Bladplukken tomaat

Experiment 2015-2016 'Tomatenproductie sturen van blad naar vrucht'

Anne Elings, Arie de Gelder en Jan Janse

Rapport WPR-789

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

LTO Glaskracht Nederland

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

KAS ALS ENERGIEBRON

Referaat
Verschillende bladplukbehandelingen zijn in de winter- en de zomermaanden toegepast in het tomatenras Brioso. De winterbehandelingen bestonden uit een standaard waarbij 33% van de kleine blaadjes in de kop van het gewas werd weggenomen en waarbij 11-12 bladeren werden aangehouden, en twee behandelingen met elk 55% bladpluk waarbij 8-9 respectievelijk 10-11 bladeren werden aangehouden. De zomerbehandelingen bestonden uit dezelfde standaard, een behandeling zonder bladpluk en dus een groot bladoppervlak en een behandeling met 66% bladpluk vanaf de 4e à 5e tros, waarbij het bladaantal ongeveer gelijk werd gehouden aan dat van de standaard. Er werd geconcludeerd dat 55% bladpluk in de winter onder de heersende weersomstandigheden te veel van het goede is geweest en het gewas aan het einde van de winter heeft verzwakt. Dit is daarom een risicovolle strategie. De totale productie werd het meest bepaald door het gemiddelde vruchtgewicht, en in tweede instantie door het aantal vruchten. Bladpluk bovenin leidt in de winter tot een betere drogestofverdeling naar de vruchten, terwijl bladpluk halverwege de gewasdiepte in de zomer tot een slechtere drogestofverdeling leidt. Een belangrijke vraag is hoe het overschot aan assimilaten dat in de zomer wordt opgebouwd door een kleine-vrucht tomaat voor de productie kan worden gebruikt.

Abstract
Various leaf removal treatments were applied during winter and summer to tomato variety Brioso. The standard winter treatment knew 33% removal of small leaves in the top of the canopy while in total 11-12 leaves per stem were maintained. The two other winter treatments each knew 55% leaf removal and maintaining 8-9 and 10-11 leaves, respectively. The standard summer treatment was the same as in winter. One summer treatment had no leaf removal and therefore a high leaf area, and one summer treatment had 66% leaf removal at the 4th to 5th truss with approximately the same leaf number as the standard. It was concluded that 55% leaf removal in winter under the ambient weather conditions has weakened the crop towards the end of winter. This is therefore a risky strategy. Production was in the first place related to fruit weight and in the second place to the number of fruits. Leaf removal in winter results in a better dry matter partitioning to the fruits, while leaf removal mid-way canopy depth in summer results in a poorer dry matter partitioning to the fruits. An important question is how the excess of assimilates that is accumulated during summer by a small-fruited tomato can be utilized for production.

Rapportgegevens

Rapport WPR-789
Projectnummer: 3742 2125 00
PT nummer: 20033
DOI nummer: 10.18174/454460
Thema: Energie en klimaat

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw.

Disclaimer

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.
Kamer van Koophandel nr.: 09098104
BTW nr.: NL 8113.83.696.B07
Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.
Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

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

Inhoud

Samenvatting **7**

1 Inleiding **9**

1.1 Probleemstelling 9
1.2 Doelstellingen 10
1.3 Inpassing 10
1.4 Dankwoord 10

2 Materiaal en Methoden **11**

2.1 Proefopzet 11
2.1.1 Experimentele details 11
2.1.2 Teeltstrategie 11
2.1.3 Behandelingen 12
2.1.4 Kasinrichting en technische uitvoering 14
2.1.5 Overleg en Samenwerking 15
2.2 Waarnemingen 15
2.2.1 Monitoring (automatisch) 15
2.2.2 Periodieke gewaswaarnemingen 15
2.2.3 Destructieve oogsten 16
2.2.4 Bladoppervlak 17
2.2.5 Lichtonderschepping 17
2.2.6 Fotosynthese van de bladeren 17
2.2.6.1 Dagademhaling 18
2.2.7 Fotosynthese van de vruchten 18
2.2.8 Fotosynthese van de stengel 19
2.2.9 Respiratie 19
2.2.9.1 Fotorespiratie 19
2.2.9.2 Groeiademhaling 19
2.2.9.3 Onderhoudsademhaling 20
2.2.10 Assimilatenstromen en -opslag 20
2.2.11 Smaak en houdbaarheid 20

3 Resultaten 21

3.1 Klimaat 21
3.1.1 Straling 21
3.1.2 Temperatuur 21
3.1.3 CO_2 22
3.1.4 Luchtvochtigheid 22
3.1.5 Schermgebruik en raamstand 23
3.1.6 Energieverbruik 24
3.2 Water 25
3.3 Gewasstand 26
3.4 Lengtegroei en kopdikte 28
3.5 Aantal trossen en vruchten 29
3.6 Bladoppervlak 30
3.6.1 Bladlengte en –breedte 30
3.6.2 Bladaantal 31
3.6.3 LAI 31
3.6.4 Lichtonderschepping 33
3.6.4.1 Apogee 33
3.6.4.2 Sunscan 34
3.7 Fotosynthese 35
3.7.1 Fotosynthese van de bladeren 35
3.7.2 Fotosynthese van de vruchten 36
3.8 Respiratie 37
3.8.1 Fotorespiratie 37
3.8.2 Groeiademhaling 37
3.8.3 Dagademhaling 37
3.9 Groei en productie 38
3.9.1 Totale groei 38
3.9.2 Vruchtgroei en vruchtoogst 40
3.10 Modelmatige analyse 44
3.10.1 Ontwikkeling 44
3.10.2 Geabsorbeerde straling 45
3.10.3 Fotosynthese, ademhaling, assimilatenbeschikbaarheid en groei 46
3.10.4 Drogestofverdeling 49
3.11 Gewassamenstelling 49
3.11.1 Bouwstoffen 49
3.11.2 Historische vergelijking 53
3.11.3 Nutriënten 54
3.11.4 Dagverloop van zetmeel en suikers 54
3.12 Smaak en houdbaarheid 56

4 Scenarioberekeningen 59

4.1 Inleiding 59
4.2 Fysiologie 59
4.2.1 Onderhoudsademhaling 59
4.2.2 Dagademhaling 60
4.2.3 Lichtextinctie en nuttige LAI 60
4.2.4 Dagbasis 61
4.2.5 Kwantitatieve effecten van bladpluk op bladgroei 62
4.2.6 Kwantitatieve effecten van bladpluk op stengelgroei 63
4.3 Scenario's 63
4.3.1 Opzet 63
4.3.1.1 Hoeveelheid licht en bladplukperiode 63
4.3.1.2 Bladplukscenario's 64
4.3.2 Een voorbeeld in detail 65
4.3.2.1 LAI 66
4.3.2.2 Dagelijkse PAR 66
4.3.2.3 Onderhoudsademhaling 67
4.3.2.4 Groei 67
4.3.2.5 Lichtbenuttingsefficiëntie 70
4.3.2.6 Verdamping 71
4.4 Overzicht van de scenario's 71
4.4.1 Serie A: zonlicht en assimilatiebelichting als in het experiment 71
4.4.2 Serie B: zonlicht als in het experiment, geen assimilatiebelichting 74
4.4.3 Serie C: 25% extra zonlicht, assimilatiebelichting als in het experiment 74
4.4.4 Serie D: 25% minder zonlicht, assimilatiebelichting als in het experiment 75
4.4.5 Lichtniveaus 76
4.4.6 Andere factoren 77
4.5 Samenvatting 78

5 Discussie en Conclusies 79

Literatuur 85

Bijlage 1 Publiciteit 87

Bijlage 2 Klimaat 89

Bijlage 3 Water en nutriënten 91

Bijlage 4 Gewasgroei en -ontwikkeling 93

Bijlage 5 Fotosynthese 99

Bijlage 6 Respiratie 101

Bijlage 7 Gewassamenstelling - bouwstoffen 103

Bijlage 8 Gewassamenstelling – nutriënten 107

Bijlage 9 Smaak en houdbaarheid 113

Samenvatting

In het seizoen 2015-2016 zijn drie bladplukstrategieën bij het tomatenras Brioso met een vers vruchtgewicht van 30-35 gram geëvalueerd in de experimentele faciliteiten van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. Het onderzoek was een vervolg op het 2014-2015 project 'Het Nieuwe Gewas; Sturen van de plantvorm voor verhoogde lichtbenutting' en wilde nader bepalen of verschillende vormen van bladpluk tot opbrengstverbetering en lichtbenuttingsefficiëntie leiden.

Er werd een onderscheid gemaakt tussen winter- en zomerbehandelingen. De behandelingen worden verder onderscheiden op basis van de hoeveelheid blad, uitgedrukt in LAI (leaf area index, bladbedekkingsgraad). Dit staat voor het aantal m^2 blad per m^2 grondoppervlak.
De winterbehandelingen waren gekozen om te onderzoeken in hoeverre de LAI kan worden gereduceerd:
1. Normale LAI: 33% bladpluk in de kop, 11-12 bladeren per stengel.
2. Lage LAI: 55% bladpluk in de kop, 10-11 bladeren per stengel.
3. Extra lage LAI: 55% bladpluk in de kop, 8-9 bladeren per stengel.

De zomerbehandelingen waren gekozen om te onderzoeken of bladpluk halverwege het gewas, in plaats van bovenin het gewas, bijvoorbeeld een betere vruchtafrijping zou geven, en om te onderzoeken of een extra hoge LAI goed voor de opbrengst zou zijn:
1. Normale LAI (a): 33% bladpluk in de kop, 11-12 bladeren per stengel.
2. Normale LAI (b): 66% bladpluk bij de 4e/5e tros, 10-12 bladeren per stengel
3. Hoge LAI: 0% bladpluk in de kop, 14-16 bladeren per stengel.

In het najaar waren de planten aanvankelijk te vegetatief waarop generatieve teeltmaatregelen (een voldoende hoge temperatuur) werden genomen. Na een meer generatieve fase waren aan het einde van de winter de gewassen in beide bladplukbehandelingen zodanig zwak geworden er een aantal weken geen blad werd geplukt. Vanaf april werden de zomerbehandelingen uitgevoerd.

De producties waren als volgt:

Behandeling (winter – zomer)	winter okt-feb	tussenmaand maart	zomer april-aug	totaal
Verse vruchtoogst (kg m^{-2})				
Extra laag – hoog	10.9	5.8	34.6	51.2
Normaal	11.3	5.6	34.7	51.6
Laag - normaal	10.9	5.7	33.7	50.2
Gemiddeld vruchtgewicht (g)				
Extra laag – hoog	30.9	32.3	35.6	33.9
Normaal	31.6	31.9	35.1	33.8
Laag - normaal	30.1	30.2	34.0	32.4
Aantal vruchten (# m^{-2})				
Extra laag – hoog	362	180	962	1501
Normaal	374	181	991	1549
Laag - normaal	377	189	978	1545

De belangrijkste bevindingen en conclusies van het onderzoek zijn:

- In de late herfst en winter is er te lang veel blad weggenomen onder het heersende klimaat waardoor de gewassen erg zwak kwamen te staan, wat bijvoorbeeld te zien was aan de kopdikte. Het bleek dat 55% bladpluk in de winter is risicovol en moet tijdig worden teruggebracht als het gewas dit niet aankan.
- De hoogste opbrengst van de behandeling 'normaal' was gekoppeld aan een balans tussen gemiddeld vruchtgewicht en aantal vruchten, die op seizoensbasis beide goed moeten zijn. Hierbij was de opbrengst het meest gekoppeld aan het gemiddelde vruchtgewicht.
- Bladpluk in de winter in de top van het gewas leidde tot een betere drogestofverdeling naar de vruchten.
- Bladpluk halverwege het gewas in de zomer leidt tot een slechtere drogestofverdeling naar de vruchten en een lagere maximale fotosynthesesnelheid en is daarom geen goede teeltmaatregel.
- In alle behandelingen werd een overschot aan assimilaten wordt in de loop van de dag als zetmeel in de bovenste bladeren opgeslagen.
- De kleine vruchten van Brioso zijn niet in staat om in de zomer alle assimilaten op te nemen, zodat er assimilaten ongebruikt als reserves achterblijven. Het zou goed zijn om hier een teeltstrategie voor te ontwikkelen en met de reserves de opbrengst en energiebenuttingsefficiëntie te verhogen.
- Bladplukken leidde tot 5-7% energiebesparing omdat er minder buiswarmte nodig is om het verdampte water af te voeren.
- De ontwikkelingssnelheid (dus het aantal trossen) is niet afhankelijk van het bladplukregime.
- De lengtegroei van de stengel neemt af in geval van bladpluk.
- Ook de bladlengte neemt af als gevolg van bladpluk. Er zijn dus niet alleen minder bladeren bij bladpluk (uiteraard), maar die bladeren zijn ook nog een keer kleiner, zodat de LAI snel afneemt. De bladeren houden echter dezelfde dikte.
- Bladplukken bovenin heeft geen effect op de maximale fotosynthesesnelheid bovenin het gewas, en bladplukken halverwege de gewasdiepte heeft een negatief effect op de maximale fotosynthesesnelheid onderin het gewas. En ook al zijn de lichtniveaus onderin in de zomer relatief laag, is bladplukken halverwege het gewas is daarmee niet verstandig omdat al met al de gewasfotosynthese kan afnemen.
- De groene vruchten dragen nauwelijks bij aan de gewasfotosynthese.
- Rekenkundige schatting leert dat het effect van verminderde onderhoudsademhaling door bladpluk zeer beperkt is.
- Scenarioberekeningen laten zien dat bladplukken rond januari – de tuinderspraktijk - tot meer opbrengststijging leidt dan bladplukken rond december. Dit heeft te maken met de grotere bladmassa die in geval van bladpluk rond december aan het einde van de winter aanwezig is. Dit leidt tot meer onderhoudsademhaling en daarmee tot een lagere vruchtgroei.
- De relatieve opbrengststijging is vlak na de winter groter dan aan het einde van het seizoen, maar de absolute opbrengststijging is aan het einde van het seizoen groter dan vlak na de winter. Dit komt omdat de effecten van bladplukken relatief steeds minder belangrijk worden.
- Desalniettemin zijn de opbrengstverschillen in absolute zin rond eind mei het grootst. Dan zijn de effecten van vruchtuitgroeiduur en onderhoudsademhaling helemaal uitgewerkt.

Bladpluk bij tomaat is eigenlijk al standaard praktijk: aan de onderkant van het gewas wordt blad weggenomen. De vraag is of er extra blad moet worden weggenomen. Het antwoord hierop is 'Ja, met mate'. In het experiment bleek 55% bladpluk in de winter te veel van het goede, net als bladpluk in de zomer halverwege het gewas. De hoogste opbrengst van de behandeling 'normaal' (met 33% bladpluk) was gekoppeld aan een balans tussen gemiddeld vruchtgewicht en aantal vruchten, die op seizoensbasis beide goed zijn. De cruciale factor in de bepaling hoeveel bladoppervlak er gehandhaafd moet worden is de hoeveelheid licht. Een LAI van 2 in de donkerste periode is het absolute minimum. Scenarioberekeningen wijzen uit dat bladpluk rond januari – de tuinderspraktijk - tot een hogere opbrengstijging leidt dan bladpluk rond december.

Als er weinig licht wordt voorspeld, kan er iets meer blad worden geplukt, maar zeker niet te veel. De proef heeft ons gewezen op het gevaar van te veel bladpluk bij weinig licht. Meer assimilatielicht (indien mogelijk) kan ook worden ingezet. Als er meer zonlicht wordt voorspeld, kan er minder blad worden geplukt om volop gebruik te maken van dit extra licht. Vanuit productieperspectief kan het gebruik van de assimilatiebelichting voortgezet worden.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

De resultaten van het project 'Het Nieuwe Gewas; Sturen van de plantvorm voor verhoogde lichtbenutting' (de Gelder *et al.* 2016) dat in het seizoen 2014-2015 liep, laten zien dat met een open gewasstructuur een betere lichtbenutting te bereiken is. Door de open gewasstructuur waarbij bewust jong blad werd geplukt (55% van de aangelegde bladeren werd weggenomen) werd de verdeling van assimilaten tussen blad en vrucht gewijzigd ten gunste van de vrucht. Door het opener gewas drong het licht dieper door in het gewas en kregen lager gelegen bladlagen meer licht. De afstand tussen de resterende bladeren werd door de kortere internodiënlengte wel iets minder, maar dit compenseerde niet voor de lagere lichtonderschepping. De fotosynthese capaciteit van de onderste bladeren in het opener gewas is alleen bij hoge lichtintensiteit (> 500 $\mu molm^{-2}\ s^{-1}$) hoger. De verandering van de gewasstructuur leidde daarnaast tot minder gewasverdamping zodat er in de winter minder warmte nodig was om het vocht af te voeren. Maar ook werd aangetoond dat de productiewinst voornamelijk in de winter werd behaald en dat dit in de zomer teniet werd gedaan als gevolg van een te zwak vegetatief apparaat.

Het uitgangspunt van het project Het Nieuwe Gewas was dat de bouw van de plant wordt bepaald door watergift, nutriënten, onderstam, planttype en klimaat. Menselijk ingrijpen zoals blad wegnemen, trossnoei, indraaien, oogsten, bladplukken, en stengels bijmaken volgen het natuurlijke ontwikkelingsproces. Stap 1 is het natuurlijke proces zo sturen dat we een gewenste plant krijgen die in stap 2 zo nodig door menselijk handelen nog beter in vorm is te krijgen. Bij de start van het project Het Nieuwe Gewas is als uitgangspunt gesteld dat de ervaring leert dat onder diffuus glas een sterkere generatieve groei ontstaat, wat suggereert dat de stengeldichtheid onder diffuus glas verhoogd kan worden. In het onderzoek Het Nieuwe Gewas en de discussies die zijn gevoerd rond het thema kennisinteractie over groei en ontwikkeling, fotosynthese en ademhaling zijn een aantal punten van de discussie opgekomen en zijn er nieuwe vragen naar een nog verdere verbetering van de lichtbenuttingsefficiëntie gerezen. Een belangrijk discussiepunt was de sturing van de assimilatiestroom. Welke hoeveelheden legt de plant vast in blad, vrucht en stengel (de wortels laten we vanwege de moeilijkheid om waar te nemen buiten beschouwing) en is die verder te sturen naar meer assimilaten in de vruchten? Daarbij kwamen ook vragen naar onderhoudsademhaling, groeiademhaling, donkerademhaling en de fotorespiratie.

Bij sturing van de assimilaten van blad naar vrucht is de opslag van de gemaakte suikers in verschillende vormen van suiker en in zetmeel een vraagstuk. Het vastleggen van de suikers in verschillende typen weefsel kent verschillen in energieconversie. Voor een verdere verbetering van het sturen van de assimilaten van de bladeren naar de vruchten is het nodig om het verloop van de suiker, zetmeel en andere C-verbindingen in de plant over het verloop van de dag en langere perioden te kennen en dit biochemisch uit te werken. In de proeven van de afgelopen jaren is vooral gelet op de totale droge stof aanmaak, maar niet naar de dynamiek van het proces daarachter. Het kennen van die dynamiek kan bijdragen aan de verdere optimalisatie van de lichtbenutting door de plant.

