

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

Telefoon 010 522 1771
www.delphy.nl

Hoe wordt jaarrond productie van paprika rendabel?

De paprikateelt energetisch en teelttechnisch in balans

Worldwide Expertise for Food & Flowers



Lisanne Helmus-Schuddebeurs¹, Bas Oudshoorn¹, Jeroen Zwinkels², Sander Hogewoning³,
Ruud Kaarsemaker⁴

1 Delphy- Improvement Centre

2 Delphy

3 Plant Lighting

4 Groen Agro control

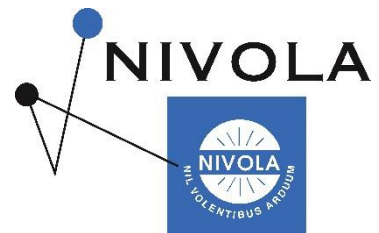
Bleiswijk, januari 2022

Projectnummer Kas als Energiebron: 20163

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	8
2 Aanpak en kasinrichting.....	9
2.1 Kasinrichting	9
2.1.1 Belichting	9
2.2 Teeltplan	10
2.3 Schermen	11
2.4 Dunbehandelingen	11
2.5 Registratie en metingen.....	11
2.5.1 Monitoring klimaat en gewasontwikkeling	11
2.5.2 Bepaling gewasfotosynthese	12
2.6 Voedingsanalyses	12
3 Resultaten	14
3.1 Klimaatgegevens	14
3.2 Energie.....	17
3.3 Bepaling gewasfotosynthese	19
3.3.1 Licht- en fotosynthese-uitdoving in januari	19
3.3.2 Licht- en fotosynthese-uitdoving in maart.....	21
3.3.3 Fotosynthesemetingen in juni	23
3.4 Screening rassen	24
3.5 Samenstelling druppelwater	25
3.5.1 EC	25
3.5.2 Kationen	25
3.5.3 Anionen	26
3.6 Opname voeding	27
3.6.1 Opname kationen	27
3.6.2 Kationen in de droge stof van het blad en de vruchten	28
3.6.3 Opname anionen	29
3.6.4 Anionen in de droge stof van het blad en de vruchten	30
3.6.5 Opname van spoorelementen.....	31
3.7 Drogestofgehalte in jong blad en jonge vruchten	32
3.8 Gewasontwikkeling	33
3.9 Gewasbescherming	35
3.10 Productie en kwaliteit	36
4 Leerpunten en conclusie	40
5 Literatuur	42
Bijlage I: Overzicht kasindeling	43
Bijlage II: Meting Lichtintensiteit	44

Bijlage III: Bekende opname van voedingselementen	45
Bijlage IV: Voedingselementen in de droge stof.....	47
Bijlage V: Gehaltes koper en borium	49

Samenvatting

In twee eerdere onderzoeksprojecten bij Improvement Centre en Plant Lighting naar een energiezuinige jaarrond paprikateelt is veel kennis ontwikkeld over de effecten van lichtspectrum en gebalanceerd telen. In de winter wordt er een vlakke productie gehaald van 0.8 tot 0.9 kg/m². Voor een toekomstbestendig teeltconcept zal de energie-input, gas en elektriciteit, echter nog verder moeten worden gereduceerd. Daarnaast moet de gewaskwaliteit worden verbeterd. Het gewas strekt niet voldoende en de bladkwaliteit verslechtert richting het voorjaar. Het doel van dit derde project was een maximaal gasgebruik van 0.5 m³/m²/week, een internodiumlengte van minstens 4.5 cm en minder chlorose in het blad. Ook is de stap gemaakt van hybride belichting naar full LED om zo het elektragebruik te reduceren.

De teelt is gestart op 24 september 2020 in een afdeling van 1000 m² op het Delphy Improvement Centre in Bleiswijk. Er is gekozen voor een nieuw hoofdtras, 'Gina'. In de voorgaande onderzoeken is gebleken dat behalve het lichtspectrum ook de genetica sterk bepalend is voor de strekking van het gewas. De strekking van Gina was bovengemiddeld. Er werd een stengeldichtheid aangehouden van 7.7 stengels/m². De kas was uitgerust met een full-LED belichtingsinstallatie met een intensiteit van 193 μmol/m²/s PAR. Het spectrum bestond uit: 84% rood, 10% groen, 6% blauw en 25% verrood met een berekende fytochroombalans (PSS-waarde) van 0.82. Op basis van de voorgaande proeven is een teeltplan opgesteld met daarin de gewenste source:sink verhouding. Door middel van schermen en dunnen zijn licht en plantbelasting op elkaar afgestemd. Gedurende de winter zijn er twee dunstrategieën aangehouden, waarbij in 1/3 van de kas vanaf het moment van oogsten niet meer werd gedund. Waar niet werd gedund vertoonde de zetting meer pieken en liep de plantbelasting sneller op, maar dit resulteerde vervolgens in een dip in de zetting. Het langzaam opbouwen van de plantbelasting is nodig om een vlakke productie te realiseren. Echter, in de totale productie was het verschil tussen wel of niet dunnen minimaal.

Zowel gas- als elektriciteitsgebruik zijn gereduceerd ten opzichte van teeltseizoen 2019-20. Gemiddeld lag het warmtegebruik in de winter tussen de 0.5 en 0.6 m³/m²/week, dicht bij het gestelde maximum doel van 0.5 m³/m²/week. Het totale gasgebruik was 18.7 m³/m², een reductie van 30% ten opzichte van 2019-20. Dit is gerealiseerd met minder warmte input van de belichting (hybride vorig seizoen naar full-LED dit seizoen) en minder instraling. Om dit te bereiken is er meer geschermd en is de verwarmingsstrategie aangepast. In totaal is er 10% minder elektriciteit gebruikt dan in het seizoen ervoor. De belichting had een hogere efficiëntie (geïnstalleerd vermogen was 88 en 73 W/m² in seizoen 2019-20 en 2020-21 respectievelijk), maar er zijn meer belichtingsuren gemaakt in het voorjaar om de zetting op gewenst niveau te houden.

Tijdens de teelt zijn er drie momenten geweest waarop fotosynthese is gemeten, januari, maart en juni. De CO₂ opname in januari was lager in vergelijking met teeltseizoen 2019-20. Dit wordt veroorzaakt door een lagere huidmondjesgeleidbaarheid. De assimilatie van de gehele plant zal waarschijnlijk hoger zijn geweest omdat de chlorose minder was dan in seizoen 2019-20 en er alleen aan gezond ogend weefsel is gemeten. De fotosynthese gaat hard omlaag bij bladeren iets dieper in het gewas (oksel 5-7). In maart werd een hogere CO₂-opname gemeten dan in januari. De CO₂-opname was nog wel de limiterende factor voor de fotosynthese. In juni was de huidmondjesgeleidbaarheid hoog genoeg om voldoende CO₂ op te kunnen nemen voor de fotosynthese.

Het project heeft getoond dat met full-LED een goede productie gehaald kan worden met een goede kwaliteit. Bij hoofdtras 'Gina' was het gemiddeld vrucht gewicht 207 gram en totaal is er 43.1 kg/m² geproduceerd, ten opzichte van 40.4 kg/m² in 2019-20 bij toenmalig hoofdtras 'Mavera'. Het verschil in productie is gerealiseerd in het tweede deel van de teelt. De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) was 6.7 gram/mol ten opzichte van 5.9 gram/mol. Het licht is dus efficiënter omgezet, maar metingen lieten zien dat de fotosynthese lager is dan in een onbelichte teelt. De huidmondjesgeleidbaarheid is hierin de belemmerende factor. In een parallel onderzoek in een klimaatcel is aangetoond dat lichtspectrum en daglengte hier een invloed op hebben. Met een breedband spectrum en een korte dag (15 uur) wordt de huidmondjesgeleidbaarheid verhoogd. De

gewaskwaliteit is verbeterd ten opzichten van teeltseizoen 2019-20. Er is minder chlorose waargenomen en de strekking van de internodiën was altijd groter dan de doelstelling van 4.5cm.

In het voedingswater is het sulfaatgehalte verlaagd en kalium verhoogd. Dit heeft geresulteerd in een beter opname van nutriënten. Koper werd zeer moeizaam opgenomen, ook bij relatief hoge concentraties in de voeding. Het drogestofgehalte was hoog in vergelijking met een onbelichte teelt. Opvallend was dat bladeren met een hoog drogestofgehalte minder nutriënten bevatten in vergelijking met bladeren met een lager drogestofgehalte.

Het project heeft laten zien dat paprika jaarrond geteeld kan worden onder full LED belichting. Er is een grote stap gemaakt in het reduceren van gasgebruik. Er is veel geschermd en alleen gebruik gemaakt van het verwarmingssysteem als er warmtevraag was. De grootste uitdaging blijft het optimaliseren van de fotosynthese onder de belichting, zodat de toenemende lichtintensiteit in het voorjaar beter benut kan worden voor productie. Met aanpassingen aan het spectrum en de belichtingsduur zou mogelijk een volgende efficiëntieslag gemaakt kunnen worden.

1 Inleiding

In twee voorgaande onderzoeken naar een energiezuinige jaarrond paprikateelt is veel kennis ontwikkeld over de effecten van lichtspectrum en gebalanceerd telen. In de winter wordt nu een vlakke productie gehaald van bijna 0,9 kg/m²/week. Lichtspectrum en afstemming van de assimilatie op plantbelasting (stapsgewijs meer licht) en vice versa (vruchtdunning) bleken daar een grote rol in te spelen. Echter, er moeten nog een aantal stappen gemaakt worden voor dit concept praktisch te maken. De volgende twee aspecten zijn daarbij het meest belangrijk:

1. Energie: Voor een toekomst waarin de glastuinbouw fossielvrij moet zijn met een beperkte elektra input, ontbreekt het nog aan de juiste toepasbare kennis.
2. Gewaskwaliteit: In de winter strekken de internodiën nog onvoldoende voor een goede werkbaarheid. Aan het einde van de winter verslechtert de bladkwaliteit, waardoor de productie achterblijft t.o.v. wat haalbaar zou moeten zijn op basis van de hogere PAR-sommen richting het voorjaar.

Energie

In een fossielvrije en energiezuinige teelt is het wenselijk dat de elektra input zo laag mogelijk is. Daarbij past 100% LED-belichting. Daarnaast moet in de warmtevraag voorzien worden zonder fossiele brandstoffen. Een groot deel van de warmtevraag in de winter zou dan vanuit de overtollige warmte van de belichting moeten komen. Kernpunten hierin zijn intensief schermen, niet inzetten van een minimumbuis en actieve ontvochtiging met terugwinning van latente warmte. De kasverwarming vindt daarbij grotendeels plaats middels de warmtepomp. Door weinig te luchten wordt CO₂ behouden in de kas, wat belangrijk is vanwege de hogere kostprijs voor CO₂ in een fossielvrij scenario.

Het hierboven geschetste scenario is nog geen werkelijkheid, maar inmiddels zijn er flinke stappen gemaakt. Het gasgebruik in het voorgaande project was met gemiddeld 0,7m³/m²/week in januari en december niet heel hoog (Balk et al., 2020). In tomaat is al aangetoond dat deze warmtevraag voor 90% kan worden ingevuld met latente warmteterugwinning en een warmtepomp (Helmus-Schuddebeurs et al., 2020). Echter, paprika verdampt minder dan tomaat en daarom zal de warmtevraag nog verder verlaagd moeten worden. In de afgelopen paprikateelt was de gemiddelde etmaaltemperatuur 24.5 °C. Uit dat onderzoek is niet naar voren gekomen dat de strekking of de allocatie van suikers zodanig verbeterde dat een zo hoge etmaaltemperatuur daarmee gerechtvaardigd kan worden. Er ligt dus nog een uitdaging om de energiebalans van de kas verder te verfijnen richting een fossielvrije toekomst. In dit project lag de etmaaltemperatuur ≈1°C lager dan in het voorgaande seizoen. De belichting is ingevuld met 100% LED's.

Gewaskwaliteit

In het voorgaande project waren met name de strekking van de internodiën en de bladkwaliteit nog niet voldoende. De internodiën zullen meer moeten strekken voor een optimale vruchtkwaliteit en goede werkbaarheid van het gewas. Richting het voorjaar verslechterde de bladkwaliteit (chlorose). Ook was de fotosynthese van de bladeren iets onder de kop en verder naar beneden opvallend laag. Die lage fotosynthese werd veroorzaakt door een slechte huidmondjesopening, net als in het voorgaande teeltseizoen. We zagen een hoog drogestofgehalte van 18% wat duidt op een probleem met de assimilatenverdeling. Hier ligt dus nog een kans voor een hogere energie-efficiëntie. Ofwel een productieverbetering door het probleem van assimilatenophoping op te lossen (meer sinks in de vorm van vruchten), ofwel het voorkomen van ophoping van assimilaten door de lichtsom richting het voorjaar rustiger op te bouwen. Dit door eerder afschakelen van de belichting met een kortere daglengte waardoor bespaard wordt op elektra, en gebruik van een diffuus scherm op momenten met een hoge instraling.

Daarnaast is de respons van een ander ras getoetst. In het voorgaande project is naast het hoofd ras Maveria een aantal andere rassen geteeld. Daarvan toonde het ras Gina een betere bladkwaliteit, een hogere gemeten fotosynthese, en een betere strekking ten opzichte van hoofd ras Maveria. Voor het realiseren van het toekomstbeeld van een fossielvrije kas is niet alleen de juiste

(teelt)techniek benodigd, maar ook een passend ras. Dat kan veel effectiever zijn dan het forceren van strekking met veel verrood licht en/of een hoge etmaaltemperatuur.

1.1. Doelstellingen

De hoofddoelstelling van het project is:

- Ontwikkelen van een teeltstrategie voor een jaarrond paprikateelt die toekomstbestendig is en aansluit op de transitie richting een fossielvrije glastuinbouw. Dit vraagt 100% LED-belichting, beperkte warmtevraag, en een jaarrond hoogproductief en werkbaar gewas.

Energiedoelstellingen

De teeltstrategie moet aansluiten op de transitie richting een fossielvrije glastuinbouw. Dit vraagt:

- Een maximaal warmteverbruik voor in de winterweken van $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$. Zodat dit in de toekomst fossielvrij kan worden ingevuld met latente warmteterugwinning.
- Het hanteren van een temperatuurstrategie waarbij de schermen maximaal ingezet kunnen worden en warmte in de belichtingsperiode niet actief wordt weggelucht. Zo blijft ook de CO_2 -dosering minimaal.
- Geen gebruik maken van een minimumbuis.

Teelt doelstellingen

- Realiseren van een hogere productie middels het verbeteren van de gewaskwaliteit, met name strekking van de internodiën, bladkwaliteit en lichtbenutting bij toenemende lichtsommen richting het voorjaar. Hiertoe worden verschillende strategieën beproefd:
- Verbetering van bladkwaliteit en lichtbenutting (kg oogst/mol) door te sturen op een hogere plantbelasting richting het voorjaar.
- Verbetering van bladkwaliteit en lichtbenutting (kg oogst/mol) door de lichtsom langzamer te laten oplopen richting het voorjaar. De belichting wordt dan eerder afgeschakeld en daglengte verkort, wat elektra bespaart.
- Toetsing van het ras effect op strekking en bladkwaliteit. Dit is mogelijk een effectievere weg dan het forceren van strekking en assimilaten transport met veel verrood licht en/of een hoge etmaaltemperatuur.
- Een betere sturing van de voeding en bladkwaliteit realiseren door het uitvoeren van opname analyses, analyses van droge stof in het blad, en dit in relatie te brengen met de wateropname.

2 Aanpak en kasinrichting

2.1 Kasinrichting

De proef is uitgevoerd in afdeling 2 op het Delphy Improvement Centre in Bleiswijk. Deze afdeling is 1000m² groot en bestaat uit drie tralies. Tralie één was gevuld met verschillende rassen. In tralie twee en drie stond het hoofdras. In tralie drie werd een hogere plantbelasting aangehouden dan in tralie twee. De exacte indeling van de kas is te vinden in Bijlage I: Overzicht kasindeling. De uitrusting en kenmerken van de kas zijn te vinden in Tabel 1. Het hoofdras van deze proef is Gina (Syngenta). In het voorgaande project is waargenomen dat dit ras beter strekte onder LED belichting dan onder andere het hoofdras van toen, Maver. Er is geteeld met twee stengels per plant en een 7,7 stengels per m². Het verloop van de teelt was als volgt:

- Zaaidatum: 12-8-2020
- Plantdatum: 24-9-2020
- Eerste oogst: 17-11-2020
- Laatste oogst: 26-8-2021

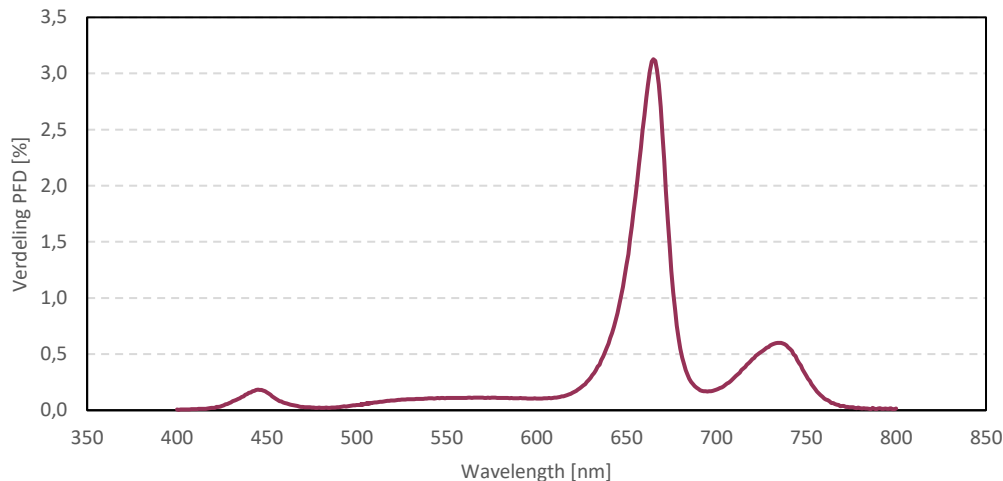
Tabel 1. Kas uitrusting afdeling 2

Afdeling:	2
Bruto oppervlakte	1008 m ² (28,8 m * 35 m)
Netto oppervlakte	936 m ² (28,8 m * 32,5 m)
Poothoogte	6,68 m
Kasdek type	Venlo dek, tralie met 2 kappen per tralie
Glastype	Extra helder glas
Verwarming	Buisrail
CO ₂ dosering	OCAP zuiver CO ₂
Schermen	Obscura 9950 FR W (Lichtuitstootdoek) Harmony 1315 O FR (Zomerschermdoek) Luxous 1147 FR (Energiedoek)
Teeltsysteem	4 rijen systeem
Substraat	Grodan vitaal (120 x 12 x 7.5 cm)
Verneveling	Capaciteit 0,5 L/m ² .uur, druppelgrootte 3 µm
Klimaat computer	Priva
Meetboxen	Priva meetboxen onder en boven scherm-doek

2.1.1 Belichting

De afdeling was uitgerust met een full LED belichtingssysteem bestaande uit verschillende modules die apart schakelbaar waren: ±124 µmol/m²/s lineaire module RGB, ±69 µmol/m²/s compact module RGB en ±23 µmol/m²/s lineaire module verrood. De combinatie van de drie modules had een spectrum met 67,6% rood, 7,9% groen, 4,7% blauw en 19,9% verrood (Figuur 1 en Tabel 2). De lichtverdeling van de belichtingsinstallatie gemeten door Plant Lighting is terug te vinden in Bijlage II: Meting Lichtintensiteit.

In het voorgaande project met hybride belichting zijn er wat betreft de LED-belichting twee spectra gebruikt met eenzelfde PSS waarde. Een breedband spectrum met meer witte LED's en een rood spectrum waarbij de PSS waarde werd gecompenseerd door extra verrood. Er zijn in dit project geen verschillen waargenomen in productie of gewaskwaliteit tussen de twee spectra. Waarbij opgemerkt dat het aandeel SON-t in de hybride belichting ervoor zorgde dat in beide behandelingen een relatief hoog aandeel groen in het spectrum was. Omdat het rode spectrum energetisch het meest efficiënte is, is dit spectrum als basis genomen voor dit project. Echter omdat SON-T (wat ook een groot deel groen licht bevat) is vervangen voor LED, is er extra verrood toegevoegd om voldoende strekking te krijgen.



