangehouden om de aanleg van nieuwe trossen - en daarmee een te hoge piekbelasting - te beperken.

### Teeltresultaat

Op 3 maart 2021 zijn doordragende rassen (Favori, Arabella en Bravura, hoofdtras Arabella) van verschillende planttypen (vers, overwinterd, gekoeld, hoofdbehandeling vers) geplant in een onbelichte 150m<sup>2</sup> proefkas, met een plantdichtheid van 4 of 6 planten per strekkende meter (gootafstand 1.06m). In het begin van de teelt, waarin de natuurlijke daglengte korter dan 13.5 uur is, werd cyclische belichting ingezet om de dag tot 13.5 uur te verlengen. In de periode waar de natuurlijke daglengte de 13.5 overschrijdt, werden een verduisteringsscherm en gevelschermen gesloten om de daglengte te beperken. De temperatuurstrategie bestond uit een RTR (Ratio Temperature to Radiation; lichttemperatuurverhouding) van een basissetmaalt temperatuur van 12°C met voor elke 10 mol/m<sup>2</sup> PAR in de kas een verhoging van 3°C. De kortere daglengte (al dan niet in combinatie met lagere kastemperaturen) kan hebben gezorgd voor een langzamere opbouw van LAI, en veel minder uitlopers vergeleken met het project van een jaar geleden. Omdat er in dit project geen vergelijk is met een natuurlijke daglengte en warmere temperatuurstrategie kan er alleen gesproken worden over aanwijzingen, en mag niet beweerd worden dat er een causaal verband is. Dankzij een langzamere opbouw van LAI met een toenemende lichtsom kon de plantbelasting volgens de vooraf opgestelde planning toenemen. Hierin werden duidelijke verschillen gemeten tussen Favori en Arabella, waarbij Favori een wisselvalliger patroon (meer pieken en dalen) liet zien. Daarnaast werd volgens verwachting een eerste flush gerealiseerd van vooraf aangelegde trossen in de gekoelde planttypen. Vergeleken met vorig jaar werd een lagere maar stabielere plantbelasting gerealiseerd met verse Arabella, waarbij opviel dat een lagere plantdichtheid (vier planten per lopende meter t.o.v. zes) dezelfde absolute plantbelasting realiseerde als de standaard plantbelasting, als gevolg van een hoger aantal neuzen (en daarmee groeipunten) per plant. De strekking van de trossen en de bloemkwaliteit bleef gedurende de teelt in orde, ook gedurende de bewolkte en zachte zomer. De vruchtkwaliteit bleef net onder de vooraf gestelde prognose van 70% aandeel van de geoogste vruchten in sorteringen 35+ en 30+ mm in diameter, maar met een gemiddeld vruchtgewicht van 15 gram over de teelt zijn grote verbeteringen ten opzichte van vorig jaar behaald. Dat is te danken aan een lagere kastemperatuur en daardoor langere uitgroeiduur en 'vultijd', en een lagere piekbelasting en assimilatenvraag. De wekelijkse productie van verse Arabella daalde niet onder 0.3kg/m<sup>2</sup> en uiteindelijk werd exclusief afval 10.83kg/m<sup>2</sup> geplukt. Het verschil met de cumulatieve oogst van de gekoelde planttypen is klein, maar het vlakkere patroon van de verse planttypen is gewenster dan het piekerige patroon van gekoelde planttypen. Tussen de twee plantdichtheden werd geen noemenswaardig verschil in oogst(-patroon) of vruchtkwaliteit waargenomen. Het wisselvallige oogstpatroon van Favori laat zien dat dit ras (ook met verse planttypen) minder goed lijkt te presteren dan Arabella, al werd dat in deze proef ook mede bepaald door het kwalitatief minder goede plantmateriaal en de opgelopen tipburn schade.

De resultaten laten veel potentie zien voor dit teeltconcept. Het concept vindt ook aansluiting op het een toekomstige fossielvrije glastuinbouw, omdat de warmtevraag minimaal is bij planting in begin maart en ruimen halverwege november. Middels een WKO kunnen verdere optimalisatiestappen worden gezet om overtollige warmte in de zomer te gebruiken om de kas in koude perioden te kunnen verwarmen. Dat heeft een positief effect op de vruchtkwaliteit in de zomer, naast dat door minder te ventileren ook makkelijker vocht en CO<sub>2</sub> in de kas wordt gehouden. In dit project werd ook een alternatieve CO<sub>2</sub>-dosering strategie toegepast, waar de maximale dosering wordt verhoogd



op basis van gewasvraag. Een nadeel van deze strategie is dat de gewasvraag het hoogst is op momenten met relatief hoge kas- en buitentemperaturen, en dat CO<sub>2</sub> minder efficiënt wordt benut. Een WKO kan zoals gezegd hier een bijdrage aan leveren, maar ook een efficiënter systeem waarbij de CO<sub>2</sub>-darm in het gewas ligt in plaats van onder de goot hangt, kan zorgen voor een betere benutting van CO<sub>2</sub>. Het blijft een vraag of te hoge concentraties in dat geval zouden kunnen zorgen voor een onbalans, omdat op die manier het aanbod van assimilaten ten opzichte van het verbruik sterk kan toenemen.

### Assimilatenbalans

Door metingen aan het gewas te doen is het huidmondjesgedrag vastgesteld. De reactie van de stomata op het openen van het verduisterscherm duurt weliswaar een kwartier tot drie kwartier, maar met een laag lichtniveau is dat niet beperkend voor de fotosynthese. Modelmatig is de blad- en gewasfotosynthese bepaald, en is de drogestof van de verse Arabella gewogen om een beeld te krijgen van de lichtbenuttingsefficiëntie en de verdeling van assimilaten. In vergelijking met de proef van 2020 werd er in 2021 meer geoogst ondanks een lagere lichtsom en lichtbenuttingsefficiëntie in 2021 (doordat minder CO<sub>2</sub> gedoseerd werd). Berekeningen laten zien dat er in 2020 veel drogestof in de bladeren is gaan zitten. De LAI was lang hoger dan nodig en in de dat jaar fors toegenomen LMA legt waarschijnlijk een onbalans in assimilatenaanbod/vraag bloot. De 20% hogere gewasfotosynthese van 2020 (10% meer PAR en een veel hoger CO<sub>2</sub>-gehalte) lijkt dus voornamelijk 'verdwenen' te zijn in méér en / of zwaardere bladeren. Analyse van temperatuurseffecten op de gewasfotosynthese laten zien dat temperatuur een ondergeschikte rol speelt bij de gewasfotosynthese: het effect van temperatuur valt in het niet bij het effect van CO<sub>2</sub>. Temperatuur is dus primair van belang voor de bloem- en vruchtkwaliteit. De lagere temperatuur in 2021 (waarvoor dus meer geventileerd moet worden en CO<sub>2</sub>-verliezen hoger worden) heeft dus geleid tot een betere bloem- en vruchtkwaliteit en groffer fruit, en mede daardoor een hogere productie. De toegepaste daglengteverkortening heeft in juni zo'n 8% aan PAR gekost en zo'n 12.5% aan gewasfotosynthese. Als laatste kan de vraag kan opgeworpen worden wat leidend moet zijn voor de plantbalans van een doordrager: een vegetatieve sturing door kortere daglengte of het verkrijgen van meer assimilaten. Doordat een controle-behandeling ontbreekt, valt niet te concluderen of de plant dankzij de daglengteverkortening beter in balans is gebleven. Wel is duidelijk dat de plantbelasting tussen week 30-35 te laag was. Mogelijk is het instrument daglengteverkortening variabel in te zetten.

## 1. Inleiding

De Nederlandse aardbeienteelt is met grote snelheid aan het intensiveren. De afgelopen tien jaar is het areaal van bedekte productie van aardbeien gegroeid van 285 naar 504 hectare (StatLine, 2021). De consument- en marktvaart groeit, en de schaalvergroting en intensivering van de sector zal naar verwachting doorzetten (Rijswick, 2021). Op dit moment wordt veel van de vraag ingevuld met een doorteelt met junidragers. Hierbij uit de productie zich in golven; één in het najaar en één in het voorjaar (na een koudeperiode in de winter), wat ook zorgt voor een piekvraag van energie, arbeid, en input. Om een stap te zetten naar een duurzame fossielvrije aardbeienkas in 2030 biedt een langdurige teelt met doordragers potentie. Dan kan met toenemend licht geteeld worden waardoor de vraag en het aanbod van suikers beter op elkaar af te stemmen zijn, en als deze planten daardoor in balans geteeld worden zal de arbeid, energie, en input ook vlakker zijn. Daarnaast is een plant in balans naar verwachting ook weerbaarder tegen ziekten, plagen, en stress. Dit project bouwt voort op de opgedane kennis uit eerder onderzoek omtrent Het Nieuwe Telen, waar voor het eerst begonnen werd met het telen van verse doordragers in 2019 (Helmus-schuddebeurs & Jongenelen, 2020). Met die ervaringen werd het principe uitgebouwd tot een langdurig fossielvrij teeltconcept in 2020 (Jochems et al., 2020). Uit het onderzoek van 2020 is kennis ontwikkeld over de assimilatenbalans en de optimale omstandigheden voor fotosynthese, maar ook de tegenstrijdigheid van die omstandigheden (met name hoge temperatuur) voor de gewasontwikkeling, waarbij een snelle veroudering van bladeren en uitgroei van vruchten werd waargenomen. De teeltplanning is op basis van de nieuwe inzichten aangepast en werd opnieuw uitgevoerd in het Improvement Centre.

### 1.1. Doelstellingen

#### Energiedoelstellingen

- Ontwikkelen van een fossielvrij jaarrond teeltconcept voor aardbeien.  
In de onbelichte teelt die loopt van januari tot december betekent dit een warmte input van maximaal 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Middels intensief inzetten van de schermen, het niet inzetten van de minimumbuis en mee telen met de buitenomstandigheden. CO<sub>2</sub> wordt hierbij gedoseerd om basis van gewasbalans. En door gebruik van verneveling en het afbouwen van de setpoint op basis van raamstand wordt CO<sub>2</sub> worden de verliezen beperkt.
- De planting van verse doordragers van verschillende rassen (hoofdras Arabella) zal uitgevoerd worden in begin maart. Alleen in de eerste fase (tot buitentemperaturen voldoende hoog zijn) zal bijgestookt moeten worden indien de gewenste temperatuur niet behaald kan worden door natuurlijke warmte te benutten.

#### Teeltdoelstellingen

Een doordrager in balans telen door verse planten met het buitenlicht mee te telen.

- Vraag en aanbod assimilaten afstemmen op elkaar
- Sortering aanhouden van >70% van de vruchten 30mm+
- Hoge plantbelasting voorkomen door daglengte weg te schermen. Dat ligt het meest voor de hand in de ochtend omdat de (buiten-)temperaturen nog het laagst zijn.
- Meer groei realiseren en betere benutting van het licht middels het bepalen van de juiste strategie voor gewasonderhoud.
- Bij hoge temperaturen is de algemene opvatting dat dat ten koste gaat van vruchtgewicht en - kwaliteit. Door middel van trossnoei op een halve goot (waarbij de helft van de plantbelasting wordt aangehouden vergeleken met de basisstrategie) krijgen we antwoord wat de invloed van lage plantbelasting is op vruchtgewicht en -kwaliteit, en of trossnoei in warme perioden kan zorgen voor behoud van vruchtkwaliteit.

## 2. Aanpak en Kasinrichting

### 2.1. Kasinrichting

Het onderzoek werd uitgevoerd in afdeling 3.4 van het Improvement Centre, Bleiswijk (Figuur 1). Om de potentie van de verse planttypen te vergelijken met de gangbare planttypen, zijn verschillende planttypen van verschillende rassen getest (Figuur 2). Een schematische plattegrond van de afdeling is weergegeven in Bijlage I Plattegrond kasafdeling. De verschillende planttypen kunnen als volgt worden beschreven:

- ✦ **Vers:** deze stekken zijn in het najaar gemaakt en in januari gestekt. Deze planten waren dus 3 maanden oud toen deze in de kas geplant werden. De planten zijn in bloemaanleg sinds de opkweek.
- ✦ **Overwinterd:** stekken worden in het voorjaar gemaakt en in het najaar in de kas gestekt. Opkweek loopt dan door tot december, waarna de planten koude krijgen en in winterrust gaan. Deze koude is beperkt en na deze periode wordt de plant weer op temperatuur gebracht (januari – maart). In deze fase worden bloemen verwijderd en gaat de plant terug in bloemaanleg.
- ✦ **Gekoeld:** stek wordt in het voorjaar gemaakt. De planten worden voornamelijk buiten gestekt en opgekweekt, eind november/december worden de planten ingepakt en in de koelcel bewaard. Door overmaat aan koude is de plant uit bloemaanleg in de eerste fase van de teelt en ontwikkelt deze zich voornamelijk vegetatief, maar worden er in deze fase wel groeiopposities gevormd, die er later relatief gelijktijdig uitkomen. Dit resulteert in een vergelijkbare teeltwijze als een gekoelde junidrager: eerst vegetatieve ontwikkeling daarna een generatieve ontwikkeling met per definitie een forse oogstpiek.

Er zijn drie doordragende rassen gekozen: Favori, Arabella en Bravura.



*Figuur 1. Vooraanzicht van de kasafdeling. Foto is genomen op 29 maart 2021 (26 dagen na planting).*





*Figuur 2. De verschillende rassen en behandelingen in de kas. Foto genomen op 1 april 2021.*

- A= Favori Warm Overwinterd (6pl/m)*
- B= Favori Gekoeld (6pl/m)*
- C= Favori Vers (6pl/m)*
- D= Arabella Vers (6pl/m)*
- E= Arabella Vers (4pl/m)*
- F= Favori Vers (4pl/m)*
- G= Arabella Gekoeld (6pl/m)*
- H= Bravura Warm Overwinterd (6pl/m)*

De afdeling is verder als volgt ingericht:

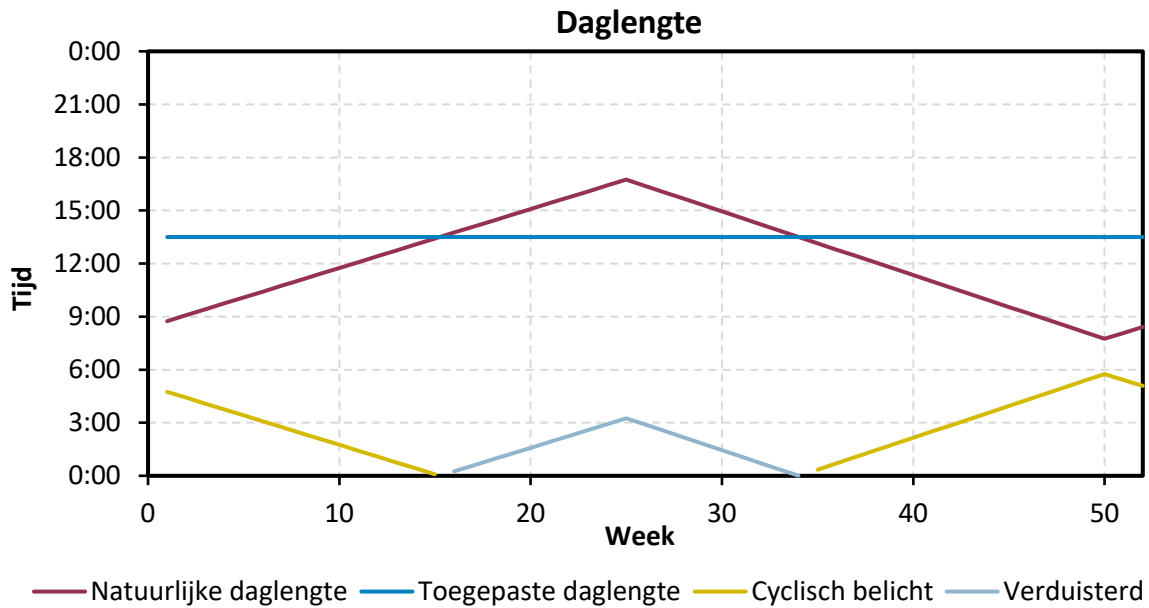
- ✚ Oppervlakte: 168m<sup>2</sup> bruto; 144m<sup>2</sup> netto teeltoppervlakte (15m \* 9.60m)
- ✚ Poothoogte: 6.68 meter
- ✚ Gootafstand: 1.06 meter
- ✚ Irrigatie: 4 druppelaars 2.2 (Meteo) per 1m bak
- ✚ Verwarming: Buisrail en groeibuis
- ✚ Scherm: Harmony 1315 O FR en Obscura 10070 FR WB+BW
- ✚ Rolgeveldoeken aan de 4 zijden van de kas
- ✚ Klimaatcomputer: Priva
- ✚ Substraattype: BVB HC02 grof
- ✚ Substraatbakken: BATO 1m bakken
- ✚ Hogedruk verneveling
- ✚ 2 Hinovafan
- ✚ 1 Hinova VentilationJet

De afdeling is verder uitgerust met een PT-camera (Priva), 3 PAR-sensoren (Priva & 30MHz), 3 pointed temperature sensoren (30MHz), 3 substraattemperatuursensoren (30MHz) en 2 bodemvochtgehaltesensoren (30MHz).

## 2.2. Teeltplanning

Om te kunnen sturen naar een optimaal resultaat is een teeltplanning opgesteld op basis van het langjarig gemiddelde, het onderzoek in het Improvement Centre van 2020, en een stellingteelt van een aardbeienteler die gedurende ruwweg dezelfde periode hetzelfde ras (Arabella) teelde.

Ten opzichte van de vorige proef is het doel om met een lagere basistemperatuur en hoge lichtverhoging te werken, waarmee met name in het voorjaar koeler geteeld wordt. In de zomer wordt een lage basistemperatuur niet gehaald tenzij er gekoeld wordt, wat in combinatie met een hoge plantbelasting zorgt voor een snelle uitgroei van kleine vruchten. Die hoge plantbelasting wordt veroorzaakt door de eigenschappen van de doordragers die in deze proef worden geteeld. Het zijn immers kwantitatief lange dag planten, wat inhoudt dat de aanleg van nieuwe trossen afhangt van een samenspel van temperatuur en daglengte (Sønsteby & Heide, 2007) (Heide et al., 2013). Om dus onder zomerse omstandigheden (warme en lange dagen) een lagere plantbelasting te realiseren moet de kas dus worden gekoeld, of de daglengte moet middels schermen worden beperkt. Het laatste is veel minder energie intensief en heeft dus de voorkeur in het project gericht op een teeltconcept in een fossielvrije en duurzame toekomst van de aardbeienteelt. Gedurende de teelt is een daglengte aangehouden tussen 13 – 13.5u (Figuur 3) De teeltplanning is in detail grafisch weergegeven in Bijlage II Teeltplanning. De planning wordt als maatstaaf gebruikt bij de behaalde resultaten.



Figuur 3. Grafische weergave van scherm- en belichtingsstrategie om een daglengthe van 13 uur te behalen (exclusief half uur schemer). De gerealiseerde daglengthe bedraagt dan 13 – 13.5 uur.

### 2.3. Metingen

In het project worden diverse metingen aan de planten gedaan om de gewasontwikkeling, het oogstprofiel, en de assimilatenbalans te kwantificeren. De oogst is voor elke goot geregistreerd, brix, plantbelasting voor alle goten exclusief de randen. Uitgroeiduur werd voor verse Favori en Arabella geregistreerd. Assimilatenbalans metingen aan de sink zijde zijn uitgevoerd voor verse Arabella planttypes. De volgende data is verzameld:

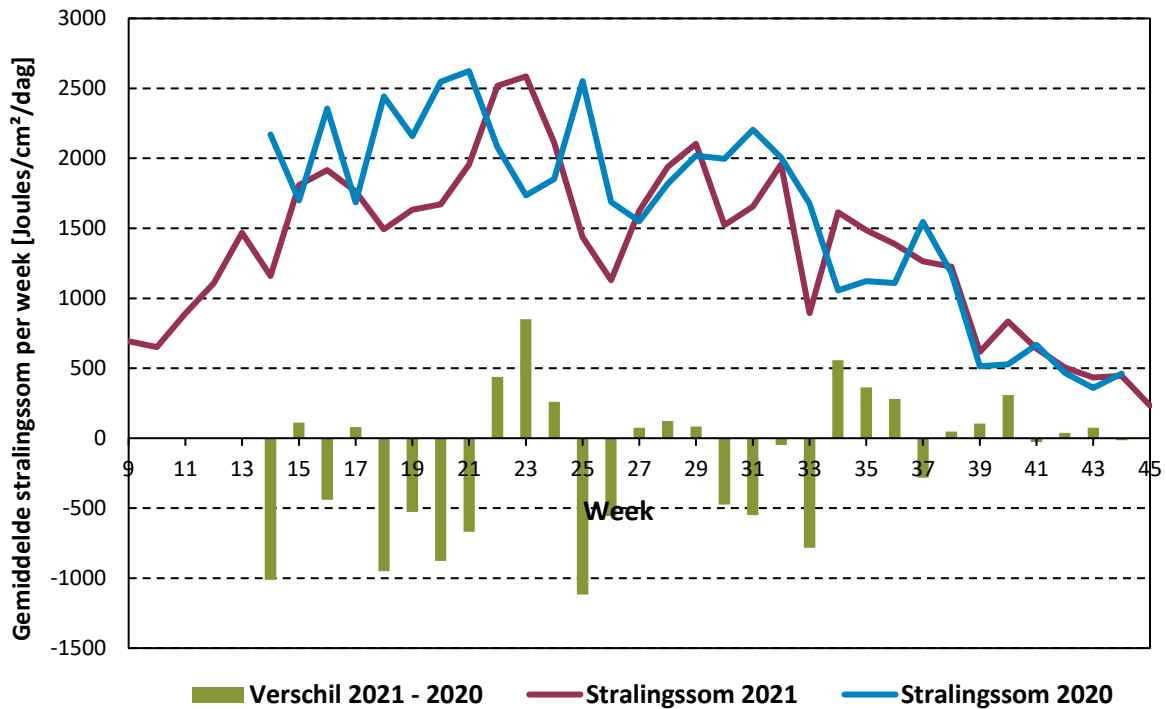
Type meting	Parameter
Standaard	Oogst (inclusief sorteringen; klasse I 35+, 30+, 27+, 25+, klasse II en afval)
Standaard	Brix
Standaard	Plantbelasting (Aantal vruchten en bloemen per m <sup>2</sup> )
Standaard	Uitgroeiduur
Assim. Balans – source	LAI
Assim. Balans – source	Lichtonderschepping
Assim. Balans – source	Gewasbreedte
Assim. Balans – source	Fotosynthesemetingen
Assim. Balans – sink	Aantal geoogste vruchten per plant
Assim. Balans – sink	Versgewicht per vrucht
Assim. Balans – sink	Vruchtgrootte per vrucht
Assim. Balans – sink	Drooggewicht per plant (vruchten, trossen, bladeren, uitlopers)
Overig	Bladleeftijd



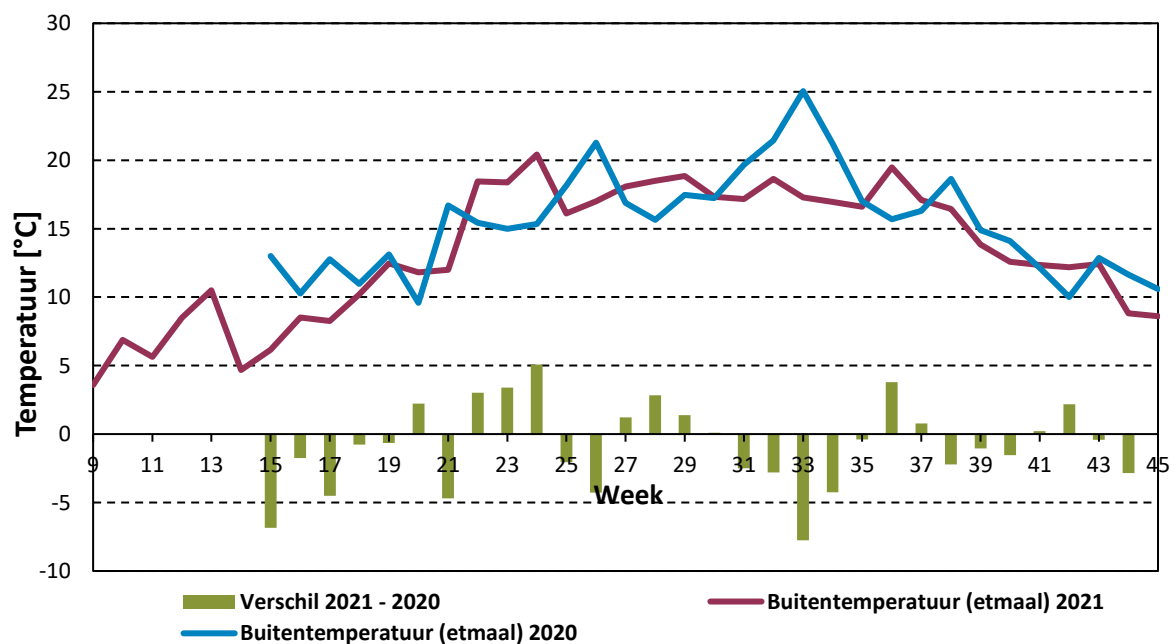
### 3. Resultaten en discussie

#### 3.1. Klimaat en meteogegevens

Het jaar 2021 kan beschreven worden als typisch Hollands. Vergelijkend met de proefperiode van 2020 was er gemiddeld 15% minder straling in 2021. Met name in het voorjaar was het minder zonnig (Figuur 4). De lagere straling ging samen met lagere buitentemperaturen, in 2021 lag het gemiddelde lag 13.32°C ook ongeveer 15% lager dan 15.65°C in 2020 (Figuur 5), maar toen werd eerder geplaat waardoor meer koele lentedagen het gemiddelde drukken.

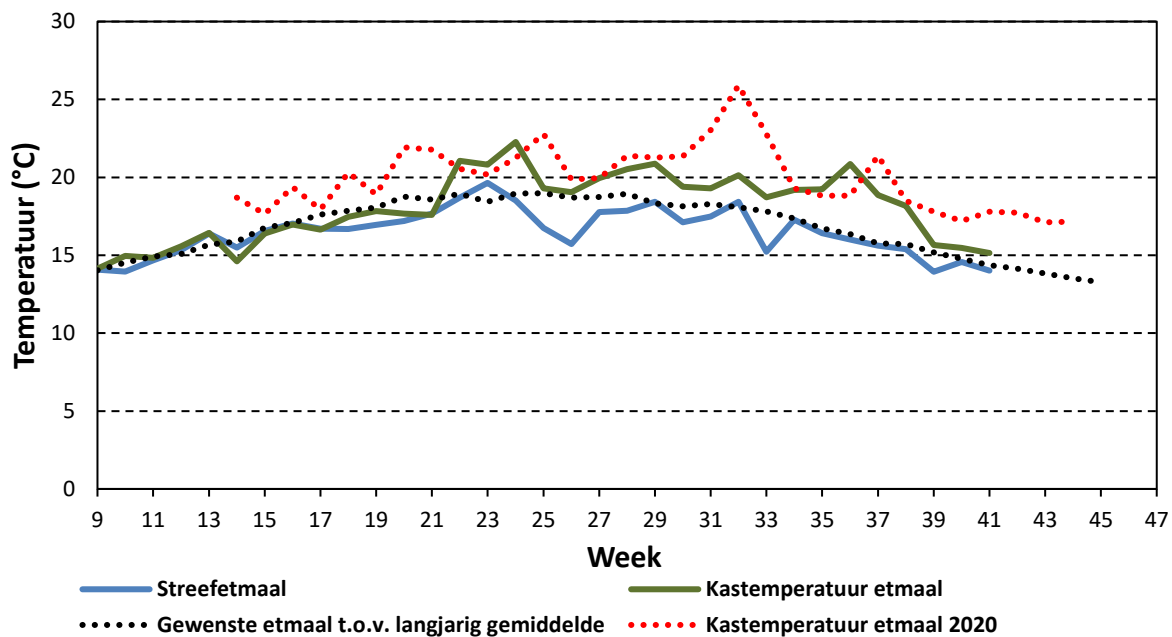


Figuur 4. Gemiddelde stralingsom gedurende de proef in 2021 in vergelijking met 2020.



Figuur 5. Gemiddelde buitentemperatuur per week gedurende de proef in 2021 in vergelijking met 2020.