Verbetering van de lichtbenutting door de plant is een van de pijlers voor energiebesparing in de belichting en kan ook toegepast worden in onbelichte teelten. In 2013 zijn voor een betere lichtbenutting in de belichte teelt de volgende vijf te nemen stappen omschreven (Marcelis en de Gelder, 2013), te weten zo veel mogelijk:

- Molen natuurlijk licht in de kas,
- Molen uit een kwh elektra in de kas,
- Molen onderscheppen door het gewas,
- Assimilaten uit een onderschepte mol,
- Assimilaten naar te oogsten bloemen/vruchten.

De eerste twee stappen zijn technologische oplossingen. De derde stap: een gewas maken dat het licht maximaal onderschept is te realiseren, maar dit kan in conflict zijn met stap 4 en 5. Als het onderschepte licht niet benut kan worden in de fotosynthese of grotendeels wordt gebruikt voor delen van het gewas die niet verkocht worden, dan is de effectieve benutting niet optimaal. De laatste stap is plantkundig de meest uitdagende en daar is het meeste winst te behalen. De uitdaging is om een gewas te maken dat uit het onderschepte licht een maximale productie in gram per mol licht realiseert. Daarvoor is kennis nodig over de verdeling van de assimilaten in een plant en hoe de plant de assimilaten gebruikt. In het hier gerapporteerde project worden deze processen geanalyseerd en uitgewerkt voor tomaat als modelgewas, maar de kennis is ook van belang voor andere gewassen, zoals paprika, komkommer en aubergine. De verdeling van assimilaten binnen een plant en het gebruik in ademhaling is in de basis voor alle gewassen onderworpen aan dezelfde processen, zowel voor groenten als siergewassen.

Vragen:
1. Hoeveel wordt er geproduceerd? De bron ligt bij de fotosynthese van het blad en mogelijk de stengel.
2. Hoe verloopt het transport? De vraag, zeker bij een kleine tomaat met een lage potentiële groeisnelheid, is of de assimilaten tijdelijk in buffers worden geplaatst, waar deze buffers zich bevinden (blad, stengel) en of de assimilaten in de vorm van korte oplosbare suikers worden opgeslagen of dat dit gebeurt als lange niet-oplosbare zetmeelstructuren. Hoe meer omzettingen van suikers <-> zetmeel, hoe meer conversieverliezen.
3. Wat is de verdeling van de assimilaten over de organen? Is de kennis die enkele decennia geleden is ontwikkeld (Heuvelink, 1996; de Koning, 1994) nog actueel voor de brede variëteit aan type vruchten die we momenteel kennen?

1.2 Doelstellingen

1. De planning van de belichting optimaal afstemmen op de gewasbehoefte. De doelstelling is om 5 % energie zuiniger te belichten dan in het experiment van 2014-2015.
2. Verbetering van de lichtbenuttingsefficiëntie door combinatie van een open gewas structuur, stengeldichtheid of aantal bladeren per stengel. Hierdoor moet de productie in de winter met 5% stijgen. In combinatie met de geoptimaliseerde belichting levert dit verbetering van de efficiëntie op die ongeveer 7.5% moet zijn, ten opzichte van de efficiëntie in de proef 2014-2015.
3. Onderzoek van de processen die de grondslag vormen van deze verbeterde lichtbenutting, door de assimilatie verdeling en het gebruik van de assimilaten inclusief ademhaling.
4. Het project moet uiteindelijk leiden tot praktische kennis voor een betere lichtbenutting in de belichte en onbelichte teelt bij hoog opgaande groentegewassen.

1.3 Inpassing

De kennis over de gewasstructuur kan eveneens worden gebruikt in de onbelichte teelt om daar efficiënter met licht om te gaan en de verdamping te verminderen.

1.4 Dankwoord

Het project werd in het kader van het programma ‘Kas als Energiebron’ gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw, onder projectnummer 20033.

Dank gaat uit naar Hanjo Lekkerkerk, Mary Warmenhoven en Johan Steenhuizen voor het uitvoeren van een groot aantal metingen aan het gewas en naar het kaspersoneel van Wageningen University & Reasearch, BU Glastuinbouw voor het zorgvuldig verzorgen van het gewas.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Proefopzet

2.1.1 Experimentele details

Ras:	Brioso
Plantdatum:	12 oktober 2015; eerste tros tegen de bloei aan
Plantdichtheid:	1.25 planten m^{-2}
Stengels per plant:	• Bij planten 2 stengels per plant => 2.5 stengels m^{-2}. • 10 december 2015: 1 op de 4 stengels (1 op de 2 planten) een extra dief => 3.125 stengels m^{-2}. • 25 jan 2016: 1 op de 4 stengels (1 op de 2 planten) een extra dief => 3.75 stengels m^{-2}.
Begin bladplukbehandelingen:	Eind oktober (volgend na BCO van 22 oktober)
Toppen:	week 30 2016
Laatste oogst:	5 september 2016
Compartimenten:	6.07, 6.08, 6.09

2.1.2 Teeltstrategie

Er werd naar gestreefd om alle behandelingen hetzelfde klimaat te geven.

Figuur 2.1 *SON-T belichting boven het gewas.*

Belichting
De assimilatie belichting met SON-T met een totale sterkte van ca. 210 µmol m^{-2} s^{-1} was in 3 schakelbare groepen verdeeld. De aanvullende belichting werd voorafgaand aan en tijdens de normale dagperiode gegeven. In de winter werd in het uur voor de natuurlijke zonsondergang in fases het assimilatielicht uitgezet, zodat de planten een natuurlijke overgang van licht naar donker hadden.
Door een hoge intensiteit te installeren met de nieuwste type armaturen en reflectoren kon ook bij het gedeeltelijk afschakelen van de installatie een redelijke lichtverdeling worden bereikt.

Temperatuur
De temperatuurstrategie werd in overleg met de Begeleidingscommissie Onderzoek (BCO) zo nodig aangepast aan de gewasontwikkeling.

CO_2
Bij licht tussen 600 en 700 ppm. Bij gesloten luchtramen mocht de concentratie naar 800 ppm.

Bladplukstrategie
Het voornemen was om aan het einde van het belichtingsseizoen naar de zomer toe de behandelingen van bladplukken zo nodig aan te passen, minder bladplukken en/of extra koppen aan te houden, maar er wel naar te streven om verschillen in gewasstructuur te handhaven. De bedoeling was om aanpassingen dusdanig te doen dat naar de zomer situatie toe een goede groei te blijven realiseren. In de praktijk moest deze strategie worden aangepast. Zie paragraaf 2.1.3.

2.1.3 Behandelingen

Winterbehandelingen
De winterbehandelingen werden na de bloei van de 2e tros ingezet.

Tabel 2.1
Beschrijving van de winterbehandelingen.

Compartiment	Behandeling	Bladpluk	Aantal bladeren per stengel	Opmerking
608	Normale LAI	33%	11-12	In de kop werd per tros 1 op de 3 bladeren geplukt
609	Lage LAI	55%	10-11	In de kop werden per drie trossen respectievelijk 2 op de 3, 2 op de 3, en 1 op de 3 bladeren geplukt.
607	Extra lage LAI	55%	8-9	Bladpluk in de kop als bij 'Lage LAI'. Aan de onderkant relatief vroeg bladplukken

Figuur 2.2 *Illustraties en een korte beschrijving van de behandelingen in de wintermaanden.*

Zomerbehandelingen
In de loop van januari bleek dat de gewassen in de afdelingen waarbij extra blad werd geplukt, een zwakke stand vertoonden. In overleg met de BCO werd besloten om gedurende 4 weken in beide afdelingen geen blad meer uit de kop te verwijderen, zodat het gewas meer kracht kon krijgen. In de grote BCO van 24 februari werd besloten om enkele weken later andere bladplukbehandelingen uit te gaan voeren (zie Tabel 2). In week 10 is gestart met het opbouwen van de nieuwe bladplukbehandelingen.

Het resultaat van deze aanpak is dat de winter- en zomerbehandelingen eigenlijk los van elkaar staan.

Tabel 2.2
Beschrijving van de zomerbehandelingen.

Compartiment	Behandeling	Bladpluk	Aantal bladeren per stengel	Opmerking
608	Normale LAI	33%	11-12	In de kop werd per tros 1 op de 3 bladeren geplukt
609	Normale LAI	0% / 66%	10-12	In de kop werd per tros 1 op de 3 bladeren geplukt. Bij de 4e/5e tros werden 2 op de 3 bladeren geplukt.
607	Hoge LAI	0%	14-16	Bladpluk onderin op dezelfde hoogte als bij normale LAI.

Dit leidt tot de volgende terminologie voor de behandelingen, op de LAI gebaseerd, die in de rest van dit rapport wordt gebruikt:

Normaal (compartiment 608)
Laag – normaal (compartiment 609)
Extra laag – hoog (compartiment 607)

Tomaat 2015-2016 zomer behandelingen

Normale LAI

33% bladpluk

11-12 bladeren per stengel

Winter: Lage LAI

Zomer: Normale LAI
0% bladpluk bovenin
66% bladpluk bij 4e/5e tros
10-12 bladeren per stengel

Winter: Zeer lage LAI

Zomer: Hoge LAI
0% bladpluk bovenin
Zelfde diepte als standaard
14-16 bladeren per stengel

12

Figuur 2.3 *Illustraties en een korte beschrijving van de behandelingen in de zomermaanden.*

2.1.4 Kasinrichting en technische uitvoering

Kasinrichting:
Er is gebruik gemaakt van de compartimenten die in 2014 waren ingericht voor dit type onderzoek.

- De kassen zijn voorzien van diffuus glas met hoge haze, dubbelzijdige AR coating en hoge lichttransmissie. Waarden: droog glas 83.6% hemisferische transmissie, nat glas +4%; haze 0.73. Totale transmissie: 6.07 = 62.7%, 6.08 = 62.9%, 6.09 = 64.8%.
- De teeltgoten zijn zo opgehangen dat er voldoende ruimte is tussen de lampen en de kop van het gewas.
- In elke afdeling is voor registratie van de verdamping een weeggoot geïnstalleerd waarbij zowel gewas als substraat gewogen kan worden.
- De belichtingsinstallatie is schakelbaar in 3 groepen met de nieuwste armaturen en reflectoren.
- De afdelingen zijn uitgerust met twee doeken, namelijk een energiescherm en een lichthinder scherm.
- Per kas in totaal 6 dubbele rijen van 12 m lang.

Gewasverzorging:

- De trossnoei was in alle behandelingen gelijk. De eerste tros op 10 vruchten, om onder andere de vegetatieve groei wat te remmen. In de winter 8 vruchten per tros, na de winter 9-10 vruchten per tros. In de winter wordt extra gelet op de juiste mate van zetting.
- Begeleidingsbijeenkomsten van telers, adviseur en onderzoek.Voeding: Een meer generatieve teelt dan 2014-2015, zeker wat betreft bemesting, die beter aansloot bij de praktijk en minder NO_3^- en meer Cl en SO_4^{2-} (sulfaat) kende.

Gewasbescherming:

- Telen zonder Botrytis.

Figuur 2.4 *Jasper Oussouren en Hans Bouten van de kleine BCO.*

2.1.5 Overleg en Samenwerking

De grote BCO kwam ongeveer iedere 6 weken bijeen en bestond uit Rob van Marrewijk (Lema tomaten), Jasper Oussouren (Oussoren), Cees Maan (van der Lans), Cor van der Kaaij (RedStar), Hans Zwinkels (Zwinkels Tomaten), Nic van Roosmalen (Agrocare), Pieter van Staalduinen (van Marrewijk), Hans Bouten (CombiVliet) en John Verbruggen (RijkZwaan).

De kleine BCO kwam 2-wekelijks bijeen en bestond uit Hans Bouten, Rob van Marrewijk en Jasper Oussoren. Daarnaast is op onregelmatige momenten advies gegeven door John Verbruggen van RijkZwaan (het veredelingsbedrijf van Brioso).

2.2 Waarnemingen

2.2.1 Monitoring (automatisch)

1. Lichtverdeling in het gewas door middel van een reeks van 6 Apogee lijnsensoren die tussen twee gewasrijen van boven naar beneden zijn geïnstalleerd (http://www.apogeeinstruments.co.uk/).
2. Verdamping door de weeggoot.
3. Klimaat binnen en buiten.
4. Temperatuur en vochtigheid hoog en laag in het gewas.
5. Instellingen.
6. Energieverbruik.

2.2.2 Periodieke gewaswaarnemingen

Tabel 2.3
Overzicht van de periodieke gewaswaarnemingen.

Eigenschap	Dimensie	Direct / afgeleid	Frequentie	Opmerking
Lengtegroei plant	cm $week^{-1}$	Direct	Wekelijks	
Plantlengte	m	Afgeleid	Wekelijks	
Bladlengte	cm	Direct	Wekelijks	
Stengeldiameter	mm	Direct	Wekelijks	
Bloei	#tros + # vrucht	Direct	Wekelijks	
Zetting	#tros + # vrucht	Direct	Wekelijks	
Ontwikkelingssnelheid	#tros $week^{-1}$	Afgeleid	Wekelijks	Verschil tussen bloei van vorige en huidige week
Zetting	#tros m^{-2}	Afgeleid	Wekelijks	Verschil tussen zetting van vorige en huidige week
Plantbelasting	#trossen m^{-2}	Afgeleid	Wekelijks	
Geoogste tros	#tros	Direct	Wekelijks	
Geoogste vruchten	# m^{-2} $week^{-1}$	Direct	Wekelijks	
Versoogst	kg m^{-2} $week^{-1}$	Direct	Wekelijks	Op basis van meerdere oogsten per week, indien nodig
Vers vruchtgewicht	g $vrucht^{-1}$ $week^{-1}$	Afgeleid	Wekelijks	
Cumulatief aantal geoogste vruchten	# m^{-2}	Afgeleid	Wekelijks	
Cumulatief aantal geoogste trossen	# m^{-2}	Afgeleid	Wekelijks	
Cumulatieve versoogst	kg m^{-2}	Afgeleid	Wekelijks	
Gemiddeld vruchtgewicht cumulatief	g $vrucht^{-1}$	Afgeleid	Wekelijks	
Aantal klasse 2 vruchten	# m^{-2} $week^{-1}$	Direct	Wekelijks	
Gewicht klasse 2 vruchten	kg m^{-2} $week^{-1}$	Direct	Wekelijks	
Vruchtkwaliteit		Direct	Eens per maand of 2 maanden	Verschillende eigenschappen

2.2.3 Destructieve oogsten

Op de volgende data zijn destructieve oogsten uitgevoerd:
- 12 oktober 2015 (planten).
- 4 december 2015.
- 15 januari 2016.
- 26 februari 2016.
- 3 juni 2016.
- 29 juli 2016.
- 6 september 2016 (eindoogst).

Hierbij zijn de volgende bepalingen verricht.

- Vers- en drooggewichten van vruchten, bladeren en stengels. Bepaling van wortelgewicht was helaas niet mogelijk.
- Bladoppervlak (uitgevoerd met een LAI meter)

Figuur 2.5 *Hanjo Lekkerkerk tijdens het nemen van een periodieke oogst.*

Per destructieve oogst zijn er per compartiment 4 planten uit het gewas genomen, waarbij steeds rekening is gehouden met, of correcties zijn uitgevoerd voor, het aantal hoofd- en zijstengels. De gaten in het gewas die door het wegnemen van de planten ontstonden, zijn zo goed mogelijk opgevuld door een aantal weken voor de periodieke oogst bij de buurplanten extra stengels aan te houden.

2.2.4 Bladoppervlak

Het bladoppervlak is bij iedere destructieve oogst met een LAI meter bepaald. Daarnaast is er een kalibratielijn tussen bladlengte en bladbreedte, en bladoppervlak ontwikkeld. Met behulp van de beste kalibratielijn is vervolgens op snellere wijze een- of tweewekelijks het bladoppervlak bepaald.

2.2.5 Lichtonderschepping

In elk van de drie kassen (drie behandelingen) zijn zes Apogee SQ-311 lijnsensoren voor PAR licht onder elkaar in een centraal gelegen gewasrij geplaatst. PAR wordt door deze sensoren gemeten in het traject van 400 tot 650 nm. De lichtonderschepping door het gewas kan worden ontleent aan de gemiddelde lichtintensiteit op deze sensoren

2.2.6 Fotosynthese van de bladeren

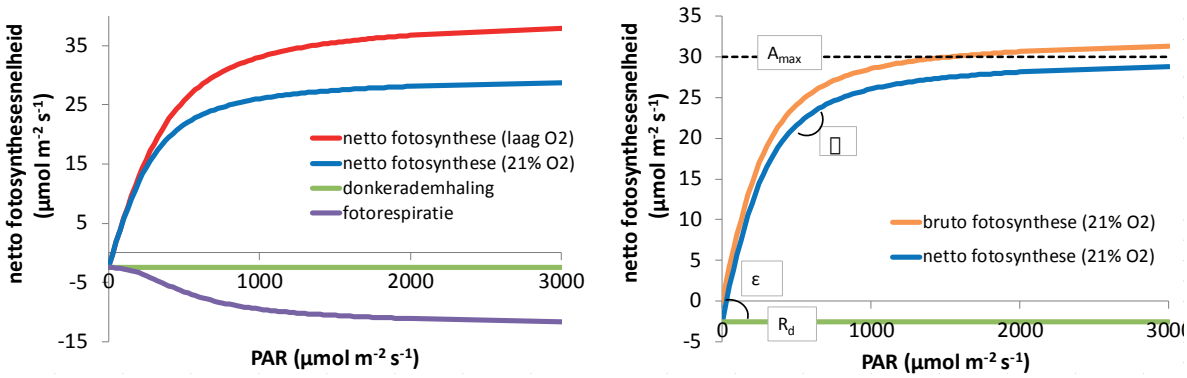
Het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthesesnelheid wordt met een curve beschreven die bij een hoge lichtintensiteit een plateau bereikt.

$$Ass = \left(\varepsilon R + \left(A_{\max} + R_d \right) - \sqrt{\left(\left(\varepsilon R + A_{\max} + R_d \right)^2 - 4\Theta\varepsilon R\left(A_{\max} + R_d \right) \right)} \right) / (2\Theta)$$

Waarin:

Ass : netto CO_2-assimilatiesnelheid (µmol m^{-2} s^{-1})
$A_{\max}$: maximale netto CO_2-assimilatiesnelheid bij (zeer) hoge lichtintensiteit (µmol m^{-2} s^{-1}) uit het
R_d : dagademhaling (µmol m^{-2} s^{-1}) (Let op: in deze formule heeft R_d een positieve waarde!)
ε : initiële lichtbenuttingssnelheid (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} / [µmol PAR m^{-2} s^{-1}])
Θ : parameter die de buiging van de curve beschrijft
R : fotosynthetisch actieve straling (PAR, µmol m^{-2} s^{-1})

Om de bruto assimilatatiesnelheid te berekenen, moet bij netto assimilatiesnelheid de dagademhaling worden opgeteld.