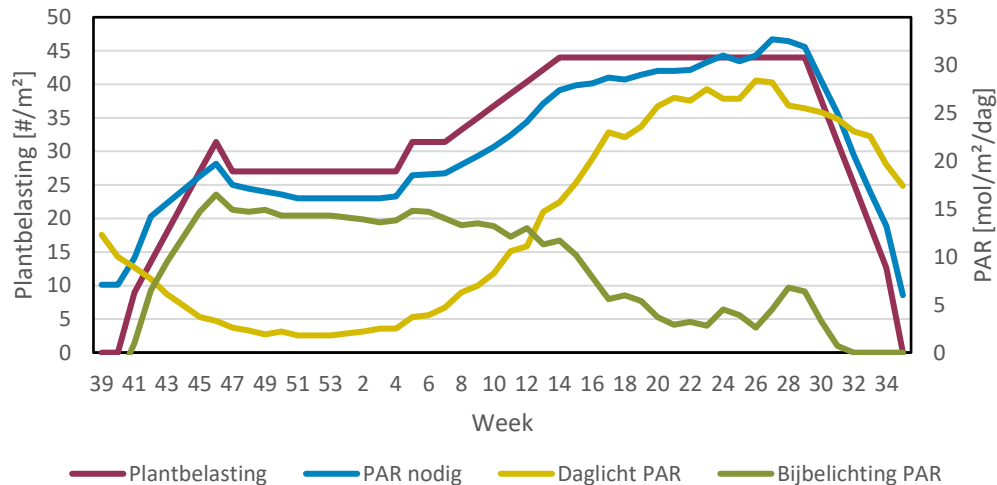
Figuur 1. Spectrale samenstelling van de totale belichting

Tabel 2. Spectrale samenstelling van de totale belichting. De waarden zijn genormaliseerd op PAR (en verrood op PFD)

	Linear + compact + Fr
Blauw (400-500nm)	6%
Groen (500-600nm)	10%
Rood (600-700nm)	84%
Verrood (700-800nm)	25%
PSS	0,82

2.2 Teeltplan

Om een optimale productie te realiseren is er voorafgaand aan de proef een teeltplan gemaakt waarbij de aanmaak van assimilaten (source) en de vraag naar assimilaten (sink) zo goed mogelijk op elkaar is afgestemd. Er is gerekend met een benodigde gram per mol PAR-licht voor de generatieve en vegetatieve delen van het gewas. Voor de teeltplanning is gebruik gemaakt van weerstatistieken, kastransmissie, en op basis van de geïnstalleerde belichtingsintensiteit is per teeltweek uitgerekend hoeveel mol licht naar verwachting beschikbaar is. Ook zijn de fotosynthese metingen van de voorgaande proef meegenomen. Hieruit bleek dat de fotosynthese in het voorjaar matig was. Hierop is de productie van assimilaten afgestemd. Bij een stengeldichtheid van 7.7 stengels per m² is uitgegaan van 0.5 te zetten vruchten per stengel per internode gedurende het winterseizoen. Dus de ene oksel een vrucht, en het volgende weer niet. Te veel gezette vruchten werden weggedund, behalve in de afwijkende dunbehandelingen. Als er te veel licht aanwezig was is dit weggeschermd. Figuur 2 geeft het teeltschema schematisch weer.



Figuur 2. Teeltplan paprika in balans. Er is gerekend met een benodigde hoeveelheid assimilaten voor generatieve en vegetatieve delen van het gewas, waarbij het aantal benodigde molen licht per vrucht hoger is in de teeltweken met een lage LAI (begin teelt) en in weken met hoge instraling en/of laag CO₂ in de kas (zomer). Toenemende plantbelasting (paars) betekent dat de benodigde mol PAR (blauw) ook moet toenemen. Het piekje in plantbelasting in week 46 is vanwege een extra aangehouden groen te oogsten vrucht. De benodigde mol PAR minus het 10-jarig gemiddelde aan daglicht (geel) geeft de benodigde bijbelichting (groen). Alle lichtsommen staan in mol/m²/dag.

2.3 Schermen

Om energieverlies te voorkomen is er intensief geschermd. Het energiedoek werd geopend bij een instraling > 100W/m² en sloot 1 uur voor zon onder. Het verduisteringsdoek werd geopend bij zon op en gesloten bij zon onder. Vanaf maart is het zomerdoek gebruikt bij een instraling > 650W/m² en een buiten temperatuur > 15°C.

2.4 Dunbehandelingen

Er zijn twee dun strategieën toegepast tijdens dit project. In tralie 2 is gestreefd om de plantbelasting te volgen zoals deze te vinden is in Figuur 2. Hierbij is om en om gedund (per twee oksels 1 vrucht). Dit had als doel om de zetting op een stabiel niveau te houden en zo voor een stabiele productie in de wintermaanden te zorgen. In tralie 3 is deze strategie ook toegepast maar na week 43 is er hier niet meer gedund om zo het effect van het dunnen in tralie 2 te kunnen zien. De dun strategie van tralie 2 geldt als standaard dunbehandeling. Als er resultaten van tralie 3, niet dunbehandeling, worden besproken in het vervolg van dit verslag, zal dit specifiek genoemd worden.

2.5 Registratie en metingen

2.5.1 Monitoring klimaat en gewasontwikkeling

- Gedurende de teelt werden het kasklimaat (temperatuur, luchtvochtigheid, CO₂, PAR), watrigheid, de kasaansturing (schermen en belichting) en de meteogegevens (buitenlicht en temperatuur) gemonitord op basis van 5 minuten data.
- De ontwikkeling van het gewas werd gevolgd met het wekelijks vastleggen van de volgende plantparameters voor beide dunbehandelingen:
 - Zetting: aantal nieuw gezette vruchten/m²/week, n=20 stengels.
 - Geoogste vruchten: aantal geoogste vruchten/m²/week, n=20 stengels.
 - Plantbelasting: aantal vruchten/m², n=20 stengels.
 - Uitgroei: van zetting, vrucht ± 1 cm, tot oogst, n=20 stengels.
 - Lengtegroei: cm/week, n=1 stengel.
- Voor het bepalen van de internode-lengte is iedere ± 5 weken het aantal internodiën in de bovenste 50 cm van de plant en het totaal aantal internodiën gemeten, n=20 stengels.

- Het drogestofgehalte van het blad en vruchten is tweewekelijks gemeten. Hierbij is ook de verdeling van de nutriënten bepaald.
- De paprika's zijn geoogst met een interval van 3 keer per 2 weken. Hierbij zijn de volgende registraties uitgevoerd:
 - Per pad is de productie bijgehouden en op basis van oppervlakte omgerekend naar kilogram per m². Per dun behandeling zijn 2 paden gebruikt voor de data-analyse, de twee middelste in de tralie om randeffecten uit te sluiten.
 - Bij elk oogstmoment is het gemiddeld vruchtgewicht bepaald. Per dun behandeling zijn er twee paden gebruikt (zelfde als productie bepaling) en van elk pad zijn willekeurig 60 vruchten gekozen (120 vruchten per dunbehandeling). De vruchten zijn afzonderlijk gewogen en verdeeld over 6 gewichtsklassen om de spreiding weer te kunnen geven en niet alleen het gemiddelde gewicht.
 - Bij elk oogstmoment zijn 30 vruchten per dunbehandeling apart gehouden om binnenrot te bepalen. De vruchten zijn weggezet bij kamertemperatuur en na 7 dagen doorgesneden om te bepalen of er wel of geen binnenrot aanwezig was. Vanaf de eerste constatering van binnenrot werd het aantal vruchten dat apart werd verdubbeld.

2.5.2 Bepaling gewasfotosynthese

Omdat in de voorgaande paprikaproeven (2018-2019 en 2019-2020) de fotosynthese-capaciteit van lager liggende bladeren in maart zeer snel daalde, is dit in dit belichtingsseizoen opnieuw gemeten hoe de fotosynthese van de bladeren functioneert in relatie tot de verticale lichtuitdoving in het gewas ten opzichte van de LAI. Vergeleken met vorige proeven wordt in deze proef richting het voorjaar gestuurd op een hogere plantbelasting en is de lichtsom geleidelijker opgebouwd door de belichting in het voorjaar eerder af te schakelen. Ook is aandacht besteed aan de voeding (zie hoofdstuk 2.6). Het streven was om met die maatregelen in het voorjaar een betere bladkwaliteit te behouden, met een hogere lichtbenutting voor fotosynthese en productie.

Plant Lighting heeft de volgende metingen in januari, maart en juni uitgevoerd:

- LAI-metingen gedurende de looptijd van de proef (door Delphy IC).
- Lichtuitdoving bij hoofdras 'Gina' volledig tussen het gewas en in het pad over de volledige pad-breedte met een lijnsensor (Li-191R) in januari en maart. Deze metingen zijn belangrijk als input voor het assimilatiemodel na bepaling van de extinctie-coëfficiënt voor lichtuitdoving (Monsi & Saeki, 1953).
- Metingen van de lichtrespons van de fotosynthese op meerdere gewaslagen bij 'Gina' en 'Mavera' (januari 2021), en bij 'Gina' en 'Red Wing' (maart en juni 2021). De metingen zijn uitgevoerd met LI-6400 en LI-6800 mobiele fotosynthese-meetapparatuur en bieden inzicht in het functioneren van de fotosynthese. Tevens zijn deze metingen belangrijk als input voor het assimilatiemodel na fitting van het Farquhar, von Caemmerer & Berry model (1980; FvCB-model) op de fotosynthese-data (voor formules zie Yin *et al.* 2004).
- Screeningsmetingen van de fotosynthese en huidmondjesgeleidbaarheid aan minimaal 10 bladeren ter hoogte van oksel 2-3 en ter hoogte van oksel 5-7 vanaf de kop. Dit bij een vaste lichtintensiteit van 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 700 ppm CO₂ op 25 en 26 maart 2021 aan de rassen Gina, Redwing, Maveria, Redline, Ids, Maldonado en BR1406. De metingen zijn op 8 juni 2021 nogmaals uitgevoerd bij een vaste lichtintensiteit van 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 700 ppm CO₂ aan de rassen Gina, Redwing, Maveria, en BR1406.

2.6 Voedingsanalyses

De juiste voedingsopname is van belang voor het optimaal functioneren van de plant. Onder afwijkende omstandigheden met betrekking tot onder andere klimaat, lichtsamenstelling, kwaliteit van het wortelstelsel en bijvoorbeeld pH in het wortelmilieu kan het zijn dat de plant de voedingselementen niet in de juiste samenstelling opneemt. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld verstoringen optreden in de strekking van de plant, suikertransport en de kwaliteit van de celwand. Door te monitoren hoe de plant zijn afzonderlijke voedingselementen opneemt kan de

samenstelling van het druppelwater worden aangepast zodat de voedingsopname in de juiste samenstelling plaats kan vinden.

Monitoren van de voedingsopname is op de volgende manieren uitgevoerd:

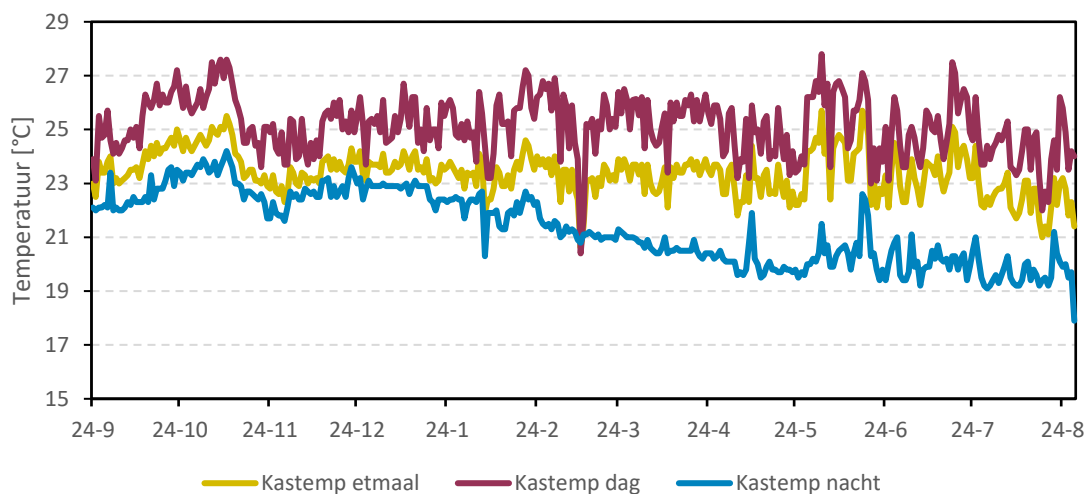
- Bemonsteren van druppel- en drainwater
- Berekening van de opgenomen nutriënten uit de samenstelling en hoeveelheid druppel- en drainwater, dit geeft een beeld van de wekelijkse opname van de afzonderlijke elementen door de gehele plant
- Bepaling van de nutriënten in de droge stof van volgroeide bladeren en jong gezette vruchten
- Drogestofgehalte van volgroeide bladeren en jonge vruchten.

De hierboven genoemde analyses zijn elke twee weken uitgevoerd. Op basis van de gewasbeoordeling door de BCO en de resultaten van de verschillende analyseresultaten is de voedingssamenstelling in overleg met de BCO aangepast.

3 Resultaten

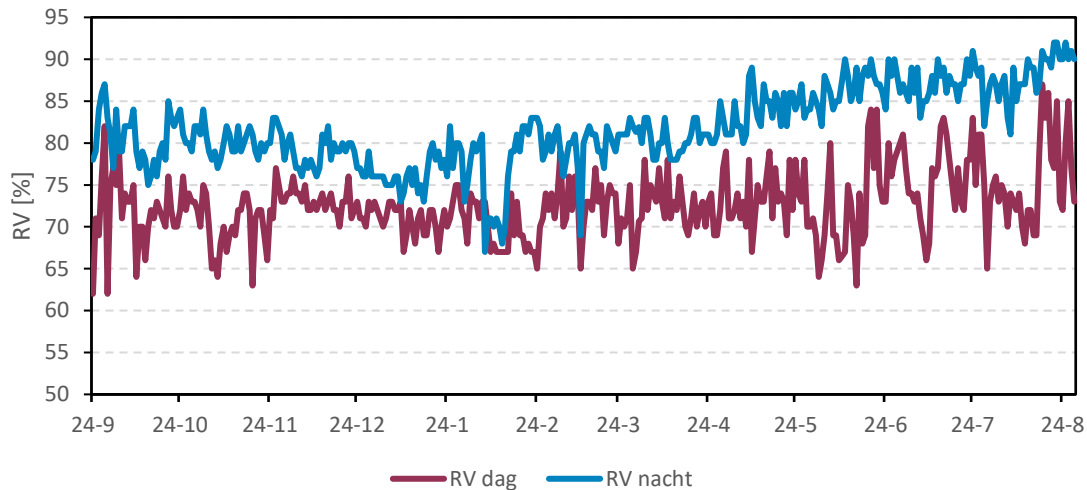
3.1 Klimaatgegevens

De plantenkweker heeft een sterke plant afgeleverd. De eerste weken is er een etmaaltemperatuur nagestreefd van 23°C. De plant bleef erg sterk en ook de bloemen hadden een sterke stand. Daarom is de etmaaltemperatuur een aantal keer verhoogd tot uiteindelijk 25°C. Hierna kwamen de planten meer in balans en is de etmaaltemperatuur verlaagd naar 23,5°C. In week 48 zakte de etmaaltemperatuur onder de 23°C en werden de planten te sterk. Hierna is een etmaaltemperatuur nagestreefd van 23,5°C en dit kon aangehouden worden tot eind mei. Hierna liepen de etmalen op door de hogere buitentemperaturen (Figuur 3). De gemiddelde nachttemperatuur neemt gedurende de teelt af, maar doordat de nachten gedurende de teelt korter werden, had dit steeds minder effect op de gemiddelde etmaaltemperatuur.



Figuur 3. Gemiddelde etmaal temperaturen per etmaal en opgesplitst in dag en nacht waarbij zon op en zon onder de overgang is tussen dag en nacht. De dip in de dagtemperatuur op 11-3 is veroorzaakt door ruitschade.

Gedurende de winterperiode was de relatieve vochtigheid (RV) lager dan gewenst. Het streven was een RV van 75% en dat is niet altijd gerealiseerd (Figuur 4). Vooral op dagen met relatief veel instraling zakte het vochtgehalte weg doordat de schermen open gingen en er gekierd werd met de ramen om de temperatuur niet te hoog op te laten lopen. Onder de LED belichting is de huidmondjesgeleidbaarheid van dieper liggende bladeren lager dan in een onbelichte teelt (zie paragraaf 3.3). Hierdoor kan het gewas minder verdampen en blijft de RV in de kas lager. Een lage RV in de kas heeft een nadelig effect op de huidmondjesgeleidbaarheid waardoor een negatieve spiraal ontstaat. Dit kan doorbroken worden door het vocht in de kas te houden door de ramen langer dicht te houden en hogere temperaturen te accepteren of de huidmondjesgeleidbaarheid moet verhoogd worden. In een parallel onderzoek uitgevoerd door Plant Lighting is aangetoond dat spectrum en daglengte een grote invloed hebben op de huidmondjesgeleidbaarheid en daarmee het vochniveau in de kas. In het voorjaar is de verneveling gebruikt om de RV op de dag op basis van instraling te verhogen. De verneveling werd ingezet op een VD > 9 en in een instraling > 400 Watt.



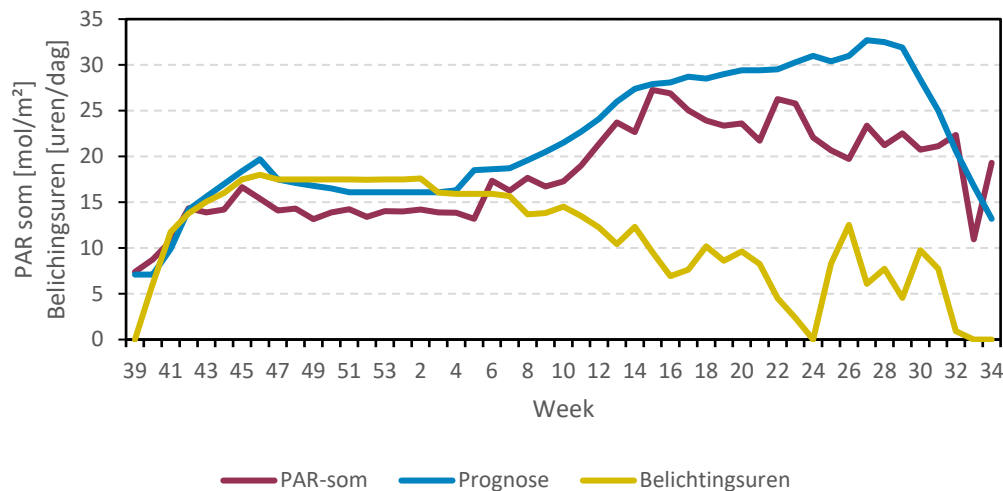
Figuur 4. Gemiddelde RV opgesplitst in dag en nacht waarbij zon op en zon onder de overgang is van dag naar nacht.

Tijdens de belichte periode is er een CO₂ niveau van 800ppm nagestreefd met uitzondering van de eerste weken. Hierbij werd er maximaal 150kg/ha/uur gedoseerd. Omdat de ramen in deze periode grotendeels gesloten waren is het CO₂ verlies minimaal. Vanaf mei is er meer geventileerd en is de strategie aangepast om verliezen te beperken. Bij een luchtuitwisseling tussen de 10m³/m²/uur en 30m³/m²/uur werd de dosering afgebouwd van 150 naar 100 kg/ha/uur. Bij een CO₂ concentratie onder de 450ppm werd de dosering verhoogd naar 150kg/ha/uur. In het traject tussen de 400 en 500ppm is de toename van fotosynthese nog bijna lineair. De gemiddelde CO₂ concentratie per dag is te vinden in Figuur 5.



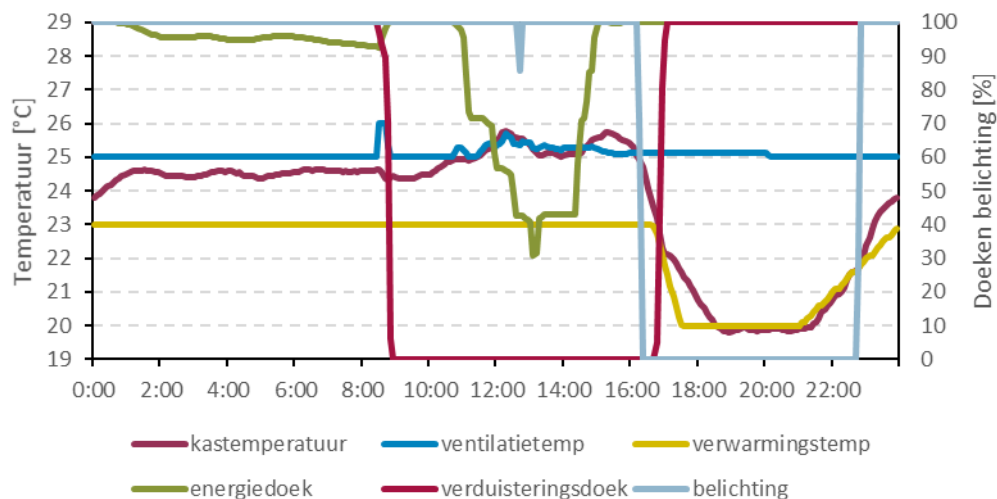
Figuur 5. Gemiddelde CO₂ niveau gedurende de dag en belichte periode per dag gedurende de teelt

In week 40 is gestart met belichten. Het aantal uren dat de lampen branden is opgebouwd aan de hand van de toenemende plantbelasting en het verminderde zonlicht. Er is maximaal 18 uur per dag belicht. Zoals in Figuur 6 te zien is, was de gemiddelde PAR-som 2 mol lager dan volgens de prognose nodig was voor de berekende maximale plantbelasting.