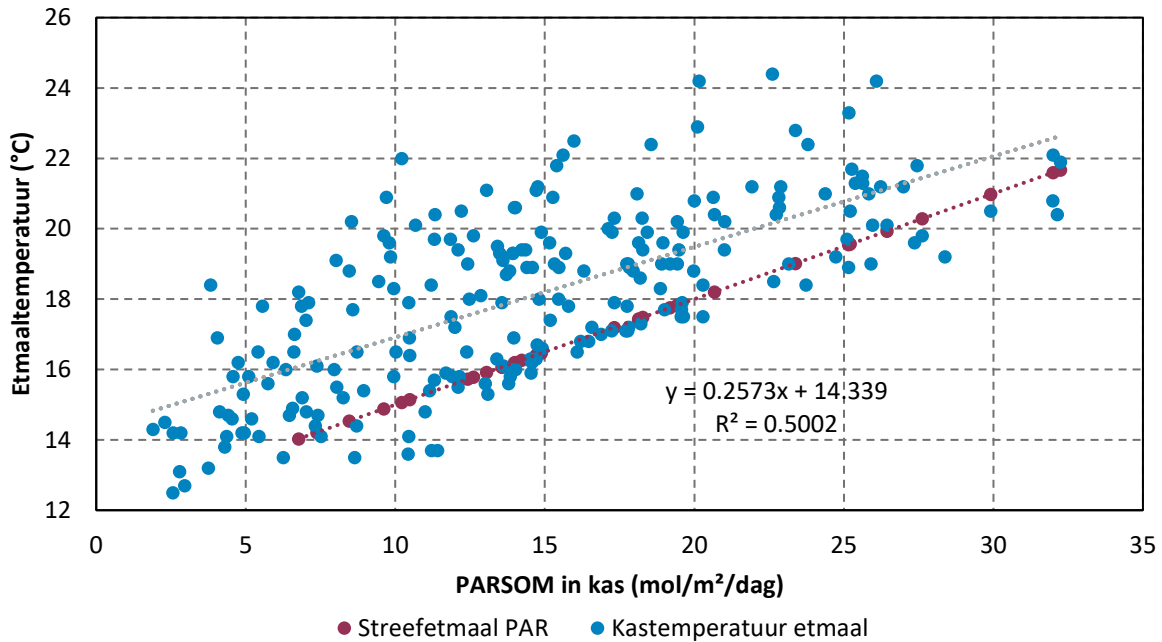
Door o.a. de behoorlijk verschillende buitenomstandigheden zijn de gerealiseerde kasttemperaturen van dit jaar behoorlijk uiteenlopend met die van 2020. Daarnaast is de klimaatstrategie van dit project op een licht:temperatuur verhouding van 12+ ( $3^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ mol/m}^2/\text{dag PAR}$ ) ingezet. Voor elke 10 mol in de kas, mocht de etmaaltemperatuur dus  $3^{\circ}\text{C}$  hoger dan de basistemperatuur zijn. De ventilatielijnen zijn daarop gedurende de teelt aangepast. In 2020 lag de basislijn hoger ( $15^{\circ}\text{C}$  tegenover  $12^{\circ}\text{C}$ ). Dit jaar is (ook dankzij de buitenomstandigheden) koeler geteeld dan in 2020. In het voorjaar is er genoeg koele lucht voor handen om de kasttemperatuur te sturen op basis van de lichtsom. In de zomer, met name rond weken 25-27, zorgde relatief donkere dagen voor lage streefetmaaltemperaturen die ook onder de buitentemperatuur lagen en daardoor niet haalbaar zijn in de kas (Figuur 6). In deze periode werd zo koel mogelijk geteeld door veel te ventileren in de nacht en koelere buitenlucht aan te zuigen met het VentilationJet systeem met een gesloten scherm. Het drukken van etmaaltemperatuur kreeg ook overdag de prioriteit, om zo niet de grens over te gaan waarin de planten zwakke trossen en/of bloemen aanleggen die inherent zijn met kleine vruchten tijdens hittegolven, met name zoals in het project van 2020 werd waargenomen.



Figuur 6. Behaalde kasttemperatuur (groen), lag gemiddeld lager dan de kasttemperatuur van 2020 (rood gestippeld), maar boven de streefetmaaltemperatuur (blauw) door warme buitentemperaturen. Een donkere periode van het jaar rond week 25 was donkerder dan het langjarig gemiddelde (zwart gestippeld), wat resulteerde in lage streefetmaaltemperaturen.

De gerealiseerde RTR van 2021 werd in het voorjaar strak op het gewenste niveau gehouden, in de zomer werd daar door buitenomstandigheden van afgeweken; streefetmalen in de zomer bij lichtsommen van  $20 \text{ mol/m}^2$  lagen rond  $18^{\circ}\text{C}$  (rode lijn in Figuur 7) terwijl  $20^{\circ}\text{C}$  werd gerealiseerd (blauwe lijn). Over de hele proef werd een verhoging van ongeveer  $2.5^{\circ}\text{C}$  graden voor elke  $10 \text{ mol/m}^2 \text{ PAR}$  gerealiseerd, met een basistemperatuur van  $14.3^{\circ}\text{C}$ .



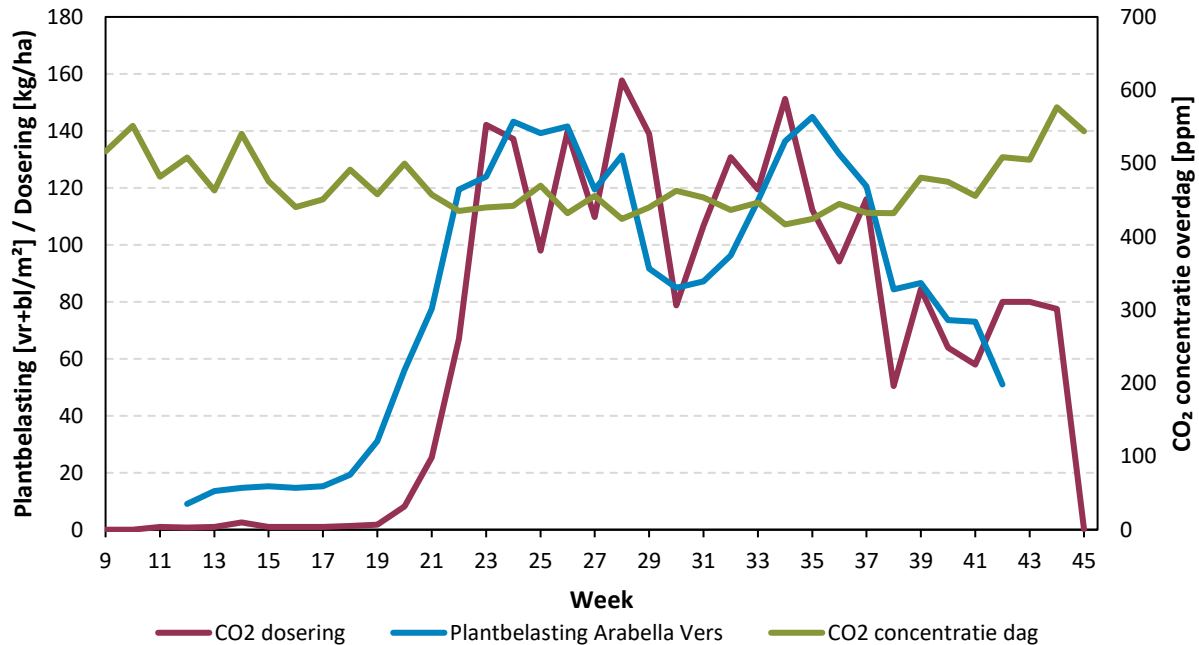


Figuur 7. Gerealiseerde RTR gedurende de teeltperiode. De rode lijn geeft de 12+3°C streeflijn weer, de blauwe stippen de gerealiseerde temperaturen bij de daarbij horende PAR-sommen. De blauwe stippen op de rode lijn zijn met name van het voor- en najaar.

### 3.2. Energieverbruik en CO<sub>2</sub>

In een toekomstige fossielvrije teelt van aardbeien zal de warmtevraag zo ver mogelijk beperkt worden en worden alternatieve energiebronnen gebruikt om het restant in te vullen. Gedurende de teelt is de warmtevraag zo veel mogelijk beperkt door in de nacht te schermen, een lage stooktemperatuur (6°C) aan te houden, en de kas natuurlijk op te laten warmen door de zon. In de periode dat verduisterd werd (natuurlijke daglengte >13u) warmt de kas op voordat er licht in de kas komt en hoeft de warmtevraag niet aangevuld te worden. Het is met name in de periodes waarin niet verduisterd wordt dat er ook koelere buitentemperaturen zijn. Met name in het vroege voorjaar (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> week van maart) en late najaar (1<sup>e</sup> week van november) is in sommige situaties nog een buisje nodig om op te stoken naar de minimale dagtemperatuur van 12°C. Met een maximale buistemperatuur (groeibuis onder de goot) van 40°C, en sporadisch gebruik daarvan, was de warmtebehoefte zo laag dat het niet door de warmtemeter is geregistreerd. Dezelfde stand werd gemeten bij de ruimdatum (8 november) als de plantdatum (3 maart). Bij eerder planten zal de warmtevraag toenemen vanwege koele buitentemperaturen, maar de vraag zal wel relatief laag zijn omdat in de eerste teeltfase de warmtevraag van het gewas ook laag is. Vanaf eind oktober werd wel duidelijk dat de kleuring erg langzaam ging en om tot december door te kunnen telen zou gas nodig zijn geweest om te voldoen aan de warmtevraag om gewas- en vruchtontwikkeling op gang te houden. De uitgroeiduur is op dat moment ook gemiddeld ruim 31 dagen (vergeleken met 25 dagen op eind juni). Als in dit teeltconcept weinig gas wordt verbruikt zal CO<sub>2</sub> van een externe bron moeten komen, zeker kijkend naar de teelt vanaf 2030. Het is aannemelijk dat de prijs van CO<sub>2</sub> zal stijgen en dat besparingsmogelijkheden worden toegepast om de efficiëntie van het doseren te verhogen. Het doseren van CO<sub>2</sub> gebeurde in deze teelt op gewasvraag. Er werd niet op maximale fotosynthese gestuurd, enerzijds omdat bij omstandigheden met veel natuurlijk licht ook vaak veel geventileerd wordt, anderzijds omdat het risico bestaat om de plant uit balans te brengen. Bij veel doseren van CO<sub>2</sub> bij een relatief lage plantbelasting wordt de energiebalans sterk positief, wat kan zorgen voor een prikkel om fors meer trossen aan te leggen waar de plant later niet genoeg assimilaten voor heeft. Er werd gestreefd naar een minimum concentratie van 400-450ppm (buitenwaarde) in de afdeling, en vanaf week 22 werd de dosering verhoogd tot een doseercapaciteit van 15kg/ha/uur, dat op basis van luchtuitwisseling werd afgebouwd naar max. 7kg/ha/uur. Rond week 23 piekte de plantbelasting en is de vraag naar assimilaten het hoogst. Bij de daling van de plantbelasting (en daarmee de assimilatenvraag) werd ook de dosering afgeschaald (Figuur 8). De CO<sub>2</sub>-concentratie in de afdeling wordt door veel luchten niet veel hoger, maar blijft in ieder geval boven de buitenconcentratie. Om CO<sub>2</sub> beter te benutten is het wenselijker om de darm in het gewas te leggen in plaats van onder de goot te hangen. Het is logisch dat bij minder luchten de CO<sub>2</sub>-concentratie in

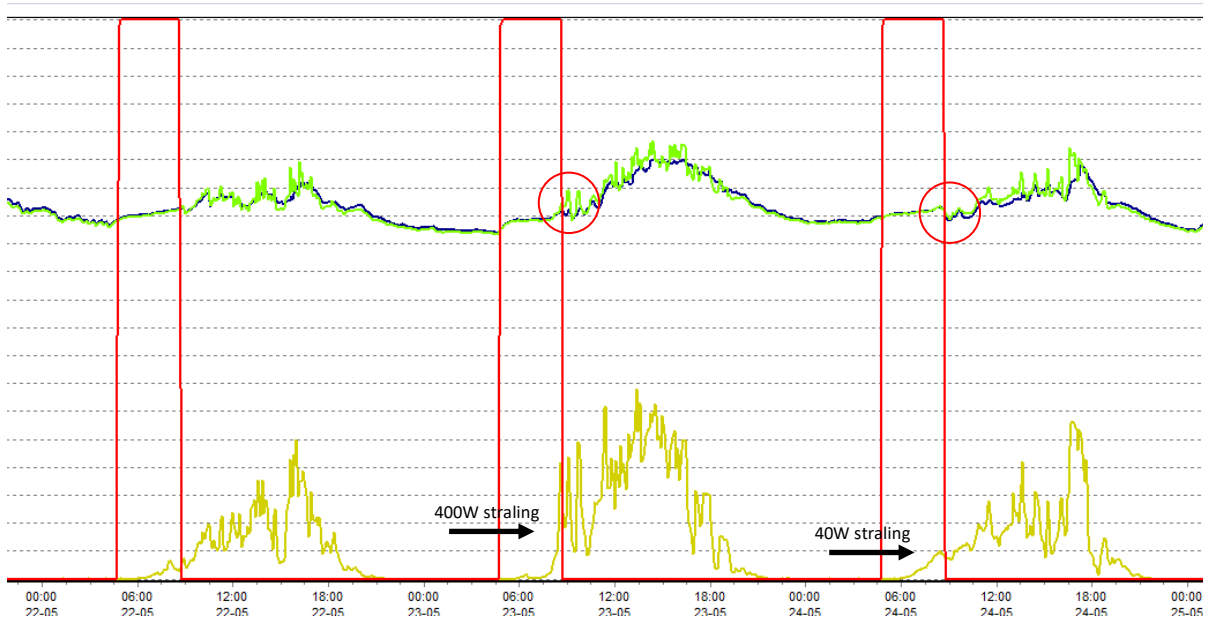
de kas hoger zou zijn bij dezelfde dosering, de kas- en planttemperatuur wordt echter fors hoger wat een groot effect kan hebben op bloem- en vruchtkwaliteit zoals gezien in de proef van 2020 (Jochems et al., 2020). Idealiter zou er gefocust moeten worden op maximale aanmaak van assimilaten en zou de plantbelasting en temperatuur daarop worden aangepast, in plaats van andersom, waarbij nog steeds een plant in balans wordt geteeld. Dat biedt kansen voor groeimodellen in de toekomst, maar om dat te onderbouwen is meer data nodig.



Figuur 8. CO<sub>2</sub>-dosering strategie gedurende de proef. De dosering is opgebouwd naar behoefte van gewas. Bij een hoge plantbelasting werd dus meer gedoseerd.

### 3.3. Schermgebruik

Tot 16 april is de cyclische belichting ingezet om de daglengte te verlengen. Vanaf deze datum werd begonnen met het verduisteren in de ochtend om de daglengte te beperken tot 13 uur (exclusief een half uur schemering). Het doek werd een uur voor zonsopkomst dichtgetrokken zodat de schemering aan het begin van de dag niet door de plant werd waargenomen, en werd 13 uur voor zonsondergang opengetrokken. Alleen in de ochtend werd dus verduisterd, omdat temperaturen in die periode het koelst zijn. Bij het opentrekken van het scherm werd snel waargenomen dat de plant soms in stressvolle situaties komt te staan, zoals op 23 mei bij een instraling van 400W buiten (Figuur 9). Om de stress te verlichten werd bij het openen van het verduisterscherm het zomerscherm gebruikt om de piekinstraling weg te nemen (Figuur 10). Koele en drogere buitenlucht kon worden aangezogen van boven het doek met de VentilationJet en werd in de kas te blazen om de temperatuur en luchtvochtigheid onder het doek te controleren (Figuur 11). De temperaturen en vochtigheden boven en onder het doek konden in deze proef dicht bij elkaar worden gebracht.



*Figuur 9. Verduisteren (rode lijn) bij verschillende klimaatomstandigheden zoals instraling (gele lijn) laat plantreacties zien zoals aangegeven door de rode cirkels in de figuur (VPD, lichtgroen). Kastemperatuur (donkergroen) loopt op kort na het openen van het scherm.*



*Figuur 10. Stapsgewijs opening van het verduisterscherm met het zomerscherm gesloten.*



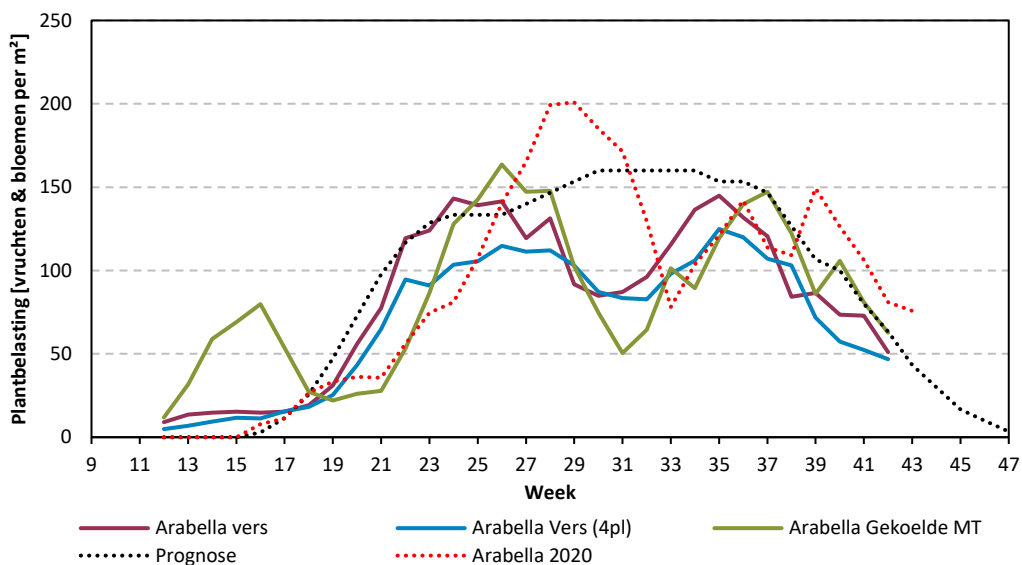
*Figuur 11. VentilationJet (links en verticale ventilator (rechts)*

Het zomerscherm gedurende de teelt veelvuldig gebruikt in de nacht om te schermen tegen uitstraling. Overdag kan het scherm worden ingezet om waterstress te voorkomen of beperken. Aan de hand van het gemeten VPD (Vapor Pressure Difference) werd bepaald of dat het geval was. Uit verleden onderzoek is bekend dat de huidmondjes tot een behoorlijk hoge waarde van 2.25kPa nog voldoende open blijven staan (Helmus-schuddebeurs & Jongenelen, 2020), en in het onderzoek van een jaar eerder is daardoor ook overdag veel geschermd vanwege de hoge (buiten-) temperaturen en instraling. Vanwege de sombere zomer, met lage gerealiseerde lichtsommen, werd besloten om vanaf eind juni zo veel mogelijk licht in de kas door te laten. Om minder licht weg te schermen werd het scherm daarom overdag later dichtgetrokken (de stralingsgrens werd verhoogd van 800 naar 1000W). Als anders op een bewolkte dag de zon doorbreekt, bestaat het risico dat het scherm meteen dichtgetrokken wordt en te lang onnodig dicht bleef liggen waardoor waardevol licht buiten werd gehouden. De VPD werd gemonitord in deze strategie en liep niet onverwachts op, maar bij hoge instraling werd de grens van 2.25 bereikt. Toch is er besloten om deze strategie vast te houden,

omdat 1) de VPD alleen op basis van het bovenste (vaak verouderde) blad berekend wordt; en 2) de VPD liep snel terug als de piekinstraling verminderd werd door bijvoorbeeld een wolk, dat aangeeft dat er geen blijvende waterstress optrad. Het positieve effect van meer (benut) licht op de energiebalans woog in deze strategie zwaarder dan het beperken van de VPD in wisselvallige dagen. Op heldere zonnige dagen werd het zomerscherm alsnog veel gesloten.

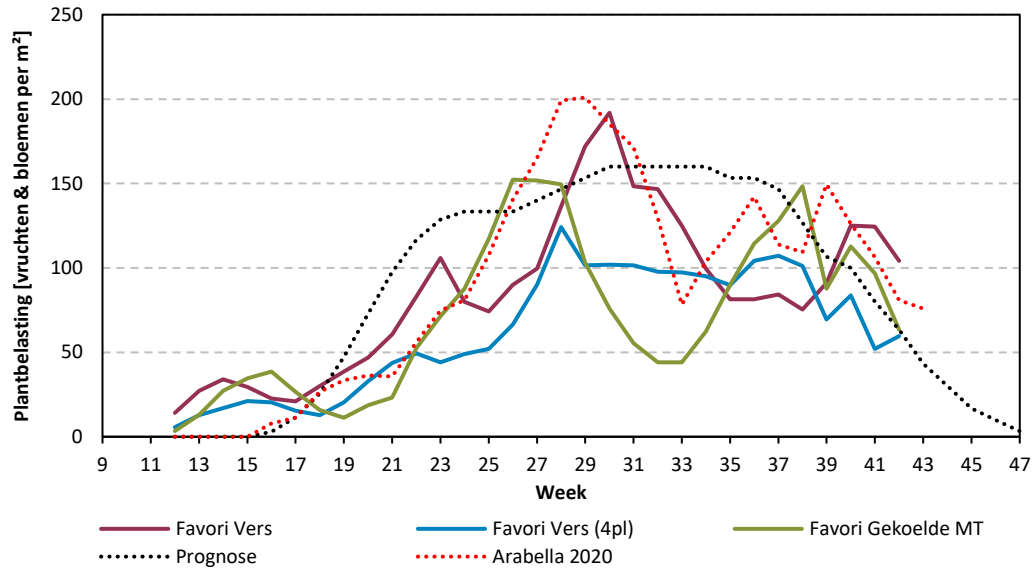
### 3.4. Gewasontwikkeling

Het effect van de voorbehandeling van de planten wordt snel duidelijk bij het vergelijken van de opbouw van de plantbelasting van de verschillende behandelingen. Net als in voorgaand onderzoek (2020) heeft de gekoelde behandeling een eerste flush gevolgd door een productiedip in Arabella. Dat begint bij een kleine piek in bloei en plantbelasting (Figuur 12). De verse planttypen zijn opgebouwd volgens de prognose, de lagere plantdichtheid realiseerde een nagenoeg vlakke plantbelasting van 100 vruchten en bloemen per m<sup>2</sup>. De hogere plantdichtheid is niet verder gestegen dan de vooraf beoogde grens van 140 vruchten en bloemen per m<sup>2</sup>, en zakte na week 28 niet verder terug dan 100 vruchten en bloemen per m<sup>2</sup>. Dat de plantbelasting niet hoger heeft gepiekt kan veroorzaakt door het verduisteren, echter in dit experimenteel teeltconcept is er geen vergelijking die daar uitsluitsel over kan geven. De lage lichtsommen vanaf week 27 (en de naar verhouding hoge buitentemperaturen), na een hoge plantbelasting in weken 24-25 hebben effect gehad op de energiebalans, waardoor er een dip in plantbelasting ontstond. Het plantmateriaal Favori was minder goed dan Arabella en bouwde langzamer op (Figuur 13). In de eerste fase van de teelt werd opgemerkt dat Favori meer last gehad van tipburn dan Arabella, en dat met name de planten met weinig belasting (1 of 2 kleine trosjes) het grootste schadebeeld lieten zien (Figuur 14). Andere behandelingen zijn opgenomen in Bijlage III.

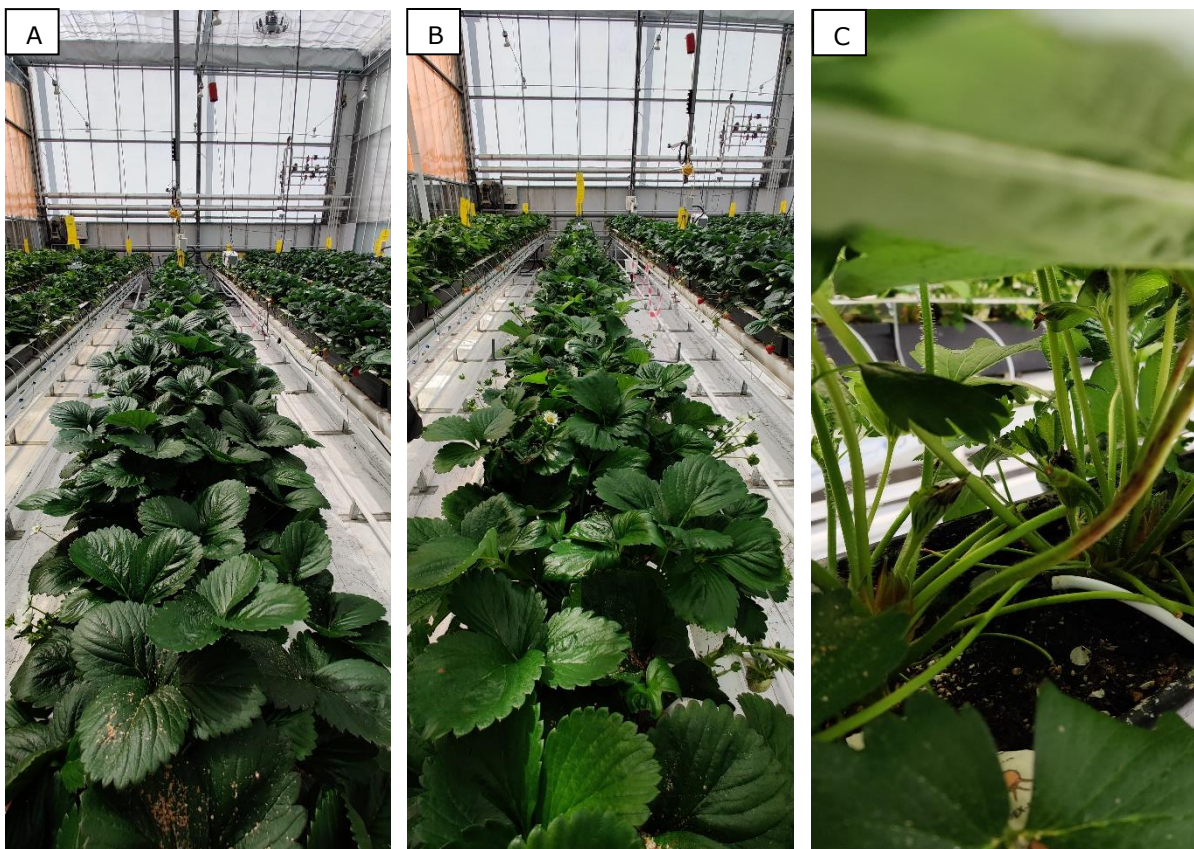


Figuur 12. Verloop van plantbelasting van Verse Arabella (4 planten/m vergeleken met de standaard 6 pl/m) en Gekoelde Arabella in vergelijking met de prognose en gerealiseerde plantbelasting van het vorige project.





Figuur 13. Verloop van plantbelasting van Verse en Gekoelde Favori in vergelijking met de prognose en gerealiseerde plantbelasting van het vorige project.

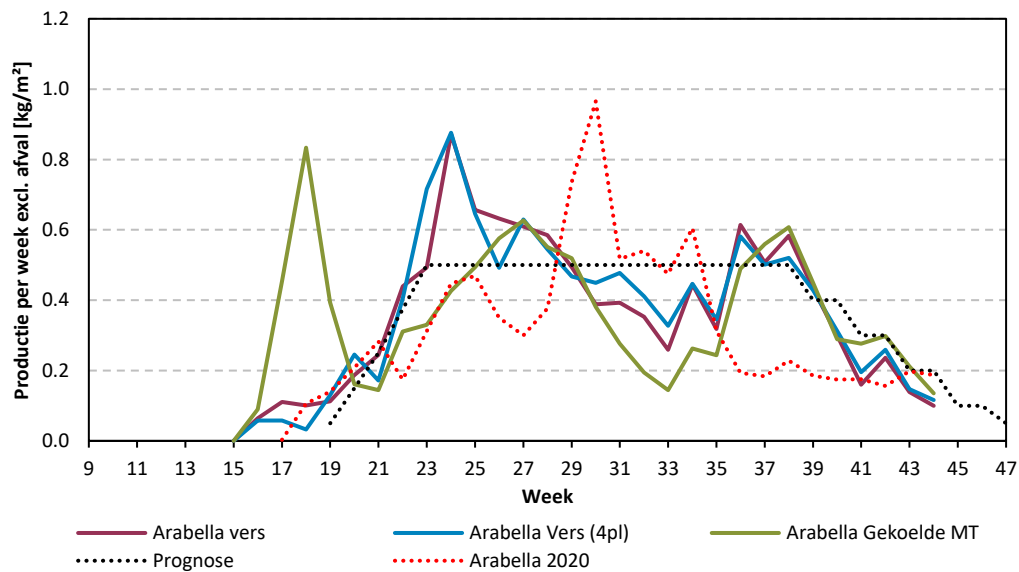


Figuur 14. A = verse Arabella zonder tipburn, B = aantasting tipburn in verse Favori, C = shadebeeld relatief onbelaste planten in verse Favori

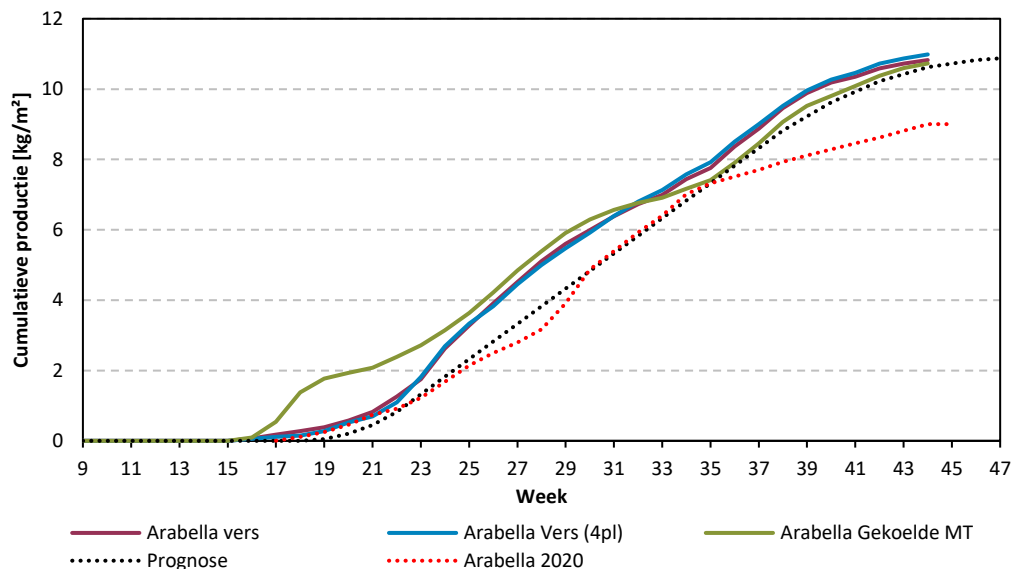


### 3.5. Productie

De eerste vruchten werden geoogst op 15 april. De gekoelde Arabella had een behoorlijke eerste flush maar kwam nog redelijk goed terug. Het patroon van de verse Arabella bouwt langzamer op maar blijft langer op een hoger niveau. Tussen de plantdichtheden (4 of 6 planten per bak) was geen merkbaar verschil in productiepatroon (Figuur 15), ook niet tussen de Arabella gesnoeid op een maximale plantbelasting en de Arabella belicht in de opkweek (Bijlage III). In de donkerdere weken van de zomer is nieuwe ontwikkeling in alle planttypen afgenomen, waardoor ook de productie een aantal weken terugliep. Desondanks zakte de productie bij de verse Arabella niet verder terug dan 0.3kg/m<sup>2</sup>/week, en krabbelde het gewas nog terug om in het najaar een paar weken goede productie te geven. Ondanks de weersomstandigheden is het dus gelukt om een aardig vlakke productie te realiseren. In totaal werd boven de prognose gerealiseerd, de verse Arabella (6 planten) 10.83kg/m<sup>2</sup> exclusief afval (Figuur 16).