Figuur 2.6 *Voorbeeld van netto fotosynthese bij hoog en laag O2, donkerademhaling en fotorespiratie in afhankelijkheid van het lichtniveau (links) en een grafische weergave van de parameters van de fotosynthese-lichtresponscurve.*

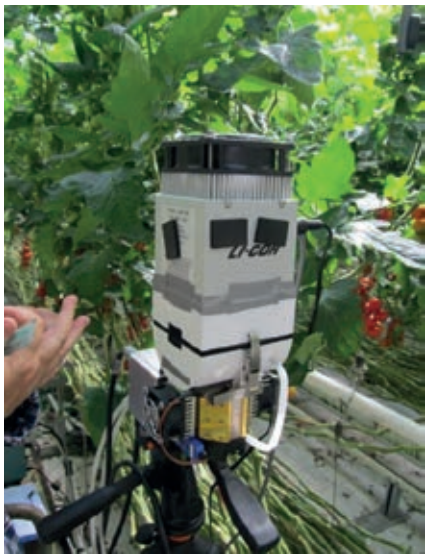
De vraag is of de behandeling, het CO_2 niveau, de hoogte in het gewas of het tijdstip (ook een soort behandeling) een effect heeft op een van de vier parameters.

Op twee momenten tijdens de teelt, te weten in de wintermaand februari en de zomermaand juli is de fotosynthese in afhankelijkheid van licht en CO_2 gemeten. Bij twee CO_2-niveaus (700 en 1400 ppm) zijn op drie hoogtes in het gewas (bovenin, midden, onderin) de fotosynthese-lichtresponscurves bepaald bij PAR niveaus van 1500, 1200, 900, 600, 300, 200, 100, 50 en 0 µmol m^{-2} s^{-1}. Dit levert de netto fotosynthesesnelheid (Figuur 2.3) en een eenvoudige benadering van de 'dag' ademhaling (zie ook 2.2.5.1).

2.2.6.1 Dagademhaling

Wat vaak de donkerademhaling wordt genoemd is eigenlijk de dagademhaling R_d en, om heel precies te zijn 'niet-fotorespiratieve CO_2 afgifte in het licht'. De echte donkerademhaling R_{dk} vindt plaats in de nacht. R_d is moeilijk direct te meten omdat het de combinatie is van fotosynthetische CO_2 fixatie en fotorespiratie (zie 2.2.8.1). Er zijn een aantal methoden ontwikkeld, waarvan die van Yin *et al.* (2011) de meeste voordelen biedt. Er worden lichtresponscurves bij lage lichtniveaus (5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200 mmol m^{-2} s^{-1}) bepaald, en bij 21% O_2 en 2% O_2. De te gebruiken waarde wordt geleverd door de lichtresponscurve bij 21% O_2. Een zuurstofconcentratie van 2% geeft een lagere fotorespiratie, maar Yin *et al.* (2011) toonden aan dat het effect van de zuurstofconcentratie op R_d niet consistent was.

2.2.7 Fotosynthese van de vruchten



Figuur 2.6 *Het meten van de fotosynthese van vruchten.*

In de berekening van de bladfotosynthese wordt uitgegaan van de hoeveelheid licht dat het blad raakt. De lichtonderschepping wordt op gewasniveau gemeten of berekend, niet alleen rekening houdend met de aanwezigheid van bladeren, maar ook met die van vruchten en stengels. Conceptueel moet aan de fotosynthese van de bladeren fotosynthese van de vruchten en van de stengels worden toegevoegd om uiteindelijk de gewasfotosynthese te verkrijgen. Er zijn daarom metingen verricht aan de fotosynthese van vruchten om te bepalen of deze bijdragen aan de gewasfotosynthese.

Uitgaande van een gemiddelde vruchtdoorsnede van 1.5 cm (het maximum is 2.5, maar de bovenste vruchten zijn kleiner), 6 trossen per plant, 9 vruchten per tros en 4.17 stengels m^{-2} is het totale vruchtoppervlak 0.22 m^2 m^{-2}. De helft hiervan zal licht onderscheppen, dus 0.11 m^2 m^{-2}. Maa, het groene vruchtoppervlak dat zou kunnen fotosyntetiseren ligt hieronder, mogelijk op de helft: zo'n 0.06 m^2 m^{-2}. Dat is beperkt, maar het loont toch de moeite om de fotosynthesesnelheid met metingen te verifiëren.

NB: Bij grotere vruchten met een doorsnede van 5 cm is het fotosynthetiserend oppervlak 0.25-0.5 m^2 m^{-2}, afhankelijk van de kengetallen.

Het bleek lastig om goede metingen te verkrijgen, onder meer omdat het steeltje snel lekkage gaf. Maar deze technische problemen konden worden opgelost

2.2.8 Fotosynthese van de stengel

Het was technisch helaas niet mogelijk om dit uit te voeren. De beschikbare cuvetten waren niet geschikt voor een (deel van de) stengel.

2.2.9 Respiratie

Er zijn verschillende soorten ademhaling, die assimilaten gebruiken die eerder door de fotosynthese is vastgelegd en dus ten koste gaan van de groei.

2.2.9.1 Fotorespiratie

De fotorespiratie is inherent aan de fotosynthese zelf en kan 30% van de bruto fotosynthese bedragen (Figuur 2.3). Fotorespiratie ontstaat doordat O_2 de CO_2 verdringt in de binding aan rubisco. Verhoging van het CO_2 gehalte in de kaslucht leidt in principe tot minder fotorespiratie. Fotorespiratie is afhankelijk van de lichtintensiteit, zodat er lichtresponscurves zijn gemaakt in januari en juni 2016. De lichtresponscurves zijn uitgevoerd bij 2% O_2 en het normale niveau van 21% O_2; het verschil is de fotorespiratie. Er is aangenomen dat de fotorespiratie redelijk stabiel is voor wat betreft andere klimaatfactoren dan het lichtniveau. Het is te verwachten dat de fotorespiratie wel wordt beïnvloed door de bladleeftijd, maar daarvoor moet het blad ouder zijn dan in een commercieel tomatengewas aanwezig is.

2.2.9.2 Groeiademhaling

De groeiademhaling is het gevolg van de opname van water en nutriënten, het transport van assimilaten, en de synthese van het eindproduct. Ook de groeiademhaling kan oplopen tot 30% van de netto fotosynthese. In de jaren '70 en '80 is vaak een biochemische benadering gevolgd waarbij op basis van de samenstelling van organen de energie werd berekend die het kost om componenten als vetten, zetmeetstructuren en eiwitten te vormen (bijvoorbeeld Penning de Vries *et al.* 1974). In principe houdt deze werkwijze nog steeds stand: de biochemie is niet veranderd. De groeiademhaling is niet met klimaatbeheersing te beïnvloeden. Eventueel kan een strategisch besluit om bijvoorbeeld een ras met zaadloze vruchten te telen tot minder groeiademhaling leiden.

De vraag is wat de orgaansamenstelling is van moderne rassen onder moderne teeltomstandigheden. Beide zijn de laatste decennia veranderd, wat mogelijk invloed heeft gehad op de orgaansamenstelling. In dit experiment zijn daarom orgaansamenstellingen in laboratoria bepaald om te beoordelen of de kennis die voornamelijk in de

jaren ’70 van de 20e eeuw is verkregen, nog steeds bruikbaar is.

2.2.9.3 Onderhoudsademhaling

De onderhoudsademhaling houdt verband met het feit dat plantenmateriaal afsterft of schade oploopt en vervangen moet worden. De onderhoudsademhaling is temperatuurafhankelijk (verdubbeling bij 10°C temperatuurstijging), en kan daarom via klimaatbeheersing worden beïnvloed. Er liggen twee belangrijke vragen:

a. Bestaan er dagpatronen in de onderhoudsademhaling? Is het mogelijk om ’s nachts via een lagere temperatuur de ademhaling te reduceren, terwijl overdag een hogere temperatuur wordt toegestaan, waarbij de etmaalsom van de onderhoudsademhaling gelijk blijft of zelfs kleiner wordt?
b. Wat is precies het leeftijdseffect op de onderhoudsademhaling? Er is bekend dat een oud orgaan lagere onderhoudskosten heeft dan een jong orgaan. Maar we kunnen dit niet precies kwantificeren. Het is natuurlijk niet mogelijk om oud stengelmateriaal bij een tomaat te verwijderen. Wel kan oud blad worden verwijderd, en kan er met meer nauwkeurige kennis beter worden geoptimaliseerd. Misschien is er iets meer ruimte om de temperatuur te verhogen?

2.2.10 Assimilatenstromen en -opslag

Oplosbare suikers (sucrose, fructose en glucose) en niet-oplosbaar zetmeel in het blad zijn op 1 maart en 3 mei 2016 op verschillende gewashoogtes en een aantal malen per dag gemeten.

2.2.11 Smaak en houdbaarheid

Ongeveer eens per maand werden smaak en houdbaarheid van vers geoogste tomatenvruchten bepaald. De volgende waarnmeningen werden gedaan:

- Smaakcijfer (schaal 1-100).
- refractie (°Brix).
- hoeveelheid titreerbaar zuur (mmol H_3O per 100 g).
- % sap geperst uit de vruchtwand van de tomaat.
- kracht tot breuk van de vruchtwant (Fbp, in N).
- vitamine C gehalte (mg per 100 g versgewicht).
- houdbaarheid (aantal dagen).

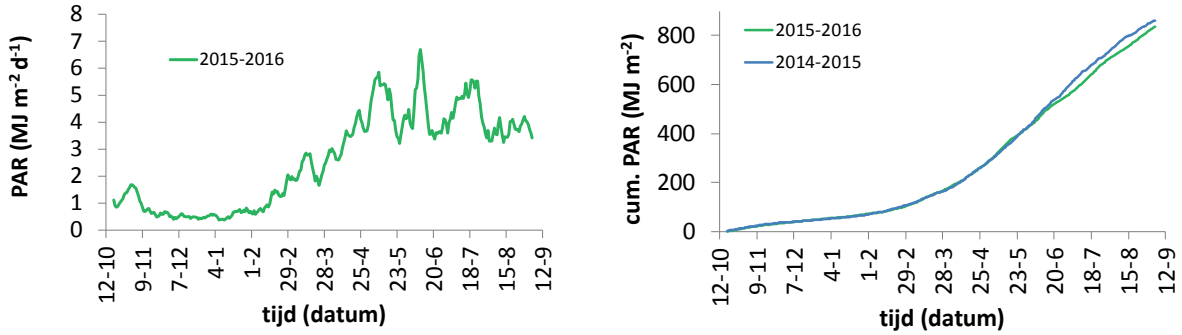
3 Resultaten

3.1 Klimaat

Zie voor meer Figuren Bijlage 2.

3.1.1 Straling

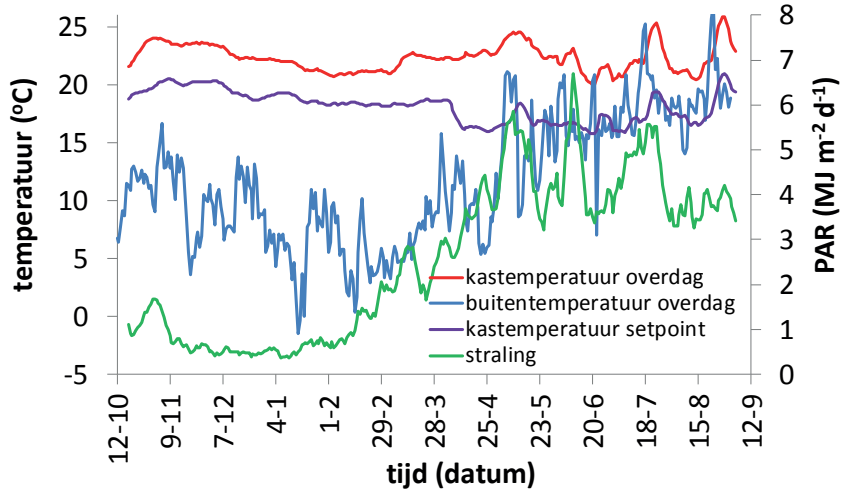
De dagelijkse fotosynthetisch actieve straling (PAR) in de kas varieerde van minder dan 1 MJ m^{-2} d^{-1} in de winter tot zo'n 7 MJ m^{-2} d^{-1} in de zomer. De zomer van 2016 kende een aantal donkere perioden, die tot een lagere cumulatieve PAR dan in 2014-2015 leidden (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 *Dagelijkse hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (links, PAR), die voor alle drie behandelingen gelijk was, en de cumulatieve PAR van 2015-2016 in vergelijking met die van het seizoen 2014-2015 (rechts).*

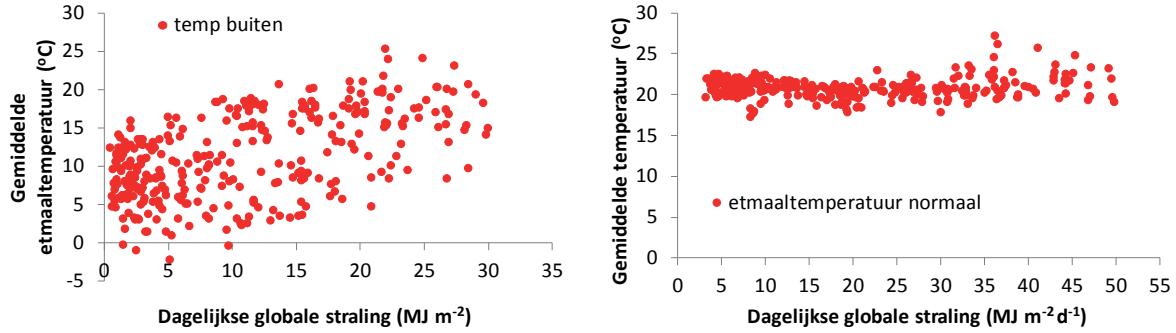
3.1.2 Temperatuur

De temperatuur (etmaal en overdag) was voor de drie behandelingen zo goed als gelijk. De begintemperatuur werd vrij hoog ingesteld om het gewas voldoende generatief te houden, maar dit werd in de loop van de winter naar beneden toe bijgesteld omdat de vegetatieve gewasontwikkeling te zwak bleek. In de loop van het voorjaar steeg de dagtemperatuur, terwijl deze in de zomermaanden flinke fluctuaties liet zien. Dit was mede afhankelijk van de straling en de buitentemperatuur. Als het gewas het aankon, werd gestreefd naar een wat hogere etmaaltemperatuur.



Figuur 3.2 *Gemiddelde etmaal- en dagwaarden van de kastemperatuur voor de behandeling 'normaal'.*

De relatie tussen dagelijkse straling (zonlicht + lamplicht in de kas) en gemiddelde etmaaltemperatuur is vlak (Figuur 3.3). Bij een gewas als gerbera wordt een stijgend verband toegepast – en dus ook gevonden. Bij een hogere straling wordt er een hogere temperatuur ingesteld. Dit is in deze tomatenteelt niet gebeurd. Ook de analyse van alleen de zomerwaarden geeft min of meer dezelfde resultaten.

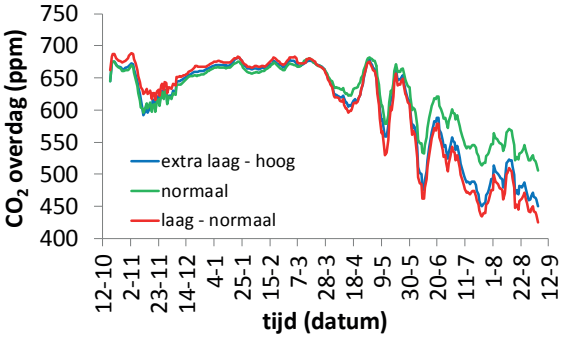


Figuur 3.3 *Relatie tussen de hoeveelheid dagelijkse globale straling buiten de kas, en de gemiddelde etmaaltemperatuur buiten (links) en binnen (rechts).*

3.1.3 CO_2

Het CO_2 niveau lag in de winter en het vroege voorjaar rond 650 ppm. In het late voorjaar en de zomer, met open ramen, nam het niveau uiteraard af, en wel tot ongeveer 450 ppm.

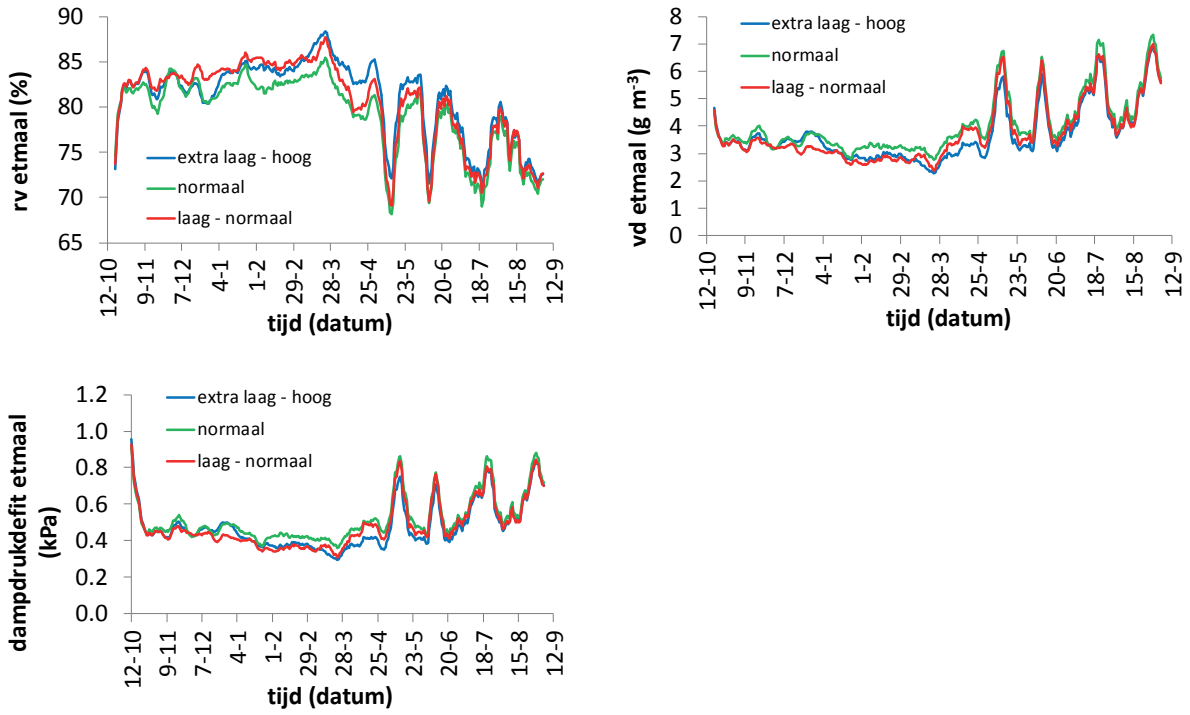
De CO_2 metingen voor twee behandelingen zijn ongeveer gelijk, terwijl een meting voor de derde behandeling in de zomer een hogere waarde laat zien. Dit kan niet de werkelijkheid zijn. Toegediende hoeveelheden CO_2 en raamstanden waren voor alle drie behandelingen gelijk, zodat ook de CO_2 concentratie hetzelfde zou moeten zijn. We hebben hier – helaas – te maken met een afwijking van het meetinstrument die binnen de foutenmarge van het instrument valt.



Figuur 3.4 *Gemiddelde dagwaarden van de CO_2 concentratie van de kaslucht voor de drie behandelingen.*

3.1.4 Luchtvochtigheid

De verschillende variabelen die de vochtigheid van de kaslucht beschrijven, waren voor de drie compartimenten nagenoeg gelijk. De praktijk kijkt veel naar de relatieve luchtvochtigheid (rv) of de dampdruk (vd). Voor de verdamping van het gewas is het dampdrukdeficit een betere maat. Hoe groter het dampdrukdeficit, hoe hoger de verdampingsnelheid. In de winter en het vroege voorjaar waren de waarden stabiel, terwijl er vanaf mei fluctuaties optraden die aan de straling en kastemperatuur waren gerelateerd.