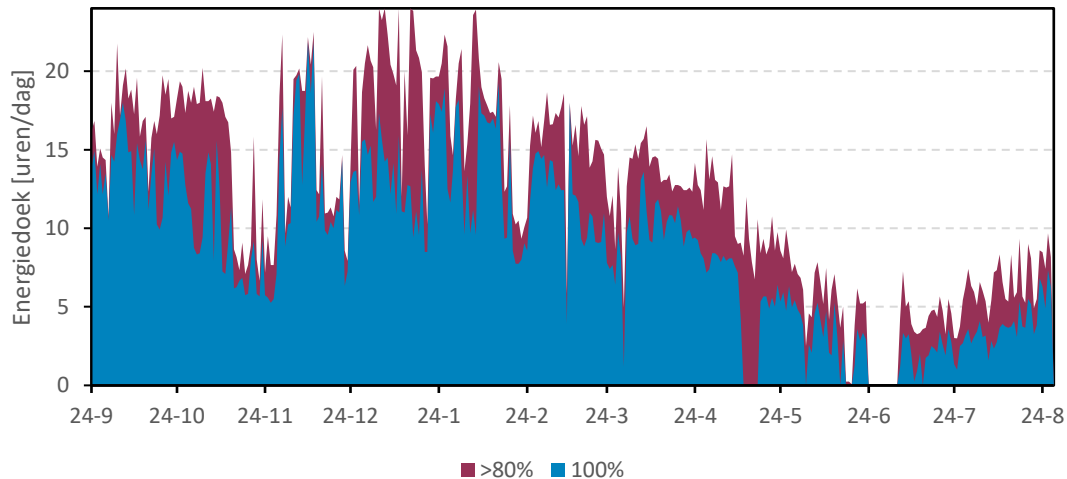
Figuur 6. Gemiddelde PAR-som per dag per week gemeten in de afdeling en een gemiddelde van 4 sensoren die waren geplaatst in tralie 2 en 3.

Om energieverlies te voorkomen is er intensief geschermd. Het energiedoek opende bij een instraling van 100W/m^2 en sloot 1 uur voor zon onder. Het lichtuitstootdoek sloot bij zonsondergang. Onder de gesloten doeken kon in de meeste gevallen aan de warmtevraag worden voldaan met de warmte van de lampen. Figuur 7 geeft het gemiddelde van week 1 2021 weer waarin te zien is dat de kas temperatuur oploopt zodra de lampen aan gaan om 23:00. Er was op dat moment geen buisverwarming meer nodig om de gewenste verwarmingstemperatuur te halen.



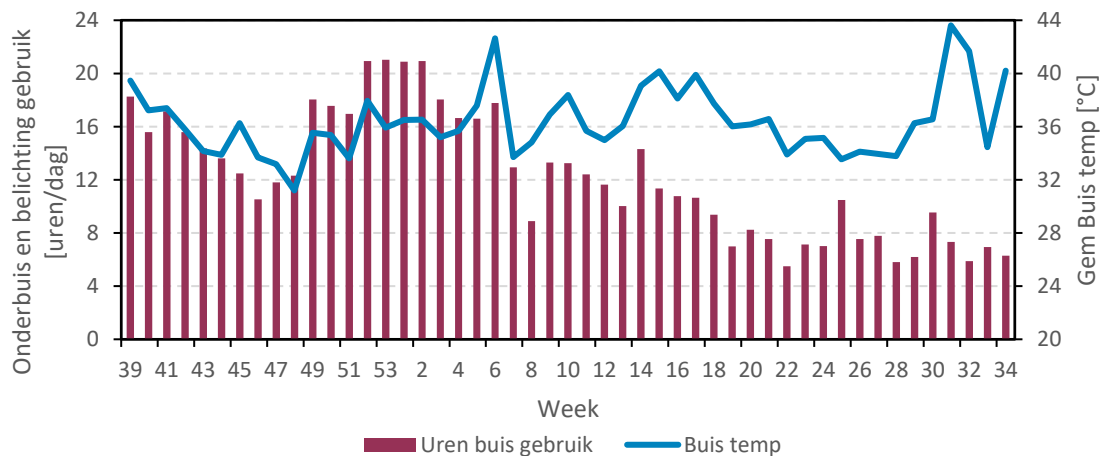
Figuur 7. Cyclisch gemiddelden van het gerealiseerde klimaat in de eerste week van januari (1 t/m 7 januari).

Bij hogere buitentemperaturen was de warmt input van de lampen te hoog. Op deze momenten is er gekierd met het energiedoek. Figuur 8 geeft de inzet van het energiedoek weer. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een volledig gesloten energiedoek en minimaal 80% gesloten. Hierin is te zien dat het energiedoek eind november en eind december relatief weinig is gebruikt. In deze periodes lag de buitentemperatuur ook relatief hoog voor de tijd van het jaar.



Figuur 8. Jaar overzicht van de inzet van het energiedoek. De grafiek geeft aan wanneer het scherm voor minimaal 80% was gesloten en compleet was gesloten

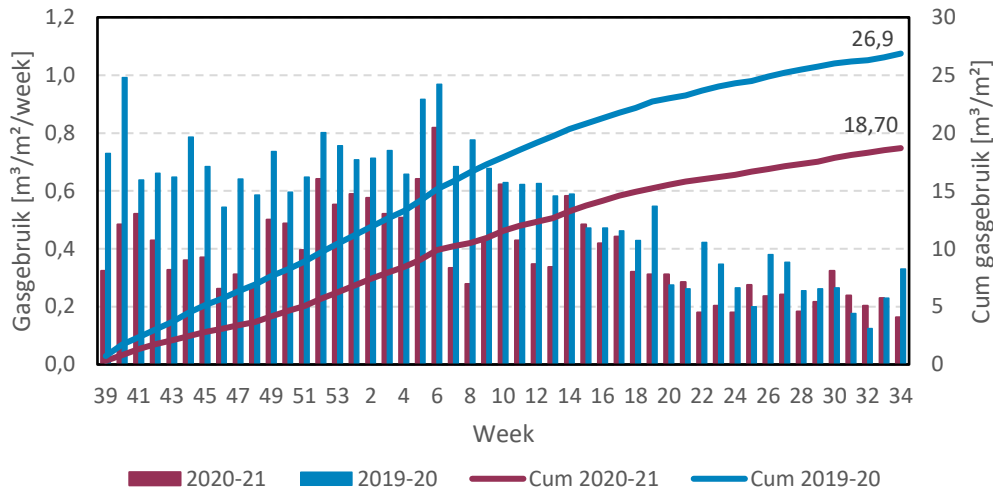
Tijdens de teelt is er gestreefd om de buisverwarming minimaal in te zetten. Veel warmte input was ook afkomstig van de lampen. Figuur 6 laat zien dat in de eerste weken het aantal belichtingsuren toeneemt. Daardoor is er minder inzet van de buis nodig en ook de gemiddelde buistemperatuur neemt af (Figuur 9). Met de afnemende buitentemperaturen vanaf december neemt het aantal uren met inzet van de buis weer toe en ook de buistemperatuur. In het voorjaar was er meer instraling en daardoor nemen zowel de belichtingsuren en de inzet van de buis af. De nachten zijn dan nog wel koud. Dit is te zien aan de toenemende buistemperatuur. Beide doeken waren gesloten in de nacht om energieverlies te voorkomen.



Figuur 9. Inzet van de buis met het gemiddelde aantal uur per dag per week en de gemiddelde berekende buis temperatuur in combinatie met het aantal belichtings uren

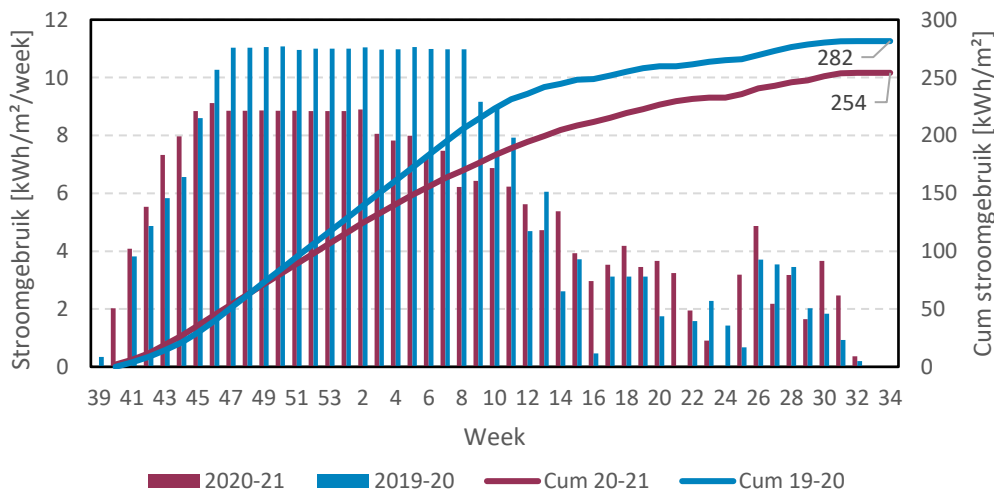
3.2 Energie

Het gasgebruik voor het verwarmingssysteem was totaal $18.7 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Vorig seizoen bestond de belichting uit 40% SON-T belichting. Hierdoor was er dit jaar minder warmteproductie van de lampen. Desondanks is het gasgebruik met 30% teruggebracht ten opzichte van het voorgaande seizoen (Figuur 10). Dit verschil is gerealiseerd door minder inzet van de buisverwarming en meer schermuren met het energiedoek. Dit verschil is vooral gemaakt in de winterperiode waarin het energiescherm veel kon worden ingezet. Het gemiddelde gasgebruik in de winter was $0.53 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Het maximale gebruik was $0.82 \text{ m}^3/\text{m}^2$. In die week was de gemiddelde etmaaltemperatuur buiten -3.5°C . Een vergelijking met een traditionele teelt zonder belichting is moeilijk omdat de belichting een groot aandeel heeft in de verwarming van de kas. Dit komt niet terug in het gasgebruik.



Figuur 10. Gasgebruik per week en cumulatief van seizoen 2020-21 en 2019-20.

Voor de belichting is in totaal 254 kWh/m² gebruikt (Figuur 11). Dit getal is een berekening aan de hand van de gemeten lichtintensiteit en de efficiëntie van de lampen, 2,68 µmol/J. In werkelijkheid is het getal hoger omdat er extra lampen hangen aan de buitenkanten van de afdeling in verband met lichtverlies bij de gevels. Door gebruik te maken van de belichtingsuren en lampefficiëntie is het verbruik om te rekenen naar grotere oppervlakten. Het stroomverbruik was vooral in de winter hoog. De volledige capaciteit van de belichting is toen gebruikt. Ook eind mei en begin juni is er nog belicht. Ondanks dat het lichtniveau buiten in deze periode veel hoger is dan in de winter was het een relatief donkere periode voor de tijd van het jaar en verliep de zetting moeizaam. Hierbij moet in acht worden genomen dat de plantbelasting hoger was dan in de winterperiode. Door in deze periode te belichten kon het zettingsniveau op peil worden gehouden waarin de zetting in de praktijk in deze periode minimaal was. Het totaal aantal belichtingsuren lag hoger dan teeltseizoen 2019-20 maar door de overstap van hybride naar full-LED is er 10% minder stroom gebruikt.

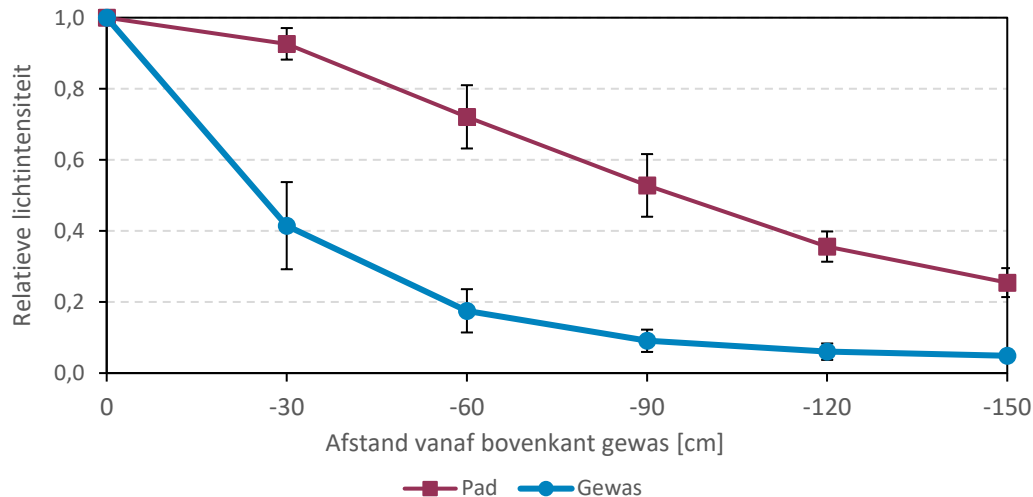


Figuur 11. Wekelijks en cumulatief stroomgebruik van seizoen 2020-21 en 2019-20

3.3 Bepaling gewasfotosynthese

3.3.1 Licht- en fotosynthese-uitdoving in januari

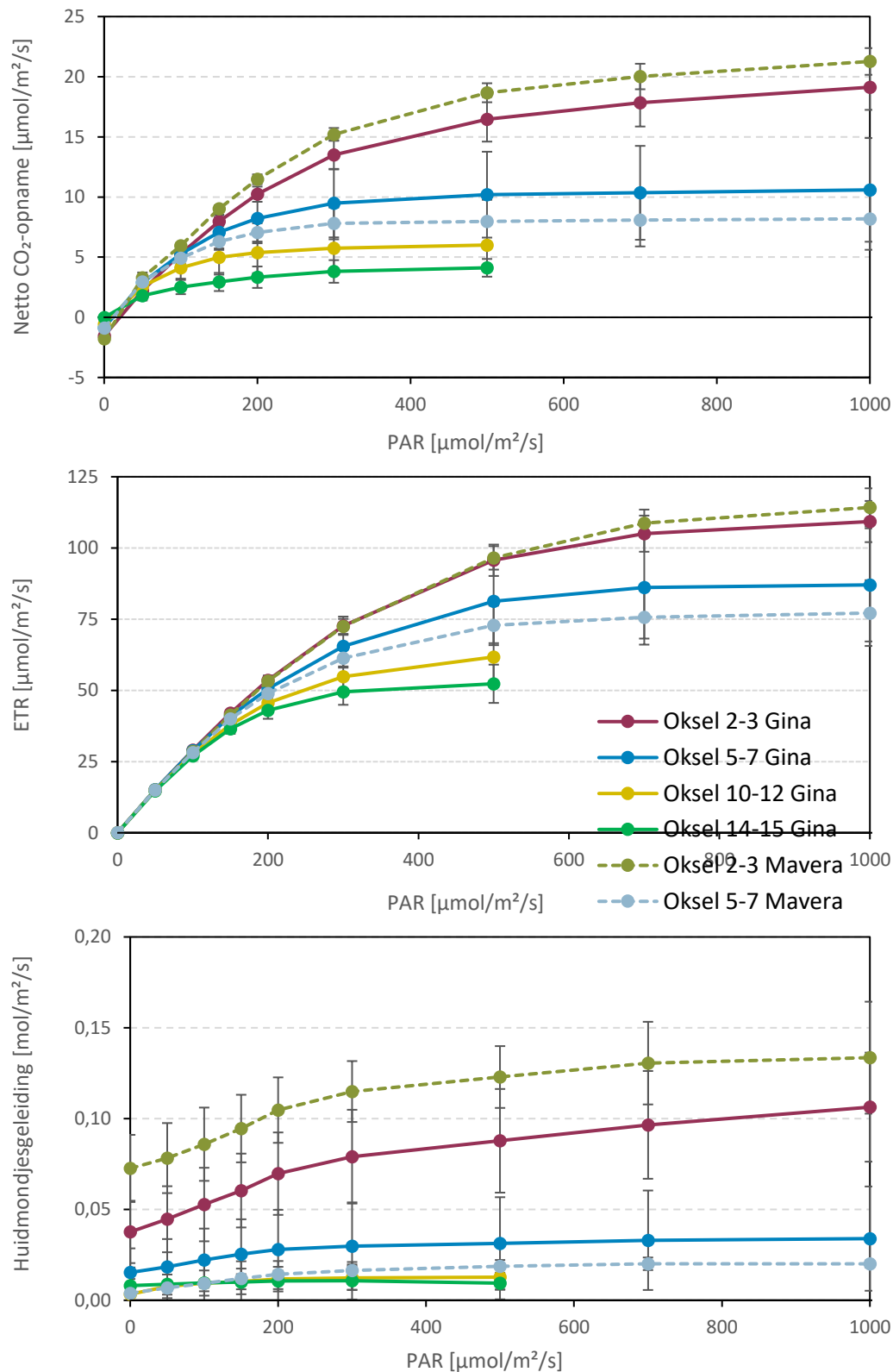
Figuur 12 laat de lichtuitdoving binnenin het gewas en in het pad (volledige padbreedte) zien in januari. Op 60 centimeter onder de kop is binnenin het gewas al meer dan 80% van het licht geabsorbeerd, en op 90 centimeter diepte al meer dan 90%. Bladeren dieper dan 90 cm in het gewas dragen om deze reden nauwelijks meer bij aan de gehele gewasfotosynthese. Echter, bladeren aan de pad-kant van het gewas onderscheppen dieper in het gewas nog wel voldoende licht om een bijdrage aan de gewasfotosynthese te kunnen leveren.



Figuur 12. Lichtuitdoving ten opzichte van de gewasdiepte in centimeters vanaf bovenkant gewas gemeten in januari 2021. De errorbars geven de SE aan. $n=10$.

Figuur 13 geeft de begin januari gemeten lichtrespons van de fotosynthese weer via de CO_2 -opname (directe maat voor de suikerproductie) en via de ETR (de door licht opgewekte energiestroom om suikers te maken, de ETR geeft de potentie voor CO_2 -opname aan). De bovenste bladeren laten een normale lichtrespons zien voor in de winter. Gina heeft bovenin een iets lagere CO_2 -opname dan Maveria, wat komt door de hogere huidmondjesgeleidbaarheid (g_{sw}) van de bovenste bladeren van Maveria. De potentie (ETR) van de bovenste bladeren verschilt niet tussen Maveria en Gina. Hierbij moet worden opgemerkt dat er alleen gemeten is aan visueel gezond ogend weefsel, en dat Maveria een slechtere bladkwaliteit had dan Gina. De assimilatie van de gehele plant zal daarom waarschijnlijk hoger geweest zijn bij Gina dan bij Maveria.

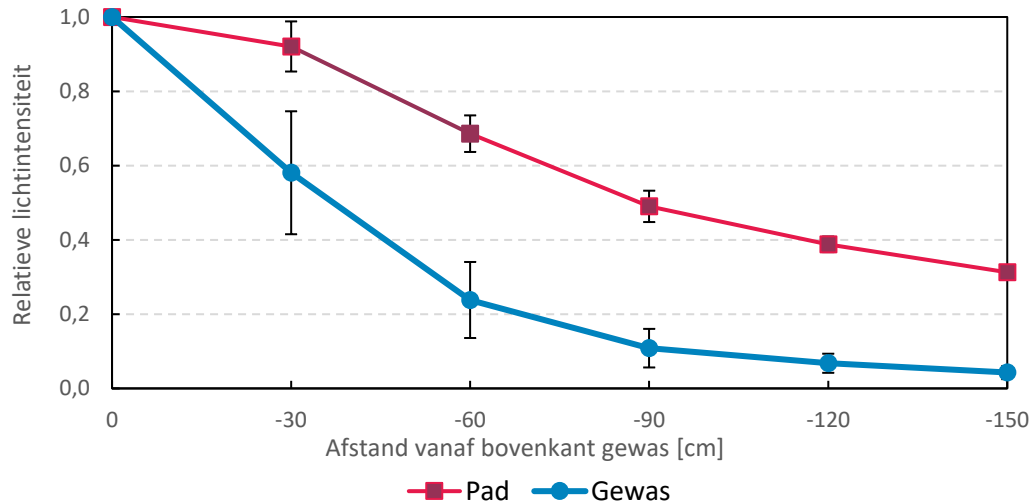
De fotosynthese-capaciteit gaat hard omlaag bij bladeren iets dieper in het gewas (oksel 5-7). Nog dieper in het gewas is de fotosynthese laag. Hoewel een afnemende fotosynthese-capaciteit dieper in het gewas normaal is door het afnemende licht, is de daling hier erg fors voor bladeren aan de padkant. Dit komt voornamelijk door de beperking in huidmondjesgeleidbaarheid. Enkel de volledig onbeschaduwde jonge bladeren (oksel 2-3) hebben geen extreme huidmondjes beperking.



Figuur 13. Lichtrespons van de CO_2 -opname (boven), ETR (midden) en huidmondjesgeleiding (onder) in januari 2021 (week 1) van het topblad, en bladeren bij dieperliggende oksels van de rassen Gina en Maveria. De metingen aan de lager liggende bladeren zijn verricht aan bladeren die 'vrij' aan padkant hingen en dus niet direct beschadwd werden. Tevens is er alleen gemeten aan visueel gezond weefsel. De halvering van de fotosynthese-capaciteit van het bovenste blad naar onbeschaduwde bladeren 5 oksels eronder is bijzonder groot te noemen. Deels wordt dit veroorzaakt door een lagere ETR en deels door een lage tot zeer lage huidmondjesopening dieper in het gewas. Er is gemeten bij 700 ppm CO_2 ($n=3-17$, errorbars geven de SE weer).