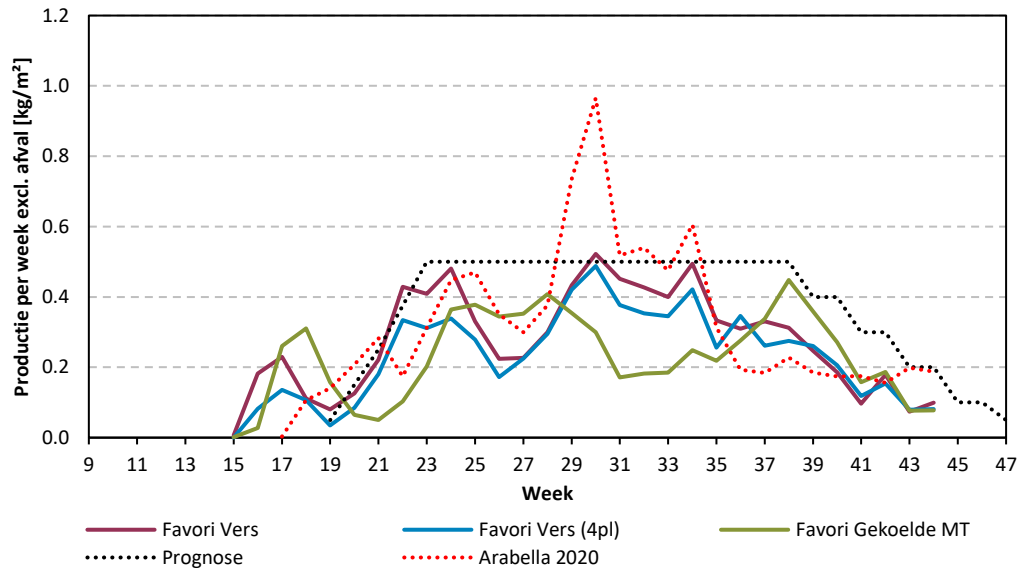


Figuur 15. Wekelijks verloop van de productie exclusief afval in kg/m<sup>2</sup> van Verse en Gekoelde Arabella in relatie tot de prognose en het vorig project.

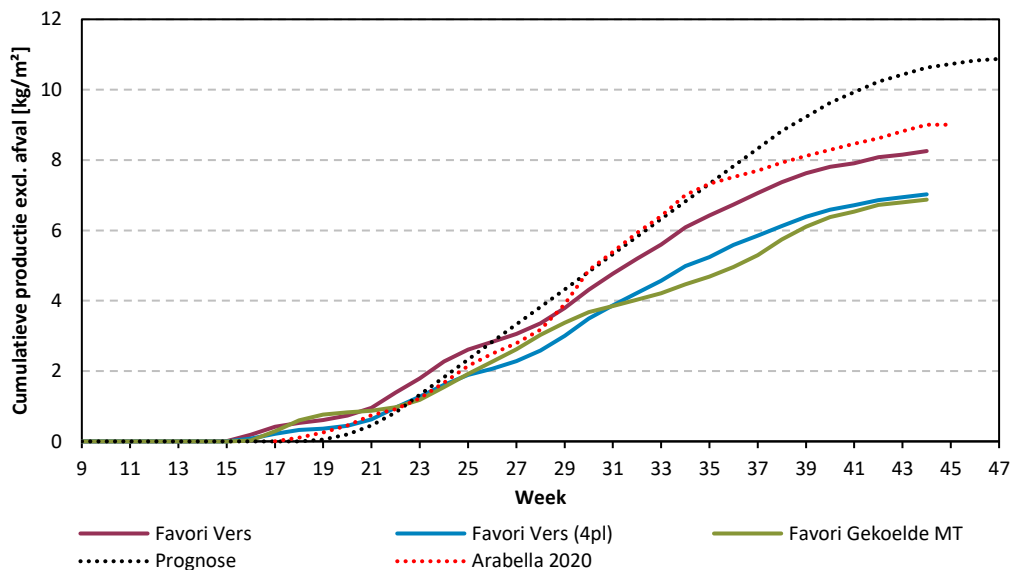


Figuur 16. Cumulatieve productie exclusief afval in kg/m<sup>2</sup> van Verse en Gekoelde Arabella in relatie tot de prognose en het vorig project.

De productie van Favori bleef lager dan Arabella door tipburn en het kwaliteit van het plantmateriaal (er is geen merkbaar verschil in bladfotosynthese, waar in paragraaf 4.2.2. verder op ingegaan wordt). De productie van vrijwel alle behandelingen schommelde tussen 0.2 – 0.5 kg/m<sup>2</sup> per week (Figuur 17). Ook de verse Favori stond wisselend, maar haalde uiteindelijk wel het hoogste productieniveau van 8.26 kg/m<sup>2</sup> excl. afval (Figuur 18). Dat bevestigt wel dat de meeste potentie voor een langdurig teeltconcept, onafhankelijk van ras, bestaat uit een strategie met verse planttypen.



Figuur 17. Wekelijks verloop van de productie exclusief afval in kg/m<sup>2</sup> van Verse en Gekoelde Favori in relatie tot de prognose en het vorig project.



Figuur 18. Cumulatieve productie exclusief afval in kg/m<sup>2</sup> van Verse en Gekoelde Favori in relatie tot de prognose en het vorig project.

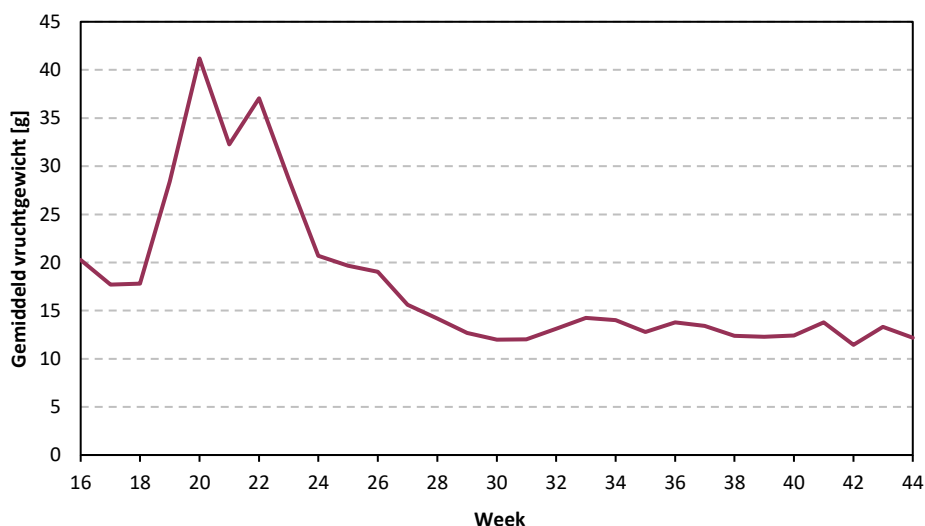
### 3.6. Vruchtkwaliteit

In de eerste paar weken van de teelt werden uitzonderlijk grote vruchten geoogst (Figuur 19-A). Het aantal geoogste vruchten was laag, het vruchtgewicht des te hoger. Ook naarmate de plantbelasting toenam werden krachtige trossen waargenomen, met groffe bloemen die veel potentie hebben in uitgroeien naar grote vruchten (Figuur 19-B&C).



Figuur 19. A = Een van de eerste vruchten van Arabella Vers (6 mei); B = Bovenaanzicht van een 4kg-doos Favori en Arabella (22 april); C = krachtige trossen in Favori (21 mei).

Vanaf week 27 liep het gemiddelde vruchtgewicht van alle klassen (ook afval) terug naar zo'n 13 gram, waar het stabiel bleef tot aan het einde van de proef. Het vruchtgewicht in de eerste weken is veel hoger, maar omdat er weinig vruchten werden geoogst is de vergelijking met het vruchtgewicht later in de teelt niet zuiver.

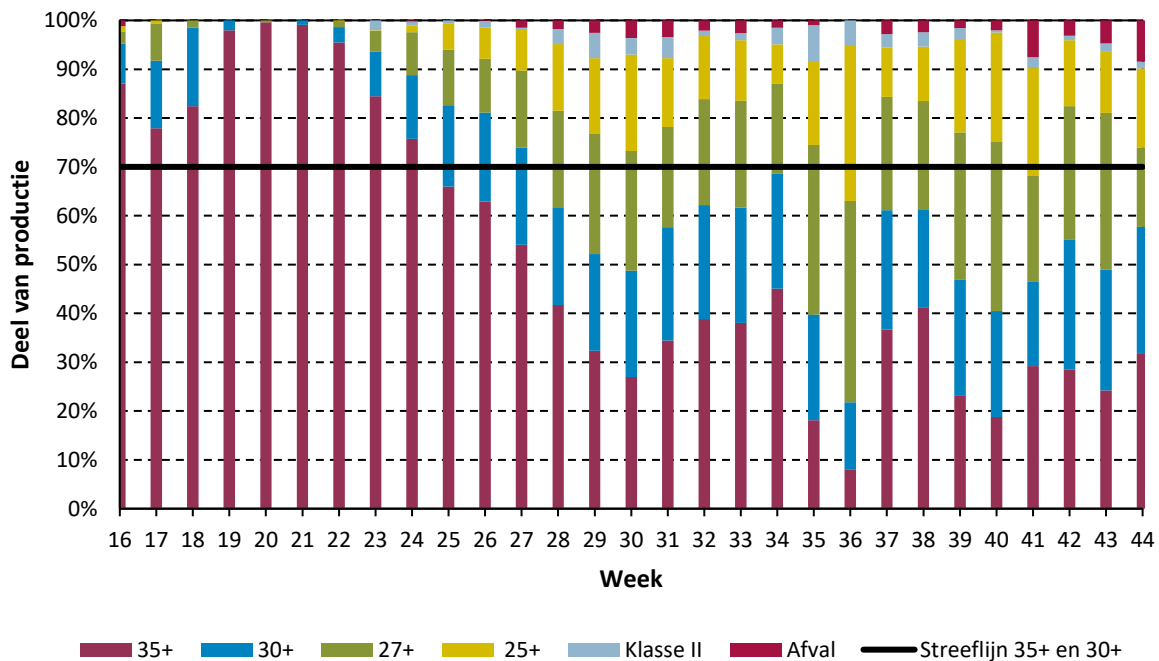


Figuur 20. Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht van verse Arabella (6pl/m) gedurende de teelt van alle klassen.

De prijzen voor groffe aardbeien (30+ en 35+) zijn het beste, en dit aandeel moet voor een rendabele teelt zo hoog mogelijk zijn. Van de geoogste vruchten werd gestreefd naar een 70% aandeel van die grofheid. Dat is bijna gelukt, met meer dan 68% (een krappe 7.4kg/m<sup>2</sup>) (Figuur 21). Met name in weken 35-36, rond eind augustus/begin september, aan het einde van een periode met een hoge

plantbelasting en een relatief hoge buitentemperatuur in verhouding met het beschikbare licht blijft het op peil houden van het vruchtgewicht een uitdaging (Figuur 22). De gesnoeide verse Arabella en de planten met lagere plantdichtheid hebben respectievelijk 71 en 70% van de oogst in de groffe maten en zijn dus vergelijkbaar. Het effect van de behandelingen heeft geen groot effect, en harde conclusies kunnen niet worden genomen op basis van de kleine steekproef op halve goten. Het is wel interessant om dit in vervolgonderzoek verder te onderzoeken. Favori heeft bij alle behandelingen tussen 54-58% in de maten 30+ en 35+. Grafieken van alle rassen en plantbehandelingen zijn weergegeven in (Bijlage IV).

### Arabella Vers



Figuur 21. Wekelijkse verdeling van productie in sorteringen (in mm).



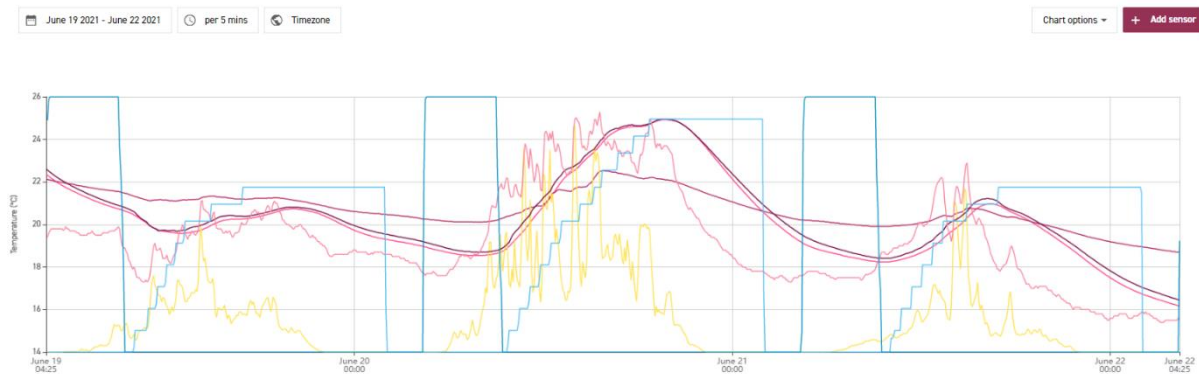
Figuur 22. Foto gemaakt op 13 augustus 2021, een periode waarin het gewas een redelijk hoge plantbelasting heeft maar weinig natuurlijk licht ontvangt door (zwaar-)bewolkt weer.

Het suikergehalte (°Brix) van de verse Arabella is gemiddeld over de teelt 7.38° en verschilt niet veel met andere behandelingen of planttypen. De gekoelde en verse Favori hebben een hogere Brix (resp. 7.81 en 7.82). De vruchtkwaliteit was in deze proef dus voldoende, maar met name in de tweede helft van de zomer (hoge temperaturen, lage lichtsommen) liggen nog verbeterpunten.



### 3.7. Overig

Ziekten en plagen zijn in deze teelt geen probleem geweest, ondanks dat de ontwikkelingssnelheid van diverse plaaginsecten bijvoorbeeld in de zomer hoog zijn. Met het regelmatig uitzetten van biologie werd er een 'standing army' gebruikt om infecties snel de kop in te drukken. Ook qua gebreken wat betreft bemesting waren er weinig problemen. Alleen de tipburn (met name in Favori) bleef lang doorsluimeren. Toen in juni guttatie werd gevonden was dat het teken dat de aanvoer hoger dan de afvoer ligt, wat met name wordt veroorzaakt door een gebrek aan energietoevoer doordat het verduisterscherm dicht lag. De enige vorm van energietoevoer is dan de convectieve energie die met name vanuit de kaslucht, na-ijlende substraatbakken, en kasbodem komt. Hier is de irrigatie op aangepast, zodat de eerste waterbeurtjes werden gegeven na het openen van het verduisterscherm (Figuur 23).



*Figuur 23. Irrigatiestrategie in juni. Te zien is dat de kastemperatuur (licht roze lijn) toeneemt als buiten de zon op kracht komt (gele lijn, straling), maar in principe blijft de verdamping laag omdat het verduisterscherm (donkerblauw) dicht ligt. Daardoor start irrigatie (lichtblauwe lijn, gevormd als 'trap') pas na het openen van het verduisterscherm om te hoge worteldruk te voorkomen.*



## 4. Assimilatenbalans aardbei

### 4.1. Introductie en aanpak

In het project 'Aardbei in balans met verse doordragers' (Jochems *et al.* 2021) is een start gemaakt met het inzichtelijk maken van de assimilatenbalans van aardbei. Dit (deel)project bouwt hierop voort. De aanmaak (source) is inzichtelijk gemaakt door maandelijkse metingen van de bladfotosynthese door te vertalen naar gewasfotosynthese. Het verbruik (sinks) zijn inzichtelijk gemaakt door diverse gewasmetingen en het toepassen van rekenregels uit tomatengroeimodellen. De assimilatenproductie van aardbei is bepaald op basis van een modelmatige berekening van de gewasfotosynthese. Dit vraagt de volgend input:

1. Registratie van het klimaat in de proefkas (5-minuten waarden PAR, CO<sub>2</sub>, temperatuur, planttemperatuur en RV).
2. Regelmatige bepaling van de LAI en gewasbreedte en vervolgens interpolatie naar dagwaarden.
3. Lichtverdeling in het gewas gerelateerd aan de LAI en het fitten van de lichtuitdoving.
4. Totale lichtverliezen naar de grond in relatie met gewasbreedte.
5. 3D-verdeling van fotosynthese-parameters (lichtrespons en CO<sub>2</sub>-respons curves) door het gewas.

Het verbruik van assimilaten gedurende de teelt is ingeschat op basis van modelmatige berekeningen afkomstig uit tomatengroeimodellen. Dit vraagt de volgende input:

1. Wekelijkse oogst en bijbehorend percentage drooggewicht van de geproduceerde aardbeien.
2. De LAI, LMA (leaf mass per area=bladgewicht per oppervlak) en aantal bladeren zodat hoeveelheid bladpluk en hoeveelheid bijgroei van nieuw blad inzichtelijk is.
3. De drogestofverdeling over de verschillende organen (vrucht, blad, stengel) is gemeten op basis van destructieve metingen. Het percentage drogestof naar de wortels is als 30% van het bladgewicht ingeschat.
4. De schatting van de respiratie van bladeren volgt uit de fotosynthesemetingen en respiratie van de vruchten is geschat op basis van kennis bij tomaat.
5. De uitgroeiduur van de vruchten.

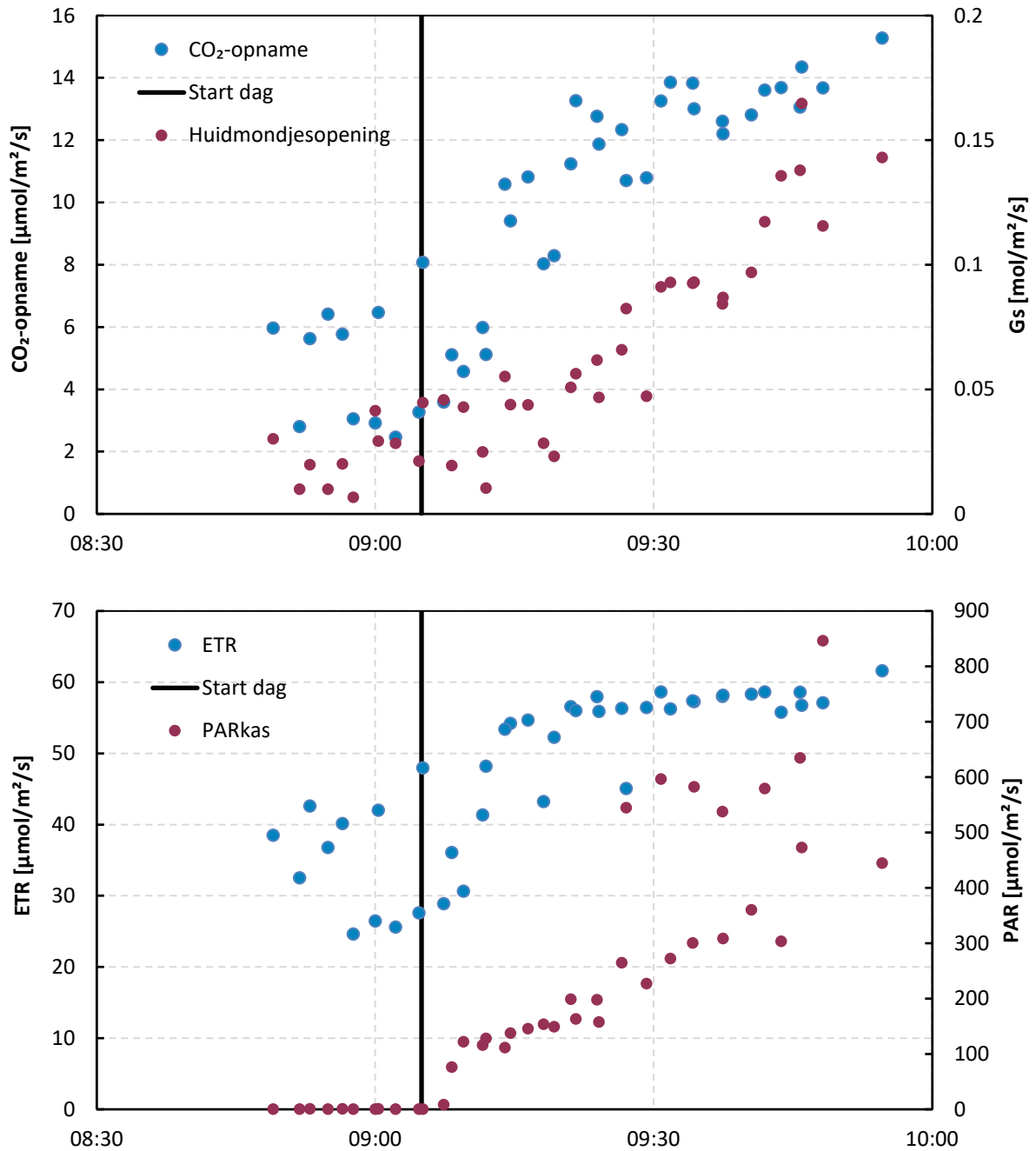
### 4.2. Bladfotosynthese

De fotosynthese-eigenschappen van de bladeren zijn maandelijks gemeten, respectievelijk 23 maart, 28 april, 26 mei, 22 juni, 20 juli, 24 augustus, 20 september en 27 oktober 2021. Klimaatgegevens van die dagen zijn weergegeven in Bijlage V.

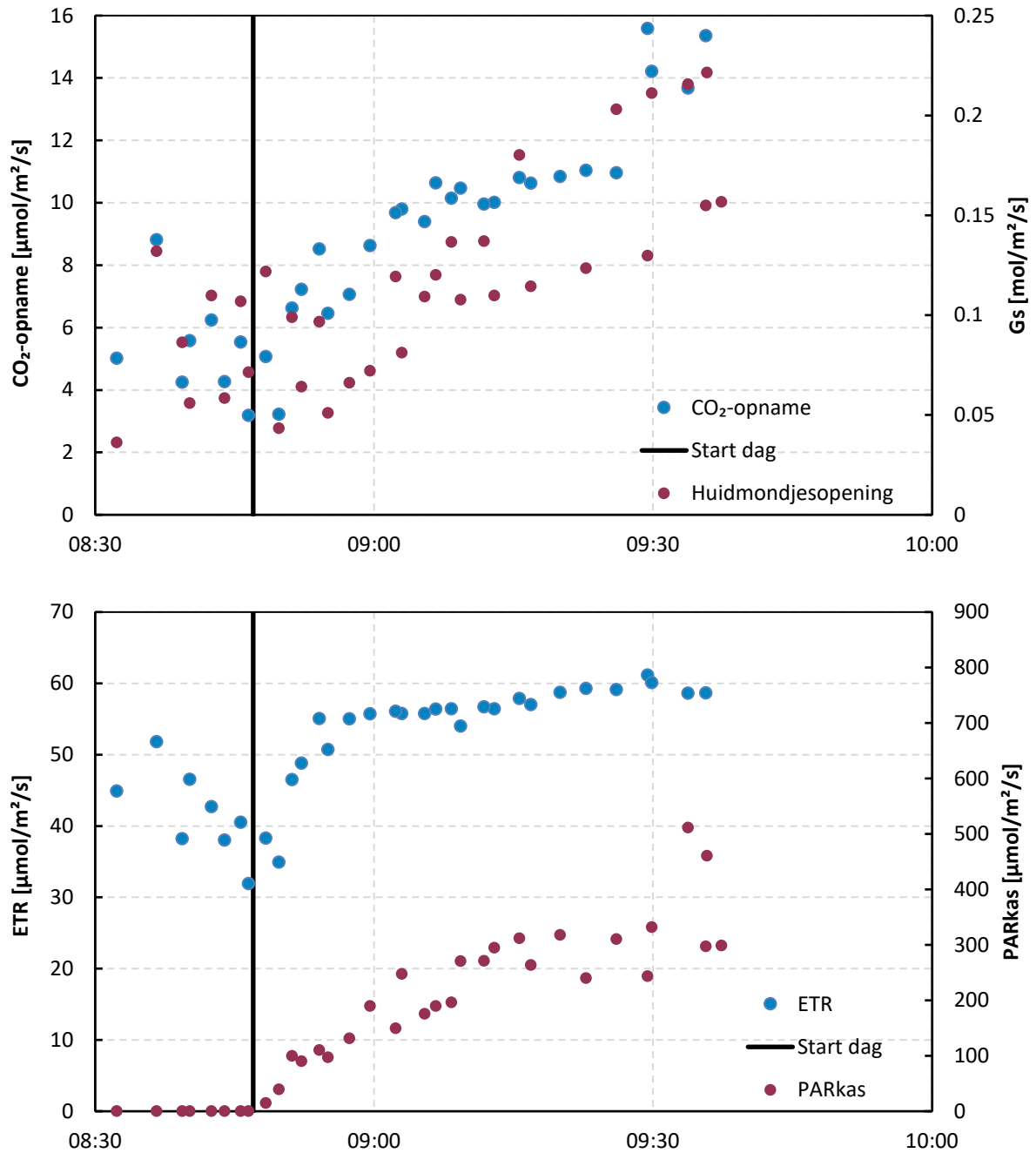
#### 4.2.1. Huidmondjesopening bij start van de dag

Een aantal keren (mei, juni, juli, aug en oktober) is de huidmondjesopening gemeten op het moment dat 's ochtends het verduisteringsscherm open ging. Figuur 24 en Figuur 25 tonen respectievelijk de startmomenten in juni en juli 2021, de volgende zaken vallen op:

- ✦ De CO<sub>2</sub>-opname is met een goed kwartier op stoom.
- ✦ Binnen 10 minuten is fotosyntheserendement (ETR gemeten via chlorofyl-fluorescentie) maximaal.
- ✦ De huidmondjes doen er ruwweg 3 kwartier of langer over om een redelijke huidmondjesgeleidbaarheid te bereiken. In oktober (natuurlijke zonop) duurde de huidmondjesopening eerder 1.5 uur. Gezien de lage instraling is dat dan echter niet limiterend voor de fotosynthese.



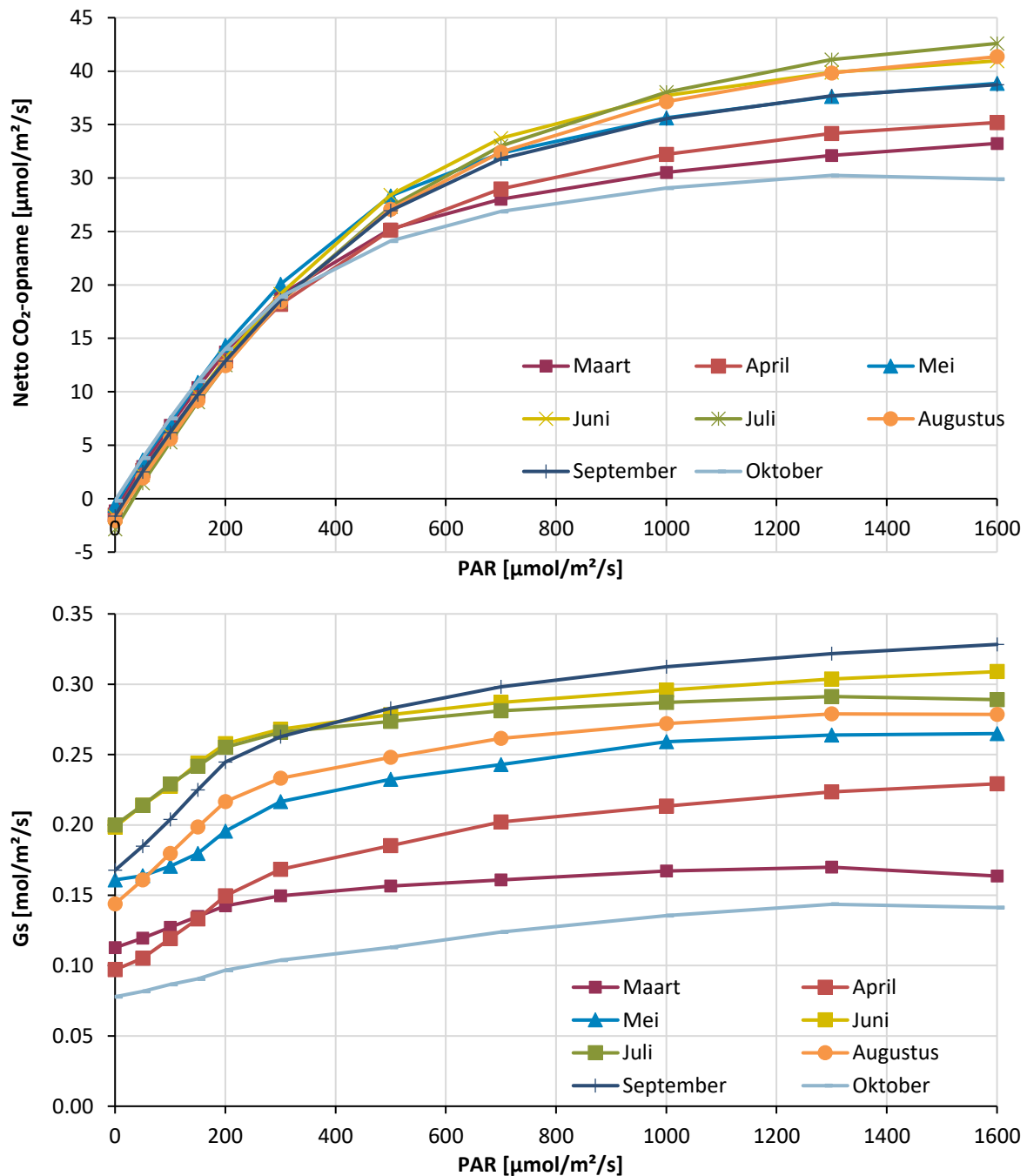
Figuur 24. Huidmondjesopening, bijbehorende fotosynthese en ETR bij  $200\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  PAR rondom de opening van het verduisteringsscherm in juni, met een kwartier is de fotosynthese op stoom. De huidmondjesopening gaat langzamer. De metingen zijn uitgevoerd bij 800 ppm CO<sub>2</sub>.