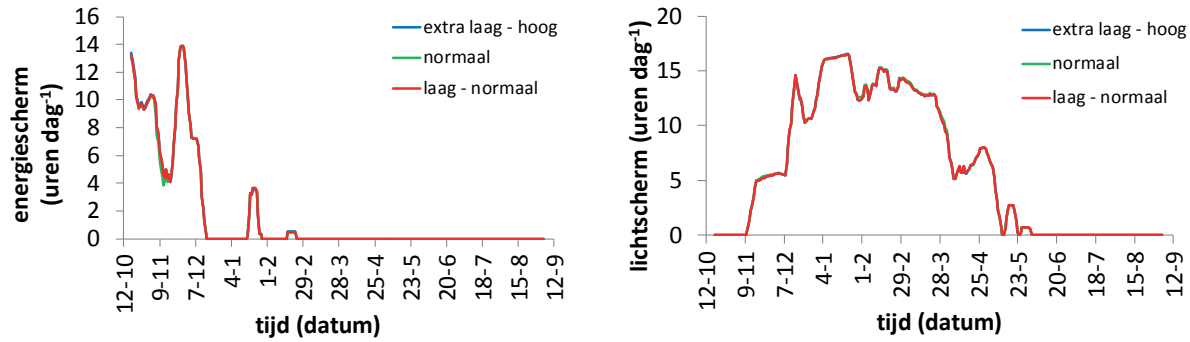


Figuur 3.5 *Gemiddelde etmaalwaarden van de relatieve luchtvochtigheid (rv), de dampdruk (vd) en het dampdrukdeficit voor de drie behandelingen.*

3.1.5 Schermgebruik en raamstand

Het gebruik van het energiescherm (Luxous1347FR) liep tot ongeveer half december, waarna vooral het gevelscherm en groeilichtscherm (Obscura9950FR) werden gebruikt tot ongeveer eind mei. Het einde van het schermgebruik, eind mei, viel samen met het meer ventileren.

Zie voor Figuren van de raamstanden Bijlage 2.

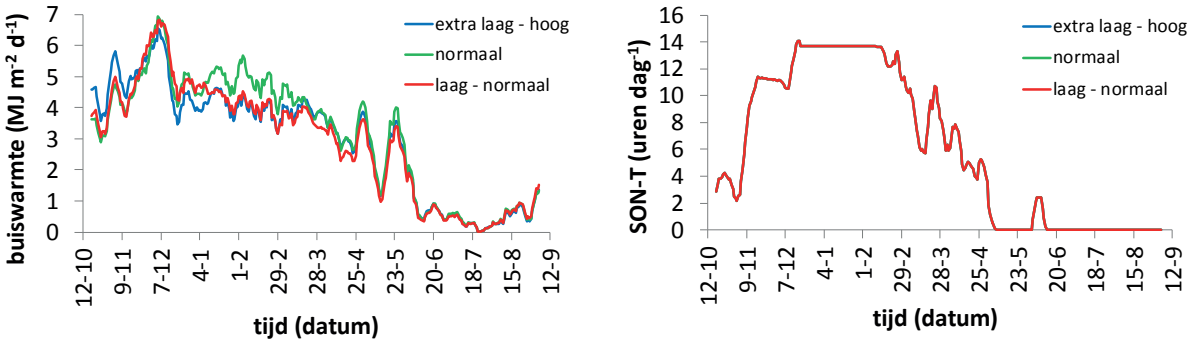


Figuur 3.6 *Gebruik van energiescherm(links) en lichtscherm (rechts) in de drie behandelingen.*

3.1.6 Energieverbruik

De groeibuis is t/m januari gebruikt, daarna alleen nog maar de buisrail. In het begin was het namelijk belangrijk om bij de 1e trossen warmte te brengen en daarmee te afrijping te stimuleren. (Bijlage 2). De maximale gebruikte buiswarmte was 6.8 MJ m^{-2} d^{-1} in de winter. De winterbehandeling met normale LAI kende t/m februari een hogere buiswarmte dan de winterbehandelingen met lage of extra lage LAI. Deze verschillen bleven ook in de overgangsmaand maart bestaan. Vanaf april, tijdens de zomerbehandelingen, was de buiswarmte niet meer zo duidelijk gerelateerd aan het bladoppervlak. De behandeling met de hoge LAI kende niet een duidelijk hogere buiswarmte om het extra verdampte water af te voeren. Dit kan verklaard worden uit het feit dat bij toenemende LAI de verdampingsnelheid weliswaar toeneemt, maar op een zeker moment toch afvlakt. Een hoge maar verder toenemende LAI heeft een beperkt effect op de verdampingssnelheid (zie ook paragraaf 3.2).

Op seizoensbasis werd er in de behandeling 'extra laag – hoog' 5.4% energie bespaard, en in de behandeling 'laag – normaal' 6.9%.



Figuur 3.7 *De gebruikte buiswarmte (links) en SON-T branduren (rechts) voor de drie behandelingen.*

Tabel 3.1

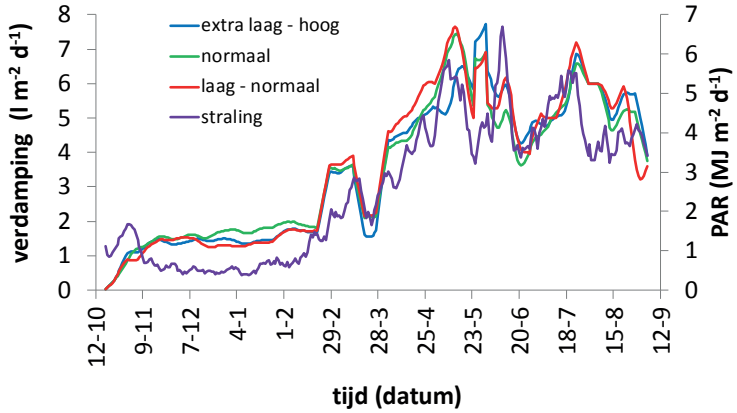
Buiswarmte voor drie perioden, namelijk tijdens de winterbehandelingen t/m februari, de overgangsmaand maart, en de zomerbehandelingen vanaf april. De besparingen te opzichte van de behadeling 'normaal' staan procentueel aangegeven.

Behandeling	buiswarmte (MJ m^{-2})									
	t/m feb		maart		t/m maart		april-aug		totaal	
Extra laag – hoog	622.2	-5.3%	121.1	-6.2%	743.3	-5.4%	231.4	-5.2%	974.6	-5.4%
Normaal	656.7		129.1		785.8		244.0		1029.8	
Laag - normaal	628.2	-4.3%	114.2	-11.5%	742.4	-5.5%	216.3	-11.6%	958.8	-6.9%

De belichting was met 14 uren per dag maximaal in de winter, en werd van begin februari tot eind april geleidelijk naar nul afgebouwd (afgezien van een piekje begin juni). Een belichtingsperiode van 14 uur per dag staat gelijk aan 1.55 kWh m^{-2} d^{-1}. De SON-T werd in totaal in alle behandelingen 1973 uren ingezet, wat een elektriciteitsverbruik 223.8 kWh m^{-2} betekende.

3.2 Water

De watergift bedroeg in de winter ongeveer 2 l m^{-2} d^{-1}, en in de zomer ongeveer 10 l m^{-2} d^{-1} (Bijlage 3). Met een drainpercentage van 25-45% resulteerde dit in een verdamping[1] van ongeveer 1.5 l m^{-2} d^{-1} in de winter en 4-6 l m^{-2} d^{-1} in de zomer. De verdamping volgde de straling. Daarnaast verdampte de behandeling met een normale LAI in de winter iets meer dan de behandelingen met een lage of extra lage LAI. Dit alles komt overeen met de bestaande kennis dat de verdamping in eerste instantie afhankelijk is van het verdampend oppervlak en de inkomende straling, en pas in tweede instantie van andere factoren zoals dampdrukverschil, temperatuur en CO_2 (Nederhoff, 1994; Stanghellini, 1987). Zoals in paragraaf 3.1.6 werd uitgelegd, heeft een hoge verder toenemende LAI slechts een beperkt effect op de verdampingssnelheid, zodat in de zomer de verdampingsnelheden elkaar niet veel ontlopen.



Figuur 3.8 *Verdamping van de drie behandelingen, en de vergelijking met de PAR.*

Tabel 3.2

De verdamping tijdens de winter (t/m februari), de overgangsmaand maart, en de zomer (april-augustus).

Behandeling	Verdamping (kg m^{-2})				
	t/m feb	maart	t/m maart	april-aug	totaal
Extra laag – hoog	204	87	291	850	1141
Normaal	226	92	318	828	1146
Laag - normaal	200	99	299	868	1167

[1] Eigenlijk betreft dit de wateropname voor de verdamping plus de wateropname voor de versgroei van het gewas.

3.3 Gewasstand

Oktober
De planten zijn 12 oktober in de kas gezet. In de 2e helft van de maand stonden ze generatiever dan in het seizoen 2014-2015. Op advies van de BCO werd de tros gesnoeid op 9 vruchten en werd er minimaal 1 vruchtje per tros verwijderd.

November
Begin november (week 44) stonden de planten er sterk op en leken ze energie over te hebben. In de middag werd daarom een hogere temperatuur aangehouden, het scherm eerder dichtgetrokken en de luchtvochtigheid verlaagd door meer te ventileren. In deze week werd gestart om tussen de behandelingen verschillen in aantal bladeren te maken door vanaf onderen extra blad te verwijderen. In week 45 en 46 werd de temperatuur in de afdelingen met extra bladplukken iets hoger ingesteld, omdat het gewas in beide afdelingen extra groeikracht leek te hebben, wat zich o.a. uitte in een paarse kop, mogelijk omdat het gewas hier het minst in het blad hoefde te investeren. Achteraf is er waarschijnlijk te veel belicht in verhouding tot de temperatuur. Eind november stond het gewas in de standaard het meest vegetatief. Planten met 55% bladplukken waren in de 2e helft van deze maand zo'n 10 cm korter dan in de standaard.

December
Begin december was het gewas te vegetatief, mogelijk mede door een relatief vochtig klimaat. Daarom werd er o.a. meer geventileerd. In de behandelingen met 55% bladplukken was het blad wat vlekkerig, mogelijk veroorzaakt door teveel belichten in relatie tot de etmaaltemperatuur, en had als gevolg daarvan begin november een assimilatenoverschot. Mogelijk is het chlorofyl toen teveel beschadigd en niet meer gerepareerd? De onderste bladeren vergeelden echter minder snel dan in de standaard behandeling doordat het licht dieper in het gewas kon dringen. In week 50 werd er overal bij 1 op de 4 stengels een extra dief aangehouden, waardoor de stengeldichtheid op 3.3 stengels m^{-2} uitkwam. Half december stonden de planten er in de afdeling waar het minste blad werd aangehouden er het beste op: sterkere trossen en meer paars in de kop. Eind december vertoonde juist het gewas in de standaardbehandeling de beste stand.

Januari
Half januari waren de gewassen in beide bladplukbehandelingen zodanig zwak geworden dat in de BCO besloten werd om hier een aantal weken geen blad meer uit de kop te halen, zodat het gewas kon herstellen. Als er veel trossen per week werden aangemaakt, werden er in de bladplukbehandelingen namelijk soms wel 3 blaadjes per week uit de kop verwijderd en dat is waarschijnlijk te veel van het goede geweest. In week 4 stond er in de standaard een goed gewas met mooie lange trossen. Het gewas was hier het meest vol, had langere en bredere bladeren en een dikkere kop. Het gewas in de andere behandelingen vertoonde echter een duidelijk herstel met krachtiger trossen en langer wordend blad, maar de gelige bladvlekken waren in de oudere bladeren nog steeds te zien. In week 4 is er weer bij 1 op de 4 stengels een extra dief aangehouden. Om de planten krachtiger te maken werd er in de afdelingen waar voorheen veel blad werd weggenomen, tijdelijk een wat lagere temperatuur aangehouden. Om de plant wat te ontlasten zijn de tomaten in het vervolg wat eerder geoogst.

Februari
In de controle stond er in week 6 een goed, generatief gewas. Ondanks het minste aantal bladeren oogde het gewas in de controle hier het meest vol. De planten in de andere afdelingen waren sterker geworden, maar stonden nog steeds minder dan in de standaard. In week 6 werd in beide behandelingen weer voor het eerst één op de drie blaadjes uit de kop verwijderd. In de week daarop werd er overal wederom één blaadje uit de kop verwijderd: meer blaadjes wegnemen was te veel voor de betreffende gewasstand. Op 24 februari werd in de grote BCO, gezien de stand van het gewas, besloten om de bladplukbehandelingen te wijzigen (zie Par. 2.1.3).

Maart
De gewassen kwamen in de 1e helft van maart qua gewasstand steeds dichterbij elkaar te liggen. In week 10 is begonnen met het opbouwen van de nieuwe bladplukbehandelingen in de afdelingen waar voorheen 55% van de kleine blaadjes werd weggenomen. In de standaardafdeling werd steeds doorgegaan met één op de drie blaadjes uit de kop verwijderen. In de 2e helft van maart leek het gewas in de standaard wat zwakker geworden, waarschijnlijk door een hogere plantbelasting. Waar 1/3 meer blad werd aangehouden, stond het gewas op dat moment het sterkst.

April
In het algemeen zouden de trossen begin april sterker mogen staan. Half april waren de gewassen qua gewasstand nog dichter naar elkaar toegekomen. In de standaard bladplukbehandeling was het gewas generatiever geworden. Het gewas met het meeste blad oogde erg vol.

Mei
In de kas waar meer blad werd aangehouden, gingen de onderste bladeren eerder vergelen. In dit gewas werd veel licht al bovenin weggevangen. In de kop waren er weinig verschillen tussen de behandelingen.

Juni
Begin juni waren de gewassen in alle behandelingen vrij dun en gerekt. Dit had waarschijnlijk te maken met een aantal weken met weinig instraling en relatief hoog gerealiseerde temperaturen. Half juni stonden de planten weer sterker. Wel kwamen er in alle drie de afdelingen enkele planten voor met lichte koppen. De oorzaak hiervan is onbekend. Aan de wortels was in ieder geval niets te zien.

Juli
Begin juli hadden de gewassen sterker mogen zijn. De vruchten werden grover. Eind juli stonden de planten er na de hete periode echter goed op. Er was slechts een enkel verbrand blaadje te zien. Dit was mogelijk mede dankzij het diffuse glas. In de afdeling waar halverwege de plant uitgegroeid blad werd verwijderd, stonden de planten wat minder sterk op de tros. Veel blad eraan laten zitten was zeker niet negatief voor de productie.

Augustus
Half augustus stond er overal een gezond gewas. Tijdens de hele teelt is Botrytis in geen enkele behandeling totaal geen probleem geweest. In de week van 23 augustus (week 34) is er ethrel toegepast. Twee weken later vond de laatste oogst plaats.

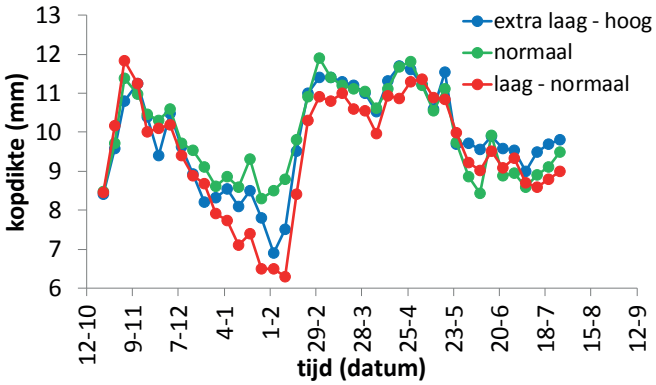
3.4 Lengtegroei en kopdikte

De lengtegroei over het hele seizoen was gemiddeld 27.4 cm week^{-1}, resulterend in een cumulatieve stengellengte van 11.97 m voor behandeling ‘extra laag-hoog’, 12.17 m voor behandeling ‘normaal’ en 11.99 m voor behandeling ‘laag –normaal’. In de winterbehandelingen is bladpluk geassocieerd met minder lengtegroei, wat overeenkomt met de bevindingen van de 2014-2015 proef toen duidelijkere verschillen werden gevonden omdat dezelfde behandelingen tot aan het einde van het teeltseizoen doorliepen. Tijdens de zomerbehandelingen zijn de verschillen kleiner, maar nog steeds geassocieerd met de LAI.

Tabel 3.3
Lengtegroei tijdens de winter (t/m februari), de overgangsmaand maart, en de zomer (april-augustus).

Behandeling	lengtegroei (cm)				
	t/m feb	maart	t/m maart	april-aug	totaal
Extra laag – hoog	564	160	504	473	1197
Normaal	603	158	528	456	1217
Laag - normaal	571	163	513	465	1199

De kopdikte laat duidelijke verschillen zien. Met name in de winter is de kopdikte van de winterbehandelingen 'laag' en 'extra laag' kleiner dan van 'normaal'. In de loop van de winter nam de kopdikte af van ongeveer 12 mm tot ongeveer 6.5-8.5 mm. Na het stoppen met de bladpluk en het herstel van het gewas in maart kwam de kopdikte voor alle behandelingen terug op ongeveer 11-12 mm. Begin juni zakte de kopdikte voor alle behandelingen tot ongeveer 9-10 mm vanwege een hoge plantbelasting in combinatie met lage instraling en relatief hoge temperaturen.

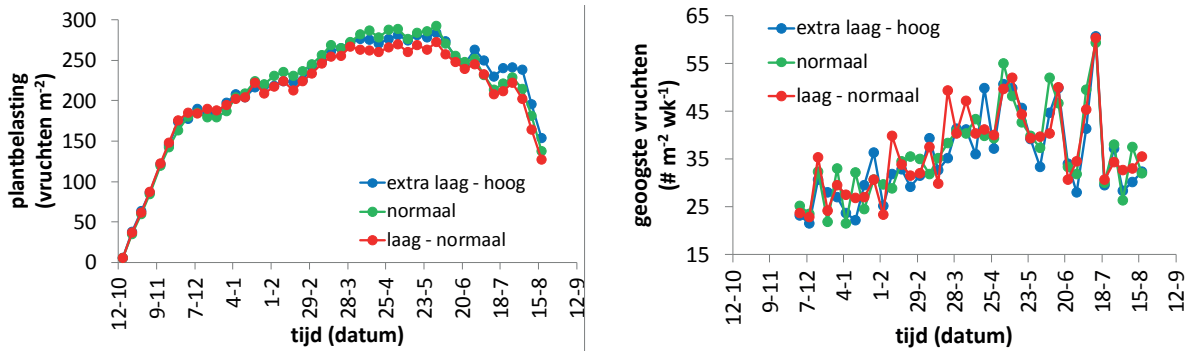


Figuur 3.9 *Kopdikte in de drie behandelingen.*

3.5 Aantal trossen en vruchten

De gemiddelde ontwikkelingssnelheid was 1.15 tros stengel^{-1} week^{-1}, en het totale aantal gezette trossen was 49 per stengel voor alle behandelingen. Het aantal trossen dat aan het gewas hing was gemiddeld 34 per m^2 voor behandeling 'laag-normaal' en 35 voor de andere twee behandelingen. Dit zijn geen noemenswaardige verschillen (35 trossen per m^2 = 9.3 trossen per stengel bij een 3.75 stengels m^{-2}). De conclusie is dat er geen behandelingsverschillen waren voor wat betreft de ontwikkelingssnelheid en de afrijpingssnelheid.