3.3.2 Licht- en fotosynthese-uitdoving in maart

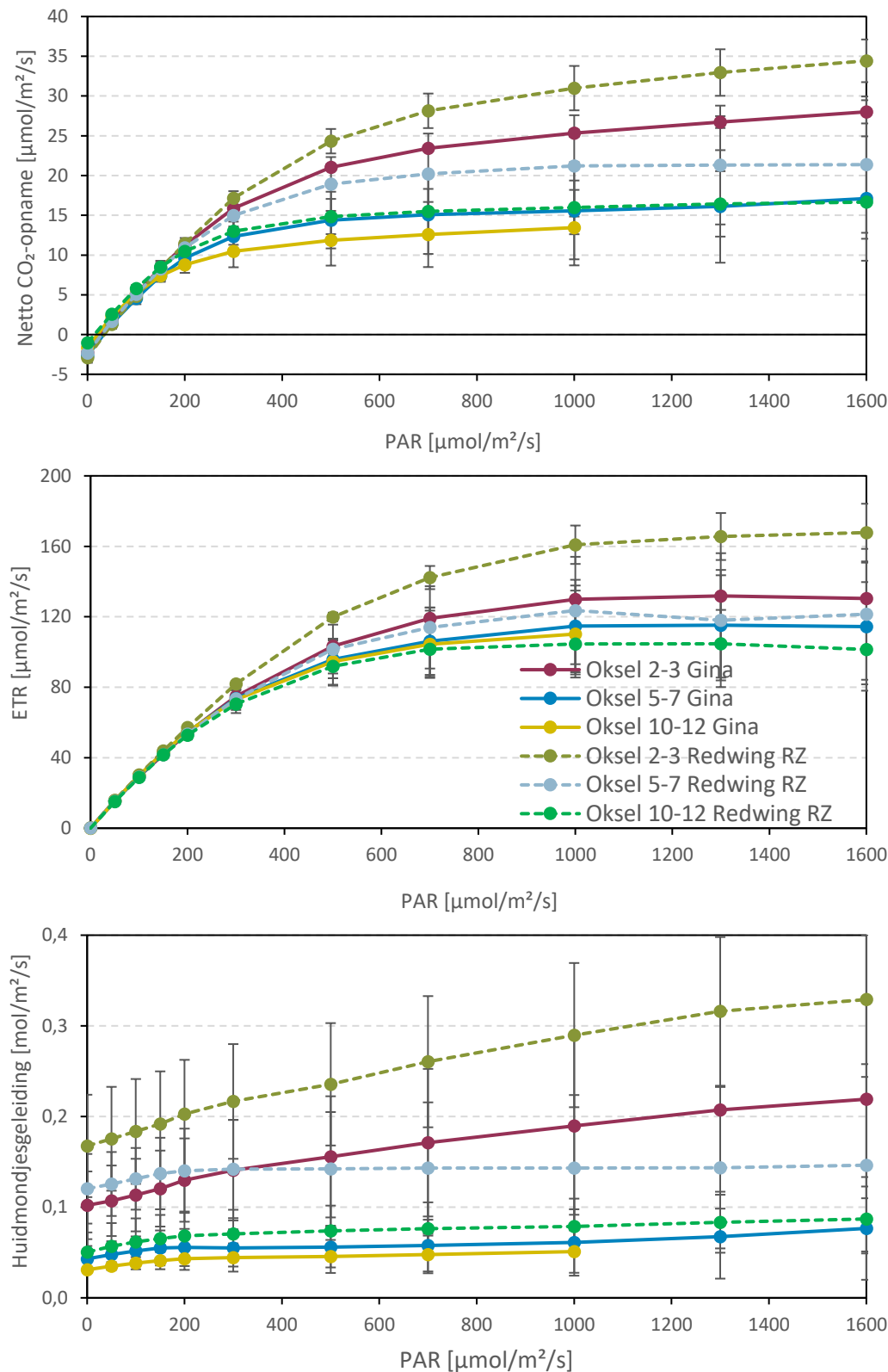
Figuur 14 laat de lichtuitdoving in het gewas en het pad zien in maart. Op 60 centimeter diepte in het gewas is 75% van het licht geabsorbeerd, en op 90 centimeter diepte al 90%. Bladeren dieper dan 90 cm in het gewas dragen om deze reden maar zeer beperkt bij aan de gehele gewasfotosynthese. De lichtuitdoving in het gewas ten opzichte van de afstand van de kop is iets minder dan in januari, waarschijnlijk vanwege de langere internodiën in maart en daardoor kleine LAI per eenheid taklengte.



Figuur 14. Lichtuitdoving ten opzichte van de gewasdiepte in centimeters vanaf bovenkant gewas gemeten in maart. De errorbars geven de SE aan. $n=7$.

Figuur 15 geeft de eind maart gemeten lichtrespons van de fotosynthese weer via de CO_2 -opname (directe maat voor de suikerproductie) en via de ETR. De metingen zijn verricht op 25 en 26 maart, dagen waarop het gedeeltelijk bewolkt was, maar ook voldoende zonnig om een hogere verdamping dan in januari te mogen verwachten.

Te zien is dat de bovenste bladeren een hogere CO_2 -opname realiseren dan in januari bij lichtintensiteiten $> 200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Ook dieperliggende bladlagen laten een hogere CO_2 -opname zien. Opvallend is dat de ETR van de lagere bladlagen fors is gestegen, deze zijn in maart naar hetzelfde niveau gestegen als waar de topbladeren in januari op zaten (van 60 naar $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ETR). Een vergelijkbare trend is zichtbaar in de huidmondjesgeleidbaarheid, deze is minder beperkend voor de CO_2 opname eind maart. Desondanks is de huidmondjesgeleidbaarheid nog steeds laag, want een huidmondjesgeleiding van $>0.25 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR zorgt pas voor een situatie waarbij de huidmondjes niet beperkend zijn voor de CO_2 -opname. Tijdens de metingen in maart kwam deze situatie enkel voor bij de topbladeren (oksel 2-3) bij het ras Redwing RZ, terwijl $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR in de kas op zonnige momenten niet ongebruikelijk is in deze periode van het jaar. In maart blijft er dus nog steeds potentie onbenut. Redwing lijkt zich makkelijker aan te passen aan de hogere lichtintensiteiten in het voorjaar dan Gina.

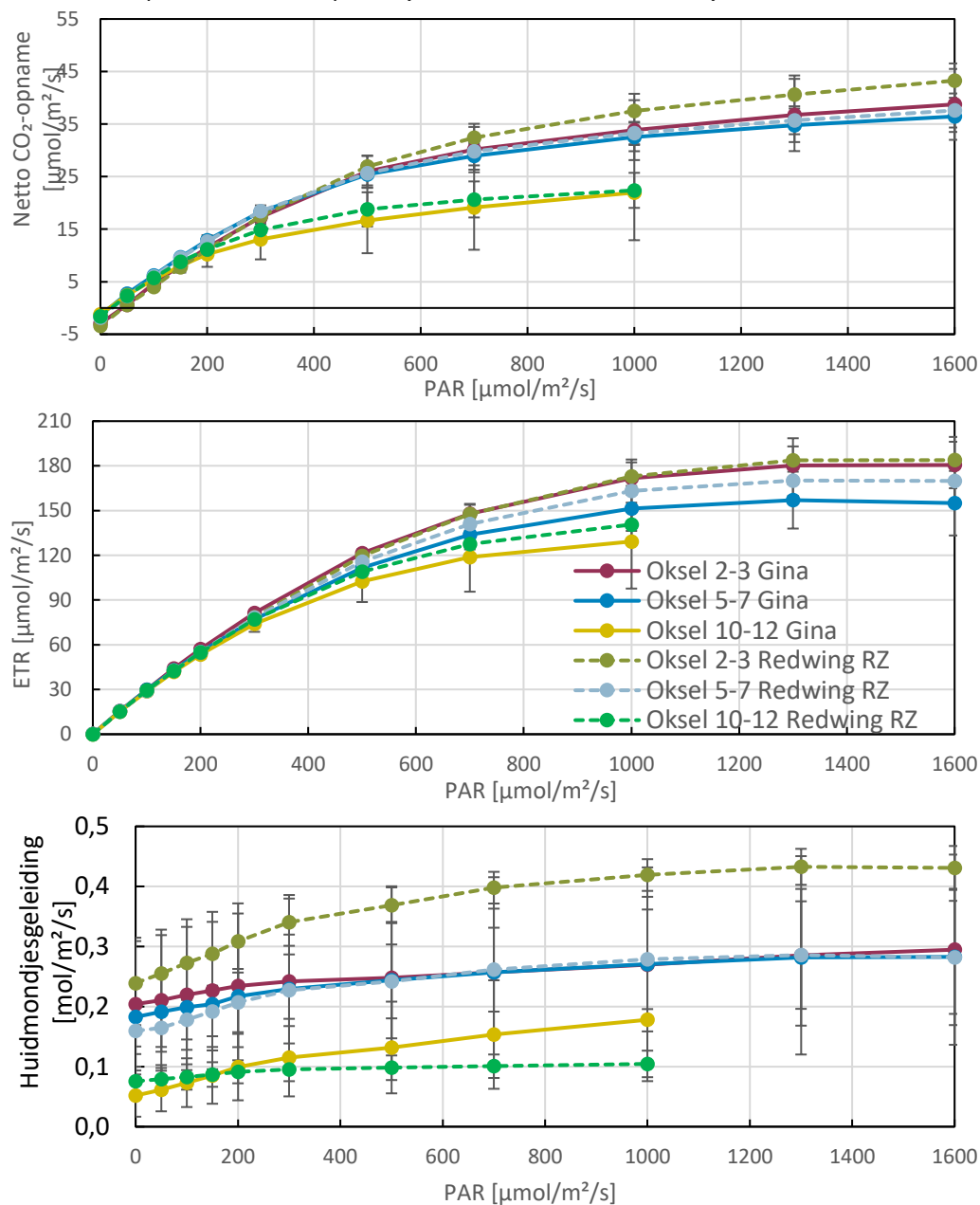


Figuur 15. Lichtrespons van de CO_2 -opname (boven), ETR (midden) en huidmondjesgeleiding (onder) in maart 2021 (week 12) van het topblad, en bladeren bij dieperliggende oksels van de rassen Gina en Redwing RZ. De metingen aan de lager liggende bladeren zijn verricht aan bladeren die 'vrij' aan padkant hingen en dus niet direct beschaduwd werden. Tevens is er alleen gemeten aan visueel gezond weefsel. Wederom flinke reductie van de fotosynthese-capaciteit van het bovenste blad naar oksels eronder, vooral bij Gina. Deels wordt dit veroorzaakt door een lagere ETR en deels door een lage tot zeer lage huidmondjesopening dieper in het gewas. Er is gemeten bij 700 ppm CO_2 ($n=4$, errorbars geven de SE weer).

3.3.3 Fotosynthesemetingen in juni

Figuur 16 geeft de in juni gemeten lichtrespons van de fotosynthese weer via de CO₂-opname (directe maat voor de suikerproductie) en via de ETR (de door licht opgewekte energiestroom om suikers te maken, de ETR geeft de potentie voor CO₂-opname aan). De metingen zijn verricht op 8 en 10 juni, dagen waarop het licht bewolkt was, maar voornamelijk zonnig.

Het valt direct op dat alle fotosynthese parameters hoger liggen dan de metingen in januari en maart. De bovenste bladlagen, oksel 1-8, ondervinden weinig tot geen beperkingen meer in de CO₂-opname, en behalen een netto opname van $\pm 35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 700 ppm CO₂. Opvallend is dat de topbladeren bij Redwing RZ wederom de hoogste huidmondjesgeleidbaarheid hebben, een vergelijkbaar verschil met de metingen in maart. Mogelijk zorgt deze verhoogde potentie tot verdamping voor het gezonder 'ogen' van het gewas. Vanuit de fotosynthese benaderd lijkt Redwing een potentieel interessant ras, maar er zijn ook andere factoren die productiviteit bepalen (o.a. sink-sterkte vruchten).



Figuur 16. Lichtrespons van de CO₂-opname (boven), ETR (midden) en huidmondjesgeleiding (onder) in juni 2021 (week 23) van het topblad, en bladeren bij dieperliggende oksels van de rassen Gina en Redwing RZ. De metingen aan de lager liggende bladeren zijn verricht aan bladeren die 'vrij' aan padkant hingen en dus niet direct beschaduwde werden. Tevens is er alleen gemeten aan visueel gezond weefsel. Er is gemeten bij 700 ppm CO₂ (n=4, errorbars geven de SE weer).

3.4 Screening rassen

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de reductie in fotosynthese van bladeren onder de top (oksel 5-7) rasafhankelijk is, zijn puntmetingen uitgevoerd, ook wel screeningsmetingen genoemd. In de maart-metingen functioneren alle gemeten bladeren gemiddeld vergelijkbaar (Tabel 3), zowel ter hoogte van oksel 2-3 als 5-7, met uitzondering van Ids RZ. Ids RZ laat een fors lagere huidmondjesgeleidbaarheid zien, welke op zijn beurt voor een reductie in CO₂-opname zorgt. Deze beperking in huidmondjesgeleidbaarheid is bij oksel 5-7 zo sterk dat de CO₂-opname bij 9 van de 10 gemeten bladeren beperkt wordt. Daarnaast valt het op dat Gina en Redwing RZ met name in oksel 5-7 een lage huidmondjesgeleidbaarheid laten zien, afwijkend van de andere rassen. Dit is waarschijnlijk te verklaren door het feit dat Gina en Redwing RZ zijn gemeten op 25 maart, en de overige rassen op 26 maart. Klimaatcondities zijn sterk bepalend voor de mate huidmondjesopening, mogelijk waren de klimaatcondities op 25 maart ongunstiger dan op 26 maart.

Tabel 3. Screeningsmetingen bij verschillende rassen in maart. Gina en Redwing RZ zijn gemeten op 25 maart, de overige rassen op 26 maart. g_{sw} =huidmondjesgeleidbaarheid. Gemeten bij 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 700 ppm CO₂.

Bladpositie	Ras	CO ₂ -opname	g_{sw}	Φ_{PSII}	ETR	n=#
Oksel 2-3	Gina	17.0	0.32	0.65	85	10
	Redwing RZ	17.2	0.29	0.64	85	10
	Mavera	15.9	0.24	0.64	84	10
	Redline RZ	16.7	0.24	0.63	83	10
	Ids RZ	14.0	0.14	0.62	82	10
	Maldonado	16.6	0.31	0.64	84	10
	BR1406 RZ	16.8	0.30	0.64	84	10
Oksel 5-7	Gina	13.2	0.07	0.60	79	10
	Redwing RZ	12.8	0.06	0.59	78	10
	Mavera	13.5	0.11	0.59	77	10
	Redline RZ	14.0	0.11	0.60	79	10
	Ids RZ	6.9	0.03	0.48	63	10
	Maldonado	14.0	0.11	0.60	79	10
	BR1406 RZ	13.4	0.16	0.59	78	10

De screeningsmetingen op 8 juni (Tabel 4) laten wederom geen heel opvallende verschillen zien tussen de rassen, behalve de bladeren van oksel 5-7 onder de kop bij BR1406 RZ. De lichtreactie van het fotosynthesesysteem, de ETR, is gereduceerd, met als gevolg dat de CO₂-opname ook gereduceerd is. Deze reductie in ETR is voornamelijk aanwezig bij 3 van de 10 gemeten bladeren, deze hadden slechts een ETR van 80 en halen het gemiddelde naar beneden. Omdat de bij andere bladeren geen sprake was van een gereduceerde fotosynthese, zou dit op toeval gebaseerd kunnen zijn.

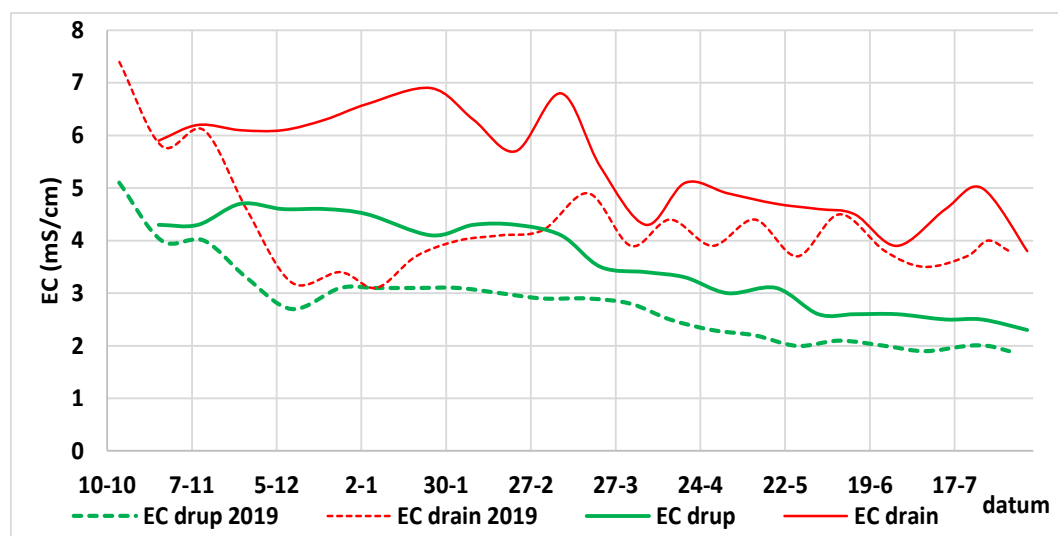
Tabel 4. Screeningsmetingen bij verschillende rassen in op 8 juni. gsw = huidmondjesgeleidbaarheid. Gemeten bij 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 700 ppm CO_2 . De lagere gemiddelde waarden gemeten aan bladeren van BR1406 ter hoogte van oksel 5-7 is vanwege 3 van de 10 blade

Bladpositie	Ras	CO_2 -opname [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	g_{sw} [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	ΦPSII	ETR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	n=#
Oksel 2-3	Gina	24.4	0.45	0.56	117	10
	Redwing RZ	25.1	0.46	0.56	117	10
	Mavera	25.5	0.56	0.57	120	10
	BR1406 RZ	25.1	0.50	0.57	121	10
Oksel 5-7	Gina	23.5	0.22	0.57	119	10
	Redwing RZ	23.9	0.31	0.58	122	10
	Mavera	23.0	0.21	0.56	118	10
	BR1406 RZ	20.7	0.22	0.49	104	10

3.5 Samenstelling druppelwater

3.5.1 EC

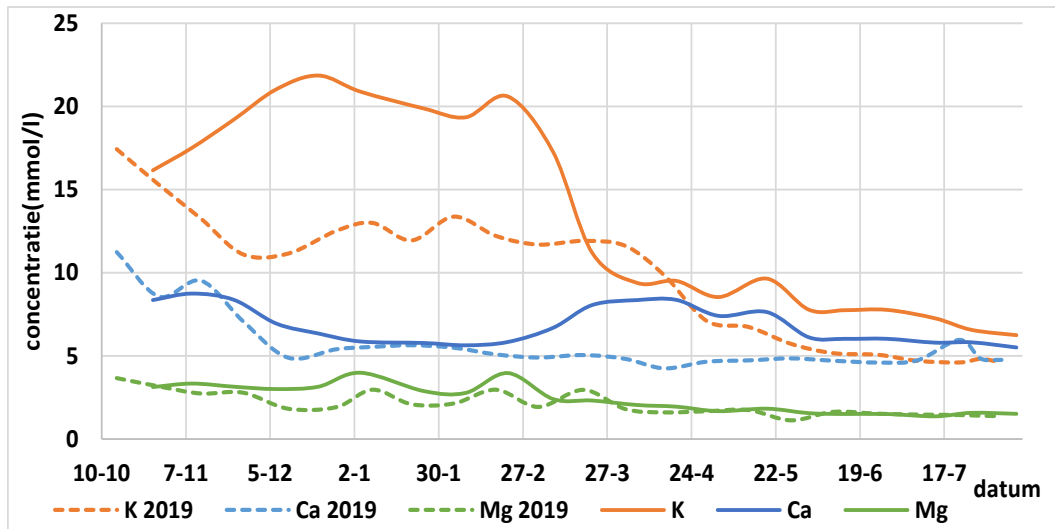
Om de voedingsopname te stimuleren is een hogere druppel-EC aangehouden dan het afgelopen jaar (Figuur 17). Dit leidde in de winterperiode tot een aanzienlijk hogere mat-EC. Bij een hogere mat EC kan de plant minder makkelijk water opnemen en wordt ook de verdamping geremd omdat er minder water beschikbaar is. Vanaf eind maart is de druppel-EC iets verlaagd, maar was deze nog aanzienlijk hoger dan de druppel-EC in 2019. De mat-EC was vanaf maart iets hoger dan in 2019 maar doordat er meer voeding werd opgenomen dan het voorgaande seizoen was de stijging van de EC in het drainwater beperkt.



Figuur 17. Het verloop van de druppel en drain EC (mS/cm) in vergelijking met die in 2019.

3.5.2 Kationen

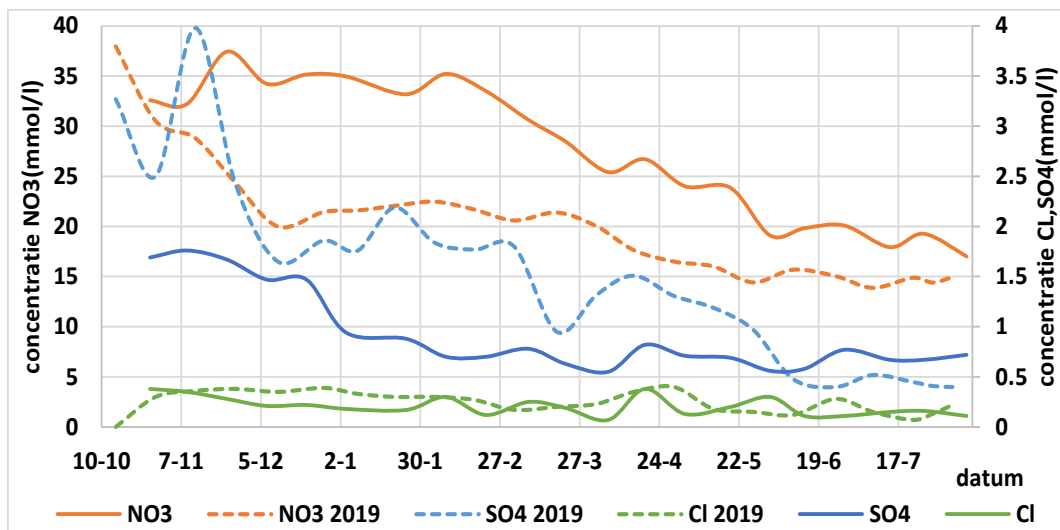
Het kaliumgehalte in het druppelwater is in deze teelt aanzienlijk hoger gehouden dan in de teelt van 2019 omdat in het vorige teeltseizoen kalium relictief minder makkelijk werd opgenomen in vergelijking met een onbelichte teelt (Figuur 18). In de winterperiode is ook iets meer magnesium gegeven bij vergelijkbare concentratie calcium. Vanaf eind maart was zowel het kalium als het calciumgehalte in het druppelwater hoger dan in 2019.