Figuur 25. Huidmondjesopening, bijbehorende fotosynthese en ETR rondom de opening van het verduisteringsscherm in juli, met een kwartier is de fotosynthese op stoom. De huidmondjesopening gaat langzamer. De metingen zijn uitgevoerd bij 450 ppm CO<sub>2</sub>. NB de laatste meetpunten zijn gemeten bij 800 ppm CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2. Lichtrespons van de fotosynthese

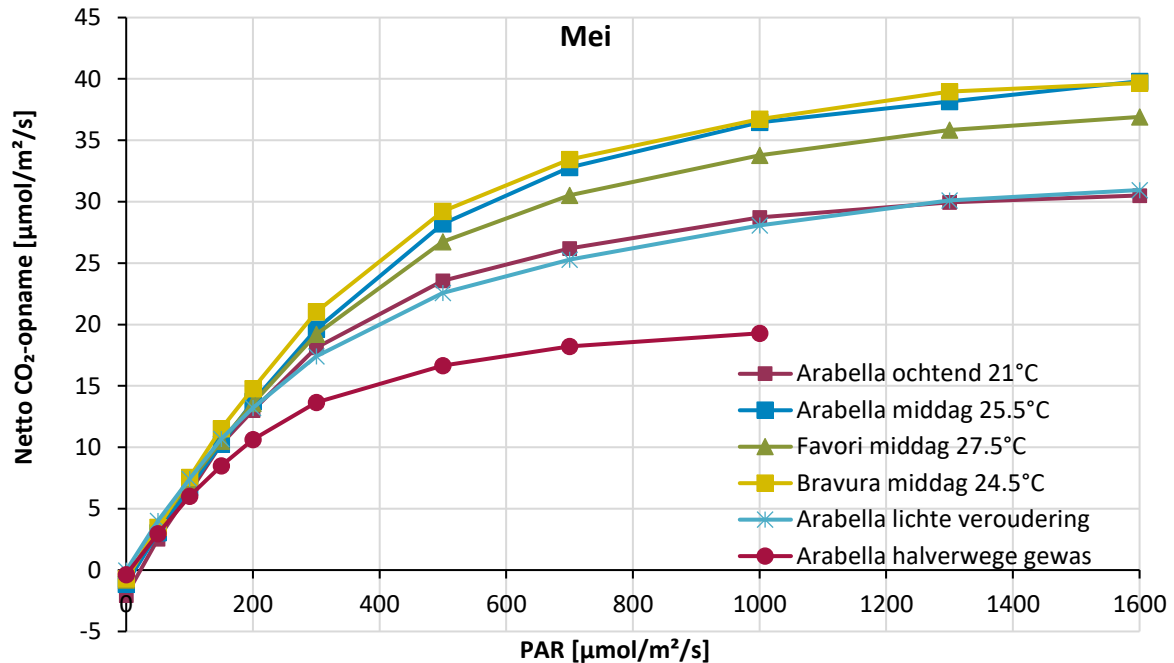
Maandelijks is de lichtrespons van de fotosynthese gemeten om het jaarverloop van de fotosynthese-capaciteit vast te stellen. Deze gegevens zijn gebruikt voor parametrisatie van het gewasfotosynthesemodel. Wat opvalt is dat de fotosynthese-capaciteit alleen in de maanden maart, april en oktober wat lager lag. In maart en oktober was de temperatuur rond de 20°C ten opzichte van 25-30°C in de andere maanden. Ook lag de huidmondjesopening op de meetdagen van deze twee maanden fors lager (Figuur 27). Dat lag waarschijnlijk aan de lagere instraling op die dagen (Bijlage V).



Figuur 26. Lichtrespons van de fotosynthese en bijbehorende huidmondjesopening gemeten bij 800 ppm CO<sub>2</sub>. Er is altijd gemeten bij de heersende kasttemperatuur.



Er bleken nauwelijks verschillen in bladfotosynthese tussen rassen te zijn (Figuur 27), alleen de maand mei wordt getoond). Het effect van temperatuur op de fotosynthese-capaciteit is veel groter dan cultivarverschillen. Halverwege gewas is de fotosynthese-capaciteit gehalveerd ten opzichte van de onbeschaduwde topbladeren en onderin het gewas ligt de fotosynthese-capaciteit op ruwweg 1/3 ten opzichte van de topbladeren (Figuur niet getoond).



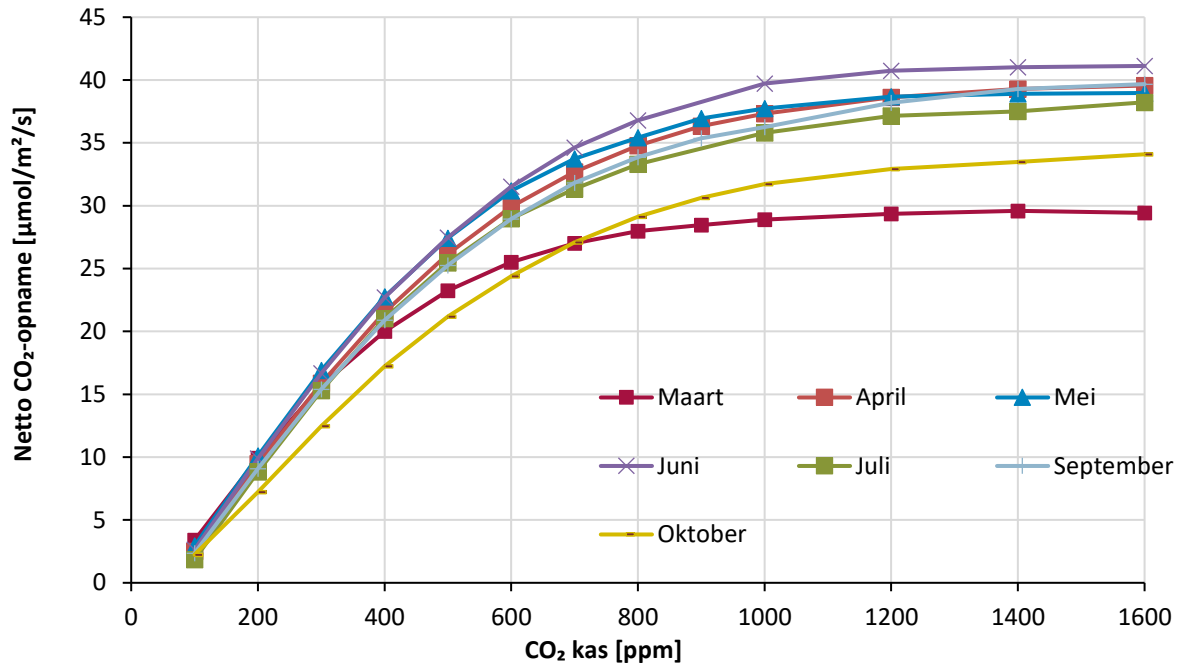
Figuur 27. Voorbeeld lichtrespons van de fotosynthese bij verschillende cultivars, temperaturen en gewaspositie. Gemiddeld genomen werd er nauwelijks een cultivar-effect gemeten, het temperatuurseffect was altijd veel groter. Halverwege het gewas is de fotosynthese-capaciteit gehalveerd.

#### 4.2.3. CO<sub>2</sub>-respons van de fotosynthese

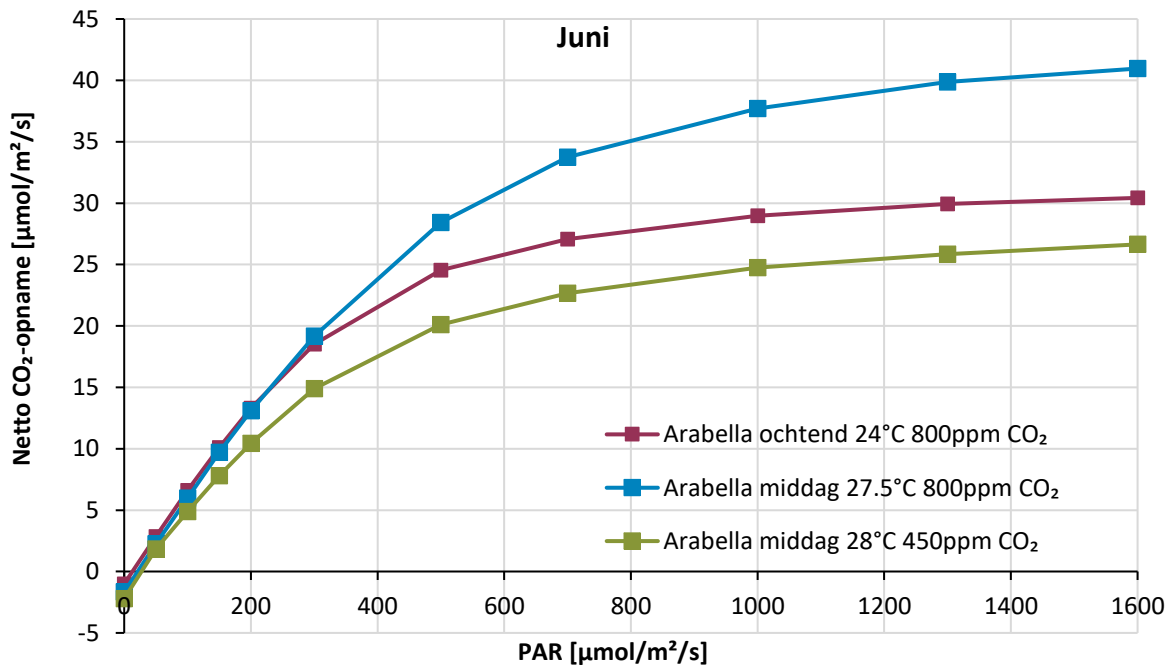
Figuur 28 geeft de CO<sub>2</sub>-respons weer, gemeten bij een lichtniveau van 1000 µmol/m<sup>2</sup>/s PAR. Ruwweg is telkens dezelfde respons gemeten. Bij dit hoge lichtniveau ligt de verzadiging rond de 1000 ppm CO<sub>2</sub>. Bij lagere lichtniveaus zal deze eerder bij de 800 ppm liggen omdat dan de huidmondjes waarschijnlijk een minder beperkende factor zijn. In oktober was de huidmondjesopening relatief laag waardoor onder lage CO<sub>2</sub>-niveaus er een lagere CO<sub>2</sub>-opname is. Als deze lijnen uitgezet worden tegen het interne CO<sub>2</sub>-gehalte in het blad, dan verdwijnen deze verschillen.

Figuur 29 geeft de lichtrespons weer van de fotosynthese bij 450 en 800 ppm CO<sub>2</sub>. Hier is te zien dat vanuit de fotosynthese bezien, CO<sub>2</sub>-dosering bij *elk* lichtniveau nut heeft:

- ✚ Temperatuur verhoogt de fotosynthese-capaciteit (onder hoge lichtniveaus).
- ✚ CO<sub>2</sub> verhoogt de fotosynthese onder elk lichtniveau.



Figuur 28. CO<sub>2</sub>-respons van de fotosynthese gemeten bij 1000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  PAR. Er is altijd gemeten bij de heersende kasttemperatuur.



Figuur 29. Effect van temperatuur en CO<sub>2</sub> op de lichtrespons van Arabella, gemeten in juni 2021.

### 4.3. Gewasfotosynthese

Er is gerekend met een gewasfotosynthesemodel dat bestaat uit twee modules:

- ✦ Module lichtverdeling door het gewas op basis van de zogenaamde Monsi-Saeki benadering (Monsi & Saeki, 2005). Hierbij wordt aangenomen dat het licht in het gewas exponentieel uitdooft volgens de formule  $PAR_n = PAR_0 * e^{-k * LAI}$ . Hiermee wordt het licht verdeeld over 10 gewaslagen.
- ✦ Module bladfotosynthese op basis van het Farquhar, Von Caemmerer & Berry-model (FvCB; Farquhar, Von Caemmerer & Berry, 1980). Hierbij wordt de bladfotosynthese mechanistisch berekend. Er wordt rekening gehouden met het lichtniveau, de bladtemperatuur en het CO<sub>2</sub>-niveau.

Het model rekt met een tijdstap van 5 minuten: de standaard tijdseenheid van de meetbox. Door de bladfotosynthese van 10 lagen te sommeren wordt de gewasfotosynthese per 5 minuten berekend. Vervolgens worden deze 5-minutenwaarden gesommeerd tot dagwaarden. Op 5-minutenbasis wordt het model gevoed door de lichtintensiteit, CO<sub>2</sub>-gehalte en temperatuur. Op dagbasis wordt het model gevoed door:

- ✦ De LAI
- ✦ De paramaters van het FvCB-model ( $J_{max}$ ,  $V_{cmax}$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$ ),  $J_{max}$  en  $V_{cmax}$  verschuiven geleidelijk gedurende het seizoen en zijn afhankelijk van gewaspositie.

#### 4.3.1. Van blad naar gewas: lichtuitdoving en verliezen

Gedurende de proef zijn een aantal maal de lichtverliezen in het gewas en de lichtverliezen naar de grond vastgesteld. Deze zijn gemeten door met een lijnsensor net boven het gewas en in het gewas op trosbandhoogte of op de kasbodem (buisrailhoogte) het licht te meten. In het gewas wordt praktisch al het licht geabsorbeerd (90% of meer). Doordat het gewas niet breed genoeg is, zijn de lichtverliezen naar de grond 32-40%. Dit komt redelijk overeen met een gewasbreedte van ruim 60% (Tabel 1). Voor een proef zijn dit soort lichtverliezen acceptabel maar in praktijk niet te tolereren. Meerdere oplossingsrichtingen zijn hierin mogelijk: allereerst maximalisatie van gewasstrekking, gebruik van gewashaken waardoor het blad beter gespreid kan worden, het hebben van meer goten/smalleren paden) of veredeling op sterker strekkende rassen.

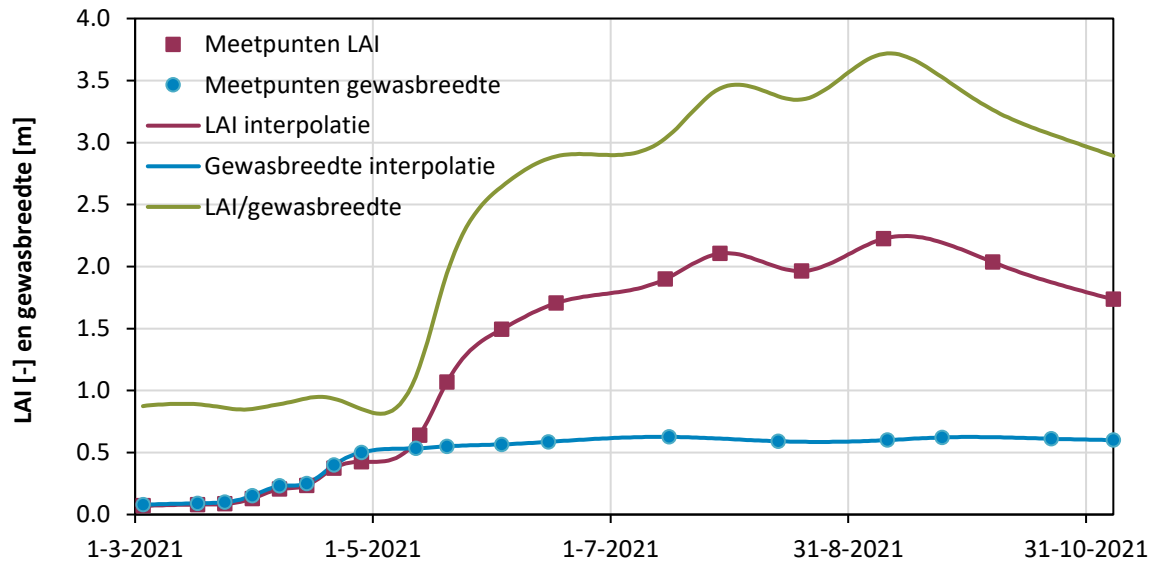
Tabel 1. Gemeten lichtverliezen in het gewas en naar de grond.

Week	Ras	Voorbehandeling	pl/m	uitdoving in gewas
week 19	Arabella	Gekoeld	6	6.9%
		Vers	4	8.9%
	Favori	Vers	6	3.3%
			6	10.7%
week 25	Arabella	Gekoeld	6	3.0%
		Vers	4	2.8%
	Favori	Vers	6	2.4%
			6	2.8%

Week	Ras	Voorbehandeling	pl/m	verliezen naar de grond
week 25	Arabella	Gekoeld	6	31.9%
		Vers	4	32.4%
	Favori	Vers	6	34.7%
			6	32.0%
week 43	Arabella	Gekoeld	6	34.5%
		Vers	4	40.0%
	Favori	Vers	6	34.1%
			6	34.5%

### 4.3.2. LAI en gewasbreedte

Figuur 30 geeft de gemeten LAI en gewasbreedte weer (punten), met behulp van interpolatie zijn er dagwaarden van gemaakt (lijnen). Door de LAI te delen door de relatieve gewasbreedte wordt er een effectieve LAI gegeven de gewasbreedte verkregen. Deze is gebruikt om een volvelds gewasfotosynthese te berekenen met een scherpe lichtuitdoving in het gewas. De volveldse gewasfotosynthese maal de relatieve gewasbreedte geeft de gewasfotosynthese.

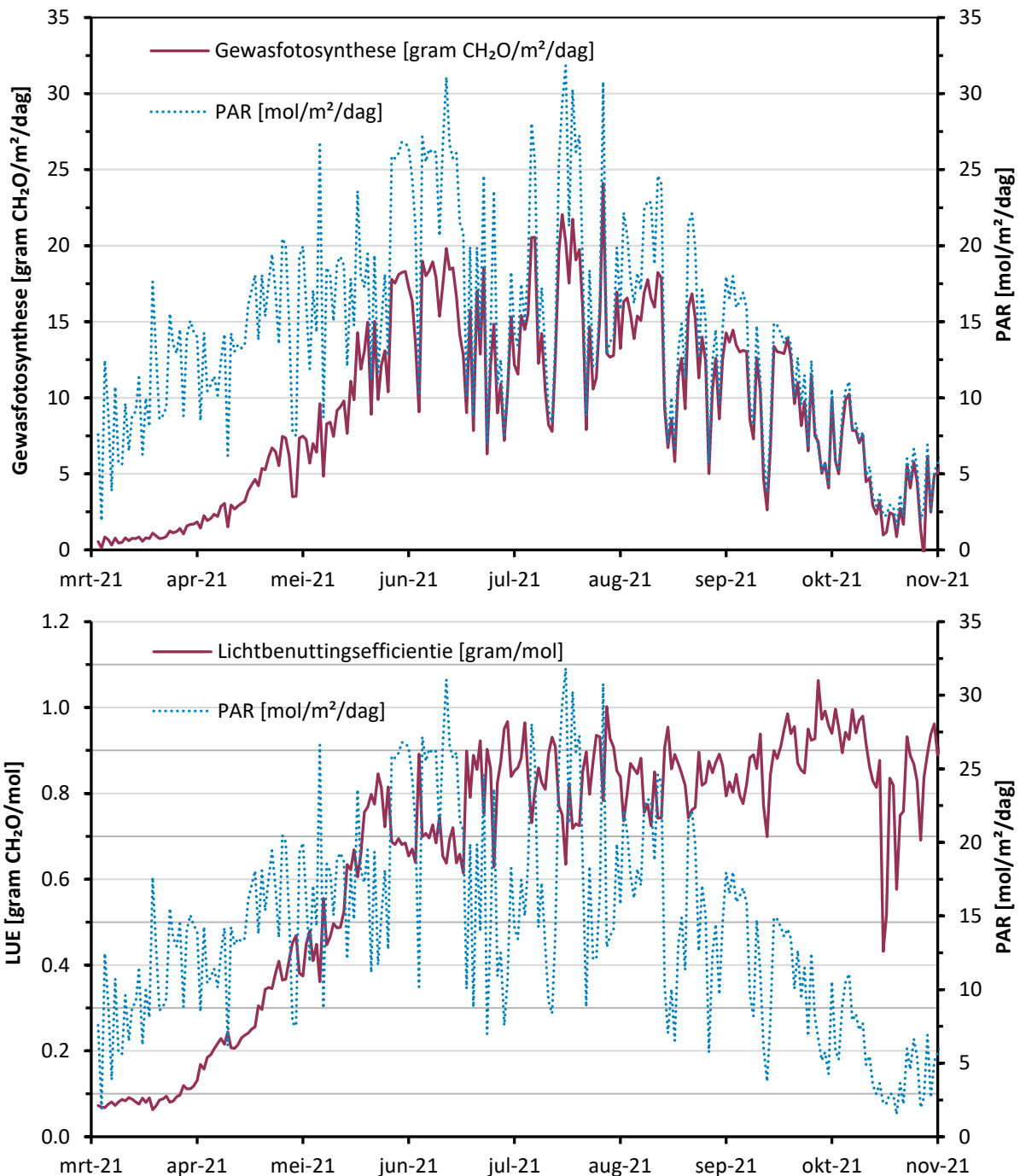


Figuur 30. Ontwikkeling LAI en gewasbreedte gedurende de proef. Voor het gewasfotosynthesemodel is er een interpolatie gemaakt tussen de meetpunten.

### 4.3.3. Assimilatensom

Figuur 31 toont de dagwaarden van de netto gewasfotosynthese (paars) in relatie tot de dagsommen PAR (blauw). Te zien is dat de assimilatsom ruwweg de PARlijn volgt (een lichtbenuttings-efficiëntie van ongeveer 0.85) behalve aan het begin van het seizoen van maart tot mei. Dit komt door een te lage LAI. In 2020 lag de lichtbenuttings-efficiëntie rond de 1, doordat het CO<sub>2</sub>-gehalte in de kas fors hoger lag. Hierbij moet worden opgemerkt dat het in deze proef niet gaat om maximalisatie van de fotosynthese maar dat het 'in balans zijn' van de plant belangrijker is dan de lichtbenutting, maar er ligt daar nog wel potentie voor extra productie.





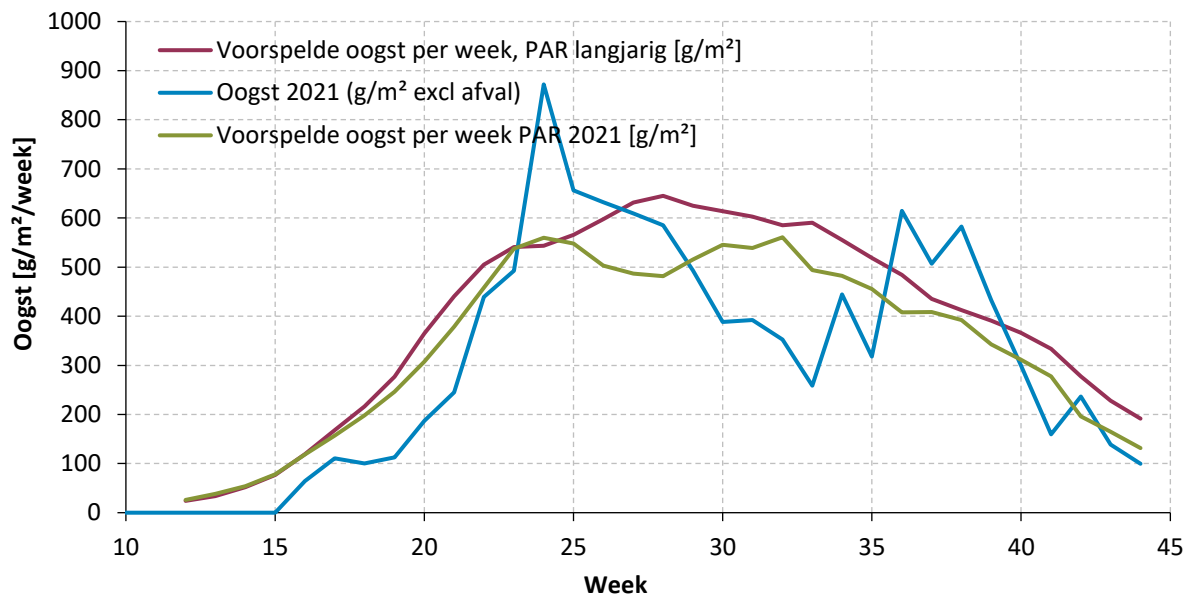
*Figuur 31. Netto gewasfotosynthese en lichtbenuttingsefficiëntie over het seizoen. Te zien is dat de gewasfotosynthese de dagsom PAR redelijk goed volgt (een lichtbenuttingsefficiëntie rond de 0.85) behalve aan het begin van het seizoen als de LAI nog te laag is.*

Als de lichtbenutting min of meer bekend is, dan kan de lichtbenutting gebruikt worden om de oogst te gaan voorspellen op basis van het langjarig gemiddelde aan lichtsommen. Figuur 31 maakt duidelijk dat de grootste onzekerheid van de lichtbenutting in de opbouwfase van het gewas zit en niet zomaar is toe te passen op andere jaren. Door de lichtbenutting te koppelen aan de LAI kan een betere voorspelling verkregen worden.

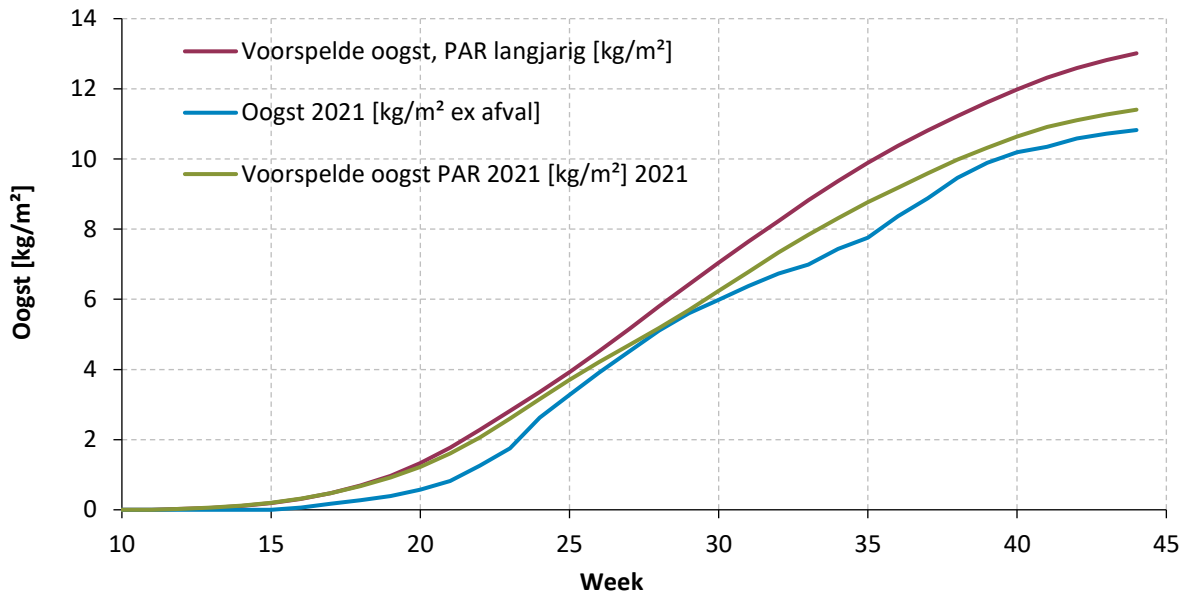
Met de berekende lichtbenutting en enkele vaste omrekengetallen kan ook nagegaan worden wanneer er in het teeltjaar 2021 minder dan verwacht is geproduceerd. Dit geeft Figuur 32 weer. De volgende zaken vallen op:

- ✦ Start teelt week 15-21: De voorspelde oogst (groen) ligt veel hoger dan de gerealiseerde oogst (blauw). Is er een te trage opbouw van de plantbelasting? Of is het juist goed dat de plant eerst investeert in een toename van de LAI? Paragraaf 3.4.3 maakt duidelijk dat er op dat moment maar een beperkt assimilatenoverschot is: de beschikbare assimilaten worden besteed, maar relatief gezien gaat er een lager percentage naar de vruchten.
- ✦ Week 24 en 25: Er is een veel hogere oogst dan op basis van lichtsom te verwachten is. Geeft dit uitputting van de plant?
- ✦ Week 30-35: De werkelijke oogst ligt veel lager dan de verwachte oogst. Er is veel te weinig oogst ten opzichte van de lichtsom, waarom? Tussen trosinductie en oogst liggen ruwweg 28000 groeigraaduren. Bij een etmaaltemperatuur van 20-22°C (schatting), is er dus 9.5 tot 10.5 week eerder te weinig geïnduceerd. Dat zit in de buurt van de productiepiek van week 24-25. Een productiepiek is het gevolg van een (te) hoge plantbelasting in de weken ervoor. Dus mogelijk stond er in de weken 21-23 al een rem op de inductie door de (te) hoge plantbelasting.
- ✦ Week 37-40: Opnieuw is er veel meer oogst dan volgens de lichtsom mogelijk is. Wordt hier dan geput uit reserves?