Het totaal aantal geoogste vruchten lag voor de behandeling 'extra laag – hoog' met 1339 m^{-2} lager dan dat voor de andere twee behandelingen (1380-1390). Het aantal vruchten per tros is tijdens de teelt blijkbaar niet precies gelijk geweest. Uit Figuur 3.25 zal blijken dat dit een belangrijke factor voor de uiteindelijke productie is geweest.



Figuur 3.10 *De plantbelasting (links) en het aantal geoogste vruchten (rechts) in de drie behandelingen.*

Tabel 3.4

Aantal trossen en vruchten in de drie behandelingen.

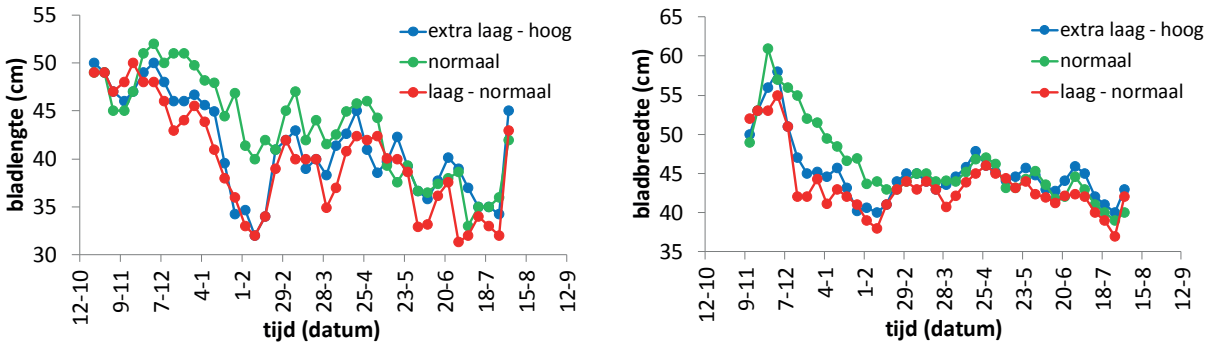
Behandeling	gezette trossen (cum. # stengel-1)	geoogste trossen (cum. # stengel-1)	Gemiddeld aantal trossen aan de plant (# m^{-2})	geoogste vruchten (cum. # m^{-2})
Extra laag – hoog	48.9	48.5	34.8	1501
Normaal	48.7	48.4	34.9	1549
Laag - normaal	48.5	48.3	34.3	1545

3.6 Bladoppervlak

3.6.1 Bladlengte en –breedte

In de winter gingen bladlengte en –breedte van het hoogste volgroeide blad voor de winterbehandeling 'laag' en 'extra laag' meer naar beneden dan die voor de winterbehandeling 'normaal'. Dit lijkt een duidelijk gevolg van het bladplukken en het tekort aan assimilaten om de vegetatieve groei te ondersteunen. Maar ook bladlengte en –breedte van de winterbehandeling 'normaal' namen tijdens de winter af. Nadat er in maart geen blad was geplukt en de gewassen konden herstellen, waren bladlengte en – breedte voor alle drie zomerbehandelingen ongeveer hetzelfde.

Het is opvallend dat de bladlengte tijdens de hele teelt een gestage afname laat zien, van ongeveer 50 cm naar ongeveer 35 cm. De bladbreedte neemt in de wintermaanden af van 55-60 cm naar ongeveer 40 cm, om in de voorjaars- en zomermaanden slechts langzaam te dalen.



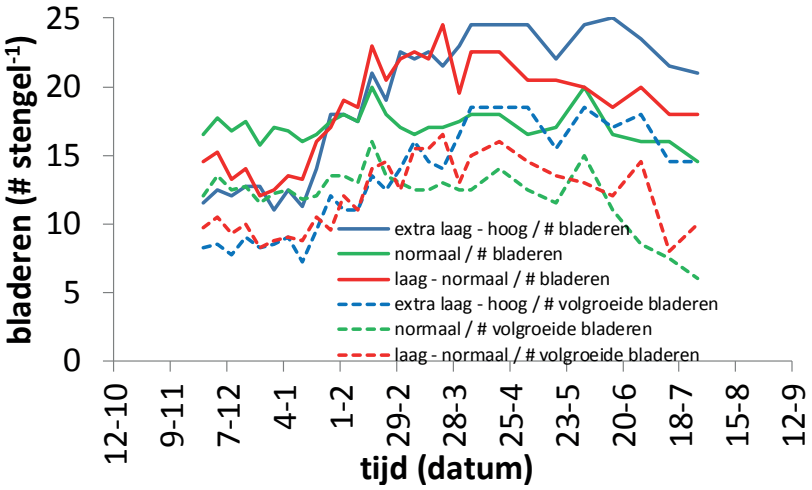
Figuur 3.11 *Bladlengte (links) en bladbreedte (rechts) aan het hoogste volgroeide blad in de drie behandelingen.*

3.6.2 Bladaantal

Het doel was om in de winter in de behandelingen 'extra laag – hoog', 'laag – normaal' en 'normaal', respectievelijk 8-9, 10-11 en 11-12 volgroeide bladeren per stengel te realiseren, en om in de zomer respectievelijk 14-16, 10-12 en 11-12 volgroeide bladeren per stengel te realiseren. De gerealiseerde aantallen staan in Tabel 3.5. De voorgenomen aantallen werden redelijk goed bereikt, met uitzondering van de behandeling 'laag – normaal' in de zomer, met een gemiddelde van 14.3 volgroeide bladeren per stengel in plaats van de voorgenomen 10-12.

Tabel 3.5
*Voorgenomen en gerealiseerd aantal **volgroeide** bladeren (> lengte * breedte = 500 cm²) per stengel.*

Behandeling	doelstelling winter	gerealiseerd winter	Doelstelling zomer	gerealiseerd zomer
Extra laag – hoog	8- 9	8.4	14-16	16.5
Normaal	11-12	12.3	11-12	12.7
Laag - normaal	10-11	9.4	10-12	14.3



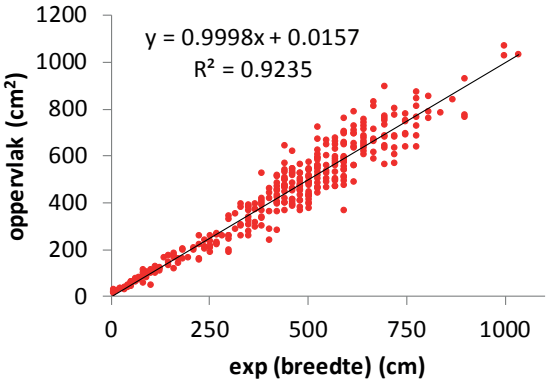
***Figuur 3.12** Totaal aantal bladeren per stengel, en totaal aantal volgroeide bladeren (> lengte * breedte = 500 cm²) per stengel, in de drie behandelingen.*

3.6.3 LAI

Op basis van nauwkeurige metingen aan representatieve monsters uit alle drie behandelingen zijn relaties tussen bladlengte, bladbreedte en bladoppervlak bepaald. Er werden geen behandelingsverschillen gevonden, en de meest significante relatie werd gevonden tussen bladbreedte en bladoppervlak.[2]

Oppervlakte = -295.8 + 285.2 * $1.02723^{bladbreedte}$.

[2] Als de waarnemingen uit seizoen 2015-2106 worden samengevoegd met de waarnemingen van de voorgaande proef uit 2014-2015 dan wordt er een iets andere vergelijking verkregen, die echter zo goed als dezelfde bladoppervlakten geeft: *Oppervlakte* = -441.7 + 384.5 * $1.02126^{bladbreedte}$.

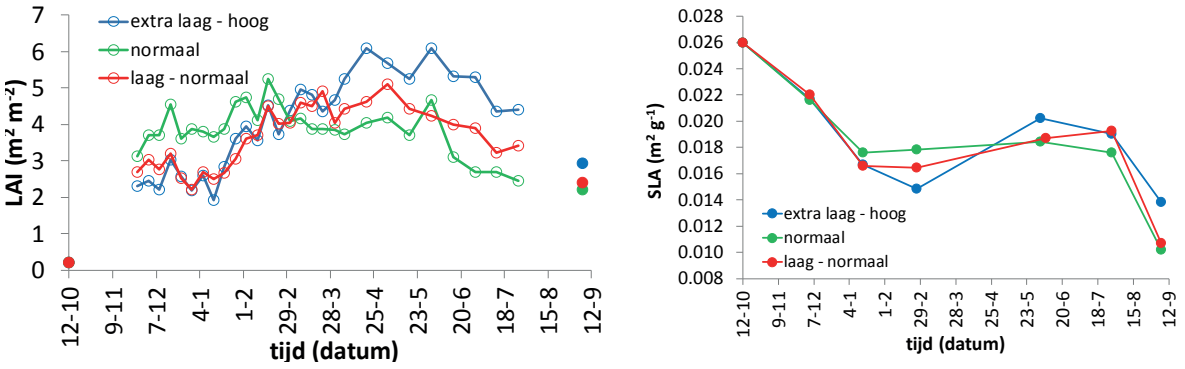


Figuur 3.13 *De relatie tussen bladbreedte en bladoppervlak, op basis van representatieve monsters uit alle drie behandelingen. Met 'exp' op de x-as wordt bedoeld dat de x-waarde volgens een exponentiële functie is omgezet.*

De LAI van het gewas is afgeleid uit de bladbreedte die iedere een of twee weken aan de helft van de bladeren van vier planten per behandeling is gemeten. De winterbehandelingen 'laag' en 'extra laag' waren t/m half januari ongeveer gelijk en kenden een vrij lage LAI van 2.5-3 m^2 m^{-2}. Het kleine verschil tussen de winterbehandelingen 'laag' en 'extra laag' lijkt direct gekoppeld aan het aantal volgroeide bladeren (Figuur 3.12) waarin minder variatie is gerealiseerd dan voorgenomen. De winterbehandeling 'normaal' had een LAI van ongeveer 4 m^2 m^{-2}. Vanaf half januari nam LAI van de winterbehandelingen 'laag' en 'extra laag' toe naar de waarde van de winterbehandeling 'normaal'.

Vanaf eind maart, toen de zomerbehandelingen werden ingezet, bleef de LAI van behandeling 'normaal' rond de waarde 4 m^2 m^{-2} fluctueren, om vanaf juni 2016 geleidelijk te dalen naar ongeveer 2.5 m^2 m^{-2}. De zomerbehandeling 'hoog' had inderdaad een hoge LAI van 6, dalend tot 4.5 m^2 m^{-2}. De zomerbehandeling 'normaal' (van 'laag-normaal', met bladpluk rond de $4^e/5^e$ tros) kende een iets hogere LAI dan 'normaal' (van 'normaal-normaal', met bladpluk bovenin). Dit is opmerkelijk omdat het wegnemen van volgroeid blad rond de $4^e/5^e$ tros naar verwachting eerder tot een lagere LAI dan een hogere LAI leidt. Dit kan worden verklaard uit het feit dat er een te hoog aantal volgroeide bladeren per stengel is aangehouden (zie Tabel 3.5). Er had aan de onderkant wat meer blad weggenomen moeten worden, wat in een lagere LAI had geresulteerd.

Het specifieke bladgewicht (SLA) verschilde weinig tussen de drie behandelingen en kende het vertrouwde verloop van een hoge waarde voor een jong gewas om daarna te dalen met afnemende straling en na de winter te stijgen met toenemende straling, om aan het einde van de teelt sterk te dalen.

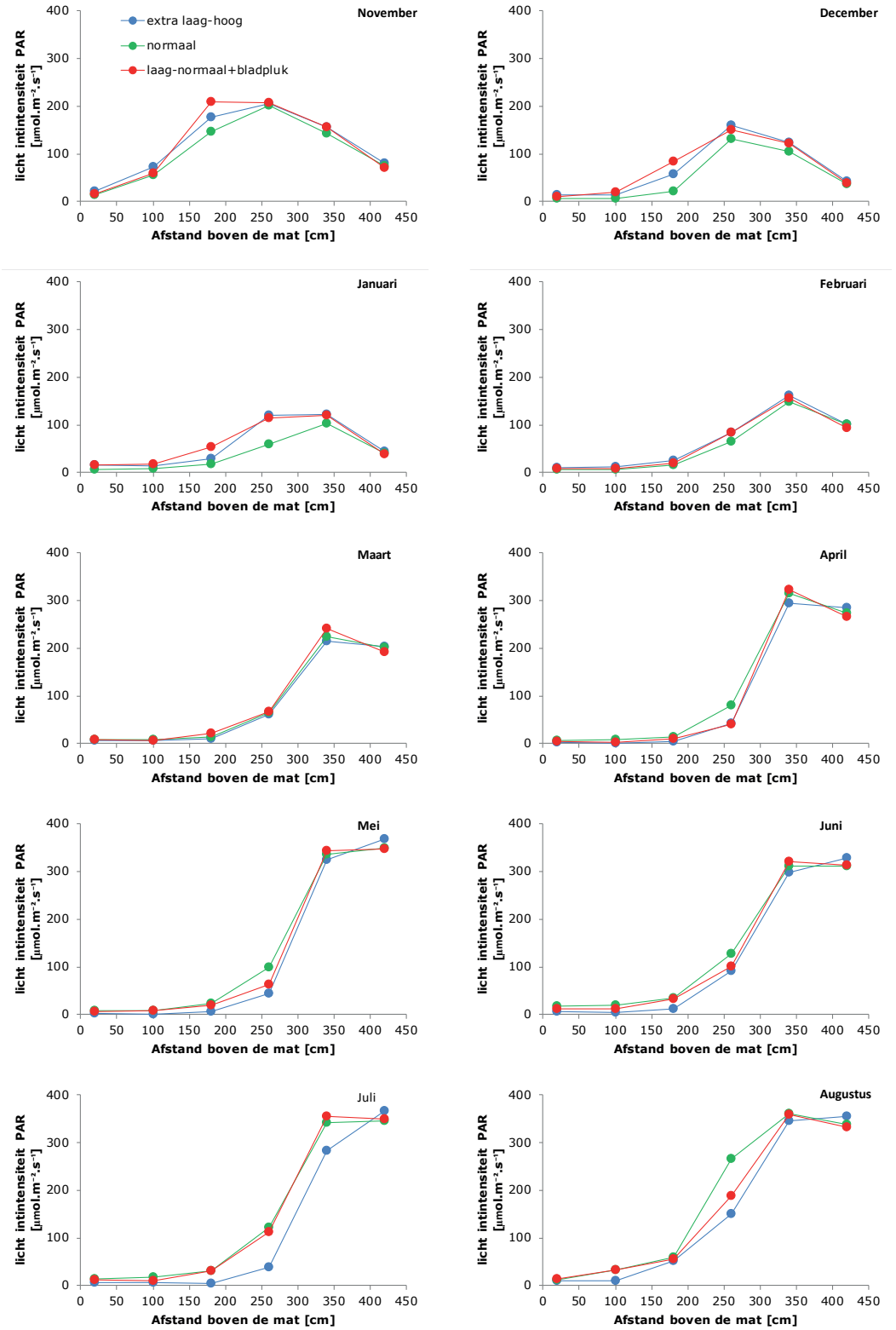


Figuur 3.13 *Verloop van LAI (links) en SLA (rechts) in de drie behandelingen.*

3.6.4 Lichtonderschepping

3.6.4.1 Apogee

In elk van de drie kassen (drie behandelingen) is met Apogee lijnsensoren voor PAR de lichtonderschepping gemeten. In Figuur 3.14 is de lichtintensiteit gegeven voor 11 dagen per maand (de 10e tot de 20e dag) voor de tijd dat er licht van de zon en/of van de assimilatie lampen was. De uren dat er geen licht was zijn buitenbeschouwing gelaten.



Figuur 3.14 *De lichtintensiteit gemiddeld over de periodes met licht (assimilatie en zonlicht) op verschillende hoogte boven de mat van de 10e tot de 20e per maand.*

In november en enkele maanden daarna meetten de bovenste 2 sensoren (3.4 m en 4.2 boven teeltgoot) gemiddeld een lagere lichtintensiteit dan de middelste sensoren (1.8 en 2.6 m boven teeltgoot). Dit kwam doordat de bovenste sensor op de hoogte van de lampen hing en de tweede sensor vlak eronder waar de overlap van het licht van de lamprijen nog niet optimaal was (nog geen goede homogene lichtverdeling). Bij de sensor op 2.6 m boven de teeltgoot was dit wel goed. In november was het gewas zo hoog dat rond de sensor op 1.8 m hoogte er verschil was in lichtonderschepping.

In december onderschepte de normale behandeling op die hoogte op 1.8 m hoogte het meeste licht. Dit kwam overeen met het feit dat deze behandeling dan de hoogste LAI had. De bladplukbehandelingen, die in december een vrijwel gelijke LAI hadden, onderschepten minder licht, waarbij er een klein verschil in lichtonderschepping op 2-3 meter hoogte was. Ook in januari was het verschil tussen de extreme bladpluk behandelingen gering.

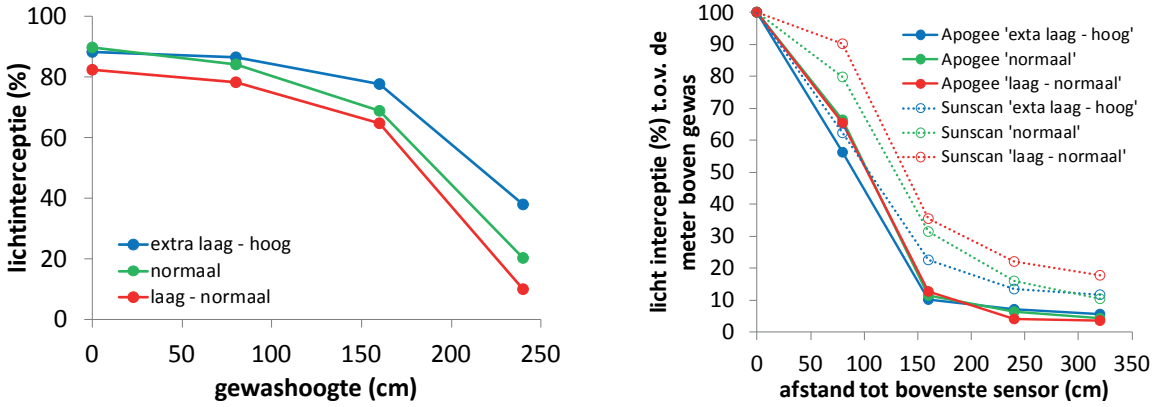
In februari en maart verliep de lichtonderschepping in alle behandelingen vrijwel gelijk, wat verklaarbaar is uit de vrijwel gelijke LAI. Wel nam de lichtonderschepping door de kop van het gewas toe. De afname van de lichtintensiteit tussen 3.4 m en 2.6 m boven de goot was sterker. Pas in juli en augustus is te zien dat er meer blad is aangehouden in de behandeling extra-laag die gevolgd is door minder bladpluk. Het effect van tussenin blad wegnemen is pas te zien in augustus.