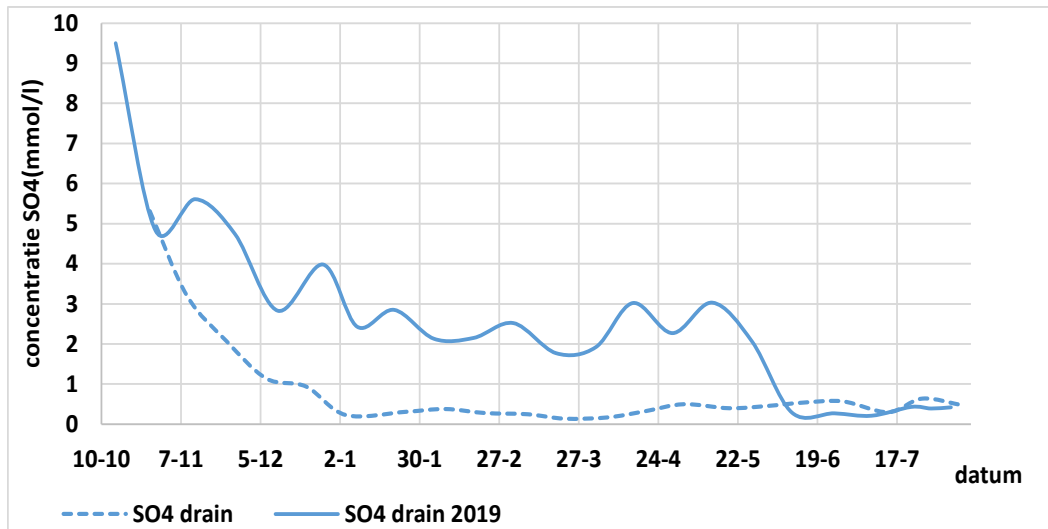
Figuur 18. Het verloop van de kalium, calcium en magnesium concentratie in het druppelwater (mmol/l) in vergelijking met die in 2019.

3.5.3 Anionen

Het sulfaatgehalte is het gehele seizoen laag gehouden (Figuur 19) om de stikstofopname zoveel mogelijk te stimuleren. Bij voldoende sulfaatgehalte in de bladeren zoals vastgesteld met de droge stof analyse van de bladeren, is het sulfaatgehalte in het druppelwater zo laag mogelijk gehouden. Dit heeft geresulteerd in zeer lage sulfaatconcentraties in het drainwater (Figuur 20).



Figuur 19. Het verloop van de nitraat, sulfaat en chloride concentratie in het druppelwater (mmol/l) in vergelijking met die in 2019



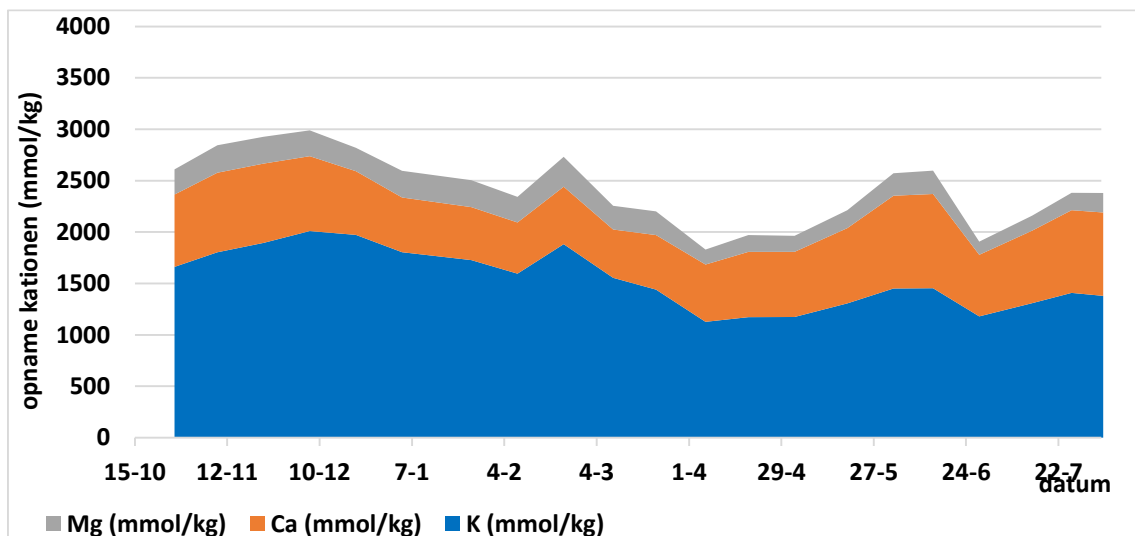
Figuur 20. Het verloop van de sulfaat concentratie in het drainwater (mmol/l) in vergelijking met die in 2019

3.6 Opname voeding

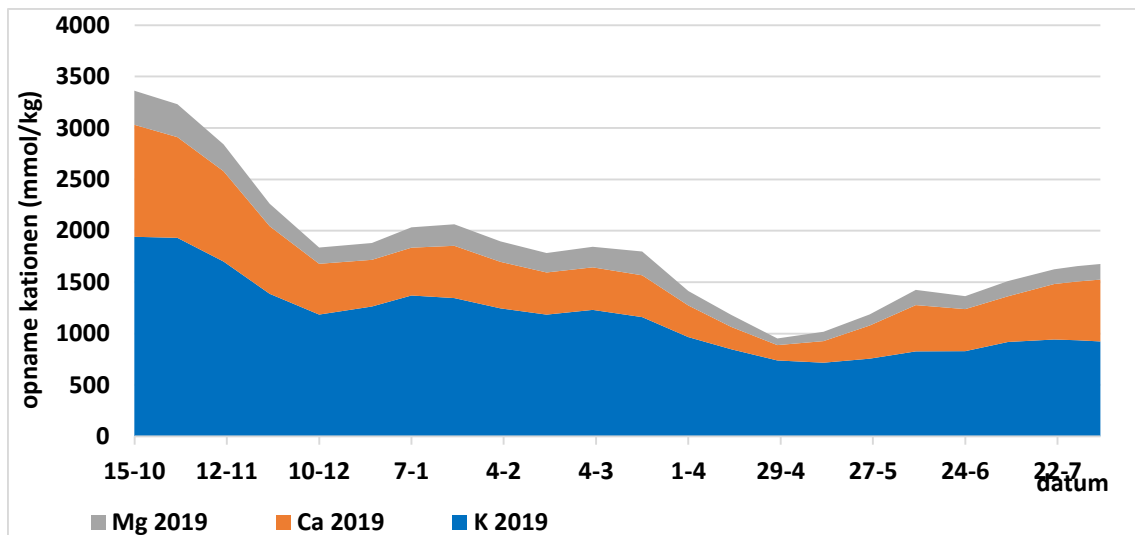
De totale voedingsopname is toegenomen ten opzichte van de teelt in 2019-2020. Dit wordt veroorzaakt door toename van de kationen en anionen opname. Omdat de opname van kationen de opname van anionen stimuleert en omgekeerd hetzelfde geldt, kan niet specifiek aangegeven worden welke maatregel, verhogen van de kalium of veranderingen in de sulfaat/nitraatverhouding, het grootste effect heeft op de totale voedingsopname. Maar beide aanpassingen stimuleren in de totale voedingsopname.

3.6.1 Opname kationen

De berekende kationen opname in deze teelt (Figuur 21) is veel hoger dan in 2019 (Figuur 22). Deze teelt is de kalium opname veel beter op peil gebleven dan in 2019. Ook de opname van calcium en magnesium is veel beter op peil gebleven.



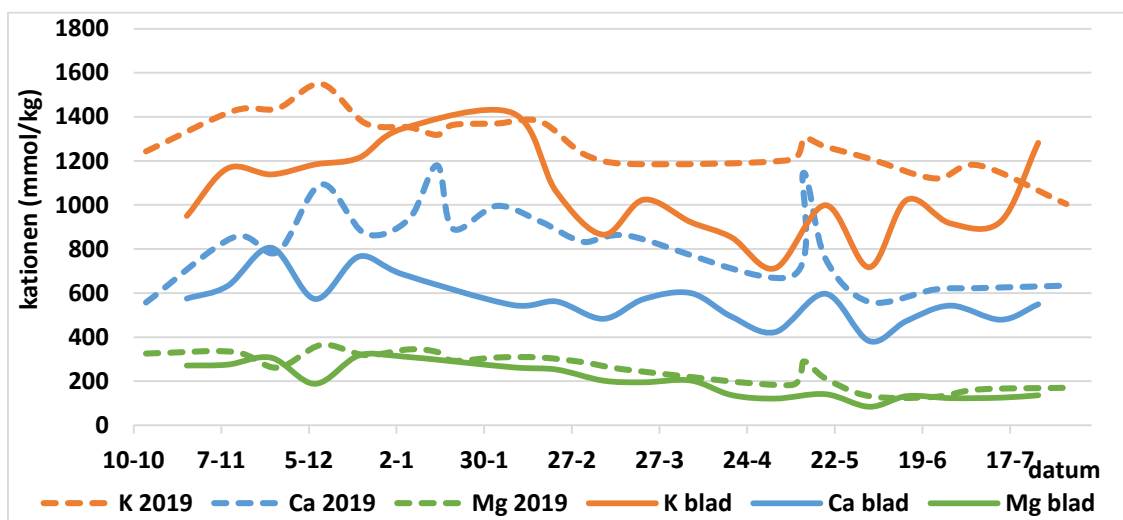
Figuur 21. De berekende opname van magnesium, calcium en kalium gerealiseerd (2020-2021).



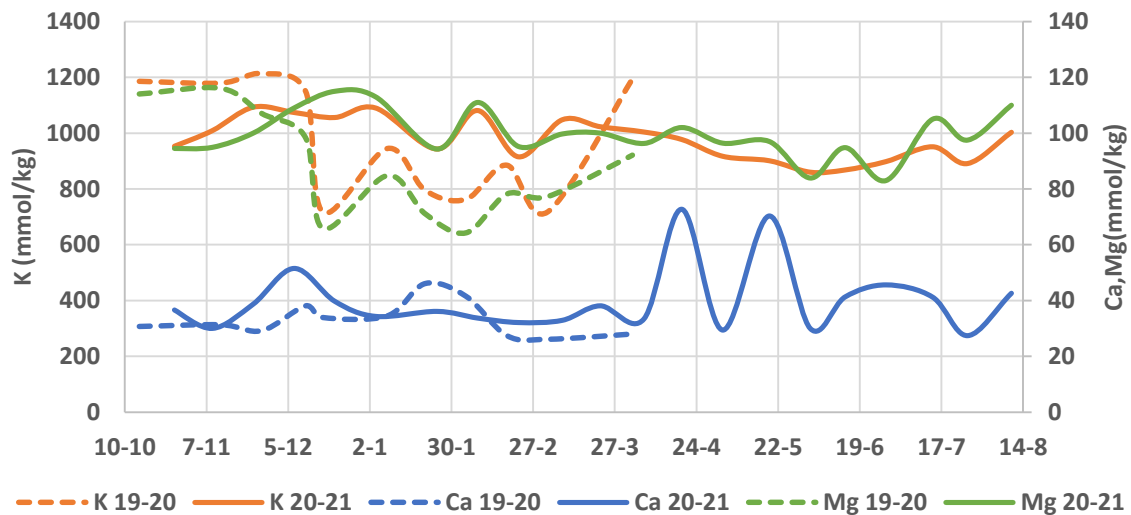
Figuur 22. De berekende opname van magnesium, calcium en kalium gerealiseerd in de vorige teelt (2019-2020).

3.6.2 Kationen in de droge stof van het blad en de vruchten

Ondanks de hogere berekende opname van kationen liggen de gehalten kalium en calcium in het blad in deze teelt (Figuur 23) lager dan die in de voorgaande teelt (2019-2020). De concentraties calcium en kalium in de vruchten liggen hoger dan in de vorige teelt (Figuur 24).



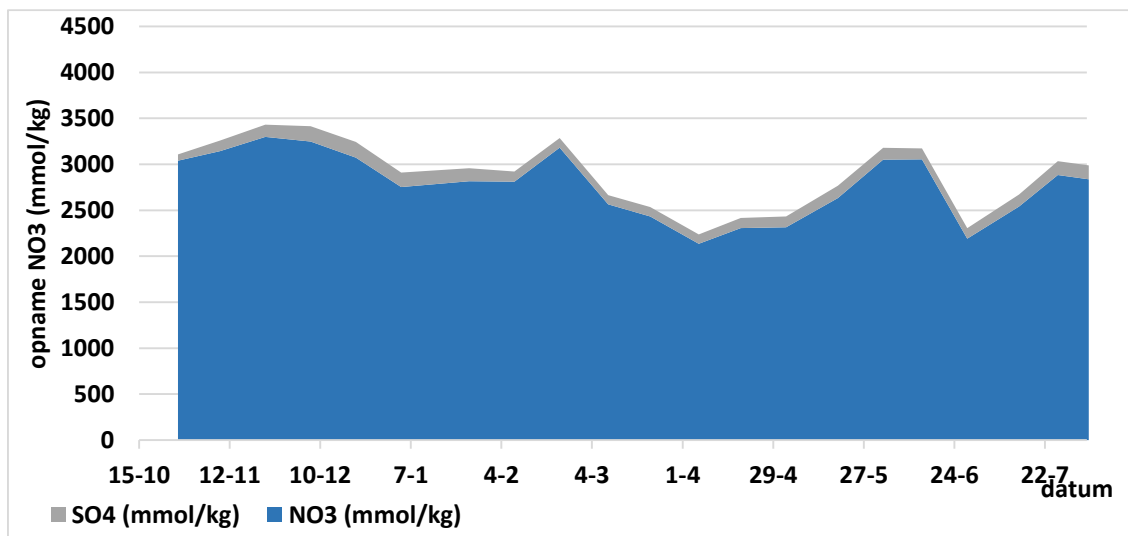
Figuur 23. De concentratie kationen in de droge stof van het gewas (mmol/kg).



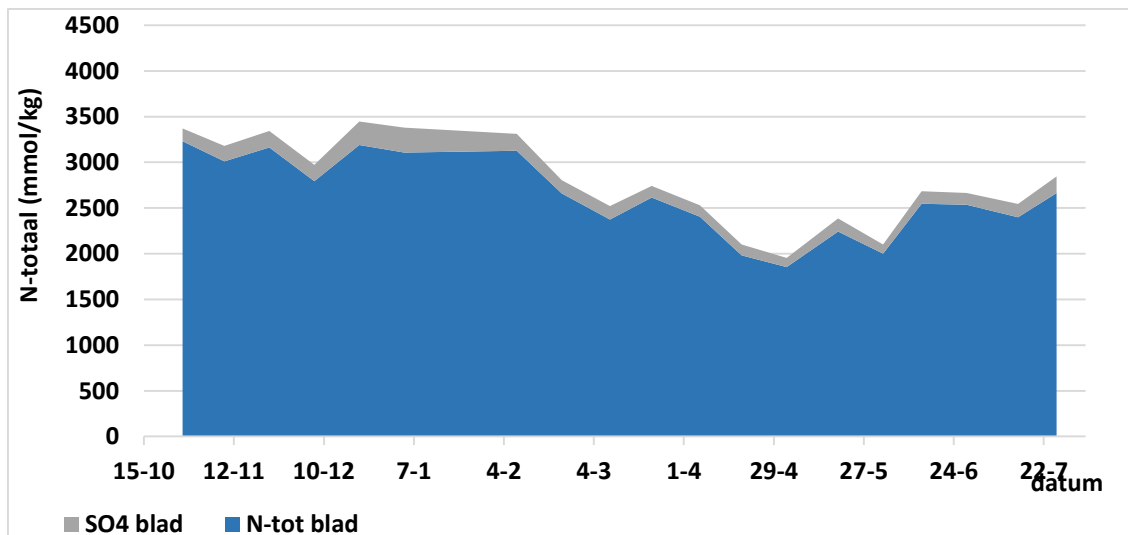
Figuur 24. De concentratie kationen in de droge stof van jonge vruchten (mmol/kg).

3.6.3 Opname anionen

De opnameverhouding sulfaat/nitraat was dit jaar lager (1/17) dan vorig jaar (1/13). De totale nitraatopname vanaf maart (Figuur 25) bleef veel hoger dan in de teelt 2019-2020 (Figuur 26). Met name in de winterperiode is veel minder sulfaat opgenomen waardoor de sulfaatgehalten in het blad prima waren en veel minder hoog dan het voorgaande seizoen.



Figuur 25. De berekende opname van nitraat en chloride gerealiseerd (2020-2021).



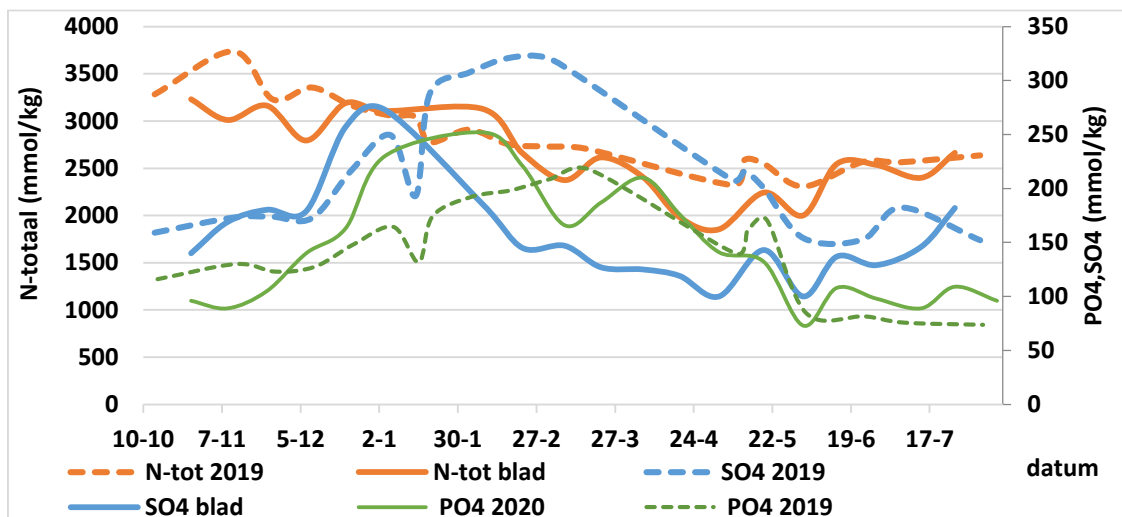
Figuur 26. De berekende opname van nitraat en chloride gerealiseerd in de vorige teelt (2019-2020).

3.6.4 Anionen in de droge stof van het blad en de vruchten

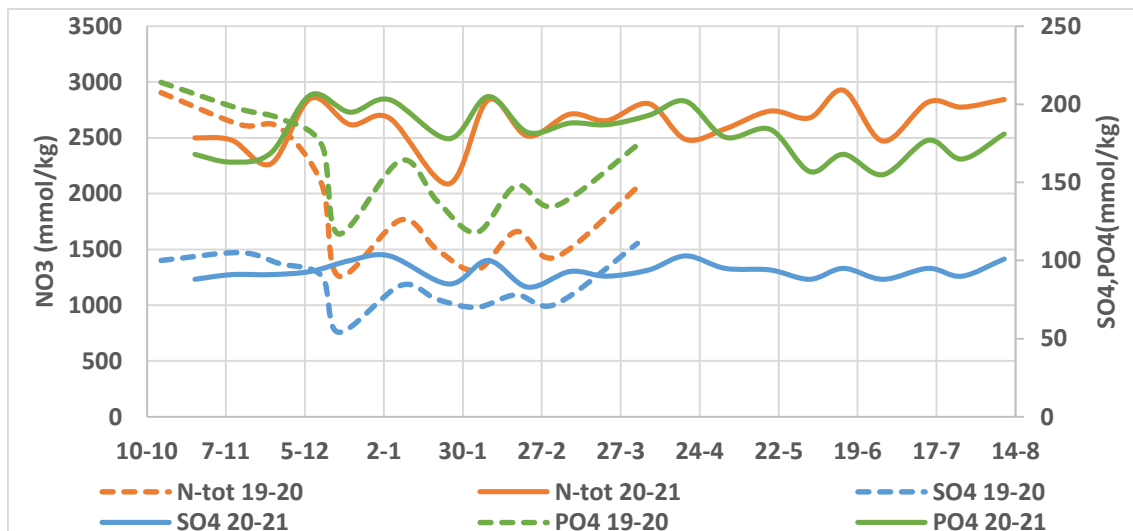
Het sulfaatgehalte in de bladeren was deze teelt aanzienlijk lager dan de voorgaande teelt terwijl het nitraat- en fosfaatgehalte vergelijkbaar was met de voorgaande teelt (Figuur 27).