### Voorspelde en gerealiseerde oogst



### Voorspelde en gerealiseerde oogst

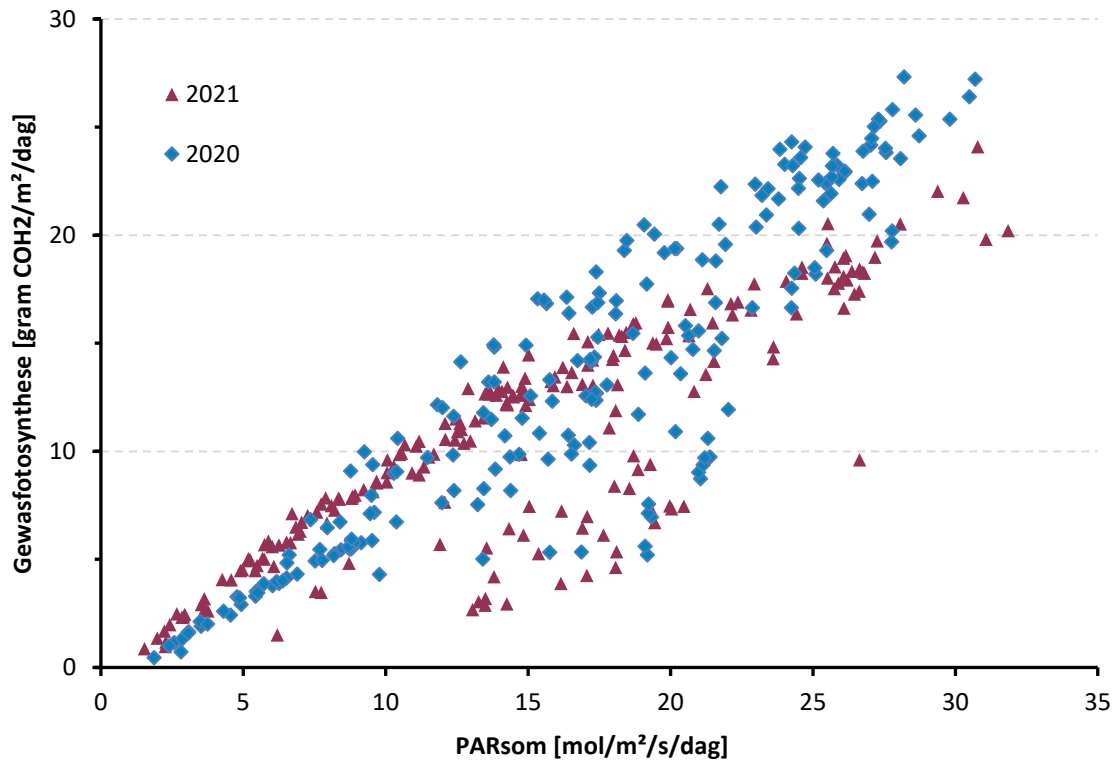


Figuur 32. Voorspelde oogst op basis van de lichtbenuttingsefficiëntie (LUE) van 2021 en een vast percentage van 60% van de assimilaten naar de vruchten. Dit laat zien dat er vooral aan het begin van de teelt en in de periode van week 29 tot 35 te weinig wordt geoogst ten opzichte van de lichtsom. In die periodes was er dus een te lage plantbelasting.

#### 4.3.4. Assimilatsom versus PAR

Figuur 32 toont de netto gewasfotosynthese ten opzichte van de PARsom van de seizoenen 2021 (paars) en 2020 (blauw). Ieder punt is een andere dag en heeft dus ook een andere LAI, temperatuur en CO<sub>2</sub>-niveau. In 2020 is er meer CO<sub>2</sub> gedoseerd en lag dus het CO<sub>2</sub>-gehalte in de kas veel hoger, daarom liggen er vooral bij de hogere lichtniveaus—boven 15 mol PAR—veel punten uit 2020 (blauw) hoger dan de punten uit 2021 (rood). Verder vallen de volgende zaken op:

- ✦ Ook de netto gewasfotosynthese laat min of meer een verzadigingscurve zien: tot ruwweg 15 mol PAR loopt de netto gewasfotosynthese lineair op en vlakt daarna af. Door het lagere CO<sub>2</sub>-gehalte in 2021 is er in dat jaar ook een snellere afvlakking dan in het jaar 2020. Dat deze afvlakking een rem op de RTR bij hoge lichtsommen moet geven is al betoogd in het rapport 'Aardbei in balans met verse doordragers' (Jochems *et al.* 2021).
- ✦ Het verband tussen Assimilatsom en PARsom loopt heel steil, voor balans in gewas tussen aanmaak en verwerking van assimilaten, ligt het voor de hand dat er dan ook een steile RTR nodig is, want:
  - Van 10 naar 20 mol PAR stijgt gewasfotosynthese van 10 gram naar 15-20 gram → gemiddeld 175%.
  - Bij de gehanteerde RTR van 12°C+3°C/10mol PAR is er 'slechts' een ~30% snellere ontwikkeling (voor de basistemperatuur voor gewasontwikkeling wordt bij aardbei 4.5°C genomen). Theoretisch zou je eerder op een RTR van 7°C+6°C/10mol PAR wat een ~70% snellere ontwikkeling geeft, uitkomen. Boven de 15 mol zou deze lijn dan al wel moeten gaan afvlakken omdat de gewasfotosynthese dat ook doet.
  - Een lage basistemperatuur voor de RTR en een steile toename in temperatuur bij toenemend licht, houdt in dat er juist op donkere dagen er veel koeler geteeld moeten worden. Dit is zonder actieve koeling (bijvoorbeeld airco of WKO) uiteraard niet haalbaar in praktijk in de zomer.



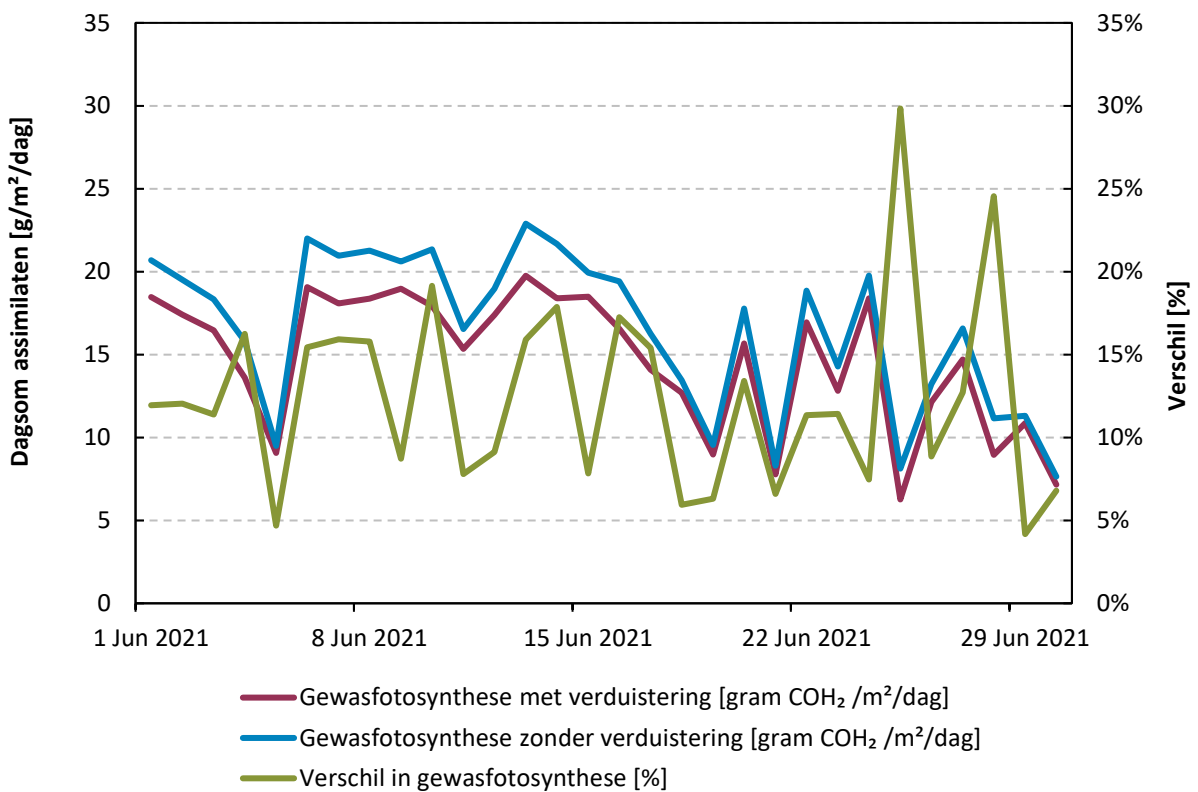
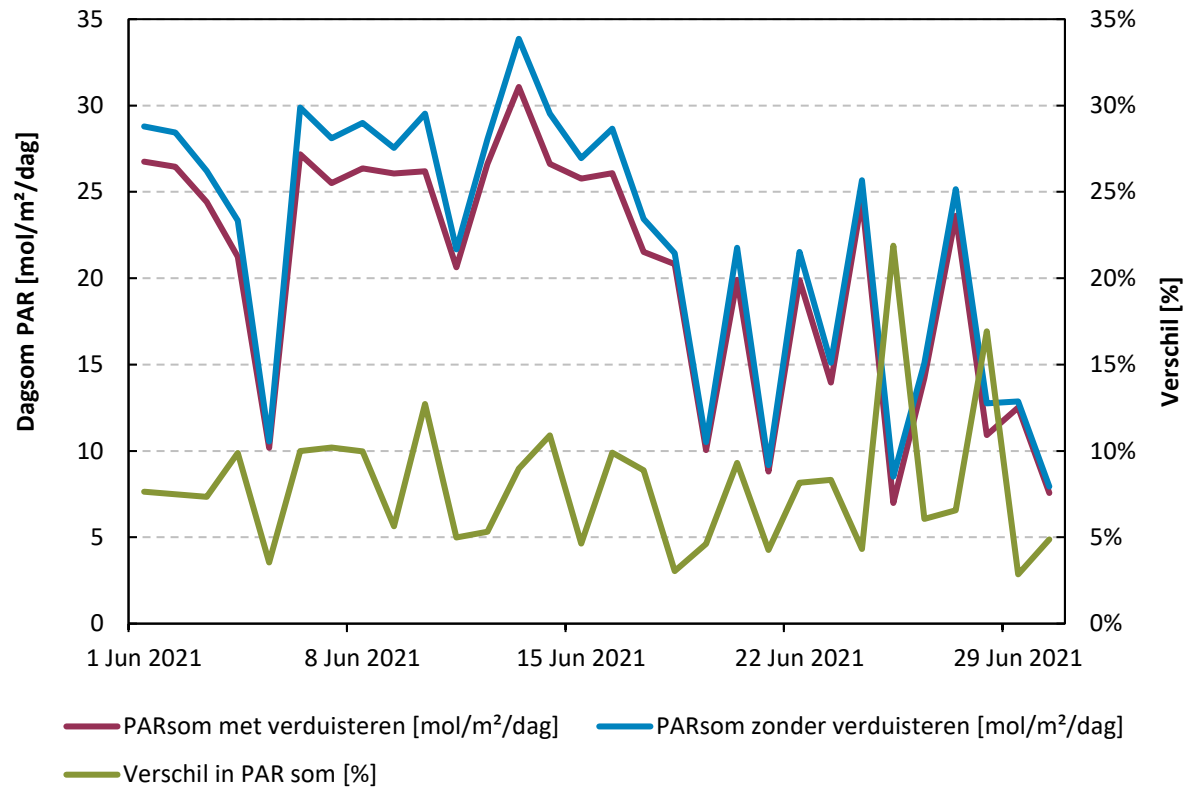
#### 4.3.5. Analyse kosten van de daglengteverkorting

Zoals aangegeven in de aanpak (Hoofdstuk 2) is de daglengte het hele jaar door op 13.5 uur gehouden. Dit betekent dat er rond de langste dag zo'n 3 uur per dag aan licht is weggeschermd in de ochtenduren. Dit kost dus productie. Met behulp van het fotosynthesemodel is het verlies aan netto gewasfotosynthese doorgerekend. Met behulp van de solarimeter op de kas is er eerst een schatting gemaakt van het verlies aan PAR. Dit bleek voor de maand juni 2021 op de 5-10% per dag te liggen en gemiddeld op 7.9%. Het verlies aan PAR zou verminderd kunnen worden door ook tijdens avondschemering te verduisteren. Vanwege klimatologische redenen (minder warmteopbouw onder een gesloten scherm in de vroege ochtend dan in de namiddag, en sneller 's avonds kunnen terugkoelen met open scherm) is hier niet voor gekozen.

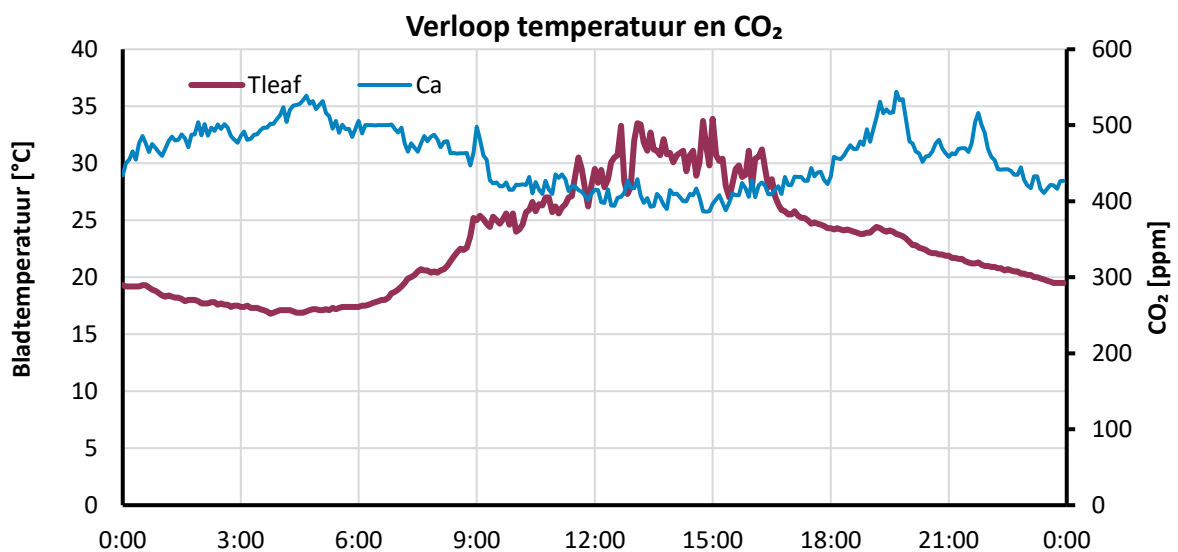
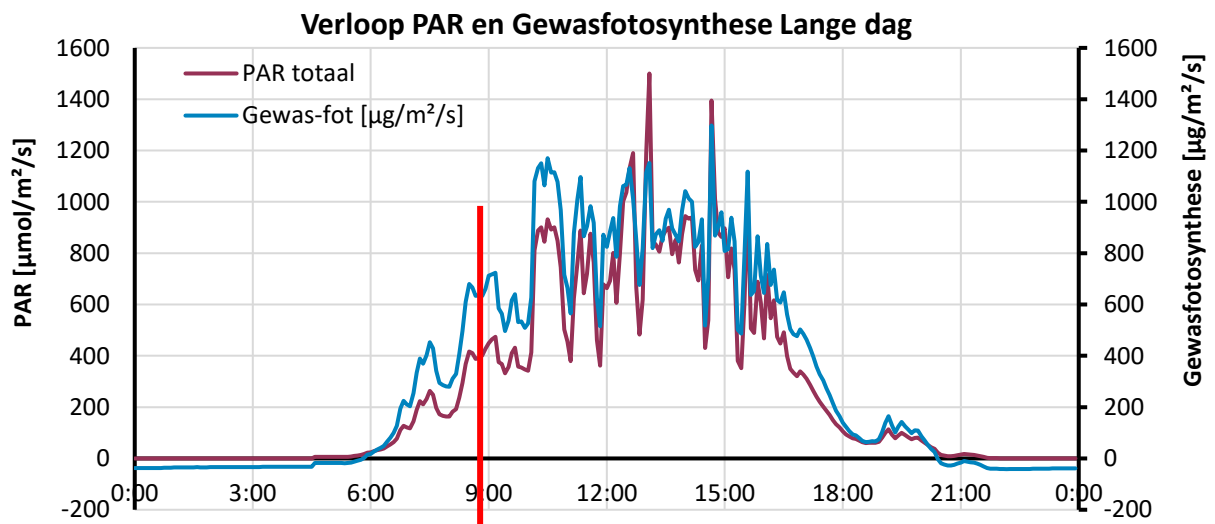
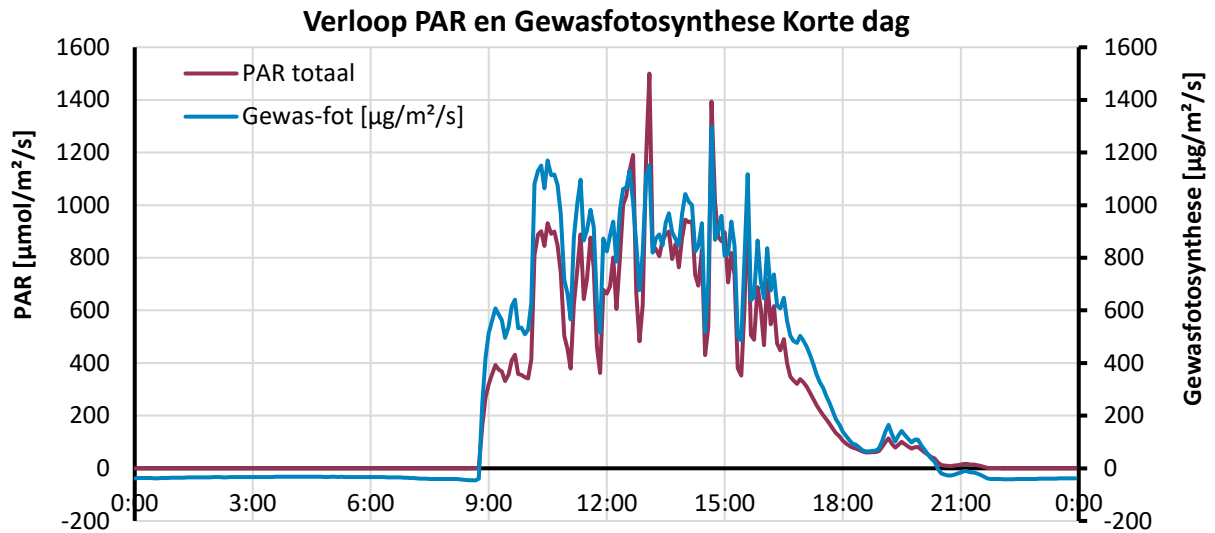
De baten van de daglengteverkorting moeten gezocht worden in een rustigere trosafplitsing en daardoor een lagere plantbelasting. Doordragers zijn kwantitatieve lange dagplanten wat inhoudt dat ze bij lange dagen en zomerse temperaturen over-induceren en eerder overbelast raken en tijdelijk stoppen met het aanleggen van nieuwe trossen. Dit laatste kost heel veel productie.

Figuur 33 geeft het berekende verlies aan PAR en netto gewasfotosynthese weer. Voor de hele maand juni kwam dit uit op respectievelijk 7.9% en 12.5%. Figuur 11 geeft als voorbeelddag 4 juni weer. Die dag kostte de daglengteverkorting 10% aan PAR en aan netto gewasfotosynthese 16%. Dit verschil wordt gemaakt tussen 6:00-9:00 uur. De vraag kan opgeworpen worden wat leidend moet zijn voor de plantbalans van een doordrager: een vegetatieve sturing door kortere daglengte of het verkrijgen van meer assimilaten. Doordat een controle-behandeling ontbreekt, valt niet te concluderen of de plant dankzij de daglengteverkorting beter in balans is gebleven. Wel is duidelijk dat de plantbelasting tussen week 30-35 te laag was (Figuur 11 en 31). Mogelijk is het instrument daglengteverkorting variabel in te zetten: periodes van een aantal weken wel of niet te gebruiken.





Figuur 33. Schatting van de PARsom en de netto gewasfotosynthese in juni 2021 met en zonder verduisteren. De PAR-som zonder verduisteren is geschat met behulp van de solarimeter op de kas.



Figuur 34. Analyse PARsom en gewasfotosynthese op voorbeelddag 4 juni 2021 bij de gegeven temperatuur en CO<sub>2</sub>. De daglengteverkorting kostte 10% aan PAR en aan netto gewasfotosynthese 16%. Dit verschil wordt gemaakt tussen 6:00-9:00 uur.

Deze dag is als voorbeelddag gebruikt om nog een aantal zaken zoals verhoging en verlaging van temperatuur en CO<sub>2</sub> door te rekenen (Tabel 2). Een te hoge (nacht)temperatuur doet meerdere dingen zoals verhoging van de ademhaling, verlaging van de bloemkwaliteit en versnelling van de afrijping vruchten waardoor ze waarschijnlijk kleiner blijven en een verhoging van de ontwikkelingsnelheid van de plant waardoor er versnelling van de ontwikkeling van nieuwe bladeren en trossen plaats vindt. De verhoging van de ademhaling is relatief eenvoudig door te rekenen. Om de andere zaken door te rekenen is een compleet gewasmodel nodig. In tabel 2 vallen de volgende zaken op:

- ✚ De ademhaling in de nacht ligt ruim onder de 10% van de assimilatiesom.
- ✚ De nachttemperatuur 10 uur lang met 5°C verlagen of verhogen bespaart of kost 2% aan netto gewasfotosynthese.
- ✚ Het hele etmaal met 5°C verlagen levert fors meer op: 15% toename in netto gewasfotosynthese. Dit laat zien dat de temperatuur over het optimum heen is voor de netto gewasfotosynthese. Waarschijnlijk komt dit doordat het CO<sub>2</sub> overdag rondom 400 ppm lag en dieperliggende bladeren een laag lichtniveau hebben waardoor het temperatuuroptimum sowieso lager ligt.
- ✚ CO<sub>2</sub>-verhoging naar 700 ppm geeft de echte winst op de netto fotosynthese: 28% toename.

Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat een hoge nachttemperatuur nauwelijks een probleem vormt voor de dagelijkse assimilatiesom maar wel voor de bloem/vrucht/plant-ontwikkeling.

*Tabel 2. Berekening van de netto gewasfotosynthese bij de aangehouden daglengte van 13.5 uur, een natuurlijke dag, verhoging en verlaging van de temperatuur en CO<sub>2</sub> op 4 juni 2021. NB onderstaande tabel geeft vooral een denkrichting aan. De berekende getallen moeten niet tot het laatste cijfer achter de komma nauwkeurig worden opgevat.*

Simulatie	Netto gewasfotosynthese totaal [g/m <sup>2</sup> /dag]	Netto gewas-fotosynthese dag [g/m <sup>2</sup> /dag]	Netto gewas-fotosynthese nacht [g/m <sup>2</sup> /dag]	LUE [Gram /mol]
Realiteit (Tetmaal=23.0°C)	13.7	14.5	-0.85	0.64
Lange dag (Tetmaal=23.0°C)	15.9 (+16%)	16.5	-0.57	0.68
Temp nacht -5 (Tetmaal=20.6°C)	13.9 (+1.5%)	14.5	-0.61	0.66
Temp nacht +5 (Tetmaal=25.4°C)	13.4 (-2%)	14.5	-1.18	0.63
Temp etmaal -5 (Tetmaal=18.0°C)	15.8 (+15%)	16.4	-0.61	0.75
Realiteit met 700 ppm CO <sub>2</sub>	17.6 (28%)	18.5	-0.85	0.83

#### 4.4. Berekeningen aan de sinks

De grote sinks bij een aardbeigewas bestaan uit vruchten, blad(steel) en wortels. Hiernaast zijn er nog restposten zoals het gewicht van de lege trossen en het rhizoom.

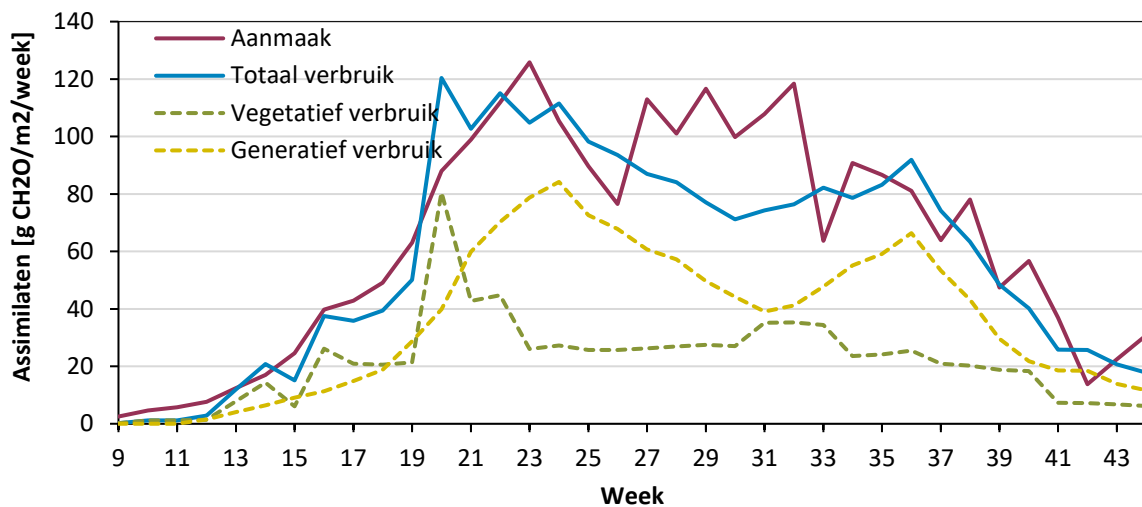
Aan de hand van de wekelijkse oogstcijfers, bijbehorend drogestofpercentage en de gemiddelde uitgroeiduur is een wekelijkse schatting gemaakt van de assimilaten die naar de vruchten zijn gegaan. Aan de hand van de metingen van de LAI, de LMA van de bladschijven, het aantal aanwezige bladeren en het aantal geplukte bladeren is de wekelijkse aanwezigheid en bijgroei van nieuw blad bepaald. Er is aangenomen dat de blad/stengel/wortelverhouding niet verandert. Op basis van metingen was de blad/stengelverhouding 61%/39%. Verder is aangenomen dat het aandeel drogestof in de wortels 30% was van het blad+bladsteelgewicht (Voor tomaat op steenwol ligt dit ongeveer op 15%). In tegenstelling tot de teelt in het jaar 2020 bleef de LMA van de bladschijven het hele jaar door ruwweg 60g/m<sup>2</sup> blad. De kosten voor de restposten zoals het gewicht van de lege trossen en het rhizoom zijn ingeschat via de achteraf gemaakte destructieve metingen.

Voor de berekeningen aan de kosten van assimilaten voor de sinks is gebruik gemaakt van formules en rekenregels uit tomatenmodellen. De volgende constanten zijn aangenomen (Heuvelink, 2005):

- ✦ Onderhoudsademhaling:
  - Bladeren: 0.03 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
  - Stengel: 0.015 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
  - Wortels: 0.01 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
  - Vruchten: 0.01 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
- ✦ Temperatuursverloop onderhoudsademhaling: Q<sub>10</sub>=2;
- ✦ Groei-ademhaling:
  - Bladeren: 1.39 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
  - Stengel: 0.145 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
  - Wortels: 1.39 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag
  - Vruchten: 1.37 g CO<sub>2</sub>/g DM/dag

Figuur 35 geeft de balans over het jaar weer. De volgende zaken vallen op:

- ✦ Het vegetatieve verbruik (groen) piekt in week 20 vanwege een groeisput in LAI.
- ✦ Het generatief verbruik (geel) piekt in week 24 en week 36, vanaf week 31 is er weer een toename.
- ✦ De totale aanmaak en het totale verbruik schommelen het hele jaar om elkaar heen behalve in de periode tussen week 27-32. Dit laat zien dat er toen een periode was van een assimilatenoverschot. Duidelijk is dat er gegeven de lichtsom er een te lage plantbelasting was: wanneer is deze geïnduceerd? Op grond van de werkelijke oogst en de te verwachten oogst (Figuur 35) werd deze geschat vóór de productiepiek van week 24-25. Op grond van deze grafiek zou er eerder aan week 20 (week 30 minus 10 weken van inductie tot uitgroei=week 20) gedacht moeten worden. In week 20 en 21 (week van 20 en 27 mei) verdubbelde de LAI ten opzichte van de LAI in de weken 18 en 19. Dat wekt de suggestie dat de toename in aantal bladeren en dus aantal okselknoppen (potentiële trosposities) eerder had moeten plaats vinden.
- ✦ Cumulatief gezien komt het jaarverbruik op 103% ten opzichte van de aanmaak. Dit wordt verder besproken bij tabel 5.



Figuur 35. Berekende assimilatenverdeling gedurende de hele teelt van 2021. Het vegetatieve verbruik is via wekelijkse bijgroei (groeiademhaling) berekend en op grond van de aanwezige drogestof is de onderhoudsademhaling berekend. Via de oogst en een bijbehorende gemiddelde uitgroeiduur is het generatieve verbruik berekend. De aanmaak is de assimilaten som op weekbasis.