Voor alle maanden geldt dat ongeacht de bladpluk strategie de lichtintensiteit onderin het gewas op 20 cm boven de teeltgoot zeer laag was. Het gemiddelde over alle maanden en behandelingen is 10 µmol m^{-2} s^{-1}. In de winter was dit 10% van het licht en in de zomer slechts 3% van het licht op de top van het gewas. In de winter was met het mindere bladpakket de lichtdoordringing beter dan in de zomer.

3.6.4.2 Sunscan

Op 22 februari 2016 zijn metingen met de SunScan verricht, ter controle van de Agogee metingen. De lichtintercepties zijn omgezet naar lichtintercepties ten opzichte van de meter boven het gewas. Het blijkt dat de lichtintercepties gemeten met de Sunscan en de Apogee redelijk dezelfde trend volgen. De Sunscan meet een iets lagere interceptie, wat klopt met het feit dat de Sunscan meer in het pad meet dan de Apogee, die midden tussen het gewas staat.

De Apogee metingen op deze dag lieten voor de behandelingen vrijwel dezelfde waarde zien, wat goed overeenkomt met het feit dat de LAI van alle behandelingen ongeveer 4 m^2 m^{-2} was.



Figuur 3.15 *Lichtintercepties gemeten met de Sunscan in afhankelijkheid van gewashoogte (links) en vergeleken met Apogee metingen (rechts) voor de drie behandelingen.*

3.7 Fotosynthese

Zie bijlage 5 voor Figuren van onder meer lichtresponscurves.

3.7.1 Fotosynthese van de bladeren

De vraag is of de behandeling, het CO_2 niveau, de hoogte in het gewas of het tijdstip in het jaar een effect heeft op een van de vier parameters (A_{max}, R_d, ε, en Θ) die de fotosynthese-lichtresponscurve beschrijven (zie paragraaf 2.2.5). Als er een significant verschil bestaat tussen de waarden van een of meer van de parameters, zijn de curven niet gelijk aan elkaar.

Statistische analyse van de alle waarnemingen samen leidde tot de volgende conclusies:

- A_{max} wordt door alle factoren beïnvloed:
  - A_{max} verschilt per behandeling. Als de waarden naar meetmoment worden uitgesplitst, dan blijken de verschillen voor februari beperkt, terwijl de A_{max} in juli voor de behandeling laag – normaal (dus in juli 'normaal' met 66% bladpluk bij de 4e of 5e tros) de A_{max} lager blijkt dan voor de andere twee behandelingen. De oorzaak ligt voornamelijk in de lage A_{max} waarde onderin het gewas (15.8 µmol m^{-2} s^{-1} ten opzichte van 21.0 en 24.7 µmol m^{-2} s^{-1} voor de andere twee behandelingen). Dit zou betekenen dat bladpluk onderin het gewas nadelig is voor de maximale fotosynthesesnelheid.
  - A_{max} is hoger bij een hoger CO_2 niveau.
  - A_{max} wordt lager naarmate er dieper in het gewas wordt gemeten. A_{max} halverwege de gewasdiepte is 82% van A_{max} in de top van het gewas, maar onderin bedraagt de waarde slechts 38%. Dit is een bekend verschijnsel. Licht dat dieper doordringt in het gewas kan, maar hoeft niet tot een hogere gewasfotosynthese te leiden.
  - Dit is daarnaast een erg relevant gegeven omdat het betekent dat licht dat dieper doordringt in het gewas niet direct tot een hogere gewasfotosynthese leidt. Als de extra fotosynthese onderin minder is dan die bovenin, is de fotosynthese op gewasniveau dus lager.
  - In de zomer (juli) is de waarde hoger dan aan het einde van de winter (februari).
- R_d wordt door de behandeling, de hoogte in het gewas en het meetmoment beïnvloed. R_d halverwege de gewasdiepte is 64% van R_d in de top van het gewas, maar onderin bedraagt de waarde slechts 26%. Omdat de absolute waarde van R_d veel kleiner is dan die van A_{max}, is het effect van deze gradiënt beperkt. Het CO_2 niveau is niet van invloed.
- ε wordt door het CO_2 niveau en het meetmoment beïnvloed.
- Θ wordt door het meetmoment beïnvloed.

Het moment tijdens het seizoen is dus van belang voor alle parameters die de fotosynthese-lichtresponscurve beschrijven. Zo is de maximale fotosynthesesnelheid in juni hoger dan in februari (dit is een bekend fenomeen).

In de kop van het gewas zijn er tussen de behandelingen, per meetmoment, niet veel verschillen in de fotosynthese-lichtresponscurve. Omdat bovenin het gewas de meeste fotosynthese plaatsvindt, is dit een relevant gegeven.

In het midden van het gewas bestaan in juni weinig verschillen. In februari bij een hoge CO_2 concentratie is in het midden van het gewas de fotosynthesesnelheid van 'normaal' het laagst, die van 'laag' het hoogst, terwijl de van 'extra laag' hier tussenin ligt.

Onderin het gewas bestaan enige verschillen. In het algemeen is de fotosynthesesnelheid van 'normaal' het hoogst. In juli is de fotosynthesesnelheid van 'laag – normaal' het laagst. *Dit duidt er op dat het wegnemen van bladmateriaal in de zomer een negatief effect heeft op de fotosynthesesnelheid*.

Tabel 3.6

Parameterwaarden van de fotosynthese-lichtresponscurve, gemiddeld, per behandeling, per CO_2 niveau, per hoogte, en per meettijdstip. Als waarden significant verschillen, zijn deze waarden vetgedrukt weergegeven.

Para-meter	Gem.	behandeling			CO_2 niveau		Hoogte in gewas			Tijd	
		extra laag - hoog	normaal	Laag - normaal	700	1400	top	midden	laag	feb	juli
A_{max} (µmol m^{-2} s^{-1})	28.7	**28.6**	**30.4**	**27.2**	**27.5**	**30.0**	**39.2**	**32.0**	**15.0**	**25.7**	**31.8**
R_d (µmol m^{-2} s^{-1})	-1.25	**-1.21**	**-1.24**	**-1.30**	-1.48	**-1.03**	**-1.97**	**-1.27**	**-0.51**	**-1.37**	**-1.13**
ε (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} / µmol PAR m^{-2} s^{-1})	0.085	0.084	0.083	0.088	**0.079**	**0.091**	0.086	0.087	0.083	**0.082**	**0.088**
Θ (-)	0.732	0.754	0.744	0.697	0.740	0.723	0.691	0.752	0.752	**0.643**	**0.820**

Tabel 3.7

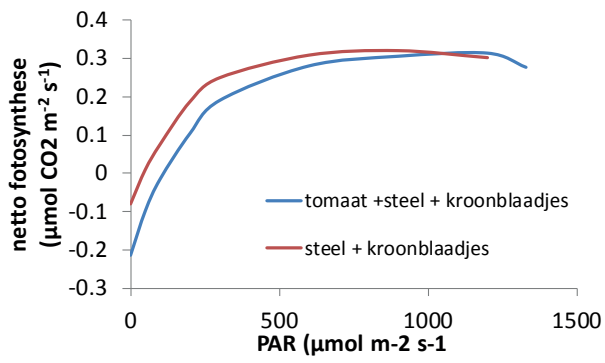
Parameterwaarden van A_{max} in februari en juli.

Tijd-stip	A_{max}				R_d		ε			Θ		
	Extra laag - hoog	Nor-maal	Laag - normaal	Extra laag - hoog	Nor-maal	Laag - normaal	Extra laag - hoog	Nor-maal	Laag - normaal	Extra laag - hoog	Nor-maal	Laag - normaal
feb.	26.41	25.63	25.12	-1.384	-1.374	-1.348	0.0831	0.0779	0.0856	0.6353	0.6839	0.6103
Juli	30.85	35.06	29.34	-1.043	-1.112	-1.246	0.0846	0.0884	0.0907	0.8735	0.8034	0.7837
ratio	0.86	0.73	0.86	1.33	1.24	1.08	0.98	0.88	0.94	0.73	0.85	0.78

3.7.2 Fotosynthese van de vruchten

Er zijn metingen verricht aan de fotosynthese van vruchten om te bepalen of deze bijdragen aan de gewasfotosynthese. Ook al is het fotosynthetiserend oppervlak van de vruchten klein, de groene vruchten bevinden zich bovenin het gewas waar de lichtintensiteit hoog is en ook een klein extra oppervlak een relevante rol kan spelen.

Het bleek lastig om goede metingen te verkrijgen, onder meer omdat het steeltje snel lekkage gaf. Maar deze technische problemen konden worden opgelost. De fotosynthese van de vrucht bleek eigenlijk vooral te worden verzorgd door de vruchtsteel en door de vijf kroonblaadjes, zoals Figuur 3.15 illustreert. De beperkte metingen lijken te suggereren dat de vrucht zelf, zonder steel en kroonblaadjes, mogelijk vooral respireert. De fotosynthesesnelheid is dusdanig laag dat er geen rekening mee hoeft te worden gehouden in het gewasgroeimodel.



Figuur 3.16 *Netto fotosynthesesnelheid van vruchten zonder en met kroonblaadjes.*

3.8 Respiratie

Zie bijlage 6 voor grafieken.

3.8.1 Fotorespiratie

De metingen aan de fotorespiratie in de behandeling 'normaal' waren niet bevredigend. De verwachte fotorespiratie is 30%, maar de gevonden waarden bij de hoogste lichtniveaus waren zeer laag bovenin het gewas en ongeveer 10% onderin het gewas. Het is niet duidelijk waar het mis is gegaan.

3.8.2 Groeiademhaling

De groeiademhaling wordt bepaald door de gewassamenstelling. De resultaten van deze metingen worden in paragraaf 3.12 gegeven.

3.8.3 Dagademhaling

De fotosynthesemetingen bij 2% en 21% O2 kunnen worden gebruikt om de netto CO_2 assimilatiesnelheid uit te zetten tegen $I_{inc}F_2/4$, waarbij I_{inc} de straling is en F_2 de kwantumefficiëntie van het PSII transportsysteem is (Yin *et al.* 2011). Het snijpunt met de y-as levert de dagademhaling (bijlage 6). De gemiddelde dagademhaling was -1.539 µmol m^{-2} s^{-1}. Dit is ongeveer 4-5% van de maximale bruto fotosynthesesnelheid van 30-40 µmol m^{-2} s^{-1} bovenin en in het midden van het gewas, en ongeveer 7-11% van de maximale bruto fotosynthesesnelheid van 10-20 µmol m^{-2} s^{-1} onderin het gewas. Onderin is het relatieve gewicht van de dagademhaling dus groter dan bovenin of in het midden van het gewas.

Het effect van het de O_2 concentratie was zeer beperkt (zie ook Yin *et al.* 2011), net als het effect van de hoogte in het gewas. De grotere hellingshoek bij lage O_2 concentratie wordt veroorzaakt door het feit dat de fotorespiratie wordt onderdrukt (geen verdringing van CO_2 door O_2) en daarmee de assimilatiesnelheid hoger wordt.

Tabel 3.8
Schattingen van de dagademhaling Rd (µmol m^{-2} s-1) bij twee O2-concentraties.

O2 niveau	Rd top	Rd midden
2%	-1.623	-1.587
20%	-1.463	-1.483

3.9 Groei en productie

Groei (betreft het hele gewas) en productie (betreft het oogstbare product, in dit geval de vruchten) zijn op een aantal momenten tijdens de teelt bepaald met destructieve oogsten. Hierbij werden per keer vier willekeuring gekozen planten uit het gewas genomen. Van alle organen behalve de wortels werden vers- en drooggewicht bepaald. Dit werd aangevuld met de gewichten van de tijdens het seizoen geplukte bladeren en geoogste vruchten. Met deze gegevens kon het volgende worden bepaald:

- Versgewichten van de organen, en van de hele gewas[3], zoals het in de kas stond.
- Drooggewichten van de organen en van het hele gewas, zoals het in de kas stond.
- Cumulatieve vers- en drooggewichten van de organen en van het hele gewas.
- Drogestofgehalten van de organen.
- Drogestofverdeling naar de vruchten.

3.9.1 Totale groei

De straling wordt door het gewas onderschept en geeft na fotosynthese en ademhaling de groei van het totale gewas. De toename van het cumulatieve drogestofgewicht is het eerste resultaat. In Figuur 3.16 is te zien dat in de winter de behandeling 'normaal' de hoogste toename van het drogestofgewicht had. Op het eerste gezicht zou dit te verklaren zijn uit de hogere LAI die de behandeling 'normaal' in de winter had. Echter, uit de lichtonderscheppingsmetingen (Figuur 3.14) blijkt dat de totale lichtonderschepping van de drie behandelingen gelijk was. Behandeling 'normaal' heeft een meer geleidelijke lichtonderschepping en dus een meer homogene lichtverdeling over de gewasdiepte. Een meer homogene lichtverdeling heeft een positief effect op de totale gewasfotosynthese (ook al is de absolute bijdrage kleiner dan die bovenin). Blijkbaar heeft de bladpluk in de winter geleid tot een minder homogene lichtverdeling over de gewasdiepte, wat ten koste is gegaan van de lichtonderschepping en totale groei. In de zomermaanden had de behandeling 'laag-normaal' de sterkste toename van drogestof[4]. Dit is op het eerste gezicht vreemd omdat de behandeling 'extra laag – hoog' een hogere LAI had, wat tot een hogere verwachte groei leidt. Maar de LAI's waren in de zomer dusdanig hoog dat al het licht werd onderschept (Figuur 3.14). De verklaring ligt in de hogere maximale fotosynthesesnelheid (A_{max}) die voor de behandeling 'laag – normaal' in juni is gemeten (zie bijlage 5). Bovenin het gewas, waar de hoogste lichtniveaus heersen, is A_{max} een belangrijke parameter. Dit is niet eens zozeer omdat lichtintensiteiten hoger dan 1000 mmol m^{-2} s^{-1} veel voorkomen (op seizoensbasis 5% van de tijd en vanaf april 10% vanaf de tijd) maar omdat verschillen in A_{max} ook verschillen bij lagere lichtniveaus aangeven. Er zijn een paar mogelijke effecten van bladplukken op de A_{max} gevonden.

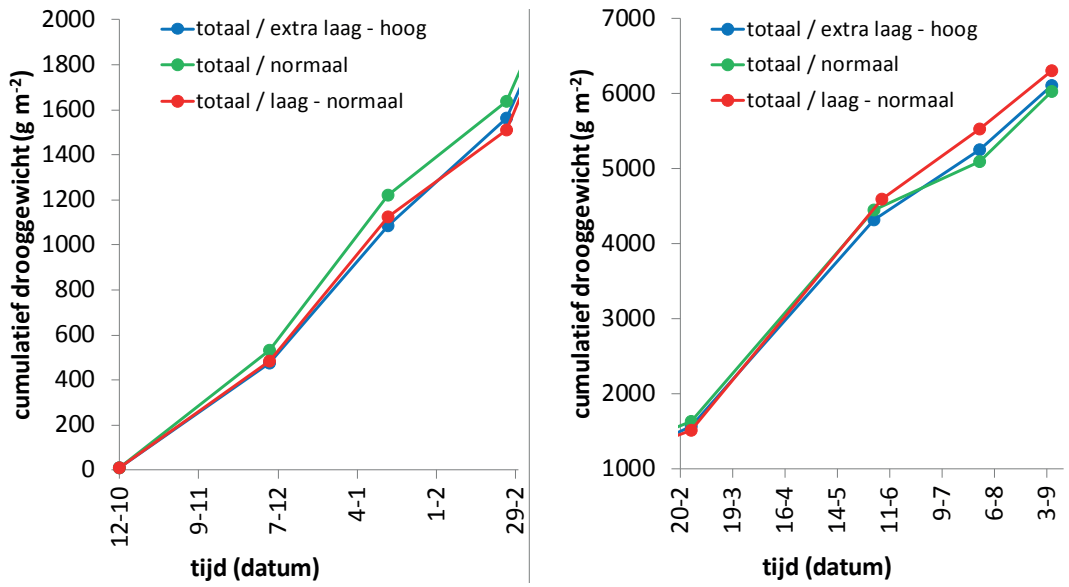
In bijlage 4 zijn ook de cumulatieve gewichten van blad en stengel gegeven (voor vruchten, zie volgende paragraaf). Terwijl het cumulatieve gewicht van de vruchten duidelijk groter is dan de cumulatieve gewichten van de bladeren en stengels, vormen de lange, zware stengels het hoofdbestanddeel van het tomatengewas zoals het aan het einde van de teelt in de kas staat.

[3] De wortels zijn overall buiten beschouwing gelaten omdat het gewicht hiervan niet gemeten kon worden. Er is steeds aangenomen dat hier geen behandelingsverschillen zijn opgetreden.

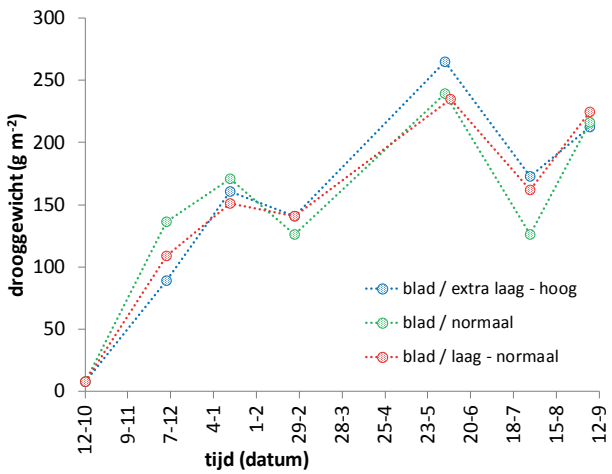
[4] Over de significanties van de verschillen is niets te zeggen omdat er door de afwezigheid van herhalingen geen statistische toetsen konden worden gedaan.

Omdat er op verschillende wijze blad is geplukt, is de verwachting dat dit tot uiting komt in de drooggewichten van het blad (Figuur 3.18). In de winter, toen er in de kop blad werd geplukt, blijkt inderdaad dat meer bladpluk, via een lagere LAI, minder lichtonderschepping en lagere groei leidt tot een lager bladgewicht. Het wegnemen van het hele kleine blad zelf zal nauwelijks van invloed zijn op het bladgewicht van het gewas, dus daar moet de oorzaak niet worden gezocht. Het opvallende in de zomer is dat het wegnemen van volgroeid blad halverwege de gewasdiepte (behandeling 'laag-normaal') niet leidt tot een stevige daling van het bladgewicht. Het bladgewicht volgt ongeveer de LAI, wat ook tot uitdrukking komt in de ongeveer gelijke SLA voor de drie behandelingen (paragraaf 3.6.2).