Figuur 27. De concentratie anionen in de droge stof van het gewas (mmol/kg).

Het nitraat-, fosfaat- en sulfaatgehalte in de jonge vruchten was vanaf december hoger dan in de teelt 2019-2020 (Figuur 28). De hogere fosfaat- en nitraatopname heeft dus vooral gevolgen voor het gehalte in de vruchten. Opmerkelijk is dat de lagere sulfaatgift/hogere nitraatgift zorgt voor een lager sulfaatgehalte in de bladeren terwijl het sulfaatgehalte in de vruchten licht is toegenomen ten opzichte van het voorgaande seizoen (Figuur 28).



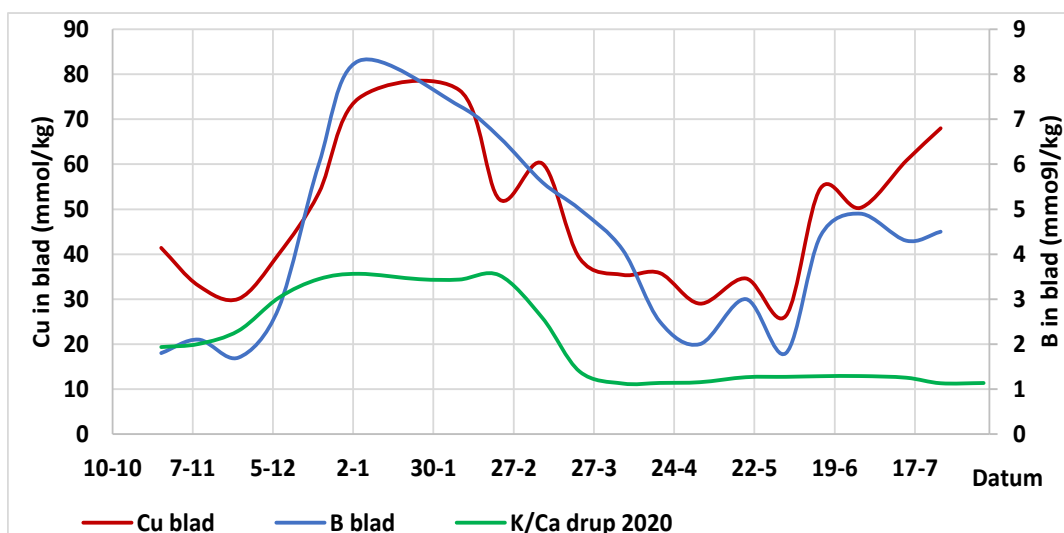
Figuur 27. De concentratie anionen in de droge stof van het gewas (mmol/kg).



Figuur 28. De concentratie anionen in de droge stof van jonge vruchten (mmol/kg).

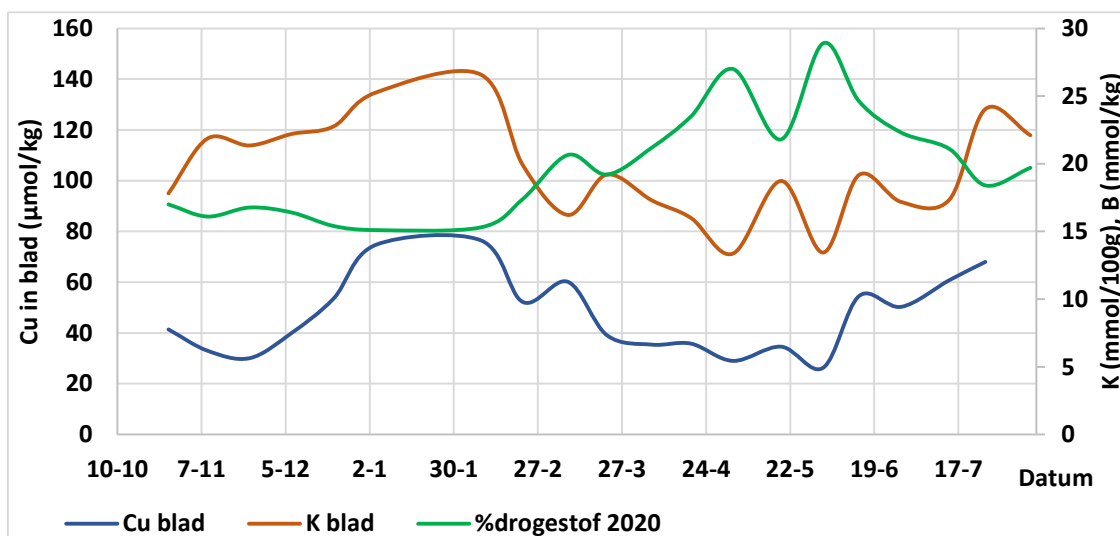
3.6.5 Opname van spoelementen

De berekende gewas opname van de spoelementen was ruim voldoende (Bijlage III: Bekende opname van voedingselementen). De gehalten van de spoelementen in de jonge vruchten waren prima. De gehalten ijzer, mangaan, zink en molybdeen in de bladeren waren prima. Het kopergehalte in de jonge bladeren was het gehele seizoen laag. Vanaf maart namen de borium en kopergehalten in de jonge bladeren sterk af (Figuur 29). Vanaf eind mei namen de gehalten weer toe (Bijlage III: Bekende opname van voedingselementen, figuren 11 en 13). Deze daling werd ingezet op het moment dat de kalium/calcium verhouding, ter preventie van neusrot, sterk werd verlaagd (Figuur 29 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). In de periode daarna daalt het borium gehalte in het blad tot 50% van het gewenste minimale niveau van 5 mmol/kg, en koper daalde tot 25% van het minimale gewenste niveau van 140 $\mu\text{mol/kg}$. Omdat het drogestofgehalte in de bladeren in die periode ook sterk opliep is het boriumgehalte nog wel redelijk te noemen in verhouding tot het versgewicht van de bladeren maar het kopergehalte in de bladeren was wel extreem laag. Tot eind februari waren de kopergehalten in het druppelwater hoog ($\approx 3 \text{ mmol/l}$), daarna normaal ($>1 \text{ mmol/l}$). De chlorotische verkleuring van de bladeren en de gele bladpunten zijn symptomen die voorkomen bij gebrek aan koper maar op basis van deze proef is het oorzakelijke verband niet aan te tonen. Vanaf eind mei is het koper- en boriumgehalte in de bladeren langzaam gestegen. Voor borium tot een voldoende gehalte. Het kopergehalte bleef tot het einde van de proef te laag.



Figuur 29. Het verloop van de K/Ca verhouding in de voedingsgift en het koper- en borium gehalte in de droge stof van jonge bladeren in relatie tot het drogestofgehalte van jong blad.

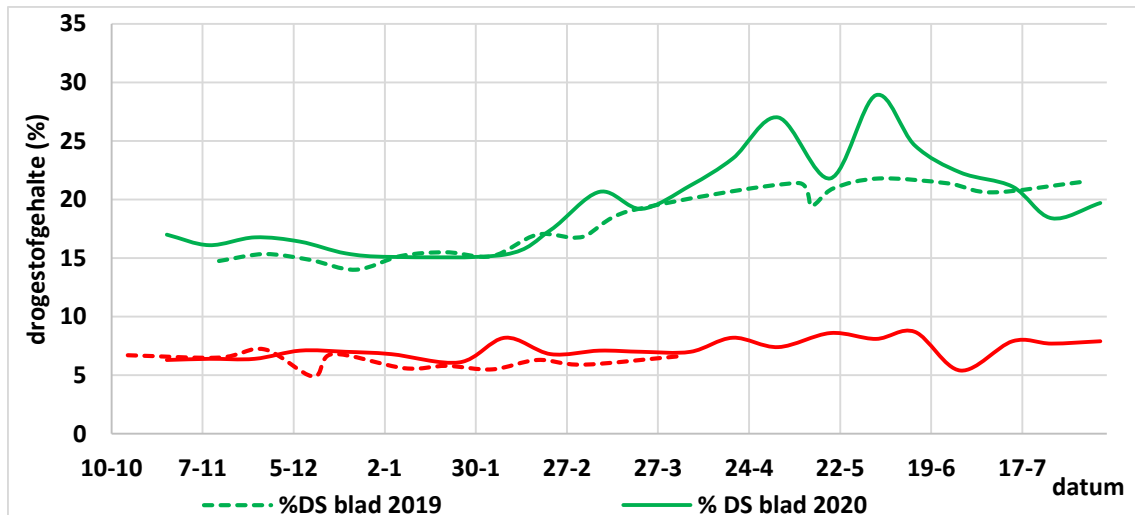
In maart en april was ook het kaliumgehalte in de bladeren laag. Bij toename van het drogestofgehalte werd het kaliumgehalte in de bladeren lager, bij afname van het drogestofgehalte nam het kaliumgehalte in de bladeren toe (Figuur 30). Het is niet aan te geven wat de oorzaak of het gevolg is van de wisselwerking tussen koper, borium, kalium en drogestofgehalte. In deze teelt is er in voldoende borium aangeboden en was het kaliumaanbod aanzienlijk groter als in de voorgaande teelt. Het koper gehalte in het druppelwater en jonge blad was deze teelt gemiddeld lager dan in de teelt van 2019 (Bijlage V: Gehaltes koper en borium). Er is een duidelijke relatie te zien tussen de concentratie in het druppelwater met de gehalten in het blad. Bij hogere concentraties koper in het druppelwater neemt de concentratie koper in het blad toe. In de belichte teelt moeten veel hogere concentraties koper dan gebruikelijk gegeven worden om in de buurt te komen van de gehalten in blad die in de praktijk worden aangehouden.



Figuur 30. Het verloop van het koper en kalium gehalte in de droge stof van jonge bladeren in relatie tot de kalium-calcium verhouding in het druppelwater.

3.7 Drogestofgehalte in jong blad en jonge vruchten

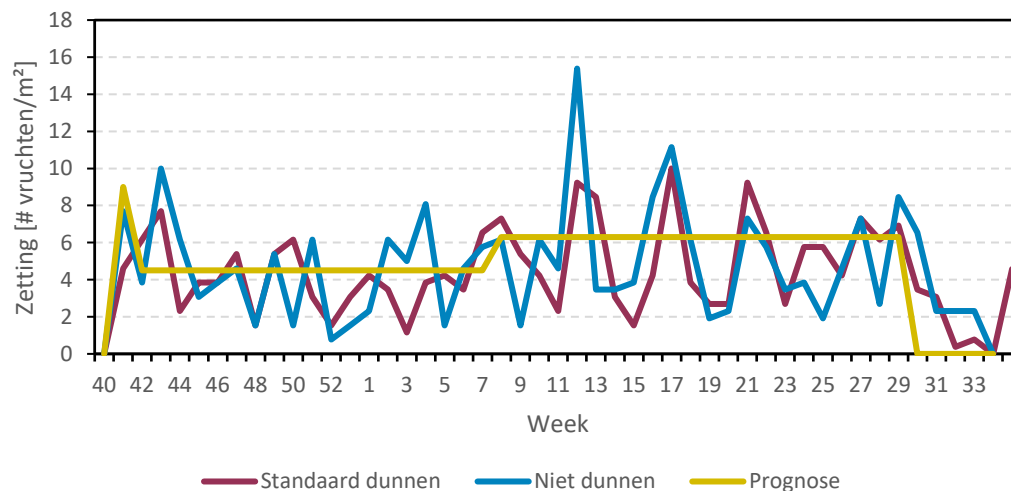
Het drogestofgehalte van de bladeren is, ondanks de toegenomen voedingsopname, gestegen ten opzichte van het vorige seizoen. Het drogestofgehalte in de jonge vruchten lag tot eind maart een fractie hoger dan in 2019-2021 en nam daarna nog wat toe (Figuur 31). Kalium, borium en koper zijn van belang voor het transport van suikers binnen de plant. Lage kalium en stikstofopname kunnen mogelijk het volume van het gewas beperken waardoor er minder strekking, kleinere bladeren en hoger drogestofgehalte in de bladeren kunnen ontstaan. Uit de gewas analyses blijkt dat bij toename van het drogestofgehaltes in het blad per eenheid droge stof minder voeding in de bladeren aanwezig is. Het is op basis van deze waarnemingen niet te beoordelen wat de oorzaak of het gevolg is. Wel kan gezegd worden dat dit seizoen de nitraat- en kaliumopname voldoende zijn geweest. Het is dus niet aannemelijk is dat deze elementen de oorzaak zijn van dit probleem. Mogelijk zijn de koper en/of boriumopname hier van belang. Het boriumgehalte was laag maar nog redelijk op peil. Het kopergehalte in de bladeren was zeer laag en lager dan in het voorgaande seizoen (Bijlage V: Gehaltes koper en borium). Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat koper van invloed is op het drogestofgehalte in de bladeren.



Figuur 31. Het verloop van het percentage droge stof van jonge bladeren en jonge vruchten in de teelt in vergelijking met de teelt van 2019.

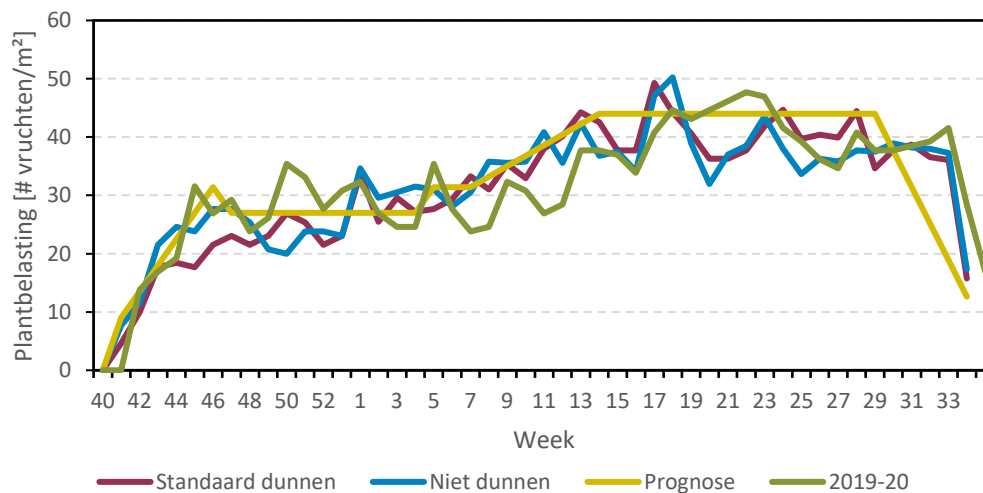
3.8 Gewasontwikkeling

Figuur 32 geeft een overzicht weer van de zetting per week. De zetting is wekelijks geteld voordat er gedund werd. Gemiddeld is de zetting lager geweest dan de prognose. In de winterperiode was de zetting 0.5 vruchten/m² lager dan de prognose. In het voorjaar en in de zomer was dit 0.9 vruchten/m². In de gehele winterperiode is er gedund in standaarddunbehandeling. In niet dunbehandeling is dit gedaan tot de eerste oogst in week 47.



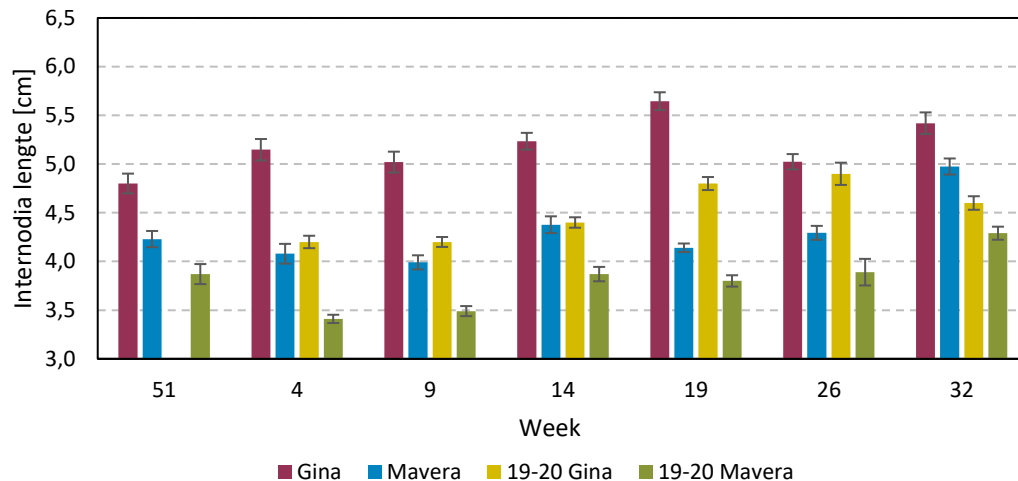
Figuur 32. Overzicht van de zetting per week met de prognose. In de standaarddunbehandeling is gedurende de gehele winter gedund t/m week 7 wanneer dit nodig werd geacht. In de behandeling nu dunnen is gedund tot de eerste oogst in week 47.

Ondanks dat de dun strategie in de eerste weken gelijk was, is er meer zetting geweest in de niet dunbehandeling. Het gewas in deze tralie volgde de prognose waar het gewas in de standaarddunbehandeling na week 43 achter blijft en pas in week 1 week de gewenste plantbelasting realiseerde (Figuur 33). Na week 47 zakt de plantbelasting in de niet dunbehandeling ook onder de prognose en ook deze kwam in week 1 weer op het gewenste niveau. In het voorjaar volgen beide behandelingen de oplopende plantbelasting van de prognose. In de zomer is te zien dat de zetting lager is dan gewenst en ook de plantbelasting is lager dan de prognose. In vergelijking met seizoen 2019-20 liep de plantbelasting in de eerste weken langzamer op waardoor de plantbelasting in de winter lager lag. In het voorjaar bleef de plantbelasting oplopen waar dat in seizoen 2019-20 langzamer ging.



Figuur 33. De gemeten plantbelasting per week gedurende de gehele teelt van de standaarddunbehandeling en de niet dun behandeling met de prognose en seizoen 2019-20 als vergelijking.

Tijdens de gehele teelt is de strekking van de internodia beoordeeld als voldoende. De minimale strekking was gesteld op 4.5cm per internodium en dat is gerealiseerd in het hoofdras 'Gina'. Figuur 34 laat zien dat de internodia lengte van 'Gina', het hoofdras in deze teelt, alleen tijdens de eerste meting onder de 5cm ligt en daarna erboven. Bij 'Mavera' (hoofdras in de teelt van 2019-20 (Balk et al., 2020), was de strekking van de internodia niet voldoende. Alleen tijdens de laatste meting was de lengte boven de 4,5 cm. In een onbelichte teelt is de strekking van Maveria wel voldoende. Daarom was de verwachting dat de strekking toe zou nemen met toenemend buitenlicht. Het effect van de belichting lijkt dus ook door te werken in de periode na de winter waarin het buitenlicht weer dominant is. Dit komt overeen met de bevindingen uit de twee eerdere projecten. De strekking is wel verbeterd ten opzichte van de teelt in het seizoen 2019-20. Dit geldt ook voor Gina. De betere strekking kan daarmee veroorzaakt zijn doordat met de stap van Hybride naar Full LED belichting de absolute hoeveelheid verrood iets is verhoogd. Maar ook de genetica toont een belangrijke rol te spelen bij het realiseren van voldoende strekking. Verder speelt het mogelijk een rol dat Gina in vorig seizoen geen hoofdras was, waardoor niet apart gegoten kon worden voor dit ras. De relatief lange stengels van Gina verdampen wellicht meer dan de andere rassen, wat remming van strekking door enige mate van droogtestress tot gevolg zou kunnen hebben gehad. Hoe dan ook was de strekking dit jaar ruim voldoende bij Gina.



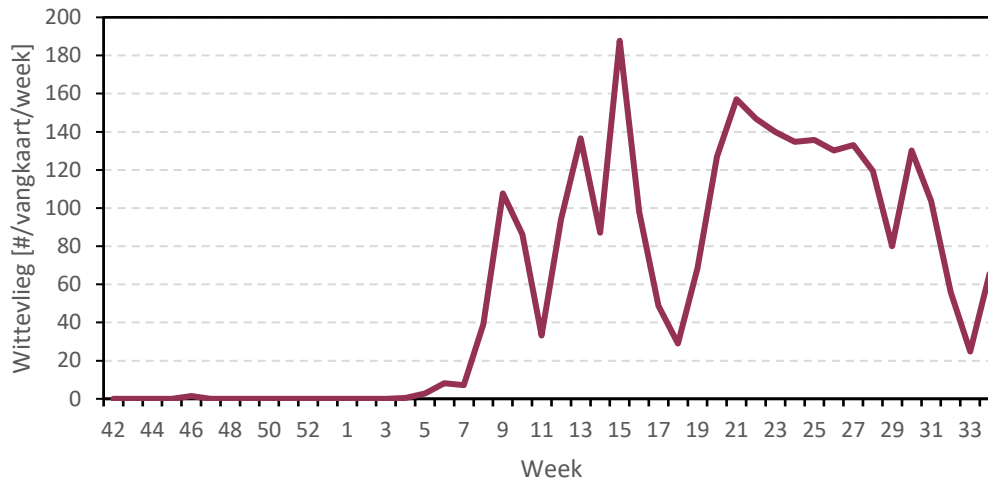
Figuur 34. De internodium lengte berekend aan de hand van het totaal aantal internodiën in de bovenste 50 cm van de plant ($n=20$, errorbars gegeven de SE weer).