## 4.5. Vergelijking met teeltjaar 2020

### 4.5.1. Drogestofverdeling

Gedurende de proef zijn net als in 2020 van de telplanten alle bovengrondse delen verzameld en is de hoeveelheid drogestof bepaald. Deze getallen worden weergegeven in Tabel 3 en vergeleken met die van 2020. Hierbij blijkt dat er meer dan 300g/m<sup>2</sup> drogestof meer is geproduceerd of gemeten. In 2021 werden bladeren periodiek geplukt en direct gemeten, terwijl dit niet het geval was in 2020. Des te opvallender is dat het relatieve aandeel drogestof in de bladeren in 2021 fors lager lag dan in 2020. Het is niet duidelijk waarom het % drogestof in de trossteel van 4% in 2020 is gestegen naar 8% in 2021 omdat in 2021 er aanmerkelijk minder vruchten/trossen zijn geproduceerd. In drogestof lijkt het erop dat er zo'n 65% van de assimilaten in de vruchten gaat zitten. Dit is vergelijkbaar met tomaat. Echter, bij tomaat hangen vruchten en bladeren min of meer net zo lang aan de plant (blad wat korter dan vruchten), Bij aardbei is dit echter andersom: bladeren hangen ten minste twee tot misschien wel 4 keer zolang aan de plant als vruchten. Al die tijd vragen ze onderhoudsademhaling waardoor alleen vergelijken via de vastgelegde grammen drogestof een vertekend beeld geeft.

Tabel 3. Verdeling van de drogestof van de telplanten over de verschillende plantorganen in 2020 en 2021.

Assimilatenverdeling (bovengronds)	Arabella Vers 2020	Arabella Vers 2021
Blad	31%*	23%
Rank	3%	1%
Trossteel	4%	8%
Rhizoom		4%
Vruchten onrijp	2%	2%
Oogst inclusief afval	61%	63%
Totaal DS [g/m <sup>2</sup> ]		1521
	zonder rhizoom: 1152	zonder rhizoom: 1462

\* Onderschatting omdat DS van geplukte oude bladeren niet direct werd gemeten en oude bladeren soms geheel verdwijnen.

### 4.5.2. Vergelijking op hoofdlijnen

Tabel 4 laat de vergelijking van de teelt van 2021 op hoofdlijnen zien met die van 2020. Zo'n vergelijking gaat voorbij aan het feit dat 2021 één hittegolf telde en 2020 er twee had en bovendien zonniger en warmer was. Grote uitspringers zijn de oogst die bijna 3 kg/m<sup>2</sup> hoger lag en dat terwijl het gemiddeld vruchtgewicht bijna twee keer zo hoog was. Er zijn dus in 2021 veel minder stuks aardbeien geproduceerd. Het hogere gemiddelde vruchtgewicht 2021 is niet toe te schrijven aan meer PAR of CO<sub>2</sub>—die waren beide juist lager, er werden zelfs meer GDH per mol PAR gemaakt—maar aan de ruim 2°C lagere etmaaltemperatuur: de gemiddelde uitgroeiduur—oftewel 'vultijd'—was 4 dagen langer. Duidelijk is ook dat ook per groeigraduur de teelt trager is verlopen: In 2020 ontwikkelde per 92 groeigraduren een nieuwe bloem, in 2021 was dit per 116GDH. De gedachte achter de koers in 2020 was te sturen op een lagere plantbelasting door met een hoge snelheid te telen. Dit blijkt bij aardbei niet op te gaan: de gemiddelde plantbelasting was in 2021 fors lager dan in 2020. Mogelijk heeft het terugbrengen van de daglengte tot 13.5 uur hier een positief effect op gehad.

Tabel 4. Vergelijking van de teelt op hoofdlijnen met de teelt van 2020.

	Arabella vers 2020	Arabella vers 2021	2020 is 100%
<b>Plantdichtheid [# /m]</b>	6	6	
<b>Plantdatum</b>	18-3-2020	3-3-2021	
<b>Einddatum</b>	30-10-2020	8-11-2021	
<b>Weken oogst</b>	27	29	107%
<b>Proefdagen</b>	226	250	111%
<b>Etmaaltemperatuur [°C]</b>	20	17.8	89%
<b>Totaal GDH*</b>	84000	79968	95%
<b>Totaal PAR [mol/m<sup>2</sup>]*</b>	3670	3311	90%
<b>CO<sub>2</sub>-gehalte etmaal [ppm]</b>	675	470	70%
<b>GDH per mol PAR</b>	22.9	24.2	106%
<b>Productie vers [kg]</b>	8.1	10.8	133%
<b>Stuks aardbei [# /m<sup>2</sup>]</b>	911	690	76%
<b>Per ...GDH ontwikkeling van nieuwe bloem</b>	92	116	126%
<b>Gemiddeld vruchtgewicht [g]</b>	8.9	15.7	176%
<b>Gram vers/mol PAR</b>	2.21	3.26	148%
<b>DS plant/m<sup>2</sup> zonder rhizoom</b>	1152	1462	127%
<b>Gram DS plant/mol PAR</b>	0.31	0.44	141%
<b>Gemiddeld aantal vruchten/week oogst</b>	33.7	23.8	71%
<b>Gemiddelde uitgroei duur adv 9000 GDH [dagen]</b>	24.2	28.2	117%
<b>Gemiddelde plantbelasting # /m<sup>2</sup></b>	117	95.9	82%

\* groeigraduren en PAR zijn voor de eerste drie weken teelt 2020 niet gemeten maar geschat

#### 4.5.3. Assimilatenbalans

In Tabel 5 wordt de assimilatenbalans van 2020 en 2021 met elkaar vergeleken. Opgemerkt moet worden dat alle getallen een berekening zijn waarin aannames zijn gemaakt. De getallen kunnen dus een schijnwerkelijkheid gaan vormen. Naar verwachting ligt de betrouwbaarheid rond de 80-90%. Idealiter worden deze gestaafd met gemeten getallen. De post voor bladeren klopt voor 2021 heel goed (347g uit de teruggemeten assimilatenverdeling in tabel 3 versus 324g via de assimilatenbalans in tabel 5 waarvan de basis de LAI-metingen en LMA is), maar voor 2020 niet (vergelijk met tabel 3). Waarschijnlijk heeft dat te maken met een grote onderschatting van de post oude bladeren in 2020. De ruwe trend is helder:

- In beide jaren ligt cumulatief gezien de aanmaak en het verbruik van assimilaten in dezelfde orde van grootte: 106 en 103%. Naar verwachting is deze benadering grotendeels correct.
- Het grote verschil tussen beide jaren zit in de post vegetatieve groei: het aandeel assimilaten in het blad ligt ruim 2\* zo hoog in 2020 ten opzichte van 2021.

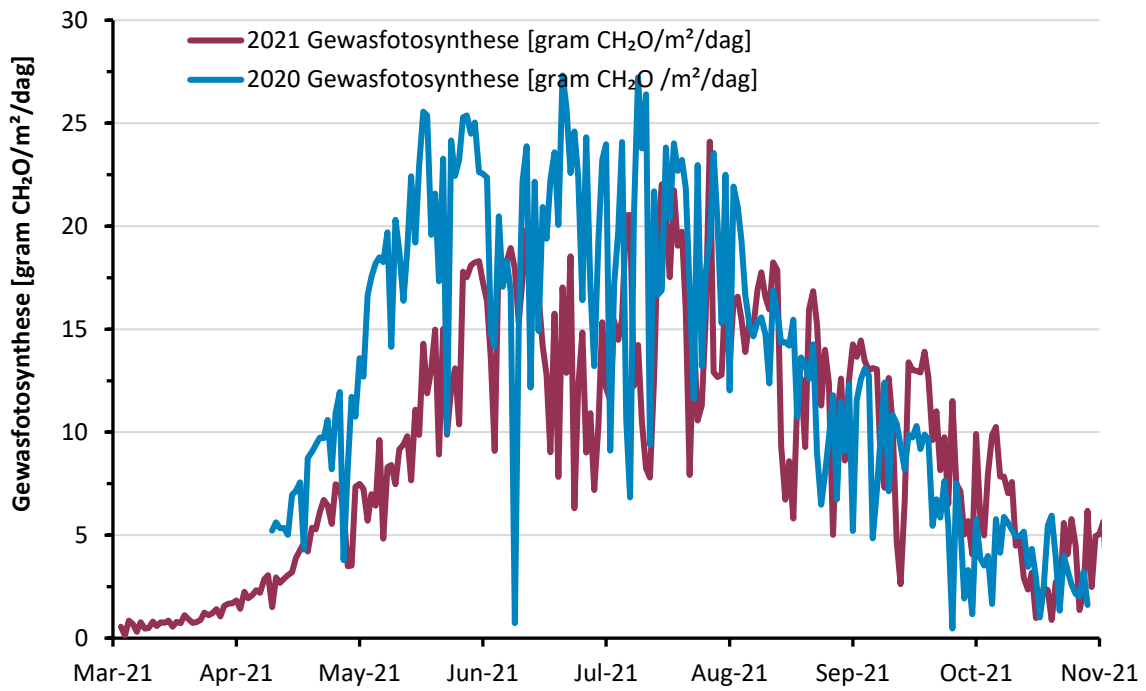
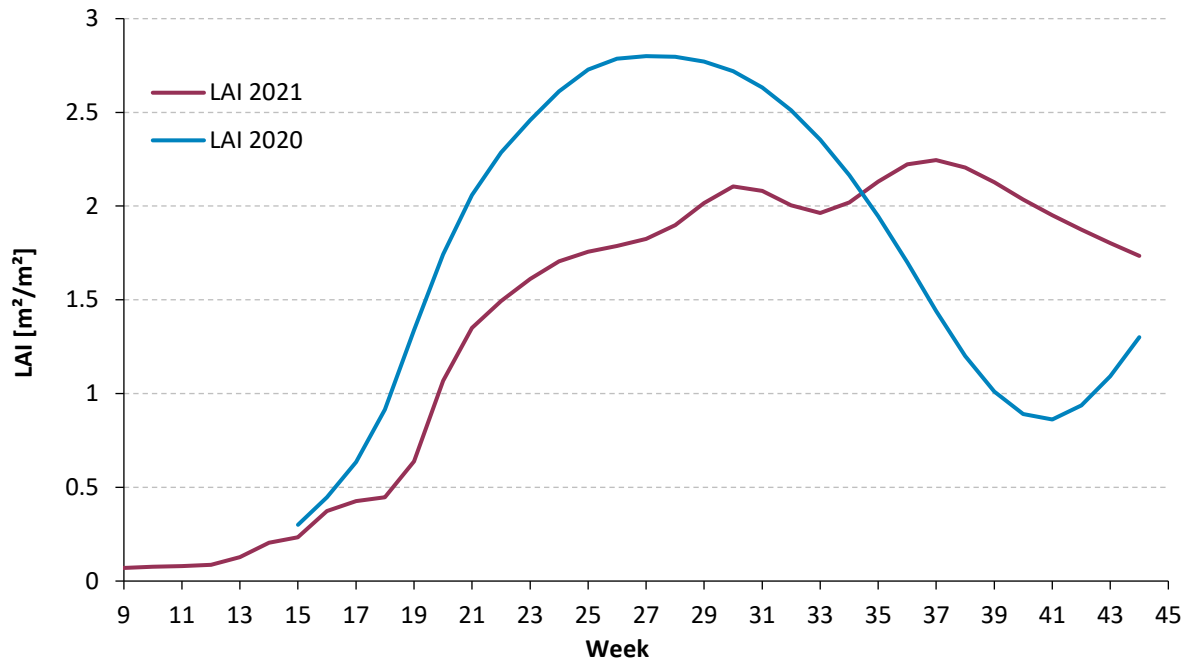
Tabel 5. Assimilatenbalans 2021 vergeleken met die van 2020. NB hoewel de getallen op gramniveau staan weergegeven zal de werkelijke nauwkeurigheid eerder op het niveau van de 100 gram liggen (80-90% betrouwbaarheid). NB de getallen van 2020 zijn in Jochems et al. (2021) als figuur weergegeven. In de getallen van 2020 zaten achteraf twee fouten die elkaar min of meer compenseerden: de onderhoudsademhaling was dubbel geteld, deze zit al verwerkt in de netto gewasfotosynthese. De LMA is gebaseerd op het gewicht en oppervlak van de bladschijven terwijl er in 2020 gerekend werd alsof dit gebaseerd was op bladsteel+bladschijf.

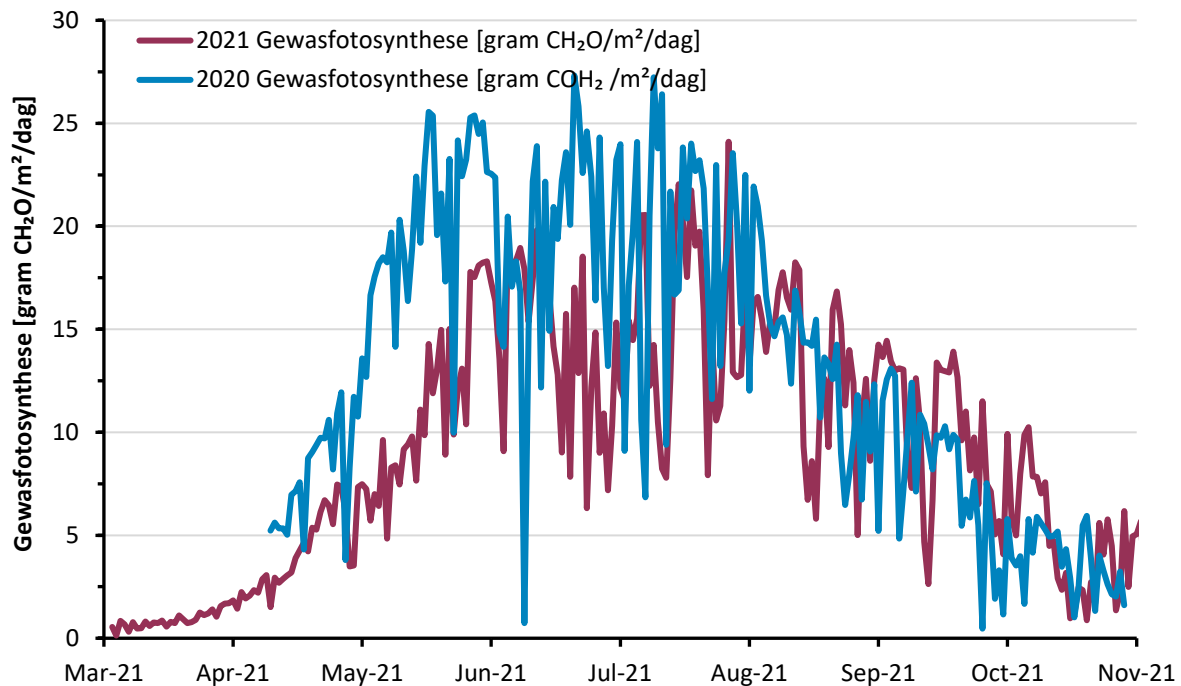
<b>Assimilatenbalans</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>Vershil 2020-2021</b>
<b>vegetatieve groei (blad+bladsteel en 30% wortel) [g/m<sup>2</sup>]</b>	1371	594	-778
<b>onderhoudsademhaling vegetatief (bladsteel+wortel) [g/m<sup>2</sup>]**</b>	314	192	-122
<b>generatieve groei (vruchten) [g/m<sup>2</sup>]</b>	1066	1299	233
<b>Ranken [g/m<sup>2</sup>]</b>	55	33	-22
<b>Rhizoom [g/m<sup>2</sup>]</b>	66*	87	21
<b>Trosstelen [g/m<sup>2</sup>]</b>	68	171	103
	<b>2940</b>	<b>2376</b>	<b>-564</b>
<b>Totaal [g/m<sup>2</sup>]</b>			
<b>netto gewasfotosynthese [g/m<sup>2</sup>]**</b>	2765	2297	-468
<b>Balans [g/m<sup>2</sup>]</b>	-175	-79	96
<b>cumulatieve vraag/aanbod [%]</b>	106%	103%	

\*schatting op basis van zelfde % als in 2021.

\*\*onderhoudsademhaling van de bladeren is niet apart berekend omdat dit in de netto gewasfotosynthese zit opgenomen.

De veel hogere gewasfotosynthese van 2020 (10% meer PAR en een veel hoger CO<sub>2</sub>-gehalte) lijkt dus voornamelijk 'verdwenen' te zijn in méér en / of zwaardere bladeren. Figuur 36 laat inderdaad zien dat de LAI in 2020 tot week 35 veel hoger lag. Dit heeft vooral aan het begin van de teelt een veel hogere gewasfotosynthese tot gevolg. Een vuistregel is dat de er bij een volledige bedekking van het kasoppervlak een LAI van 3 gewenst is. Simulatieberekeningen in Jochems et al. (2021) hebben laten zien dat gegeven het smalle gewas met een bedekkingsgraad van rond de 65% een bruto LAI van 2 ruim voldoende is (de bruto LAI gedeeld door de bedekkingsgraad ligt dan ook op 3). Zo bezien is de LAI in 2020 ruim 15 weken te hoog geweest. In 2021 stijgt de bruto LAI nauwelijks boven de 2. De bladmassa per oppervlak blad (LMA) startte in beide jaren rond de 60g/m<sup>2</sup> blad en liep in 2020 op tot 80-90g/m<sup>2</sup> blad terwijl dit in 2021 60g/m<sup>2</sup> blad bleef. In 2020 was dit zichtbaar als dik leerachtig aanvoelend blad. Dit laatste suggereert een slechte afvoer van assimilaten (meer aanbod dan vraag). Door de hittegolven stond er veel zon op een leeggeogst gewas. Een langdurige periode van warmte en veel licht lijkt dus een driedubbel probleem te geven: in eerste instantie een verlaging van de vruchtmaat door de snelle rijping (korte vultijd) en vervolgens een assimilatenoverschot zonder dat daar sinks voor zijn. Waarschijnlijk zijn hierdoor de bladeren per oppervlakte-eenheid veel zwaarder geworden. Als derde worden er waarschijnlijk kleine bloemen (dus potentieel kleine vruchten) gevormd. Adams et al. 2001 heeft dit uitgezocht voor tomaat. Mogelijk ontstaat er zelfs een vierde probleem omdat oude bladeren de okselknopuitloop van nieuwe kronen lijken te verhinderen (bij rozen wordt dit proces correlatieve inhibitie genoemd). Door rigoureuze bladpluk kwam in 2020 de hergroei van nieuwe bladeren en trossen weer op gang.

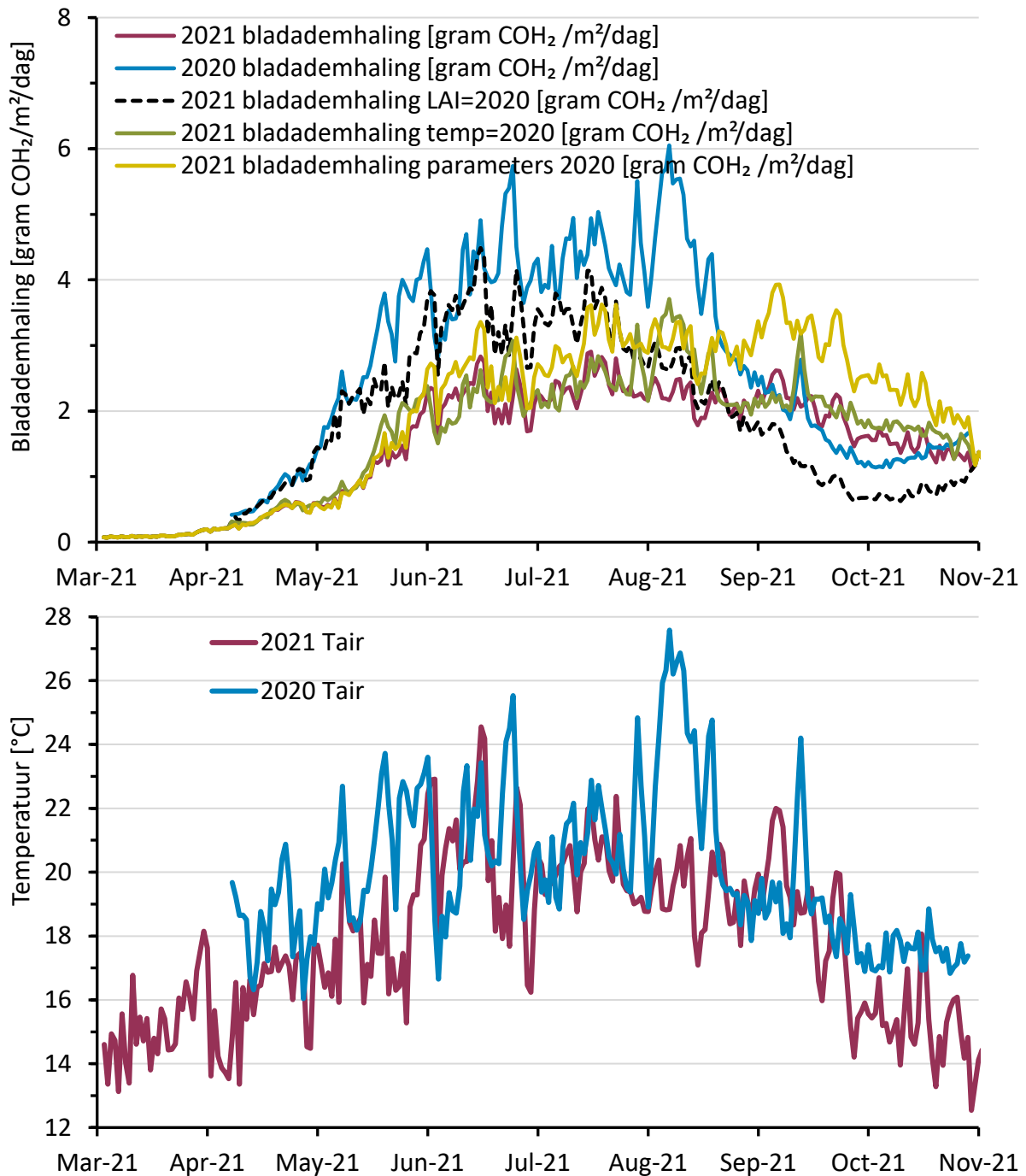




Figuur 36. LAI en gewasfotosynthese van 2021 ten opzichte van die van 2021.

De vraag kan gesteld worden of deze zwaardere bladeren in 2020 niet veel meer onderhoudsademhaling hebben gekost. Dit is gesimuleerd door de PAR op 0 te zetten. De onderhoudsademhaling van de bladschijven is in 2020 (blauw) fors hoger dan in 2021 (rood). Dit blijkt slechts beperkt te veroorzaakt te worden door de hogere temperatuur (groene ten opzichte van de rode lijn; behalve de hittegolf in augustus 2020) maar tot ruwweg juli primair door de hogere LAI in 2020—wat in de eerste periode ook nog eens positief is voor de gewasfotosynthese—en ruwweg vanaf juli door de hogere bladademhaling die veroorzaakt wordt door 'dikker' blad (toenemende LMA) in 2020. NB de toename in LMA moet niet als de oorzaak van een probleem maar als het gevolg van een probleem (waarschijnlijk onbalans in vraag/aanbod) worden gezien. Opnieuw laat deze analyse zien dat het negatieve effect van een hogere temperatuur op de onderhoudsademhaling van de bladschijven meevalt. Negatieve effecten van een hoge temperatuur lijken dus voornamelijk tot uiting te komen op een lagere bloem- vruchtkwaliteit en veel minder op de netto gewasfotosynthese.





Figuur 37. Berekening van de onderhoudsademhaling van de bladschijven in 2020 en 2021 aangevuld met een analyse waarom de bladademhaling in 2020 veel hoger is. Dit blijkt slechts beperkt te veroorzakt de worden door de hogere temperatuur (gele ten opzichte van de blauwe lijn) maar tot ruwweg juli primair door de hogere LAI in 2020 en ruwweg vanaf juli door de hogere bladademhaling die veroorzaakt wordt door de toenemende LMA in 2020.

## 5. Leerpunten en conclusies

### Conclusies teelt

Het is gelukt om een fossielvrij teeltconcept voor verse doordragers op te zetten voor een periode van maart tot en met november. In deze periode was het in 2022 niet nodig om meer dan  $1\text{m}^3/\text{m}^2$  gas te verbruiken om aan de warmtevraag te voldoen, en door de verticale ventilatoren werd genoeg activiteit (verdamping) gestimuleerd zonder verwarmingsbuizen. De warmtevraag bleef beperkt door het intensief scherm met het zomerscherm, verdere energiebesparing (met name als vroeger geplant of later geruimd wordt) is te realiseren door een derde (energie-)scherm voor een hogere isolatie. De warmtevraag die dan nog resteert moet in een fossielvrije toekomst worden ingevuld door alternatieve bronnen als geothermie of restwarmte, maar een WKO heeft in dit concept ook veel potentie omdat daar in de zomer ook eventueel mee teruggekoeld kan worden. Verdere optimalisatie is nodig om  $\text{CO}_2$  beter te benutten. Een juiste stap is gezet in het gebruiken van  $\text{CO}_2$  als stuurmiddel voor de plantbalans, daar liggen verdere kansen om modelmatig te doseren op gewasvraag. In de zomer, waarin streeftemperaturen vaak op of onder de buitentemperatuur, is het een uitdaging om  $\text{CO}_2$  in de kas te houden bij veel ventilatie. De koeling van de kas kan leiden tot minder ventileren maar kost energie, een andere stap kan gezet worden in het teeltsysteem waarbij de  $\text{CO}_2$ -darm tussen de planten wordt gelegd waardoor de gedoseerde  $\text{CO}_2$  via het bossig gewas de atmosfeer in gaat, wat vermoedelijk zorgt dat het langer in het gewas blijft en opname en benutting zou verbeteren.

Door een lagere teelttemperatuur aan te houden in combinatie met het verduisteren is een te hoge piek in plantbelasting vermeden en is de wekelijkse oogst van verse Arabella niet onder  $300\text{gram}/\text{m}^2$  per week gekomen, in totaal werd bijna  $11\text{kg}/\text{m}^2$  exclusief afval geoogst. Het individuele effect van deze twee maatregelen kan uit deze proef niet aangewezen worden, maar de ervaring met het koeler telen in combinatie met de literatuur over het verduisteren van doordragers, geeft aanwijzingen dat beide maatregelen een (versterkt) effect hebben gegeven. Het verduisteren in de ochtend heeft niet tot nadelige gevolgen geleid voor het kasklimaat, maar daardoor is de gerealiseerde lichtsom met name in de zomer lager dan mogelijk zou zijn. Het effect op de aanleg van nieuwe trossen weegt vermoedelijk echter zwaarder voor de plantbalans dan het missen van het licht in de ochtenduren. Doordat een te hoge piek in plantbelasting werd vermeden bleven de aardbeien een aardige maat houden, ruim 68% van de aardbeien over de hele proef behoorde tot de grootste sorteringen (30 en 35mm+), iets onder de geprognoseerde 70%. Een stabiele mate van ontwikkeling van nieuwe plantendelen werd gedurende de proef gerealiseerd door frequent gewasonderhoud, d.w.z. het verwijderen van oudere bladeren. Soms werd het bladplukken uitgesteld in een lichte periode, zodat het oude blad kon dienen als 'schild' voor het jonge blad, en om genoeg verdampend oppervlakte te hebben. Ook hier liggen kansen om modelmatig uit te werken wat de optimale strategie is. Het kwantificeren van de levensduur van een blad is lastig, omdat ruimtetemperatuur op zichzelf niet genoeg informatie is. Bladtemperatuur zou een betere maatstaf zijn, maar de temperatuur van bladeren onder de bovenste gewaslaag is lastig te meten.

Het snoeien van trossen kan leiden tot een hoger vruchtgewicht. In deze proef is kleinschalig gekeken wat het effect op het vruchtgewicht is, maar er kan alleen gesproken worden over aanwijzingen dat het een klein effect lijkt te hebben. Grote verschillen blijven uit en de behandelde planten stonden over het algemeen aan een lichte kant van de kas.

### Conclusies assimilatenbalans

- ✦ Het opstart-effect van de fotosynthese na het openen van het verduisteringsscherm is met een kwartier relatief kort. Hierbij zijn de huidmondjes het traagst, dit kan oplopen tot 3 kwartier. Zolang het lichtniveau niet hoog is, is dat niet beperkend voor de fotosynthese.
- ✦ De lichtgebruiksefficiëntie (LUE; assimilatenom/PAR) lag in 2021 lager dan in 2020 door een lager  $\text{CO}_2$ -gehalte in de kas
- ✦ Met behulp van de lichtgebruiksefficiëntie en een vaste verdeelsleutel van de assimilaten kan worden berekend wat de verwachte oogst gegeven een bepaalde lichtsom zou moeten zijn.

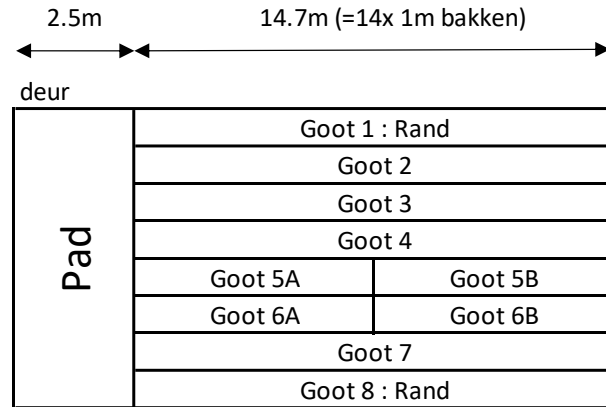
Hiermee kan eenvoudig achterhaald worden wanneer er te weinig of te veel is geoogst gegeven de ontvangen PARsom.