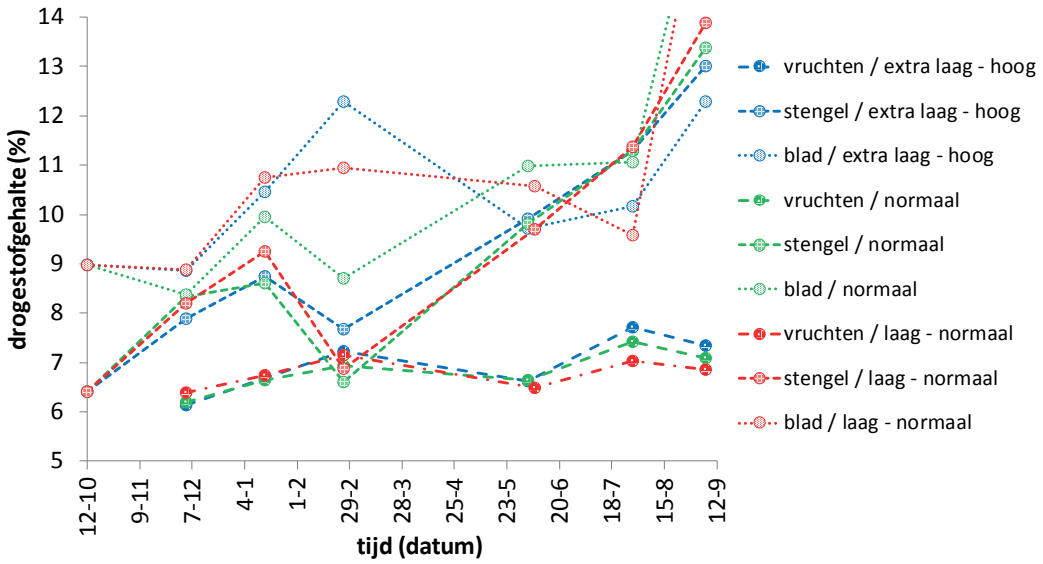
In bijlage 4 zijn ook de cumulatieve versgewichten gegeven. Deze volgen ongeveer hetzelfde patroon als de cumulatieve drooggewichten, al zijn de absolute verschillend iets anders. Dit wordt veroorzaakt door de verschillen in drogestofpercentage (Figuur 3.18). Met name het drogestofpercentage van het blad kende bij de periodieke oogst van eind februari veel variatie tussen de behandelingen.



Figuur 3.17 *Cumulatieve drooggewichten van de hele plant voor de drie behandelingen, tijdens de winter (links), en tijdens de zomer (rechts). Let op de verschillende schalen van de y-assen.*



Figuur 3.18 *Actuele drooggewichten van de bladeren voor de drie behandelingen.*

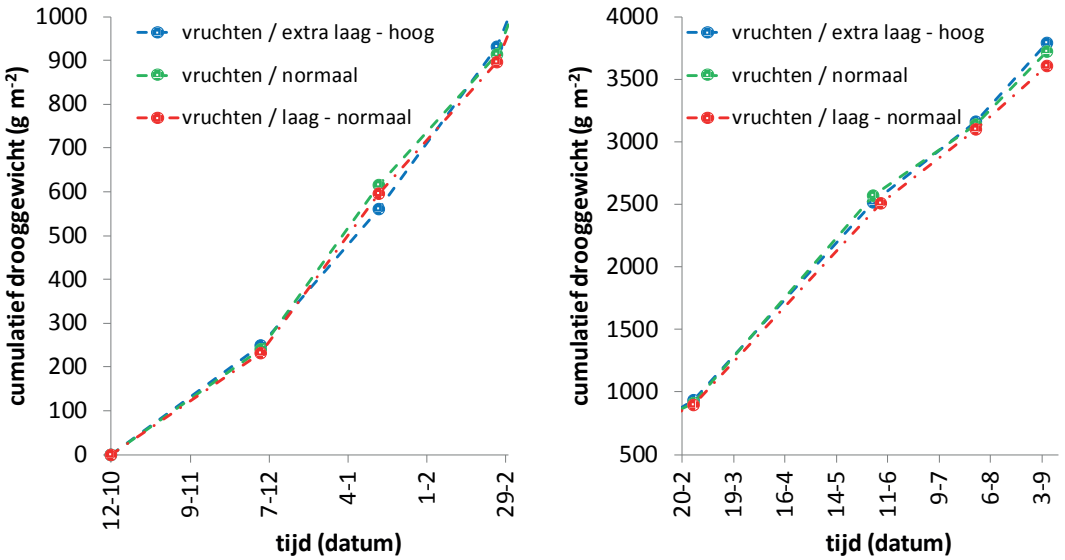


Figuur 3.19 *Het drogestofpercentage voor de verschillende organen, voor de drie behandelingen. Het drogestofpercentage van het blad van 'normaal' en 'laag-normaal' steeg naar ongeveer 17% aan het einde van de teelt; vermoedelijk als gevolg van verouderend blad.*

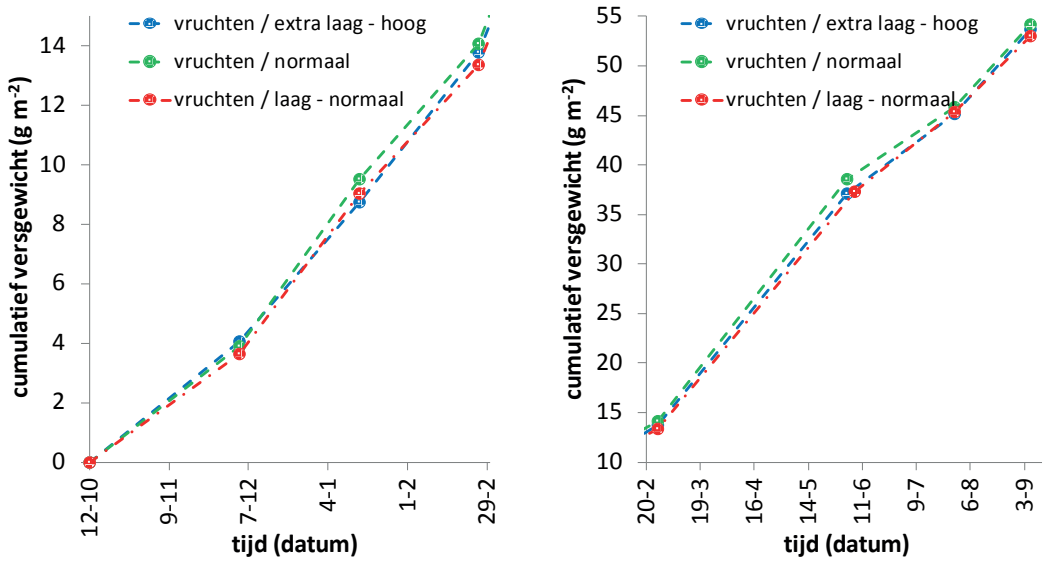
3.9.2 Vruchtgroei en vruchtoogst

Ook de vruchtgroei, nog steeds in termen van drogestof, van de behandeling 'normaal' was in de winter het hoogst. Afnemende LAI ('laag', 'extra laag') gaf in de winter een lagere toename van drogestof van de vruchten. In de zomer waren de verschillen tussen de behandelingen 'extra laag – hoog' en 'normaal' erg klein. De behandeling 'laag – normaal' had wel een iets lagere drogestoftoename van de vruchten.

Aan het begin van de winter wordt de meeste drogestof naar de vruchten verdeeld in de behandeling 'extra laag – hoog' (Figuur 3.20). Tijdens de rest van de winter is de drogestofverdeling naar de vruchten voor de behandelingen met een lage of extra lage LAI hoger dan de behandeling met een hoge LAI. Dit suggereert dat bladplukken in de kop van het gewas in de winter resulteert in een betere drogestofverdeling naar de vruchten. In de zomer wordt in de behandeling 'laag-normaal' minder drogestof naar de vruchten verdeeld dan in de andere twee behandelingen, die onder elkaar ongeveer dezelfde drogestofverdeling kennen. Dit suggereert dat bladplukken in de zomer halverwege de gewasdiepte resulteert in een slechtere drogestofverdeling naar de vruchten.



Figuur 3.20 *Cumulatieve drooggewichten van de vruchten, voor de drie behandelingen, tijdens de winter (links), en tijdens de zomer (rechts). Let op de verschillende schalen van de y-assen.*

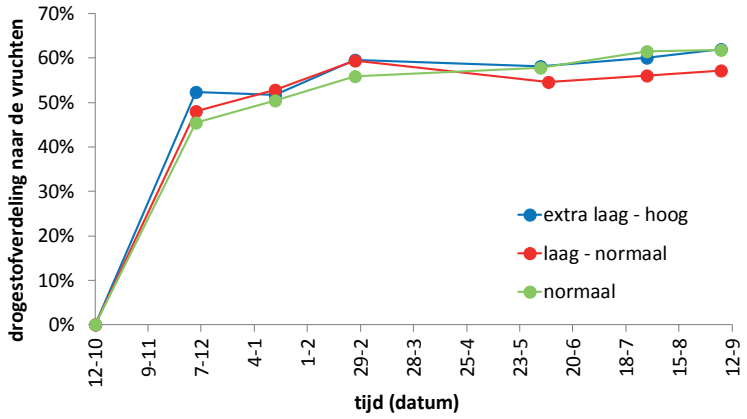


Figuur 3.21 *Cumulatieve versgewichten van de vruchten, voor de drie behandelingen, tijdens de winter (links), en tijdens de zomer (rechts). Let op de verschillende schalen van de y-assen.*

De stap van het drooggewicht naar het versgewicht van de vruchten is belangrijk omdat het drogestofgehalte van de vruchten een dominante rol speelt.

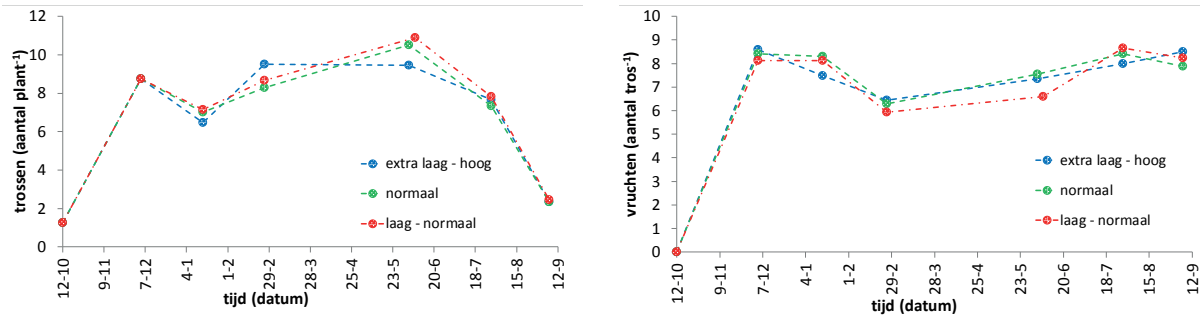
- In de winter is het drogestofgehalte van de vruchten van behandeling
  - 'normaal' relatief laag.
  - 'laag - normaal' relatief hoog.
  - 'extra laag - hoog' eerst relatief laag maar later relatief hoog.
- In de zomer is het drogestofgehalte van de vruchten van behandeling
  - 'extra laag - hoog' relatief hoog.
  - 'normaal' middelmatig.
  - 'laag- normaal' relatief laag.
- Bij de vertaling van de actuele drooggewichten naar de actuele versgewichten speelt het drogestofgehalte uiteraard een rol, maar veroorzaakt geen noemenswaardige veranderingen in de volgorde van de behandelingen.

- In de cumulatieven gaan de verschillen wel doorwerken. Aan het einde van de winter leidt het relatief lage drogestofgehalte van de vruchten van behandeling 'normaal' er toe dat het middelmatige cumulatieve drooggewicht gelijk staat aan een relatief hoog versgewicht van de vruchten.
- Aan het einde van de zomer zijn de relatieve verschillen in drooggewicht groter dan de relatieve verschillen in versgewicht: de waarden zijn naar elkaar toe getrokken. De reden hiervan is dat het laagste cumulatieve drooggewicht van behandeling 'laag – normaal' gepaard gaat met het laagste drogestofgehalte, etc.



Figuur 3.22 *Drogestofverdeling naar de vruchten voor de drie behandelingen.*

Het aantal trossen per plant varieerde tussen 8 en 11 (zie ook paragraaf 3.5), met een afname aan het einde van de winter. Het aantal vruchten per tros werd aanvankelijk op 9 gesteld (in de praktijk gemiddeld op 8.4), en werd vanwege het zwakke gewas in de loop van de winter naar beneden bijgesteld (realisatie gemiddeld 6.2), om in de loop van de zomer weer wat te laten toenemen (realisatie gemiddeld 8.3).



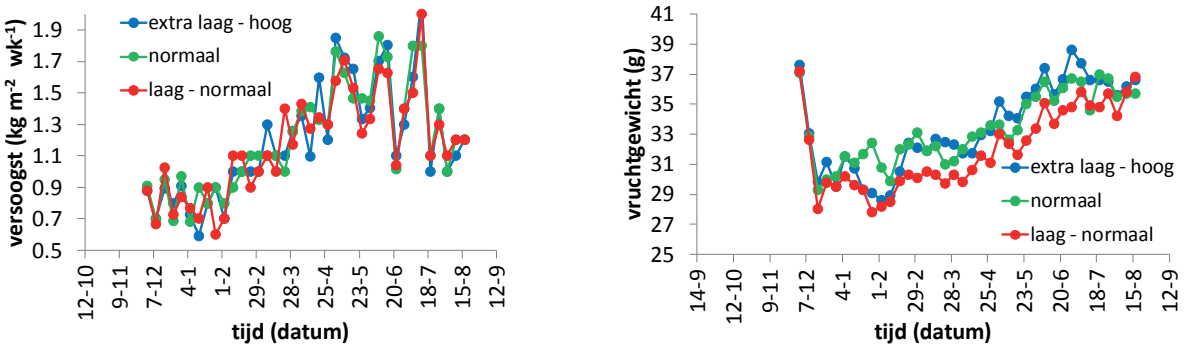
Figuur 3.23 *Het aantal trossen per plant (links) en het aantal vruchten per tros (rechts) voor de drie behandelingen.*

De versproductie volgt uiteraard de hoeveelheid straling die door de fotosynthese wordt omgezet in drogestof. In de wintermaanden is de productie van de behandeling 'normaal' met 11.3 kg m^{-2} het hoogst, gevolgd door de twee andere behandelingen met beide 10.9 kg m^{-2}. In de overgangsmaand maart waren de verschillen klein (de periode was dan ook kort). In de zomermaanden was de versproductie van de behandelingen 'normaal' en 'extra laag – hoog' gelijk met respectievelijk 28.7 en 28.5 kg m^{-2} en hoger dan die van de behandeling 'laag – normaal' met 27.9 kg m^{-2}.

De behandeling 'normaal' had dus bijna steeds de hoogste versproductie, resulterend in een cumulatieve versproductie van 51.6 kg m^{-2}. De behandeling 'extra laag – hoog' had een iets lagere cumulatieve versproductie van 51.2 kg m^{-2}, en de behandeling 'laag – normaal' de laagste van 50.2 kg m^{-2}. *Dit suggereert dat bladplukken halverwege het gewas ten koste gaat van de productie.*

Het vruchtgewicht van behandeling 'laag – normaal' lag de hele teelt onder het vruchtgewicht van de andere twee behandelingen. De reden hiervan is onduidelijk. Meer vruchten (zie hieronder) betekent mogelijk relatief meer zaadvorming en vruchtwand wat ten koste gaat van de suikers en het versgewicht. In de zomer zou het wegnemen van volgroeide bladeren die nog goed functioneren een rol kunnen spelen.

Op seizoensbasis is het vruchtgewicht geassocieerd met de cumulatieve versoogst (Figuur 3.25). Ook als naar bepaalde periodes wordt gekeken blijft deze associatie bestaan (bijlage 4).



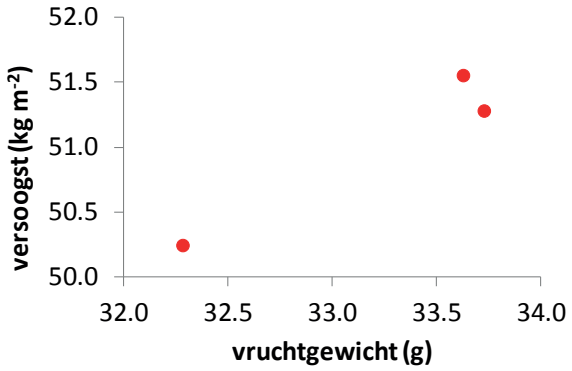
Figuur 3.24 *De versoogst (links) en het vruchtgewicht (rechts) voor de drie behandelingen.*

Tabel 3.9

Verse vruchtoogst, gemiddeld vruchtgewicht en aantal geoogste vruchten tijdens de winter (t/m februari), de overgangsmaand maart, en de zomer (april-augustus).

Behandeling	Verse vruchtoogst (kg m^{-2})				
	t/m feb	maart	t/m maart	april-aug	totaal
Extra laag – hoog	10.9	5.8	16.7	34.6	51.2
Normaal	11.3	5.6	16.9	34.7	51.6
Laag - normaal	10.9	5.7	16.6	33.7	50.2
	Gemiddeld vruchtgewicht (g)				
Extra laag – hoog	30.9	32.3	31.3	35.6	33.9
Normaal	31.6	31.9	31.7	35.1	33.8
Laag - normaal	30.1	30.2	30.1	34.0	32.4
	Aantal vruchten (# m^{-2})				
Extra laag – hoog	362	180	542	962	1501
Normaal	374	181	556	991	1549
Laag - normaal	377	189	566	978	1545

De hoogste opbrengst van de behandeling 'normaal' lijkt gekoppeld aan een balans tussen gemiddeld vruchtgewicht en aantal vruchten, die op seizoensbasis beiden goed zijn. De behandeling 'extra laag – hoog' heeft op seizoensbasis het hoogste gemiddeld vruchtgewicht wat aan de relatief hoge opbrengst gekoppeld is. De behandeling 'laag – normaal' heeft dan wel een hoog aantal geoogste vruchten, maar dit kan het lage vruchtgewicht niet compenseren.



Figuur 3.25 *Het verband, op seizoensbasis, tussen gemiddeld vruchtgewicht en totale versoogst (links) voor de drie behandelingen.*

3.10 Modelmatige analyse

De ontwikkeling, groei en productie zijn geanalyseerd met het INTKAM gewasgroeimodel (Marcelis *et al.* 2009). Dit biedt de mogelijkheid om andere, diepere processen dan de gemeten processen bij de analyse te betrekken, en de teelt in stukjes te hakken en zo een beter begrip te krijgen van de experimentele resultaten. Waar mogelijk is het model gevoed met waarnemingen, zoals de LAI en de fotosynthese; in andere gevallen zijn processen op basis van waarnemingen geparameteriseerd, zoals de ontwikkelingssnelheid.