3.9 Gewasbescherming

De gewasbeschermingsstrategie was opgesteld met als doel een minimale inzet van chemische gewasbeschermingsmiddelen. Om dit te realiseren is er aan het begin van de teelt *Orius laevigatus* en *Amblydromalus limonicus* uitgezet met als doel schade van trips en witte vlieg te voorkomen. De *Orius* populatie ontwikkelde zich matig waarop werd besloten om extra wantsen uit te zetten eind oktober. Dit is daarna nog twee keer herhaald en in totaal zijn er 18 *Orius*/m² uitgezet voordat de populatie op het gewenste niveau was.

Voor de bestrijding van spint is curatief *Phytoseiulus persimilis* ingezet. Net als de *Orius*, had deze roofmijt moeite om een populatie op te bouwen ondanks de aanwezige spint. Uiteindelijk is besloten om twee chemische bespuitingen uit te voeren om schade te voorkomen. De natuurlijke vijanden lijken moeite te hebben met de omstandigheden in kas in vergelijking met ervaringen in de praktijk. Dit kan veroorzaakt zijn door de LED belichting maar dat is door middel van deze proef niet vast te stellen.

Naast spint waren er nog een aantal andere plagen waarvoor moest worden ingegrepen. De meesten waren met een aantal acties weer op een acceptabel niveau te krijgen. Een uitzondering hierop is witte vlieg, *Bemisia tabaci*. Vanaf week 7 begon de populatie op te lopen (Figuur 35). De eerste weken zijn er extra natuurlijke vijanden uitgezet, *Amblydromalus limonicus* en *Eretmocerus eremicus*. Deze konden de populatie niet laag genoeg houden. Vanaf week 15 is er gestart met bespuitingen met BotaniGard.



Figuur 35. Wekelijkse tellingen van witte vlieg. De grafiek geeft een gemiddelde weer van 4 vangkaarten die verspreid waren over de afdeling.

In week 16 is er ook besloten om vanglinten op te hangen in elke rij en de onderste anderhalve meter blad te verwijderen en af te voeren (Figuur 36). Zoals te zien is in Figuur 35 heeft dit een duidelijk effect gehad op de witte vlieg populatie. Echter, hierna liep de druk al vrij snel weer op. In week 22 en 24 zijn er bespuitingen uitgevoerd met Admiral en Teppeki. Hiermee is de populatie op een acceptabel niveau gebleven ofwel geen schade aan het oogstbaar product.



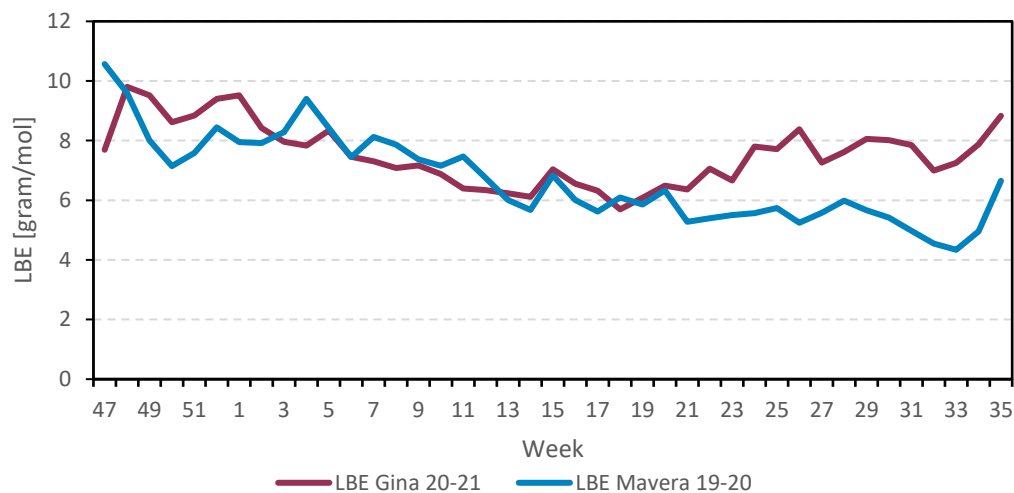
Figuur 36. Aanzicht van het gewas na het verwijderen van de onderste bladeren in week 16. Dit had als doel een grote hoeveelheid witte vlieg eieren en poppen af te voeren.

Overige plagen in het gewas waren trips, luis en rups. Deze konden alle drie met 1 of 2 acties onder controle gekregen worden. Qua schimmels is alleen Mucor gevonden in een enkele kop. Deze koppen zijn verwijderd en er is een zijscheut aangehouden om de verwijderde kop te vervangen.

3.10 Productie en kwaliteit

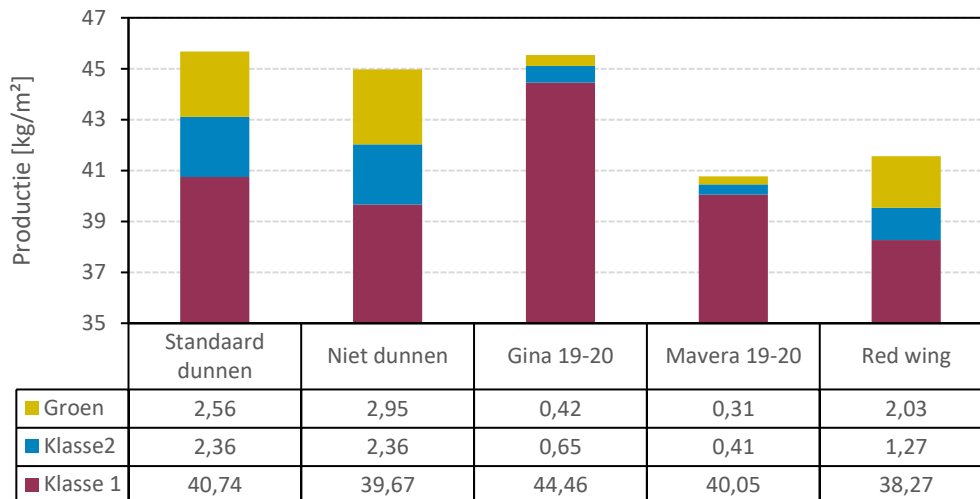
Tijdens de oogst is er gesorteerd op kwaliteit; klasse 1, klasse 2 en onverkoopbaar. Daarnaast zijn er in week 45 (begin teelt) en week 34 (einde teelt) groene vruchten geoogst. Klasse 1 en klasse 2 worden samen gezien als totale oogst. Het verschil tussen de standaarddunbehandeling en de niet dunbehandeling, waar gedund is tot de eerste oogst, is minimaal. Totaal is er 43.1 en 42.0 kg/m² geoogst in respectievelijk de standaarddunbehandeling en de niet dunbehandeling. Met de groene vruchten is dit 45.7 en 45.0 kg/m² in respectievelijk de standaarddunbehandeling en de niet dunbehandeling.

De totale oogst ligt lager dan de productie van 'Gina' in het teeltseizoen 2019-20, 45.1kg/m² (zonder groen). Hierbij moet worden opgemerkt dat er toen maar 8m² van dit ras is geteeld, waardoor het productiecijfer slechts een indicatie is. Ook is er in het teeltseizoen 2019-20 meer straling gemeten in vergelijking met seizoen 2020-21, 53.9 kJ/m² en 50.1 kJ/m² respectievelijk, een verschil van 7%. Ten opzichte van het hoofdras van 2019-20, 'Mavera', is er dit jaar een meerproductie behaald van 2,7 kg/m² (4,9 kg/m² inclusief groen). Het beschikbare licht is dus efficiënter omgezet in productie. De lichtbenuttingscoëfficiënt (LBE) van deze teelt was 6.7 gram/mol en 5.9 gram/mol in teeltseizoen 2019-20. Figuur 37 geeft de LBE over de gehele teelt weer. In beide seizoenen zien we dat de LBE geleidelijk terugloopt vanaf januari t/m april. Daarna zien we een stijging in dit seizoen waar in teelt seizoen 2019-20 de LBE niet meer herstelde. Mogelijk heeft de full LED-belichting ten opzichte van het hybride systeem in teeltseizoen 2019-20 een positief effect gehad op de LBE. Het heeft de strekking bevorderd waardoor licht dieper in het gewas kon doordringen. Hierdoor hebben de bladeren lager in het gewas waarschijnlijk meer licht ter beschikking gehad voor fotosynthese. Ook is er in week 17 veel blad verwijderd, bladeren die niet of nauwelijks natuurlijk licht onderschepten, waardoor er minder suikers nodig waren voor onderhoud en meer suikers over bleven voor de vruchten. De plantbelasting was vergelijkbaar (data seizoen 2019-20 niet weergegeven).



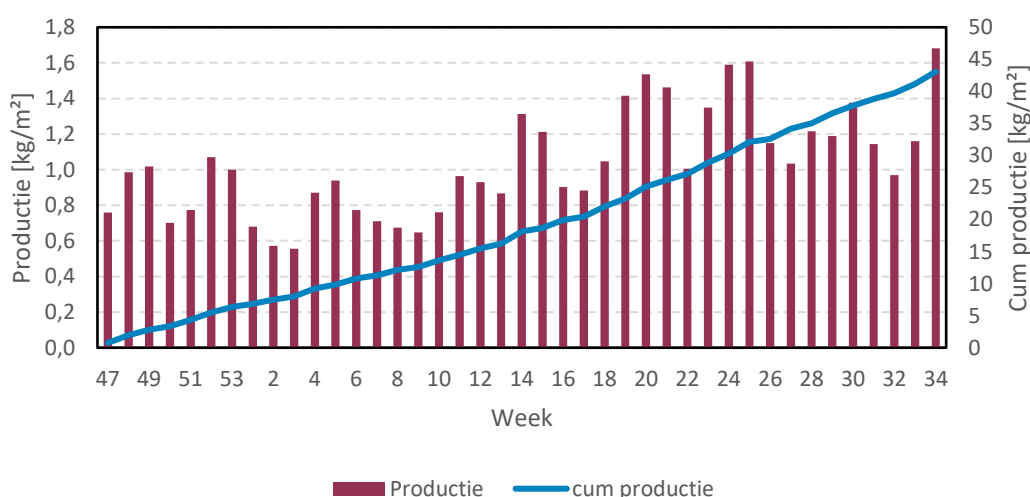
Figuur 37. LBE van Gina 20-19 en Maveria 19-20 exclusief groene vruchten. De LBE wordt weergegeven als voortschrijdend gemiddelde van 6 weken.

Opvallend is het aandeel klasse 2 dit seizoen ten opzichte van vorig seizoen (Figuur 38). Visueel is dit niet opgevallen bij de begeleidende telers, maar dit seizoen is er met meer aandacht gesorteerd en dat heeft een duidelijk effect gehad op het percentage vruchten wat als klasse 2 is beoordeeld. Ook zijn er meer groene vruchten geoogst aan het eind van de teelt. Het ras Red Wing liet in het teeltseizoen 2019-20 veel potentie zien. Hiervan is 1 goot van 52 m² geteeld in dit project. Met totaal 39.5 kg/m² is dit ras aanzienlijk achtergebleven op Gina. Waarbij opgemerkt dat Red Wing van twee kanten geflankeerd werd door het aanzienlijk langere gewas van Gina. De beschaduwing van Red Wing heeft er wellicht voor gezorgd dat Red Wing niet zijn volle potentie bereikt heeft.



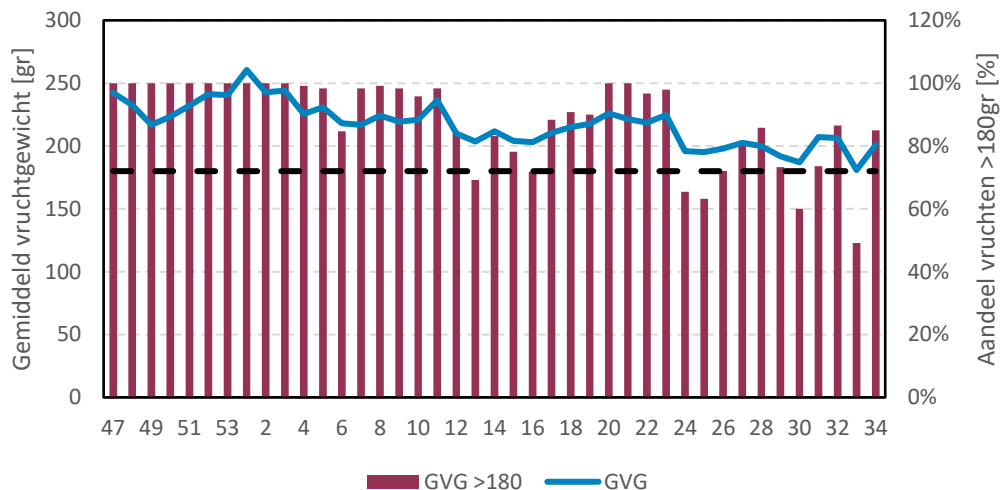
Figuur 38. Totale productie verdeeld over verschillende sorteringen, klasse 1, klasse 2 en groen. De productie is weergegeven voor de Gina met de twee verschillende dunstrategieën, Gina 2019-20, het hoofd ras van 2019-20 Maveria en Red Wing 2020-21.

Het verloop van de productie is te zien in Figuur 39. In de winterperiode is er gemiddeld 0.8 kg/m² geoogst en in de zomer 1.2 kg/m². Beide liggen 0.1 kg/m² onder de prognose die gebaseerd is op ideale omstandigheden. De verwachting is dat een vlakke en gemiddeld hoger plantbelasting in de winter kan zorgen voor een hogere productie. Vooral in het voorjaar bleef de productie relatief laag ten opzichte van de toenemende lichtsom (Figuur 6). Waarschijnlijk is dit gerelateerd aan de langzame aanpassing van huidmondjesgeleidbaarheid aan de hogere intensiteiten licht (Figuur 13, 15 & 16), waardoor de fotosynthese geremd werd en de lichtbenuttingsefficiëntie laag was.



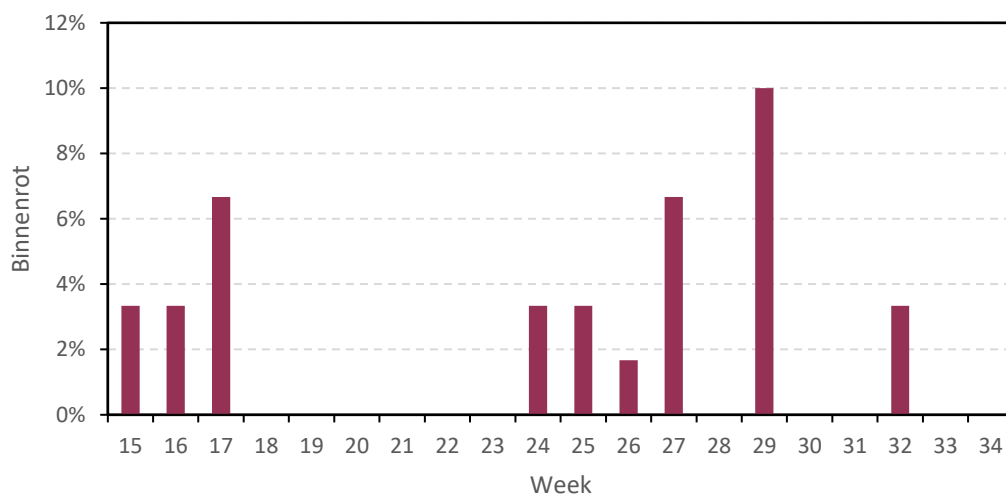
Figuur 39. Verloop van de productie per week en cumulatief (klasse 1 + klasse 2) van de standaarddunbehandeling. De weekproductie is een weergave van het tweewekelijks gemiddelde.

Het gemiddeld vruchtgewicht lag gedurende de gehele teelt boven de gewenste 180 gram (Figuur 40). Gemiddeld over de hele teelt was het vruchtgewicht 217 en 213 gram voor respectievelijk de standaarddunbehandeling en de niet dunbehandeling. Vooral in de winterperiode lag het vruchtgewicht hoog. De vruchten hadden dikke wanden. Gedurende de teelt nam het vruchtgewicht langzaam af. Bij elke oogst is de verdeling over de gewichtsklassen geregistreerd. Van week 12 t/m week 19 was een deel van de vruchten lichter dan 180 gram. In de vier weken hierna herstelde dat, maar vanaf week 24 was gemiddeld 28% van de vruchten lichter dan 180 gram.



Figuur 40. Het gemiddeld vruchtgewicht (GVG) ten opzichten van het minimaal gewenste gewicht van 180 gram (zwarte stippellijn) en het aandeel vruchten boven de 180 gram.

Gedurende de hele teelt is er gemonitord op binnenrot. In week 15 werd de eerste vrucht met binnenrot gevonden (Figuur 41). Gemiddeld is er 1% binnenrot gevonden. In de praktijk waren er in het seizoen 2020-21 veel gevallen bekend met hoge percentages binnenrot. Die zijn in dit project niet gevonden.



Figuur 41. Het percentage binnenrot per week. Bij elke oogst zijn er 30 vruchten gebruikt voor de beoordeling.

4 Leerpunten en conclusie

De doelstelling van dit project was om maximaal $0.5 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^2/\text{week}$ te gebruiken. Om dit te bereiken is er meer geschermd en is de buis alleen ingezet op warmtevraag. Het gemiddelde gasgebruik in de winter (week 52 t/m week 11) was $0.53 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ en het maximale gebruik was $0.82 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ bij een buitenetmaal van $-3.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Het totale gasgebruik is wel 30% teruggebracht ten opzichte van teeltseizoen 2019-20 naar $18.7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ door intensiever te schermen en het buisgebruik te verminderen. Het verlagen van het gasgebruik is gehaald ondanks een lagere warmte input van de belichting (overstap hybride naar full LED) en minder instraling. Ook is er meer geproduceerd ten opzichte van teeltseizoen 2019-20, waarmee het ratio productie/gasgebruik is gestegen met 60% van 1.5 kg/m^3 naar 2.4 kg/m^3 . Dit laat zien dat met intensief schermen en minimaal gebruik van het verwarmingssysteem er een goede productie gehaald kan worden. Er zijn weinig vochtproblemen geweest. Binnenrot was minimaal en er is een enkele plant gevonden met Mucor. Ondanks dat de energiedoelstelling net niet gehaald is (6% te veel), is er een grote stap gemaakt in het terugdringen van energiegebruik. Met de ervaringen van dit teeltseizoen kan de teeltstrategie nog verder worden geoptimaliseerd om in de toekomst nog meer energie te kunnen besparen door bijvoorbeeld nog meer te schermen door bijvoorbeeld al bij een lage instraling het energiedoek te laten sluiten.

Door de overstap naar full-LED is er een reductie van het elektriciteit gebruik gerealiseerd. Ten opzichte van teeltseizoen 2019-20 is er 10% minder stroom gebruikt, ondanks dat er meer is belicht. Gedurende de winter is er minder belicht, maar vanaf half maart lag het aantal belichtingsuren per week hoger in vergelijking met teeltseizoen 2019-20. Het aantal uren belichting per dag is na de winter afhankelijk van de instraling en daardoor erg wisselend. De plantbelasting liep op waardoor er op relatief donkere dagen belicht moet worden om te voldoen aan de assimilatievraag. Hier valt nog extra op elektra en warmte te besparen door de plantbelasting lager te houden en meer temperatuur toe te laten op zonnige dagen. In theorie zouden er dan minder belichtingsuren nodig zijn en daardoor minder elektriciteit gebruik. Dit gaat dan waarschijnlijk wel ten koste van de productie.

De doelstelling om de productie te verhogen is gehaald, ondanks dat de gewenste lichtniveaus niet zijn gehaald, met totaal 43.1 kg/m^2 rode vruchten in vergelijking met 40.4 kg/m^2 in teeltseizoen 2019-20. Dit verschil is gerealiseerd met 7% minder instraling. Het verschil is gemaakt in het tweede deel van de teelt. In de winterperiode liep de productie zelfs achter op teeltseizoen 2019-20. Na de winterperiode lag de plantbelasting en de LBE hoger in vergelijking met seizoen 2019-20 (5.9 gr/mol en 6.7 gr/mol , seizoen 2019-20 en 2020-21 respectievelijk). Waarschijnlijk is het gewas vitaler de winter uitgekomen. De exacte oorzaken daarvan zijn niet te achterhalen in een demonstratieproef als deze, waarin meerdere factoren zijn veranderd ten opzichte van de proef in het voorgaande jaar. De bladkwaliteit was opvallend beter was dan seizoen 2019-20. De belangrijkste verklaring hiervoor is waarschijnlijk de keuze van een ander hoofdras (Gina) dat minder gevoelig is voor chlorose dan het hoofd ras van het jaar daarvoor (Mavera). Ook strekking van de internodiën is een voordeel. Die was groter door het hogere aandeel verrood en de genetica. Dit heeft geresulteerd in een betere lichtdoordringing in het gewas, waardoor het licht over meer bladeren wordt verspreid, zodat er ook meer bladen bijdragen aan de gewasfotosynthese. Naast dat het licht beter verdeeld is over de bladeren waren de daglengtes korter dan in seizoen 2019-20. Er zijn 4 weken geweest waarin er 18 uur is belicht tegen 15 weken in seizoen 2019-20. De belichtingsuren zijn ook eerder afgebouwd, vanaf week 3 in vergelijking met week 9.