- ✦ De dagelijkse assimilatiesom versus de dagelijkse PARsom geeft een verzadigingskromme voor gewasfotosynthese. Idealiter houdt de RTR-benadering daar rekening mee: rem op de temperatuur bij hoge lichtsommen.
- ✦ De toegepaste daglengteverkortings heeft in juni zo'n 8% aan PAR gekost en zo'n 12.5% aan gewasfotosynthese.
- ✦ De vraag kan opgeworpen worden wat leidend moet zijn voor de plantbalans van een doordrager: een vegetatieve sturing door kortere daglengte of het verkrijgen van meer assimilaten. Doordat een controle-behandeling ontbreekt, valt niet te concluderen of de plant dankzij de daglengteverkortings beter in balans is gebleven. Wel is duidelijk dat de plantbelasting tussen week 30-35 te laag was (Figuur 11 en 31). Mogelijk is het instrument daglengteverkortings variabel in te zetten.
- ✦ Analyse van temperatuurseffecten op de gewasfotosynthese laten zien dat temperatuur een ondergeschikte rol speelt bij de gewasfotosynthese: het effect van temperatuur valt in het niet bij het effect van CO<sub>2</sub>. Temperatuur is dus primair van belang voor de bloem- en vruchtkwaliteit.
- ✦ In 2020 lag de totale gewasfotosynthese fors hoger dan in 2021 terwijl de productie fors lager lag. Berekeningen laten zien dat er veel drogestof in de bladeren is gaan zitten. De LAI was lang hoger dan nodig en in dat jaar fors toegenomen LMA legt waarschijnlijk een onbalans in assimilatenaanbod/vraag bloot

## 6. Literatuur

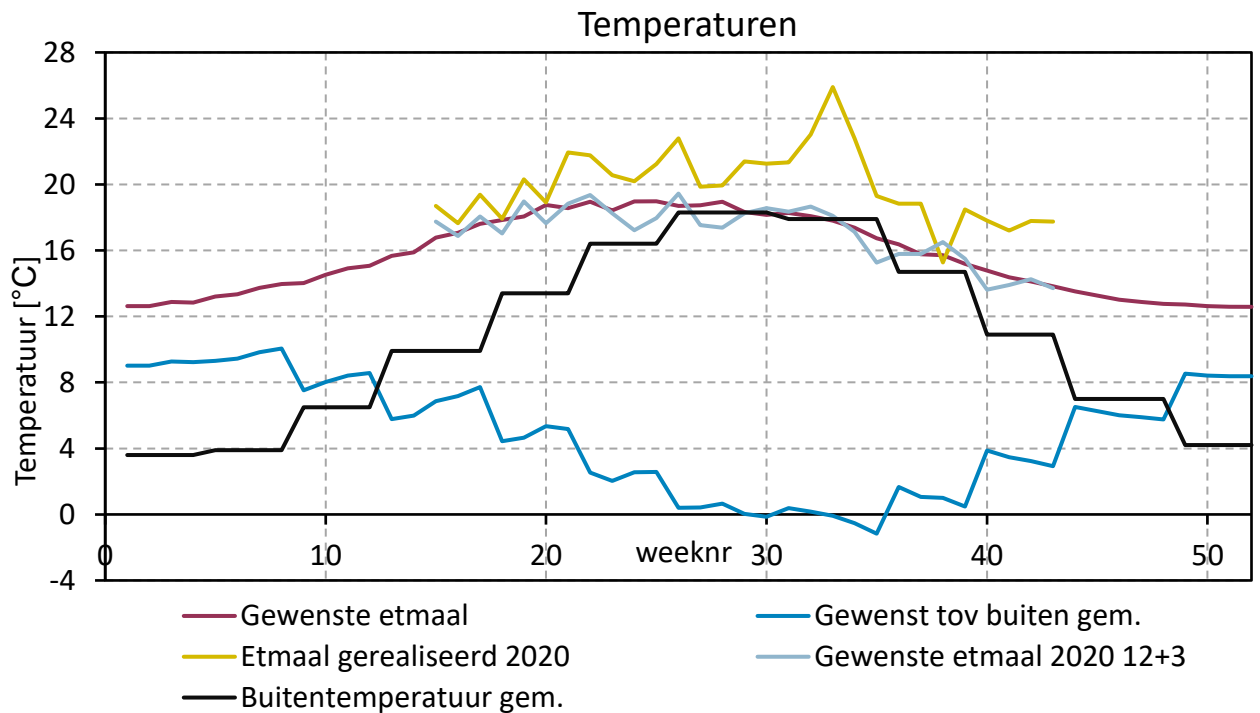
- Heide, O. M., Stavang, J. A., & Sønsteby, A. (2013). Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries - A review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11512930>
- Helmus-schuddebeurs, L., & Jongenelen, B. (2020). *Glasaardbei toekomstbestendig*. September, 1–62.
- Jochems, S., Trouwborst, G., Jongenelen, B., & Dorrestijn, B. (2020). *Aardbei in balans met verse doordragers*. September, 1–39.
- Rijswick, C. van (Rabobank). (2021). *Vijf hot topics in zachtfruit - Rabobank*. [https://www.rabobank.nl/kennis/s011200237-vijf-hot-topics-in-zachtfruit?utm\\_campaign=5f50d3e9adf9370001d8562a&utm\\_content=618a9c6e5a50f600018a7f02&utm\\_medium=smarpshare&utm\\_source=linkedin](https://www.rabobank.nl/kennis/s011200237-vijf-hot-topics-in-zachtfruit?utm_campaign=5f50d3e9adf9370001d8562a&utm_content=618a9c6e5a50f600018a7f02&utm_medium=smarpshare&utm_source=linkedin)
- Sønsteby, A., & Heide, O. M. (2007). Long-day control of flowering in everbearing strawberries. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(6), 875–884. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512321>
- StatLine. (2021). <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/37738/table>

## Bijlage I Plattegrond kasafdeling

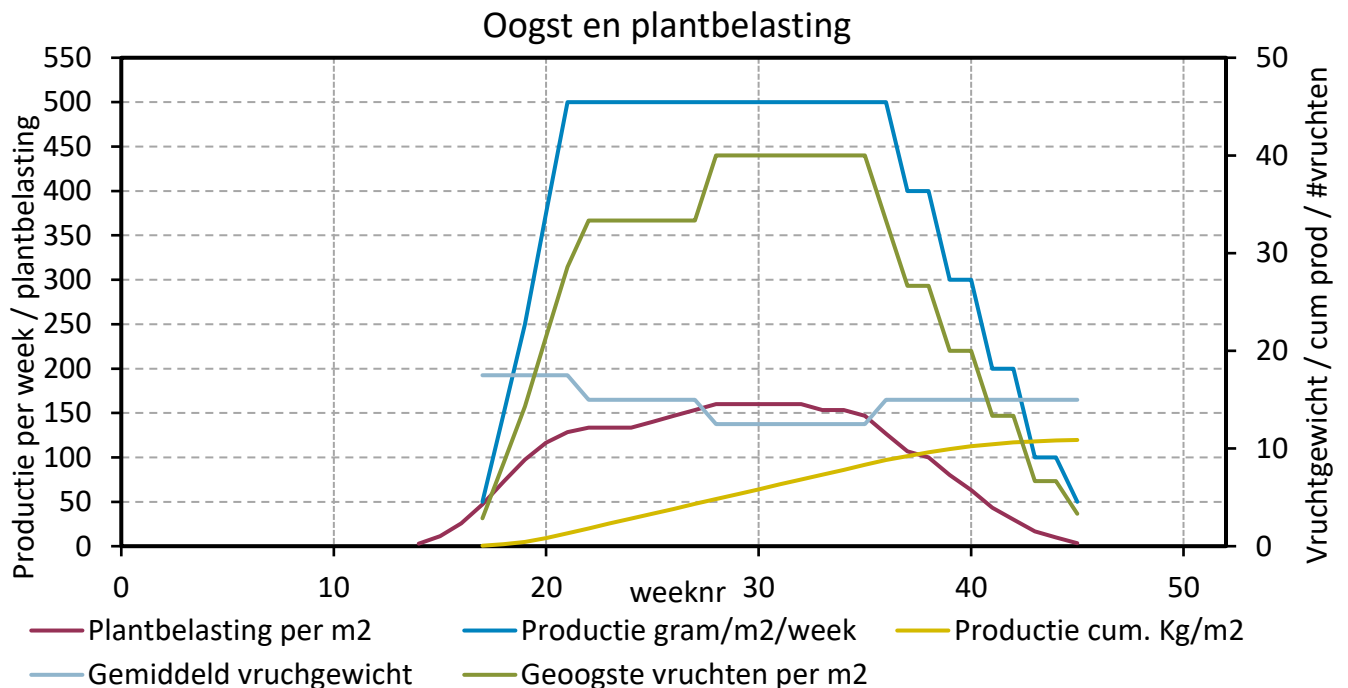


Goot	Ras	Planttype	Planten per m1	Aantal planten
1	Favori	Overwinterd	6	84
2	Favori	Gekoeld	6	84
3	Favori	Vers	6	84
4	Arabella	Vers	6	84
5A	Arabella	Vers	4	56
5B	Arabella	Vers	4	56
6A	Arabella	Vers (snoei)	6	84
6B	Arabella	Vers (belicht)	6	84
7	Arabella	Gekoeld	6	84
8	Bravura	Overwinterd	6	84

## Bijlage II Teeltplanning



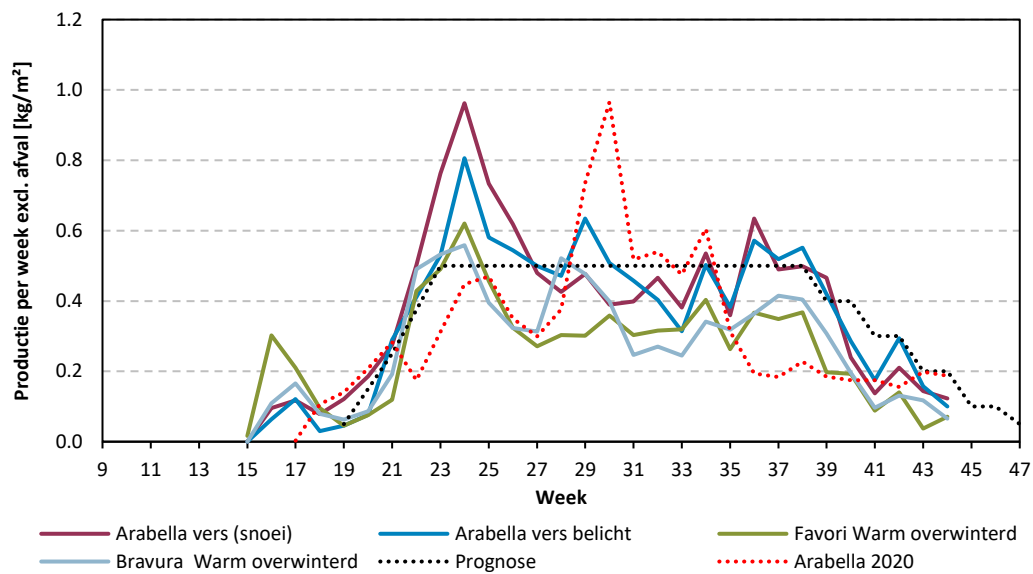
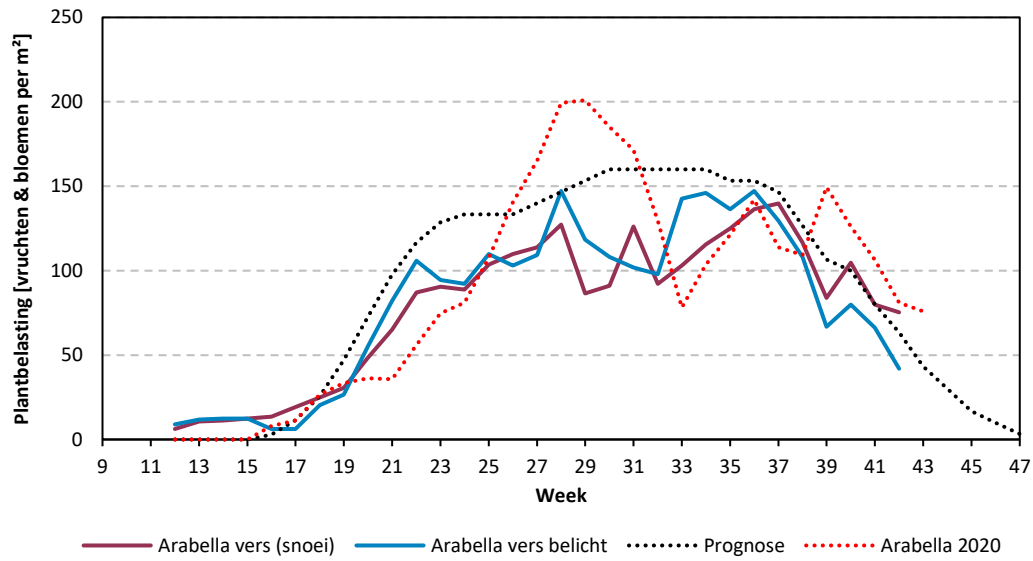
Figuur 38. Temperatuurstrategie van het onderzoek. Te zien is dat de gerealiseerde etmaaltemperaturen in 2020 (gele lijn) aanzienlijk hoger liggen dan wat dit jaar gewenst is. De piek na week 30 werd veroorzaakt door een hittegolf, maar met name in de periode rond week 20 kan aanzienlijk koeler worden geteeld omdat er nog veel koele buitenlucht voor handen is. Het langjarige gemiddelde van buitentemperatuur (zwarte lijn) laat zien dat week 25 t/m 35 lastig wordt om een lage basistemperatuur te handhaven.



Figuur 39. Verloop van plantbelasting en productie, in relatie tot het vruchtgewicht en het aantal geogste vruchten per m<sup>2</sup>. Er wordt gestreefd naar een maximale productie van 500g/m<sup>2</sup>/week, en het vruchtgewicht in de zomer mag idealiter niet verder dan 125 gram zakken. Het productiedoel is 10.875kg/m<sup>2</sup> aardbeien exclusief afval.

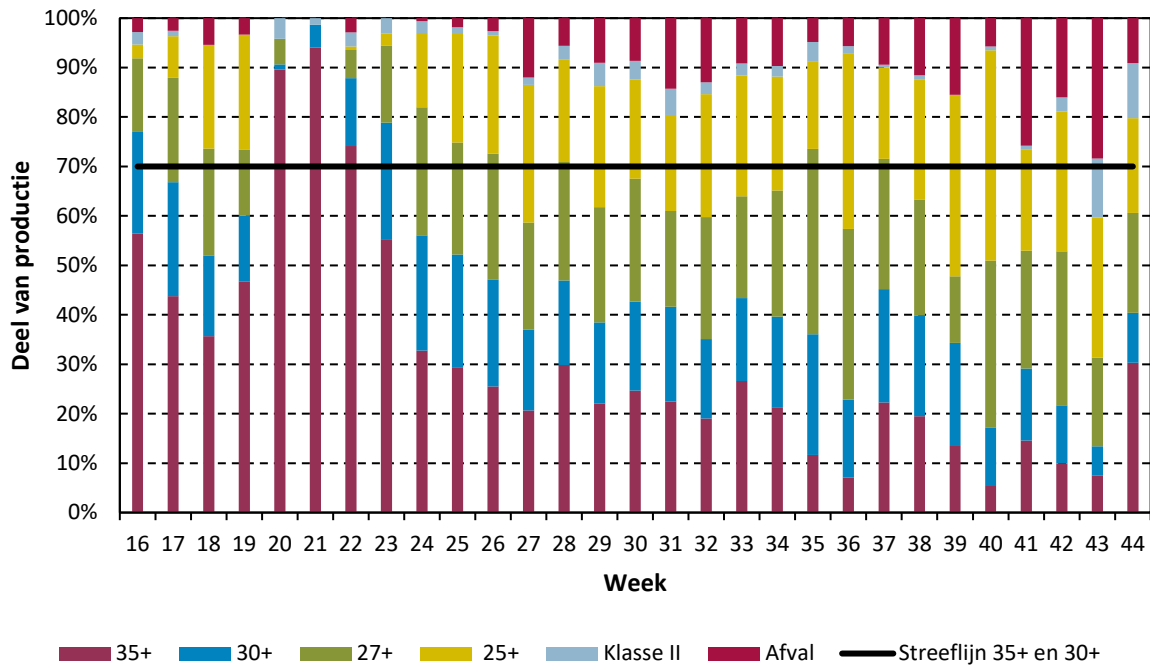


## Bijlage III Plantbelasting en productie

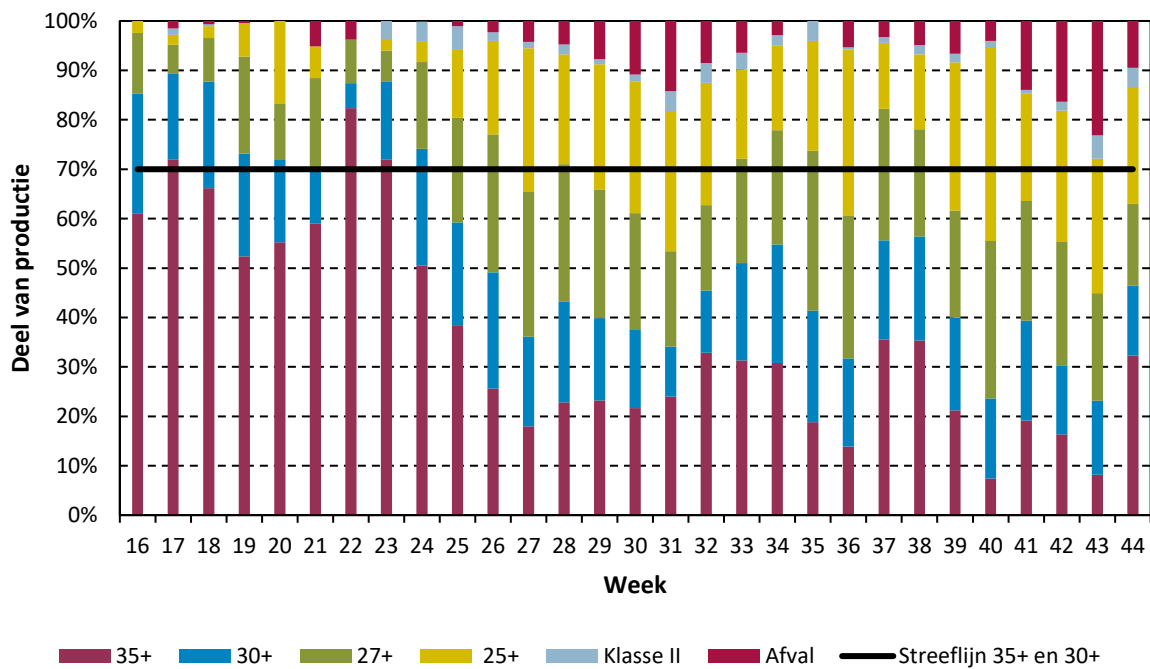


## Bijlage IV Gemiddelde vruchtgrootte per ras en planttype

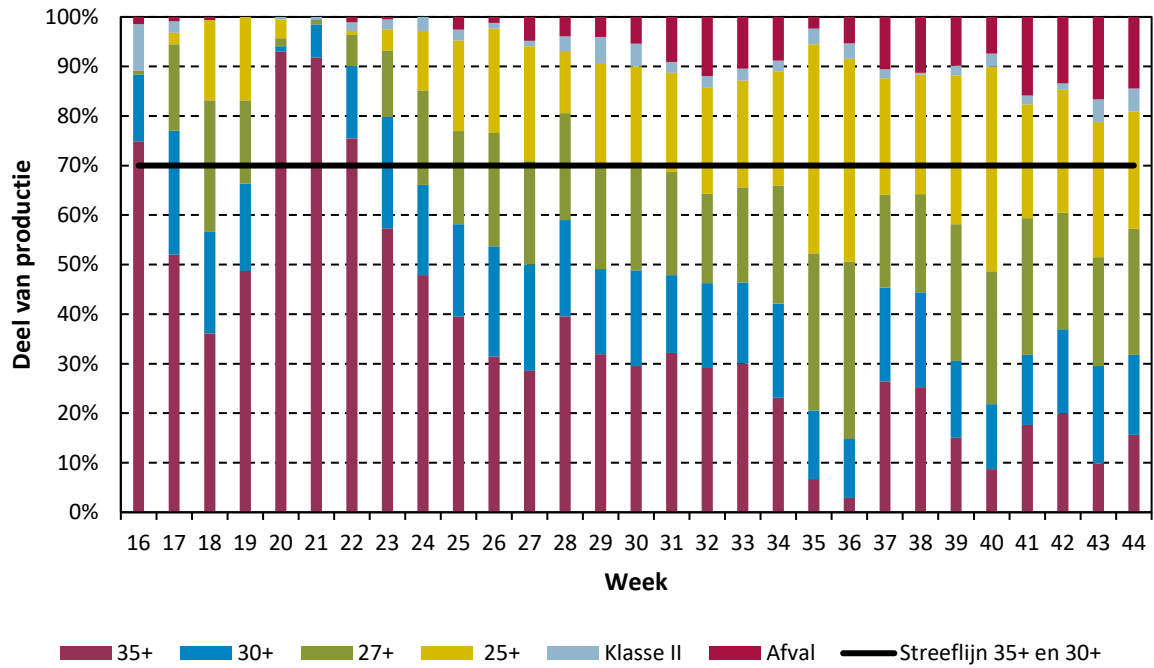
### Favori Warm overwinterd (Goot 1)



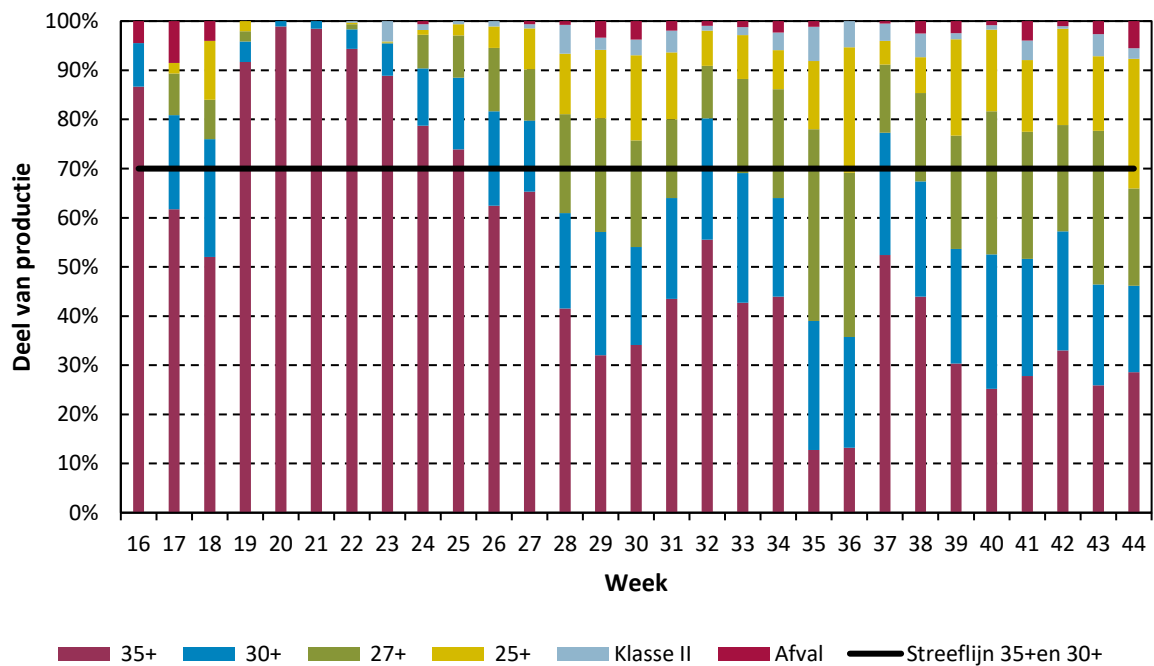
### Favori Gekoelde MT (Goot 2)



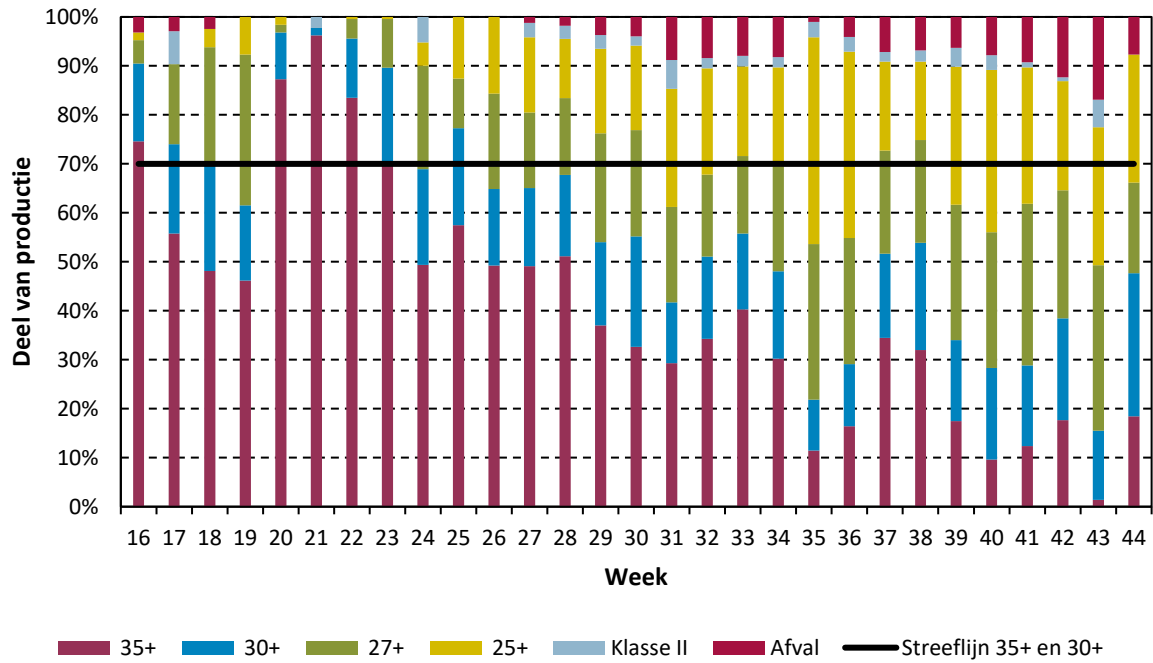
### Favori Vers (Goot 3)



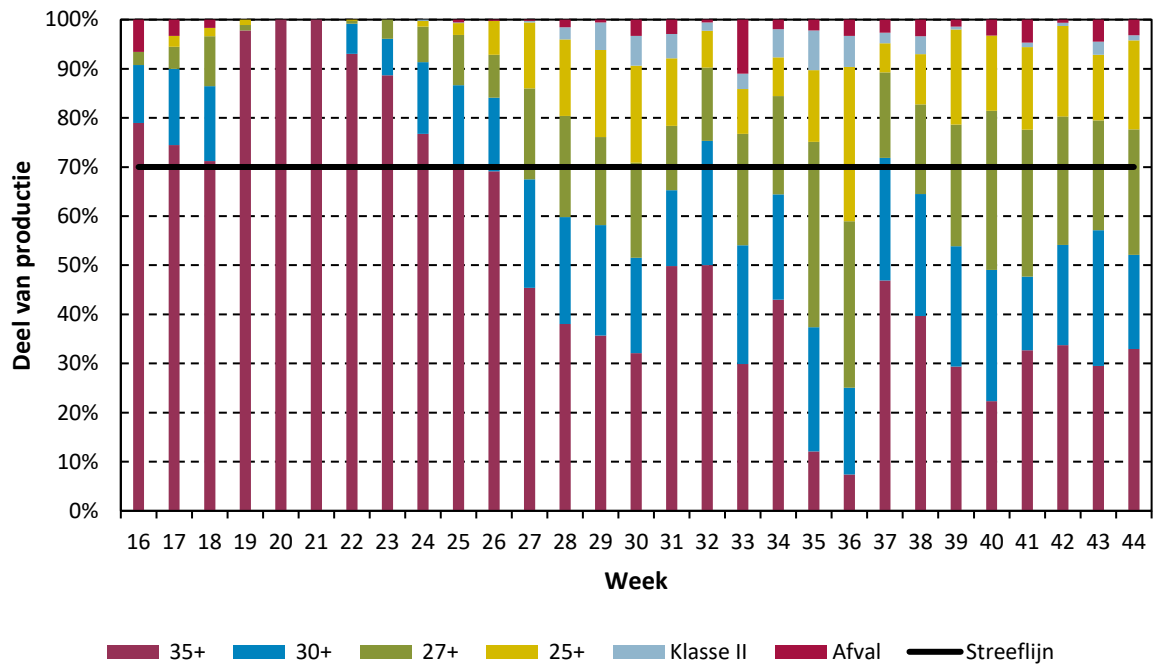
### Arabella Vers 4pl (Goot 5A)