Aan de hand van de metingen aan de huidmondjesgeleidbaarheid lijkt een hogere productie dan dat er dit jaar is gerealiseerd mogelijk. De huidmondjesgeleidbaarheid was hoger dan het voorgaande seizoen, maar nog steeds relatief laag. Dertig cm onder de kop neemt deze al snel af, waardoor het een belemmerende factor wordt voor fotosynthese, met name in het voorjaar. In juni lag de huidmondjesgeleidbaarheid van bladeren onder de kop aanmerkelijk hoger. In een parallel onderzoek uitgevoerd door Plant Lighting (Boonman en Hogewoning, 2022) is een verdubbeling van de verdamping gerealiseerd met een breedband spectrum in combinatie met een daglengte

van 15 uur ten opzichte van een standaard rood blauw spectrum in combinatie met een daglengte van 18 uur. Ook individueel hadden deze behandelingen, breedband spectrum versus een rood blauw spectrum en 15 uur versus 18 uur daglengte, een positief effect op de verdamping. Een daglengte van 18 uur is blijkbaar te lang voor een paprika gewas. Ook een hoger aandeel groen en/of blauw licht in het spectrum lijkt dus de verdamping te stimuleren, wat mogelijk resulteert in een betere bladkwaliteit. In een andere recente proef van Plant Lighting bleek dat de huidmondjesgeleidbaarheid van paprika inderdaad toeneemt door belichting met een hoger aandeel blauw licht (Trouwborst et al, 2022). Daarom is het interessant om te toetsen of een paprikaras met gunstige genetische eigenschappen voor teelt onder belichting onder een spectrum met een hoger aandeel blauw (en wellicht ook groen licht) in het voorjaar beter in staat is om zich aan te passen aan de dan toenemende lichtintensiteit. Als de huidmondjesgeleidbaarheid beter reageert op toenemend licht, dan kan de fotosynthese in het voorjaar efficiënter verlopen, waardoor de productie kan stijgen. Juist in het voorjaar zijn de paprikaprijzen vaak hoog, wat een hogere lichtbenuttingsefficiëntie in deze periode extra interessant maakt. Dit is interessant om te toetsen in een volgende proef.

Met de voeding is gestuurd op een betere bladkwaliteit. De opname van voedingselementen is anders onder belichting in vergelijking met onbelichte teelt bij een zelfde aanbod van voedingstoffen (hoeveelheid en verhouding tussen elementen). Het sulfaatgehalte in het gietwater is verlaagd en het kaliumgehalte verhoogd. Hiermee wordt afgeweken van een onbelichte teelt. De aanpassingen hebben geresulteerd in een hogere voedingsopname ten opzichte van teeltseizoen 2019-20. Er is meer nitraat, kalium, magnesium en calcium opgenomen dan in teeltseizoen 2019-20. Dit werd vooral teruggevonden in de vruchten. Het drogestofgehalte van het blad was hoog in vergelijking met een onbelichte teelt. Opvallend was dat bladeren met een hoog drogestofgehalte minder nutriënten bevatten in vergelijking met bladeren met een lager drogestofgehalte. Dit duidt op zetmeelophoping. De kopergehalten in de jonge bladeren waren extreem laag, vooral bij een hoog drogestofgehalte in de bladeren. Koper werd zeer moeizaam opgenomen, ook bij relatief hoge concentraties in de voeding. De chlorotische verkleuring van de bladeren in de kop en de geelverkleuring van de bladranden zijn verschijnselen die ook voor kunnen komen bij kopergebrek.

5 Literatuur

Balk TM, Helmus-Schuddebeurs L, Zwinkels J, Hogewoning S. 2020. Hoe wordt jaarrond productie van paprika rendabel?.

Boonman A, Hogewoning S. 2022. Effecten van spectrum en daglengte bij jaarrond teelt van paprika. Deelrapport WP3 in project "fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas". Ongepubliceerd Plant Lighting B.V. Bunnik. 47p.

Helmus-Schuddebeurs L, Kalkman H, Kaarsemaker R, Raaphorst M. 2020. Fossielvrije belichte tomaat.

G. Trouwborst, S.A.J. van den Boogaart, E.P. Noordhoek S.W. Hogewoning. 2022. Monitoring huidmondjes: Voldoende opening onder LED-belichting? Deelrapport paprika. Plant Lighting B.V., Bunnik. 46p.

Bijlage I: Overzicht kasindeling

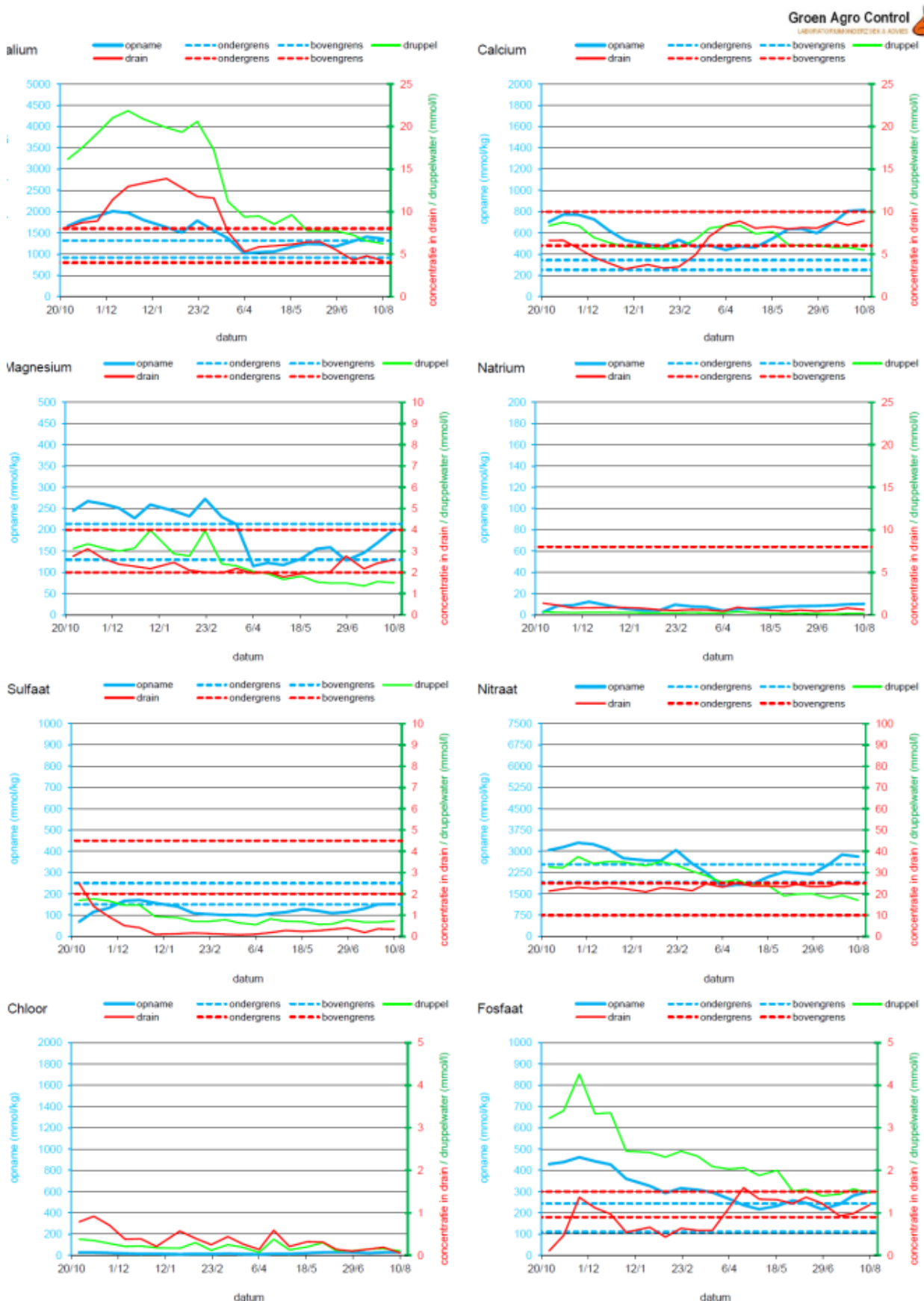
Pad/mat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Gina (gevel rij)																								Rassen proef	
2	Rassen																									
3	Rassen																									
4	Rassen																									
5	Rassen																									
6	Rassen																									
7	Gina																								Dunnen	
8	Gina																									
9	Gina																									
10	Gina																									
11	Gina																									
12	Gina																									
13	Gina																								Niet dunnen	
14	Gina																									
15	Gina																									
16	Gina																									
17	Gina																									
18	Gina (gevel rij)																									

Bijlage II: Meting Lichtintensiteit

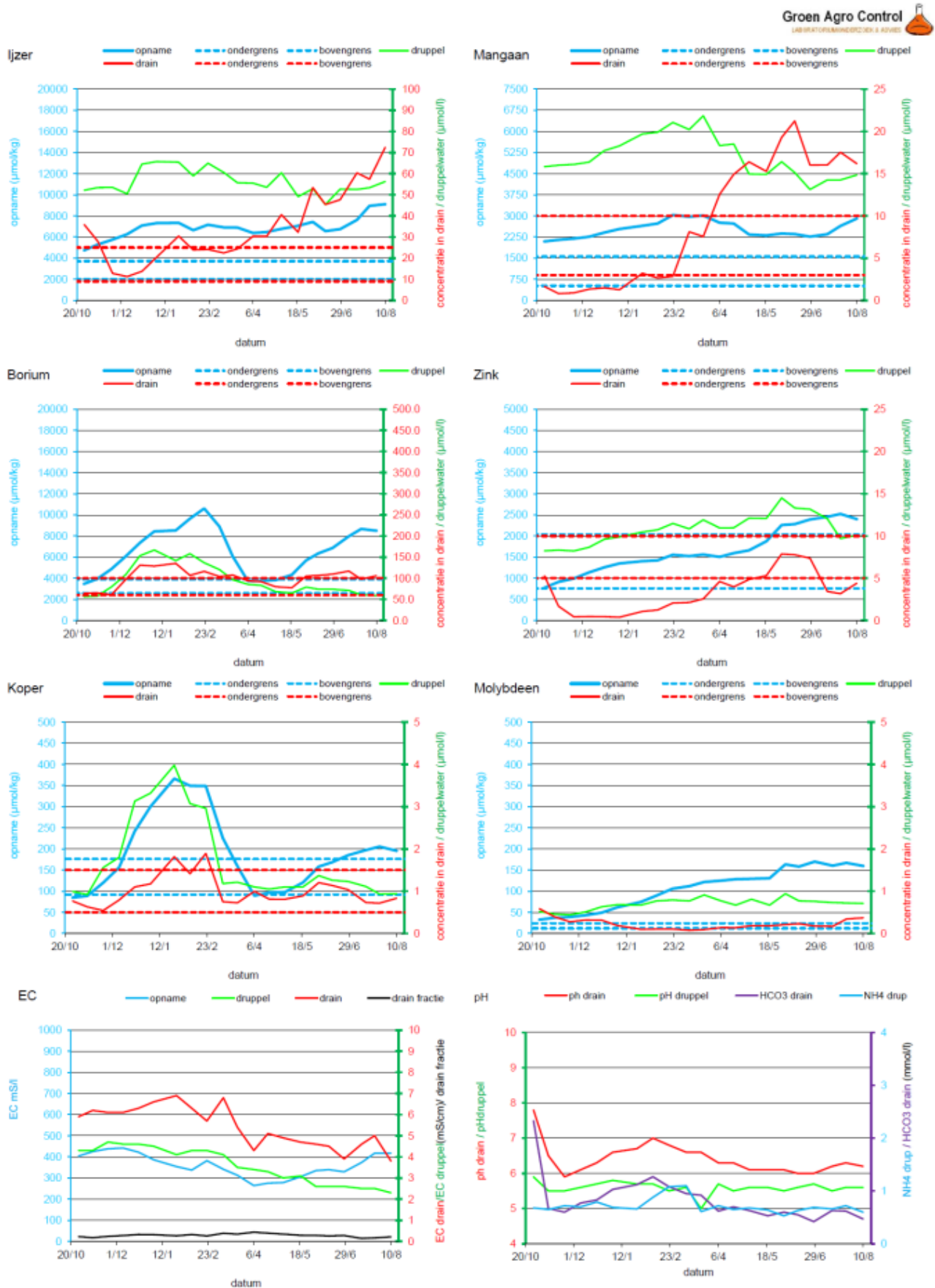
1.8 meter boven goot																			
193 µmol/m²/s gemiddeld																			
Full LED (alles aan)																			
0,2																			
135 cm																			
160 cm																			
←-----→																			
↔																			
25	160	184	191	198		196	193	202	206	211	213	219	211	212	211	208	201	194	179
24	169	191	197	197		194	181	194	203	205	210	211	213	200	200	200	200	201	180
23	172	191	196	196		195	182	192	199	198	208	208	208	201	199	199	196	206	188
22	173	192	196	195		192	175	188	194	193	207	204	206	200	195	192	192	201	191
21	173	190	192	193		189	176	184	190	193	201	199	202	193	188	198	189	196	191
20	174	189	193	190		189	172	183	189	194	199	198	199	191	185	191	187	195	188
19	176	189	194	191		188	179	181	191	195	200	199	200	190	185	194	187	197	192
18	177	196	197	192		191	177	187	193	195	202	201	200	189	189	194	189	199	195
17	178	195	197	194		190	178	187	195	194	201	201	197	191	189	194	190	199	193
16	176	195	197	195		190	179	188	195	195	200	199	199	193	191	192	191	200	194
15	176	195	197	193		192	179	185	194	193	197	199	198	192	193	190	189	199	195
14	174	192	195	193		191	176	185	192	188	189	194	196	192	192	189	186	198	196
13	174	190	194	191		191	180	186	191	190	191	197	194	192	192	187	186	196	190
12	174	190	193	191		189	181	185	191	192	193	196	193	192	193	189	186	195	190
11	175	192	195	191		191	178	186	192	192	194	195	191	191	193	190	188	198	190
10	173	193	195	192		190	171	185	192	193	194	196	192	187	193	187	185	197	193
9	171	192	193	191		188	170	184	193	193	192	198	196	191	192	188	180	195	192
8	169	191	193	190		185	180	183	191	192	195	197	199	192	190	185	177	193	189
7	170	193	193	191		187	182	185	192	193	192	197	204	192	193	189	179	194	193
6	170	193	194	191		187	180	187	192	193	191	199	202	190	193	189	179	195	192
5	170	194	196	192		187	183	190	194	194	191	200	206	193	194	190	184	195	192
4	174	197	196	195		189	184	190	200	198	197	203	208	200	200	198	190	199	194
3	176	199	201	200		195	196	195	204	201	200	207	213	209	206	201	196	203	199
2	178	199	202	200		200	197	204	209	204	204	210	212	212	213	209	200	204	196
1	176	195	209	198		199	196	198	204	201	195	210	212	210	211	209	201	201	195
Matnummer/padnummer																			
BETONPAD																			
Gemiddelde	173	193	196	194	191	181	189	195	196	198	201	202	196	195	194	189	198	191	191

Bijlage III: Bekende opname van voedingselementen

Figuren 3.1 tot en met 3.8: Verloop van de berekende gewas opname mmol/kg droge stof, druppel en drain concentratie (mmol/l) van de hoofdelementen,



Figuren 3.9 tot en met 3.16: Verloop van de berekende gewas opname mmol/kg droge stof (Fe, Mn, B en Zn), $\mu\text{mol/kg}$ droge stof (Cu en Mo) druppel en drain concentratie (m(μ)mol/l) per element en pH en EC.



Bijlage IV: Voedingselementen in de droge stof

Tabel 5: Gehalte voedingselementen en het drogestofgehalte in de jonge vruchten (Ø 2-3 cm).

datum	Droge stof gehalte (%)	mmol/kg											μmol/kg	
		K	Ca	Mg	N-tot	SO ₄	PO ₄		Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cu
27-10-2020	6.3	953	37	95	2499	88	168	27-10	1.4	0.4	0.5	1.7	14	96
09-11-2020	6.4	1009	30	95	2480	91	163	9-11	1.1	0.4	0.5	1.7	14	73
23-11-2020	6.4	1093	39	100	2268	91	169	23-11	1.4	0.4	0.4	1.6	15	69
07-12-2020	7.1	1074	52	109	2853	93	206	7-12	1.2	0.5	0.5	2.4	20	119
21-12-2020	7.0	1056	40	115	2619	100	195	21-12	1.1	0.4	0.5	2.4	24	145
04-01-2021	6.8	1090	34	113	2677	103	203	4-1	1.1	0.4	0.5	2.4	44	164
25-01-2021	6.1	943	36	94	2087	85	178	25-1	1.0	0.5	0.5	2.2	56	169
08-02-2021	8.2	1081	34	111	2840	100	205	8-2	1.1	0.4	0.5	2.3	48	159
22-02-2021	6.8	915	32	95	2516	83	182	22-2	1.3	0.4	0.6	2.2	49	162
09-03-2021	7.1	1048	33	100	2712	93	188	9-3	1.2	0.4	0.5	2.3	51	135
22-03-2021	7.0	1023	38	100	2654	90	187	22-3	1.3	0.5	0.5	2.4	51	108
06-04-2021	7.0	1004	33	96	2806	94	193	6-4	1.3	0.4	0.6	2.4	60	120
19-04-2021	8.2	977	73	102	2486	103	202	19-4	1.2	0.7	0.5	2.5	52	105
03-05-2021	7.4	917	29	96	2580	95	179	3-5	1.1	0.4	0.5	2.2	37	114
19-05-2021	8.6	901	70	97	2740	94	184	19-5	1.2	0.6	0.6	2.3	50	112
02-06-2021	8.1	860	30	84	2679	88	157	2-6	1.0	0.4	0.5	2.2	53	99
14-06-2021	8.7	868	41	95	2926	95	168	14-6	1.2	0.6	0.6	2.3	48	144
28-06-2021	5.4	898	46	83	2471	88	155	28-6	0.9	0.6	0.4	2.2	42	93
14-07-2021	7.9	951	41	105	2820	95	177	14-7	1.2	0.5	0.6	2.4	49	146
26-07-2021	7.7	891	27	98	2775	90	165	26-7	1.2	0.4	0.6	2.2	28	172
10-08-2021	7.9	1003	43	110	2844	101	181	10-8	1.3	0.6	0.6	2.4	32	145

Tabel 6: Gehalte voedingselementen en het drogestofgehalte in jong blad

Datum	ras	droge stof gehalte	mmol/kg drogestof										μmol/kg	
			K	Ca	Mg	N-totaal	SO ₄	PO ₄	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cu
27-10-2020	Gina	17.00	950	575	271	3231	140	96	3.1	1.4	0.7	1.8	16	41
09-11-2020	Gina	16.10	1166	632	275	3011	169	89	3.0	1.9	0.9	2.1	17	33
23-11-2020	Mavera	16.90	1123	794	300	3224	169	105	3.4	3.1	1.0	1.6	20	26
23-11-2020	Gina	17.40	1092	719	315	3003	182	101	3.8	3.0	0.9	1.3	21	27
23-11-2020	Red Wing	16.00	1201	904	304	3262	190	109	2.2	2.5	0.9	2.2	18	37
07-12-2020	Gina	16.40	1184	573	188	2794	179	140	2.7	2.3	0.7	2.8	34	40
21-12-2020	Gina	15.40	1214	766	317	3190	257	163	3.2	3.5	0.9	6.0	77	54
04-01-2021	Gina	15.10	1347	685	312	3107	273	230	3.6	3.8	1.2	8.3	111	75
08-02-2021	Gina	15.30	1418	546	263	3127	185	252	2.6	4.2	1.4	7.3	169	77
22-02-2021	Gina	17.40	1061	562	253	2660	145	221	2.6	3.8	1.1	6.6	133	52
09-03-2021	Gina	19.80	981	508	221	2580	130	183	2.2	3.6	1.0	6.7	128	58
09-03-2021	Mavera	21.50	749	458	184	2169	164	149	2.2	3.7	1.1	4.5	133	63
22-03-2021	Gina	19.20	1024	573	195	2615	127	187	2.2	3.8	0.9	5.0	98	39
06-04-2021	Gina	21.20	922	600	203	2405	125	210	2.0	3.7	0.8	4.1	109	35
19-04-2021	Gina	23.50	853	493	137	1982	119	176	2.3	3.5	0.9	2.5	94	36
03-05-2021	Gina	27.00	713	423	121	1854	100	141	1.5	2.7	0.6	2.0	62	29
19-05-2021	Gina	21.80	999	597	141	2243	143	132	1.6	3.8	1.0	3.0	115	35
02-06-2021	Gina	28.90	717	382	83.8	2001	100	73	1.2	2.3	0.5	1.8	73	26
14-06-2021	Gina	24.60	1023	474	132	2547	137	108	1.4	3.1	1.0	4.4	85	55
28-06-2021	Gina	22.30	916	543	123	2536	129	98	1.4	3.4	0.9	4.9	76	50
14-07-2021	Gina	21.10	925	479	125	2399	146	89	1.4	3.4	1.0	4.3	89	61
26-07-2021	Gina	18.40	1282	549	136	2664	182	109	1.7	3.5	1.1	4.5	69	68
10-08-2021	Gina	19.70	1179	620	155	2887	162	96	1.3	3.6	1.2	5.7	72	62

Bijlage V: Gehaltes koper en borium

Figuren 4.1 t/m 4.4: Linksboven het verloop van de koper concentratie in druppelwater in vergelijking tot de teelt van 2019-2020, rechtsboven het verloop van de borium concentratie in druppelwater in vergelijking tot de teelt van 2019-2020, linksonder de concentratie koper en rechtsonder de concentratie borium in het blad in vergelijking met de teelt van 2019-2020.