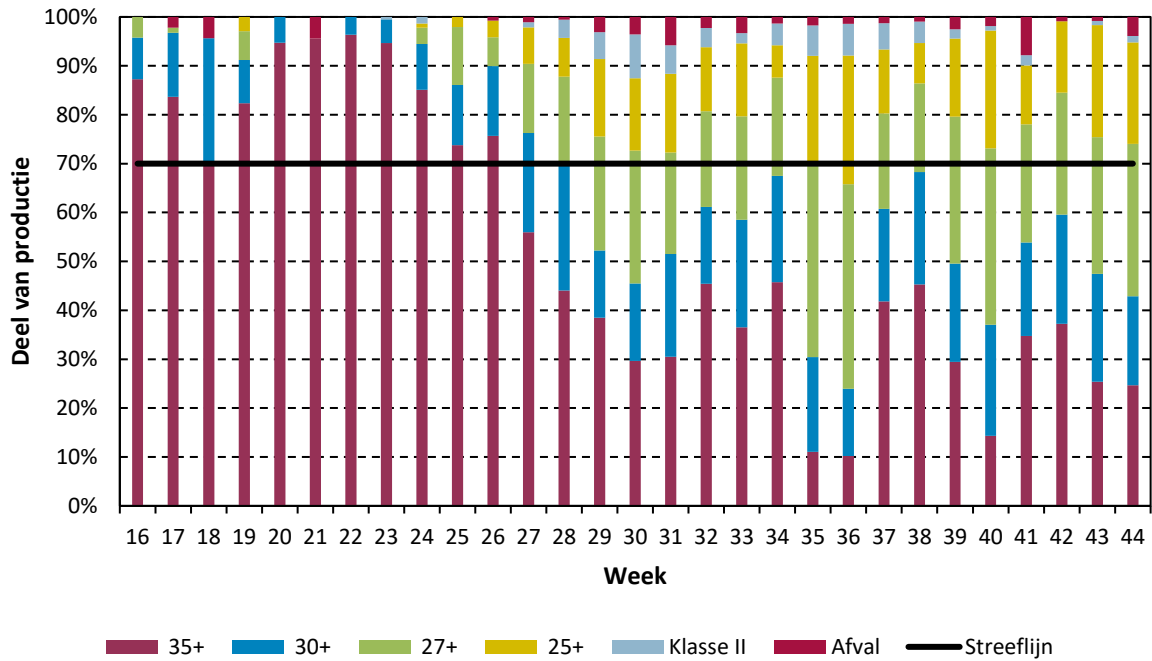
### Favori Vers 4pl (Goot 5B)



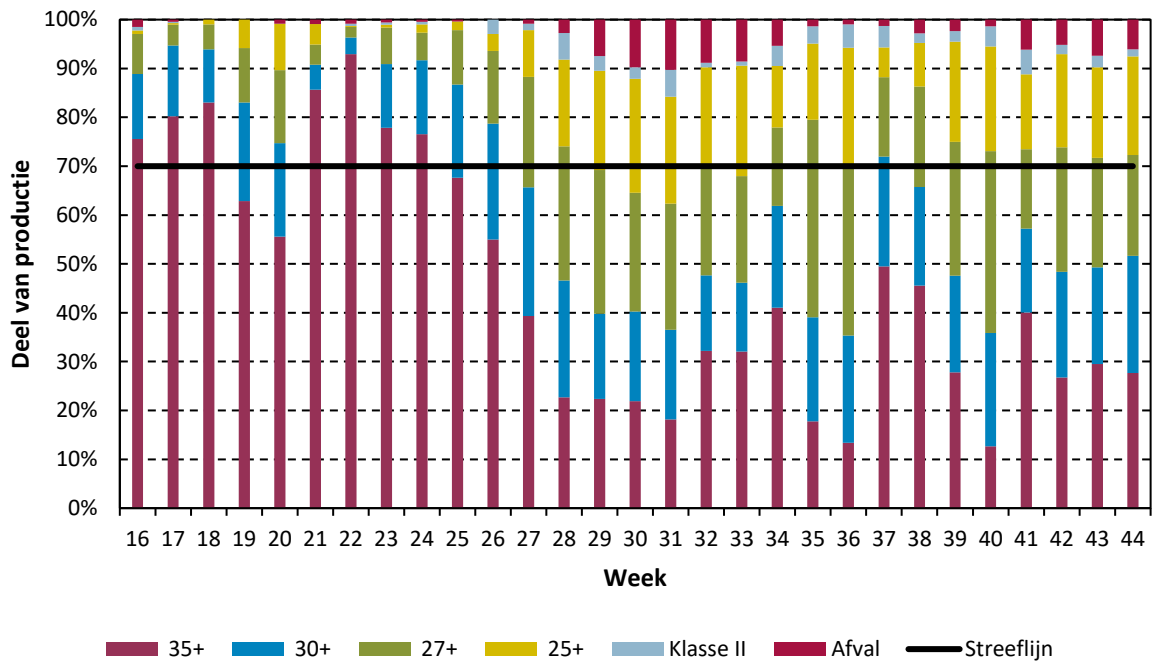
### Arabella Vers (Goot 6A)



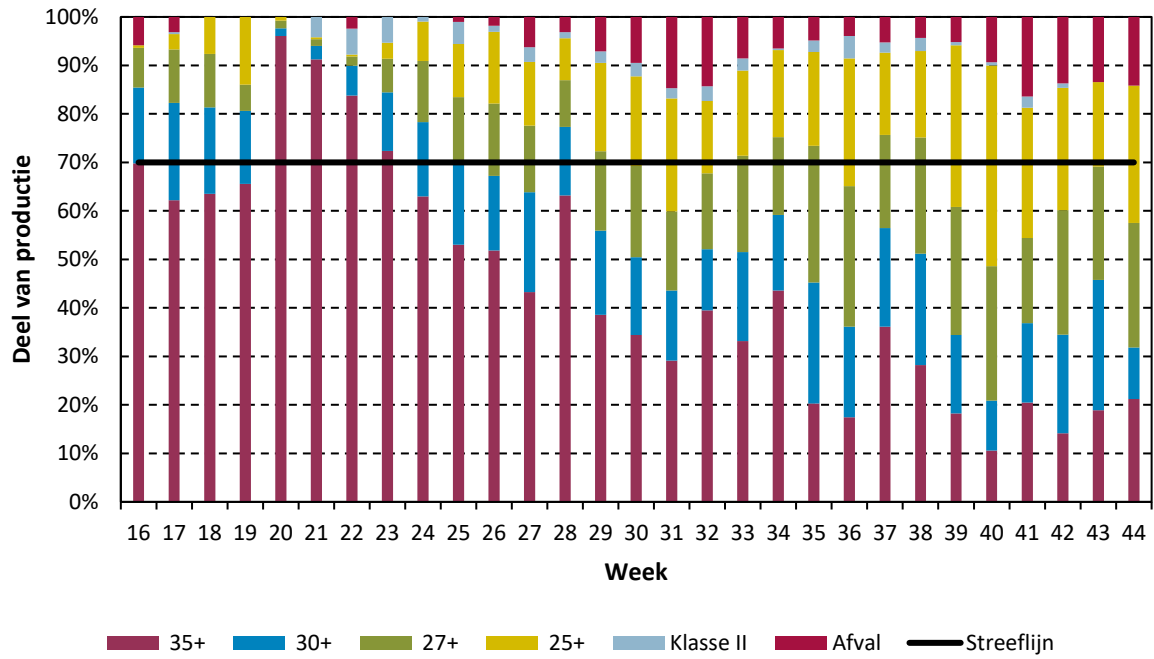
### Arabella Vers belicht (Goot 6B)



### Arabella Gekoelde MT (Goot 7)

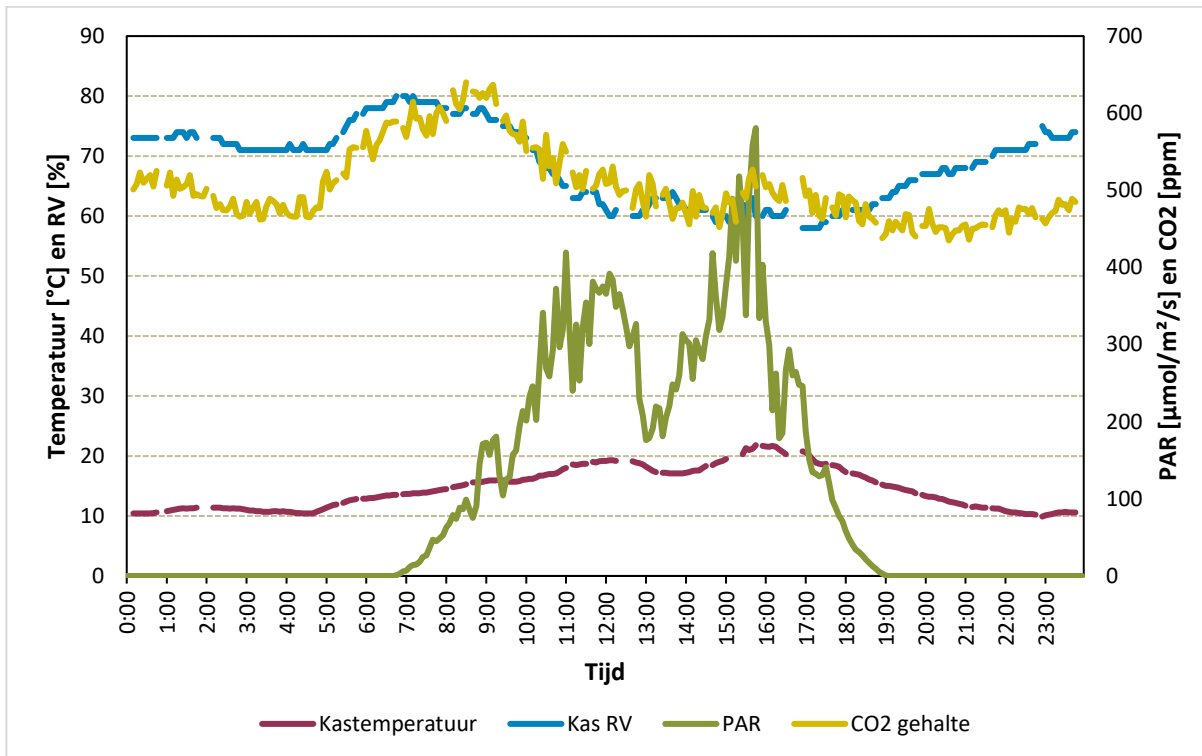


### Bravura Warm overwinterd (Goot 8)

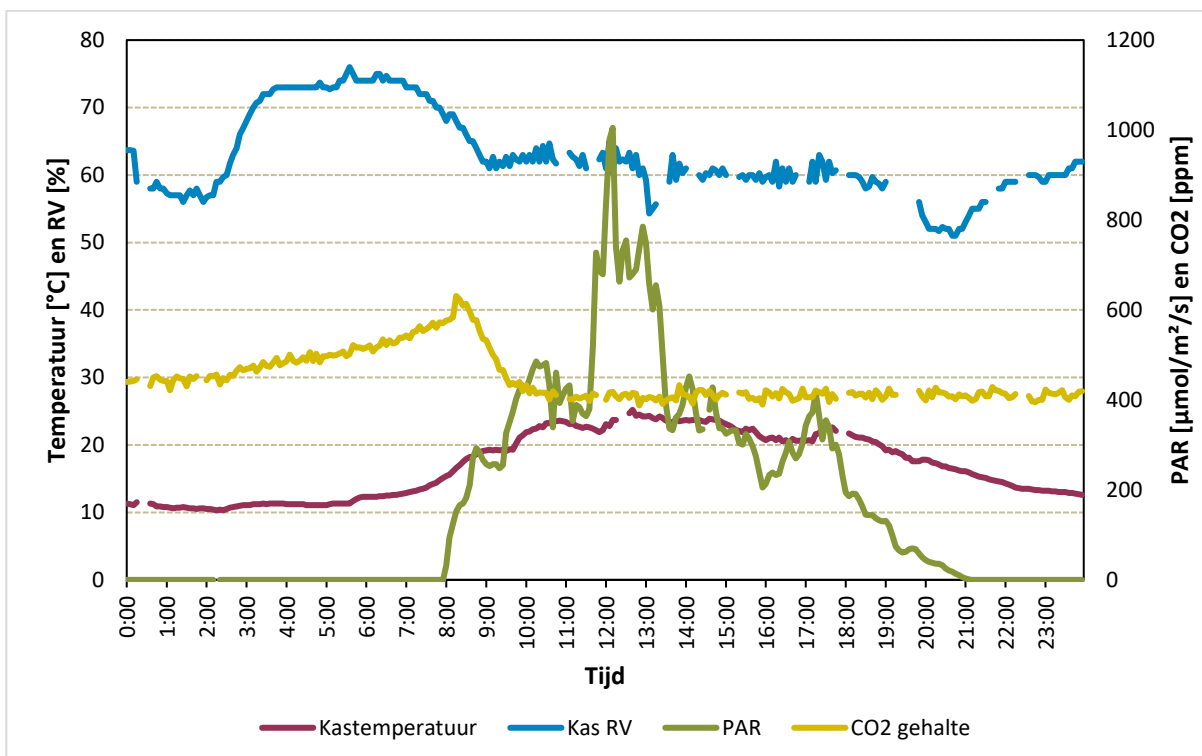




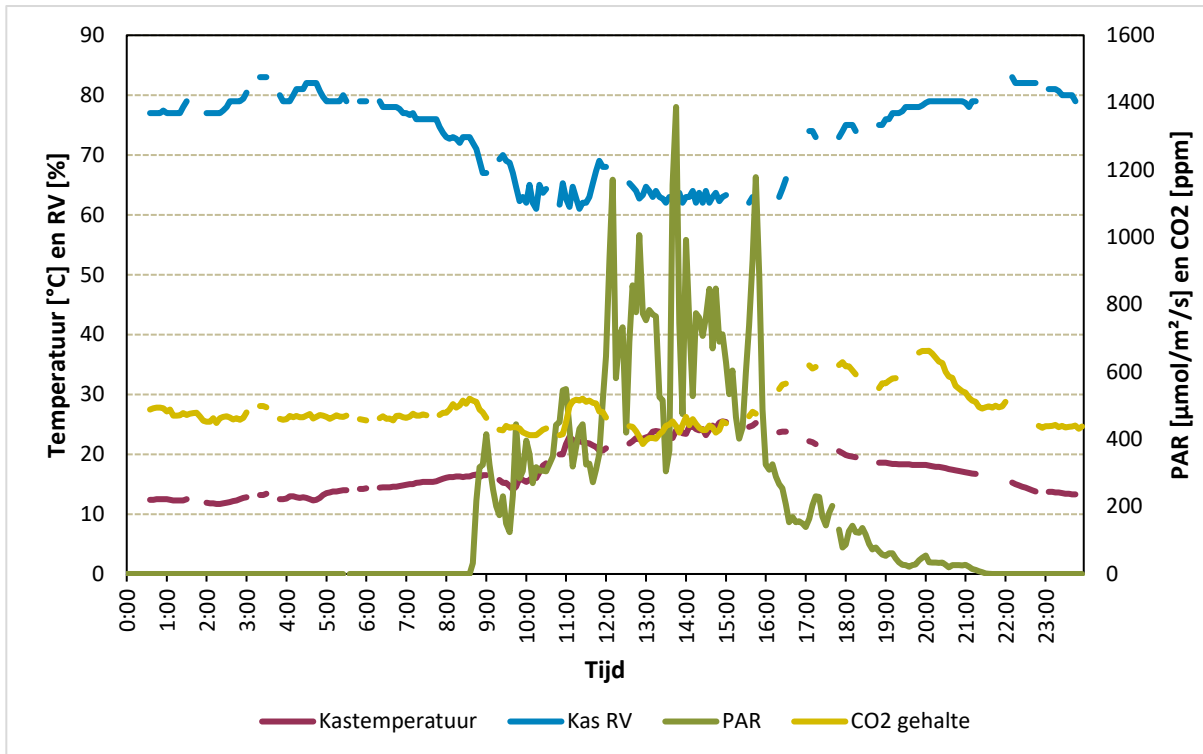
## Bijlage V Klimaatdata op meetdagen fotosynthese



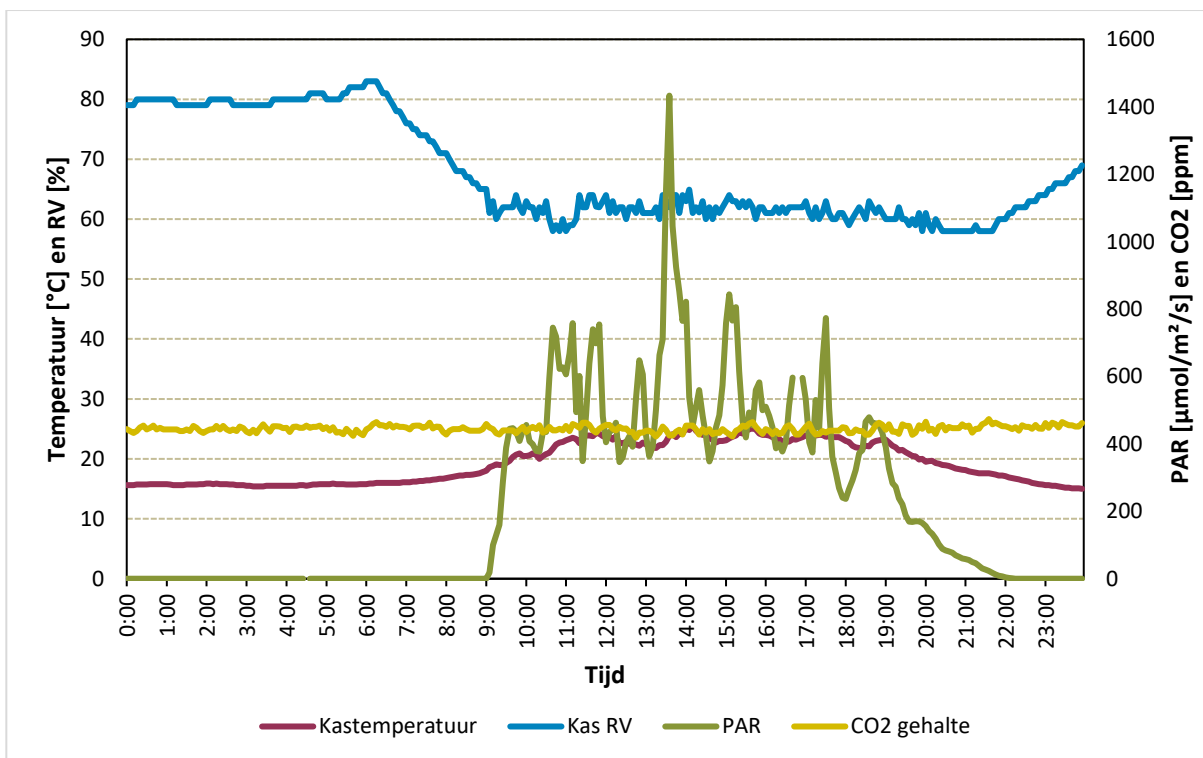
23 maart



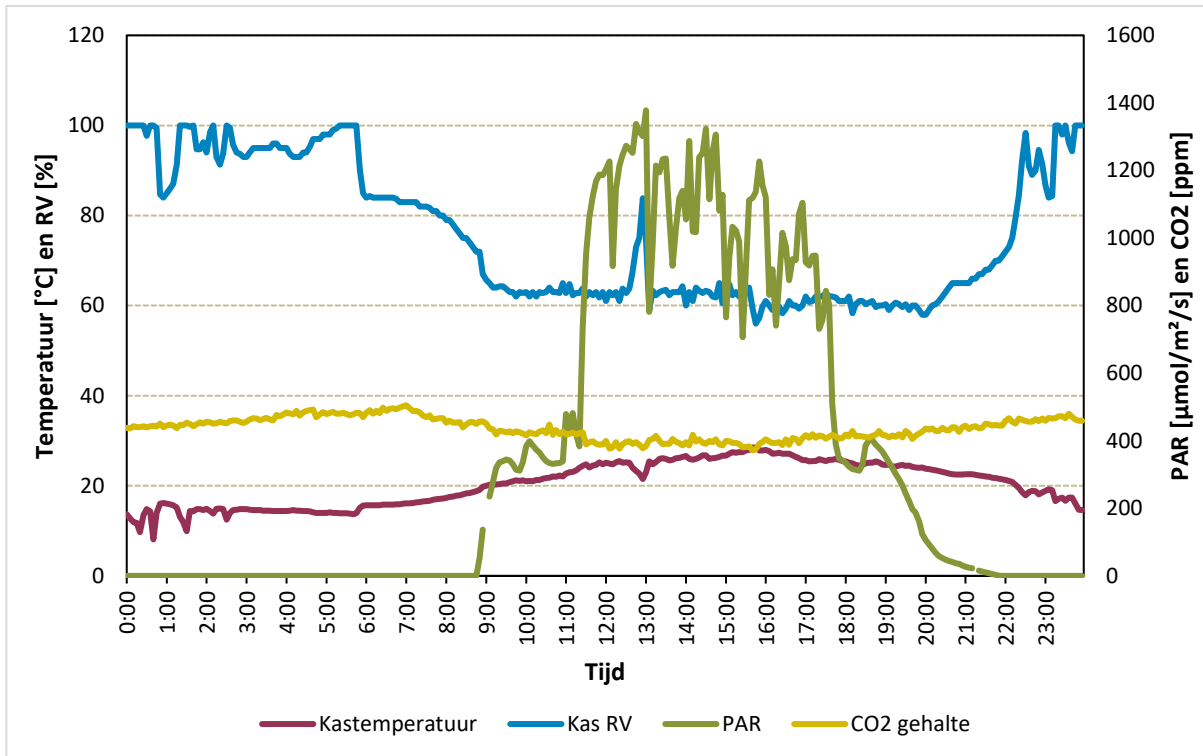
28 april



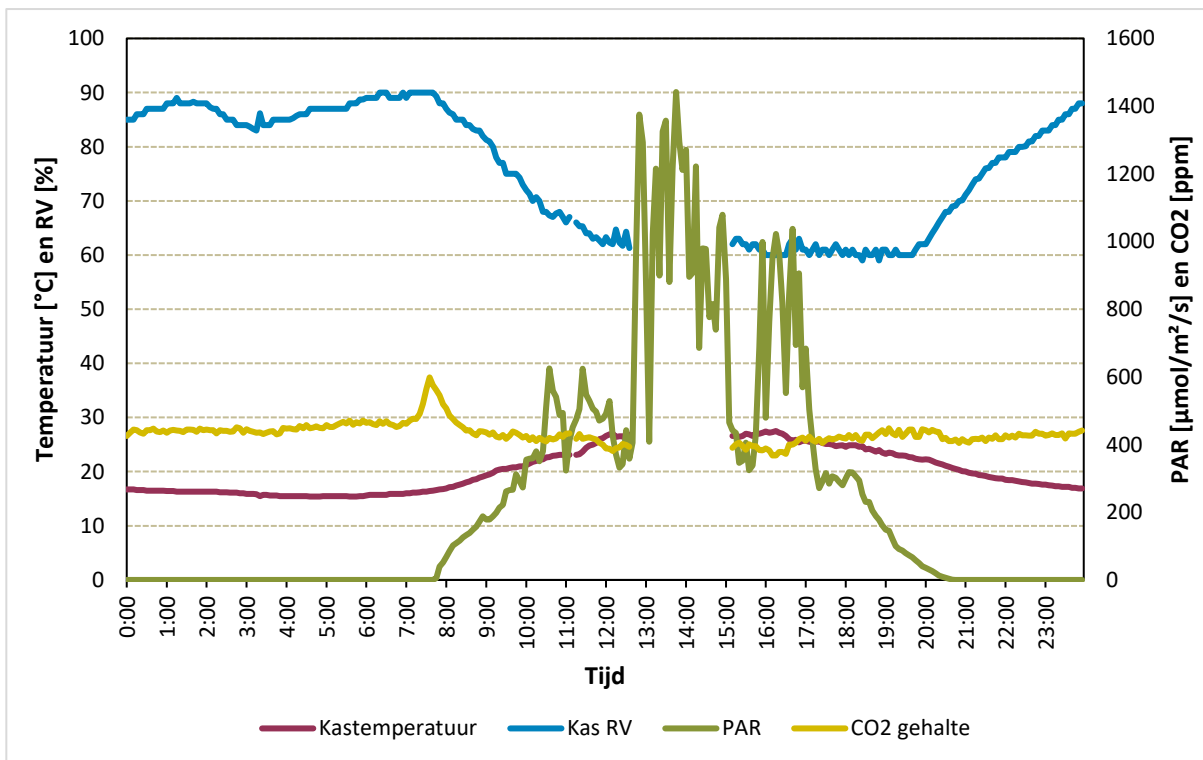
26 mei



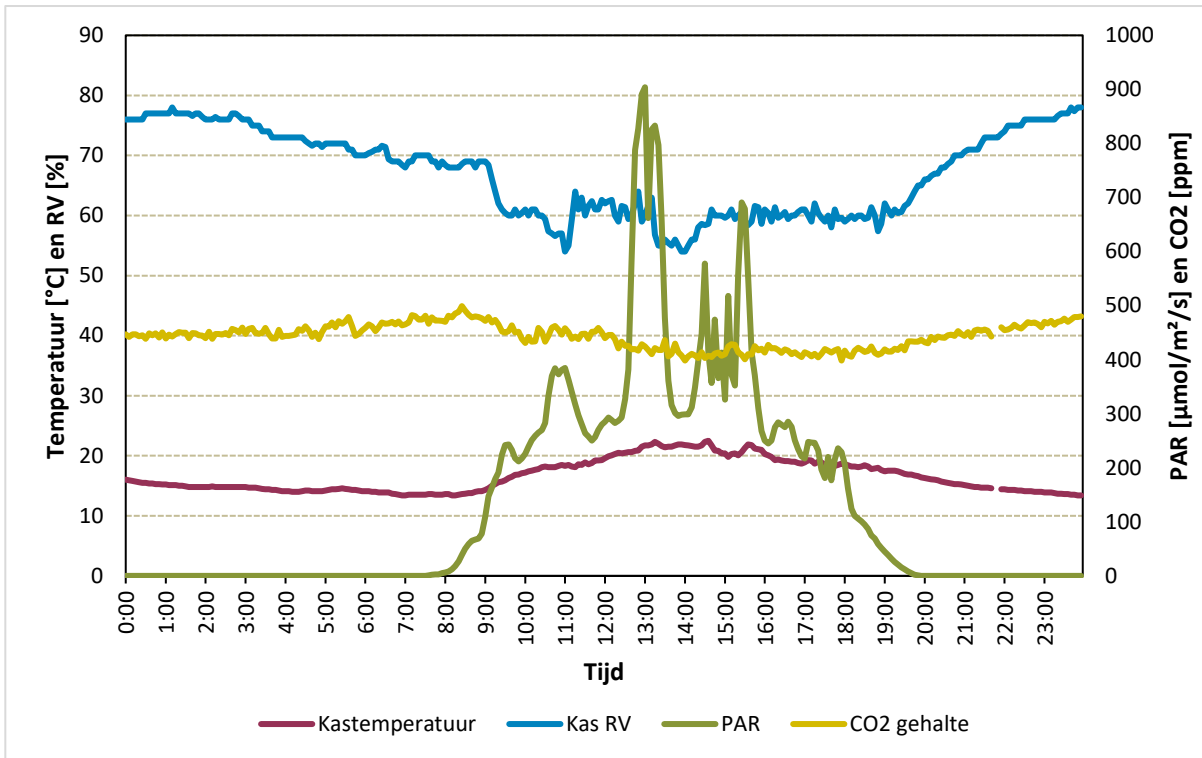
22 juni



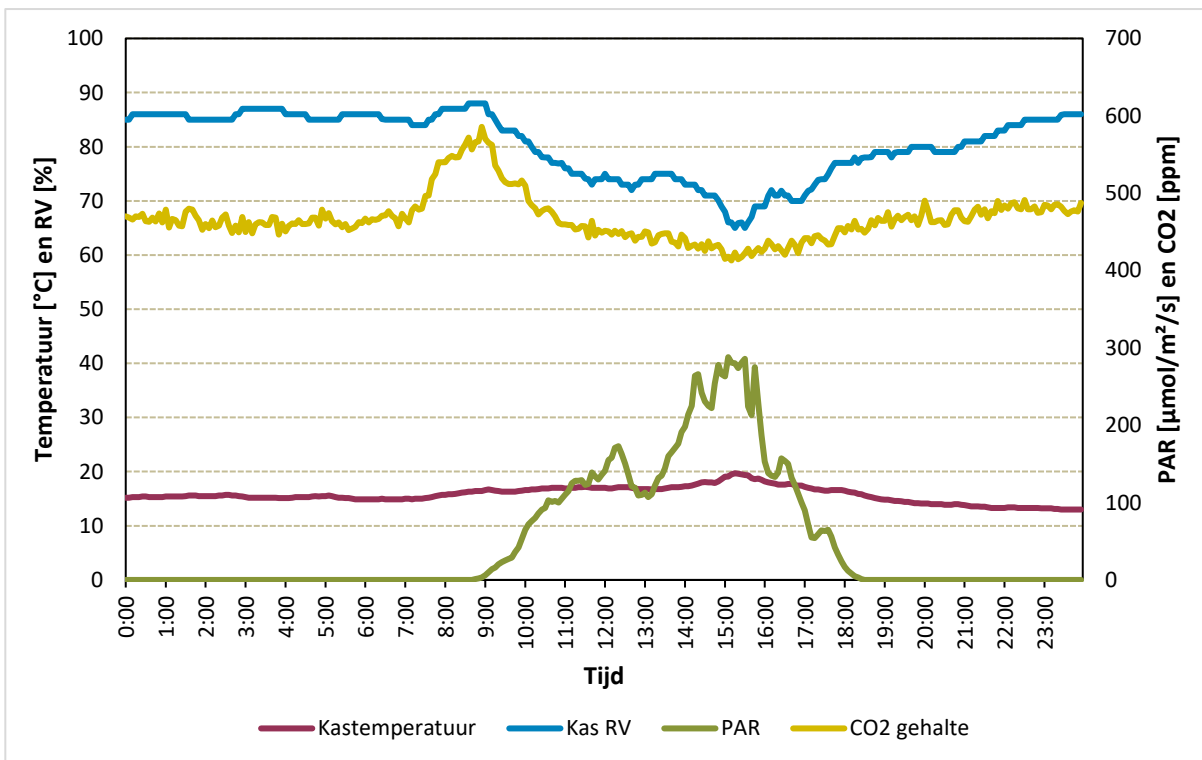
20 juli



24 augustus



20 september



27 oktober