3.10.1 Ontwikkeling

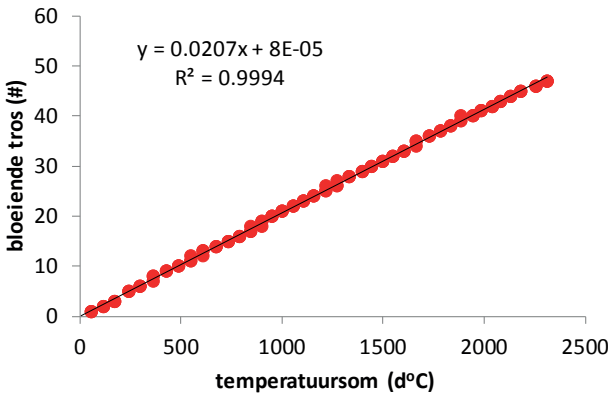
De ontwikkelingssnelheid van tomaat is afhankelijk van de temperatuur. Voor het ras Brioso kon de ontwikkelingssnelheid worden beschreven met de volgende vergelijking:

$R_{ontwikkeling} = 0.0207 * (T_{etmaal} - 12.773)$

Waarbij
$R_{ontwikkeling}$: ontwikkelingssnelheid (het aantal aangelegde trossen per dag)

T_{etmaal}: gemiddelde etmaaltemperatuur (°C)

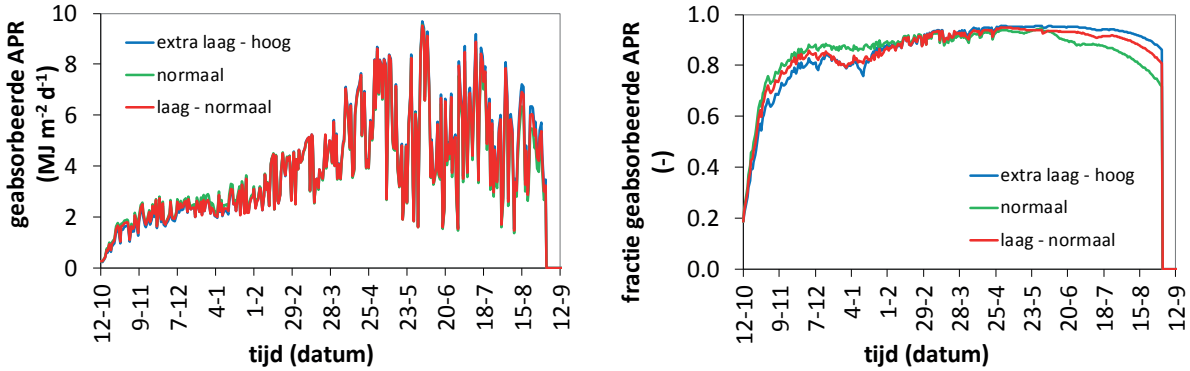
In dit model is de basistemperatuur voor de ontwikkeling 12.78°C. Er wordt een tros gevormd bij iedere temperatuursom van 1/0.0207 = 48.3 d°C. Het is afhankelijk van de omgevingstemperatuur hoeveel dagen dit kost, maar bij een gemiddelde etmaaltemperatuur in de kas van 21°C worden er iedere dag 21-12.78 = 8.22 d°C geaccumuleerd. Er wordt per 48.3/8.2 = 5.9 dagen een tros gevormd. Bij een omgevingstemperatuur van 20°C wordt er iedere 6.7 dagen een tros gevormd. Ook voor Brioso geldt dus dat onder Nederlandse omstandigheden er per week ongeveer een tros wordt gevormd.



Figuur 3.26 *De relatie tussen temperatuursom en het nummer van de bovenste bloeiende tros. De gehanteerde basistemperatuur is 12.78°C.*

3.10.2 Geabsorbeerde straling

De hoeveelheden binnenkomend PAR[5] waren voor alle behandelingen gelijk, maar als gevolg van de verschillen in LAI (Figuur 3.13) waren de hoeveelheden geabsorbeerde PAR en de fracties geabsorbeerde PAR iets verschillend voor de drie behandelingen. Terwijl de behandeling 'normaal' aan het begin van het seizoen de meeste PAR absorbeerde, als gevolg van de hogere LAI, absorbeerde de behandeling 'extra laag – hoog' in de zomer de meeste PAR. Op seizoensbasis absorbeerde de behandeling 'extra laag – hoog' de meeste PAR, gevolgd door 'laag – normaal' en 'normaal'.



Figuur 3.27 *De dagelijkse hoeveelheid geabsorbeerde PAR (links) en de fractie geabsorbeerde PAR (rechts) voor de drie behandelingen.*

[5] PAR = photosynthetic active radiation = fotosynthetisch actieve straling

Tabel 3.10

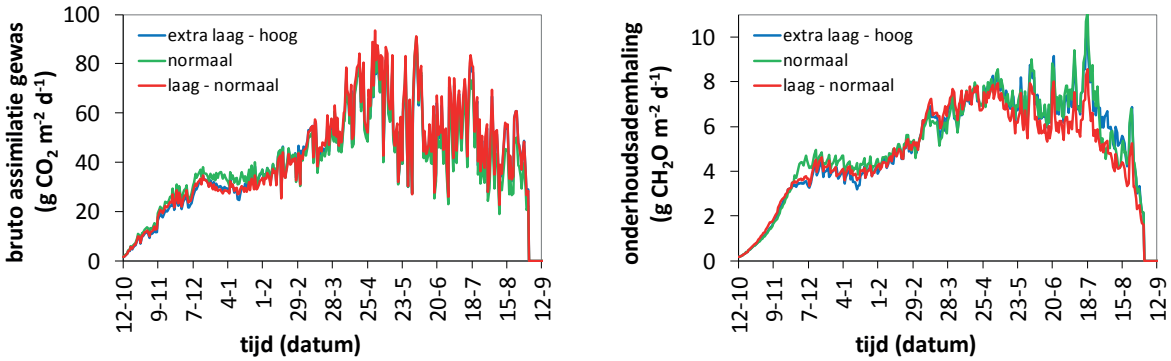
De hoeveelheid en fractie geabsorbeerde PAR tijdens de winter (t/m februari), de overgangsmaand maart, de zomer (april-augustus), en de volledige teelt.

Behandeling	Geabsorbeerde PAR (MJ m^{-2})				
	t/m feb	maart	t/m maart	april-aug	totaal
Extra laag – hoog	322	132	454	839	1293
Normaal	341	130	472	793	1264
Laag - normaal	329	131	460	820	1281
	Fractie geabsorbeerde PAR (-)				
Extra laag – hoog	0.79	0.92	0.82	0.94	0.90
Normaal	0.84	0.91	0.86	0.89	0.88
Laag - normaal	0.81	0.92	0.84	0.92	0.89

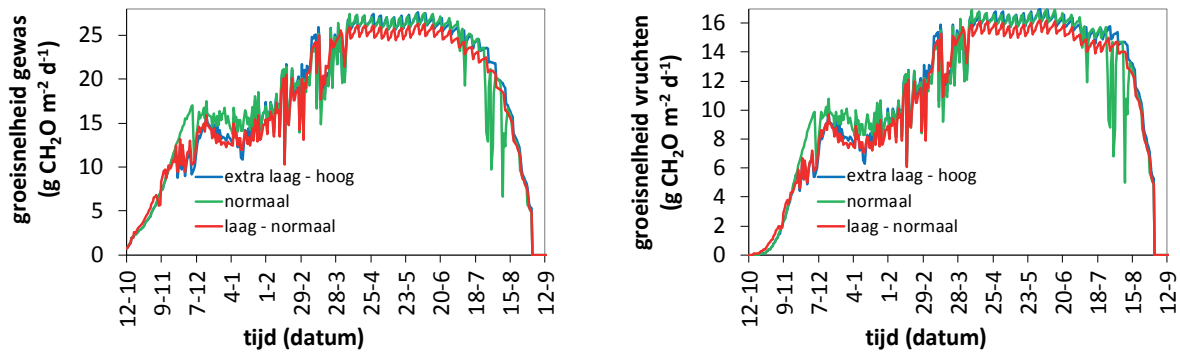
3.10.3 Fotosynthese, ademhaling, assimilatenbeschikbaarheid en groei

De verschillen in hoeveelheid geabsorbeerde PAR vertalen zich in verschillende hoeveelheden CO_2 die door de gewassen worden geassimileerd. In deze berekeningen zijn de gemeten fotosyntheseparameters meegenomen. Zowel de cumulatieve geabsorbeerde PAR als de cumulatieve CO_2 assimilatie van behandeling 'normaal' zijn 2% lager dan die van behandeling 'extra laag – hoog'.

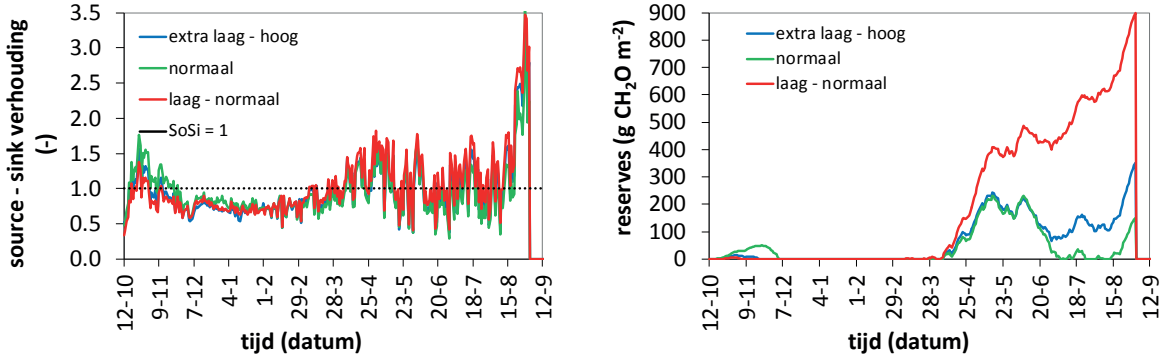
De onderhoudsademhaling heeft voorrang op de groei. De onderhoudsademhaling is ongeveer 10% van de bruto groeisnelheid (dit is een ruwe schatting, er is uiteraard veel variatie) en vormt daarmee een substantiële bestemming van assimilaten. Het komt voor dat op donkere dagen de onderhoudsademhaling een groot deel van de assimilaten opsoupeert en de gewasgroei nagenoeg tot stilstand komt (dit is een argument om assimilatiebelichting toe te passen).



Figuur 3.28 *De dagelijkse bruto assimilatie (links) en de onderhoudsademhaling (rechts) voor de drie behandelingen.*



Figuur 3.29 *De dagelijkse groeisnelheid van het gewas (links) en van de vruchten (rechts) voor de drie behandelingen.*



Figuur 3.30 *De dagelijkse balans tussen aanbod van en vraag naar assimilaten (links) en de dagelijkse omvang van het reserve-orgaan (rechts) in het verloop van de teelt, voor de drie behandelingen.*

Tabel 3.11

De hoeveelheid geassimileerde CO_2, cumulatieve drogestoftoename van het hele gewas, cumulatieve drogestoftoename van de vruchten, en de lichtbenuttingsefficiëntie voor gewasgroei, tijdens de winter (t/m februari), de overgangsmaand maart, de zomer (april-augustus), en de volledige teelt.

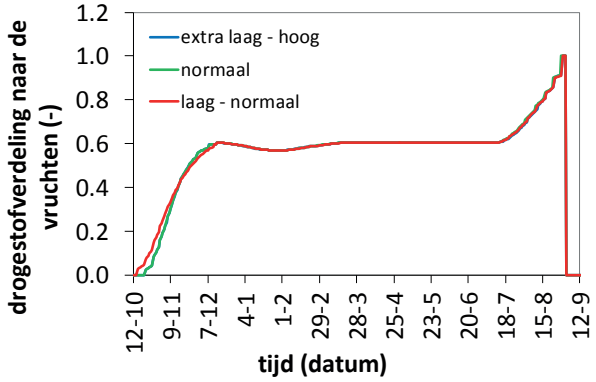
Behandeling	Assimilatie (g CO_2 m^{-2}) gesimuleerd						
	t/m feb	maart	t/m maart	april-aug	totaal		
Extra laag – hoog	3677	1489	5165	8493	13658		
Normaal	3996	1431	5427	8005	13432		
Laag - normaal	3653	1518	5171	8853	14024		
	drogestoftoename bovengrondse gewas (g CH2O m^{-2}) gesimuleerd					waargenomen t/m feb	waargenomen totaal
Extra laag – hoog	1587	642	2229	3850	6078	1563	6105
Normaal	1725	617	2342	3553	5895	1636	6026
Laag - normaal	1562	651	2213	4160	6374	1511	6313
	drogestoftoename vruchten (g CH2O m^{-2}) gesimuleerd					waargenomen t/m feb	waargenomen totaal
Extra laag – hoog	922	414	1336	2369	3705	931	3787
Normaal	1007	398	1405	2294	3699	914	3725
Laag - normaal	903	417	1320	2268	3588	897	3610
	RUE (g CH2O MJ-1) gesimuleerd						
Extra laag – hoog	3.89	4.50	4.05	4.31	4.21		
Normaal	4.23	4.33	4.26	3.98	4.09		
Laag - normaal	3.83	4.57	4.02	4.66	4.42		

De berekeningen laten aan het einde van de winter een verlaging van de groeisnelheid voor de behandelingen 'laag – normaal' en 'extra laag – hoog' zien ten opzichte van de groeisnelheid van de behandeling 'normaal'. Er vindt het volgende plaats (Figuren 3.28 – 3.30):

- Aan het begin van de teelt is het aanbod van assimilaten (source) groter dan de vraag naar assimilaten (sink); de source-sink balans (SoSi) is groter dan 1. Met het overschot aan assimilaten wordt een virtuele reserve-orgaan gevuld, dat zich verspreid over stengel en bladeren kan bevinden.
- Vanaf medio november, als de vruchten assimilaten beginnen te vragen, is de vraag naar assimilaten groter dan het aanbod van assimilaten. De SoSi is kleiner dan 1. De kleine hoeveelheden assimilaten die eerder waren opgeslagen in het virtuele reserve-orgaan worden aangesproken zodat dit leegloopt. Vanaf dit moment is groei van het gewas, en van de vruchten, niet langer potentieel., dat wil zeggen dat de groei lager is dan op basis van de vraag naar assimilaten mogelijk zou zijn.
- Na de winter neemt de gewasfotosynthese toe en is op veel dagen het aanbod van assimilaten groter dan de vraag ernaar. De voorraad reserves herstelt zich en maakt voor alle behandelingen een potentiële groei mogelijk. Hier gedraagt het ras Brioso zich anders dan bijvoorbeeld grove trostomaten. Deze hebben een hogere vraag naar assimilaten en worden uiteindelijk ook groter.
  Volgens de berekeningen blijft er aan het einde van de teelt een niet-gebruikte hoeveelheid assimilaten over. Dat is natuurlijk zonde en zou voor vruchtproductie aangewend moeten worden.
- De lichtbenuttingsefficiëntie (RUE, radiation use efficiency) op basis van onderschepte PAR en bovengrondse aanmaak van drogestof (dus niet alleen vruchten) varieert rond 4 g CH_2O MJ^{-1} en is in de winter lager dan in de zomer. De waarden zijn een reflectie van de cumulatieve groei.

3.10.4 Drogestofverdeling

De vruchten ontvangen tijdens het grootste deel van de teelt ongeveer 60% van de drogestof. Alleen aan het begin, wanneer de vruchten zich nog moeten ontwikkelen, is de verdeling naar de vruchten lager. Aan het einde van de teelt, wanneer het gewas is getopt en bladeren en stengels steeds minder aanspraak maken op assimilaten om te groeien, neemt het aandeel van de vruchten toe.



Figuur 3.31 *De dagelijkse verdeling van de drogestof naar de vruchten voor de drie behandelingen.*

3.11 Gewassamenstelling

De gewassamenstelling is in januari en juni bepaald aan een monster die van alle organen (behalve de wortels) zijn genomen. In bijlagen 7 en 8 worden de gedetailleerde resultaten gegeven.

3.11.1 Bouwstoffen

In Tabellen 3.12 t/m 3.14 zijn de percentages bouwstoffen op gewichtsbasis per orgaan en per behandeling gegeven. Per behandeling is de gemiddelde waarde van de bepalingen in januari en juni gegeven. In bijlage 7 worden ook de aparte waarden voor januari en juni weergegeven. Verder staat in de Tabellen aangegeven of de laagste en hoogste waarde van de gemiddelden meer dan 10% van elkaar verschillen[6].

Vet (lipiden)

- Vet (lipiden) maakt gemiddeld 0.31%, 0.32% en 0.44% uit van respectievelijk bladeren, stengels en vruchten. Vetten zijn daarmee niet een belangrijk bestanddeel van de tomatenplant.
- Bladeren:
  - De gemiddelde niveaus in januari en juni zijn ongeveer hetzelfde.
  - Behandeling ‘extra laag – normaal’ heeft in beide maanden een hoger niveau lipiden dan de andere twee behandelingen.
- Stengels:
  - Er is een grote variatie in niveaus, zowel tussen behandelingen als meetmomenten.
  - Opvallend is de relatief hoge waarde in juni in behandeling ‘extra laag – hoog’. Als deze waarneming buiten beschouwing wordt gelaten, is de gemiddelde waarde voor deze behandeling 0.22% in plaats van 0.32%.
- Vruchten:
  - Er is een grote variatie in waarden, zowel tussen behandelingen als meetmomenten.
  - Opvallend is de relatief lage waarde in januari in behandeling ‘extra laag – hoog’.

[6] Een statistische toets was niet mogelijk vanwege de afwezigheid van herhalingen.

Eiwitten

- Eiwitten maakt gemiddeld 1.57%, 1.18% en 0.96% uit van respectievelijk bladeren, stengels en vruchten.
- Bladeren:
  - Het gemiddelde niveau ligt in januari iets lager dan in juni.
  - De behandelingen hebben ongeveer dezelfde waarde.
- Stengels:
  - Het gemiddelde niveau ligt in januari iets lager dan in juni.
  - Behandeling 'laag – normaal' heeft de hoogste concentratie eiwitten, en behandeling 'extra – laag – hoog' de laagste concentratie.
- Vruchten:
  - Er is een ongestructureerde variatie in de waarden, zowel tussen behandelingen als meetmomenten.

Hemicellulose

Hemicellulose is een polysaccharide met kortere ketens dan cellulose en is aanwezig in de celwanden.

- Hemicellulose maakt gemiddeld 11%, 9% en 1.1% uit van respectievelijk bladeren (behandeling 'extra laag – hoog' heeft over januari en juni een gemiddelde waarde van 20%), stengels en vruchten.
- Bladeren:
  - In januari heeft de behandeling 'extra laag – hoog' een veel hogere waarde dan de andere twee behandelingen.
- Stengels:
  - Per behandeling zijn de waarden voor januari en juni ongeveer hetzelfde.
  - Behandeling 'laag – normaal' heeft de hoogste concentratie hemicelluose, en behandeling 'extra – laag – hoog' de laagste concentratie.
- Vruchten:
  - Bevatten weinig hemicellulose.

Cellulose

Cellulose bestaat uit langere polysaccharides dan hemicellulose, bevindt zich in de celwanden en geeft stevigheid aan de plantstructuren. Het is daarom een belangrijk bestanddeel van de stengel.

- Cellulose maakt gemiddeld 20%, 43% en 9% uit van respectievelijk bladeren (behandeling 'extra laag – hoog' heeft over januari en juni een gemiddelde waarde van 16%), stengels en vruchten.
- Bladeren:
  - In januari heeft de behandeling 'laag – normaal' de hoogste waarde, en de behandeling 'extra laag – hoog' de laagste waarde.
- Stengels:
  - Alle waarden zijn ongeveer gelijk – geen verschillen tussen behandeling en meetmoment.
- Vruchten:
  - Bevatten weinig hemicellulose.
  - Alle waarden zijn ongeveer gelijk – geen verschillen tussen behandeling en meetmoment.

Lignine

Lignines zijn organische polymeren die een ondersteunende rol spelen bij de vorming van celwanden en verleent stevigheid aan de plant.

- Lignine maakt gemiddeld 2.85%, 5.73% en 2.73% uit van respectievelijk bladeren, stengels en vruchten.
- Bladeren:
  - In juni bevatten de bladeren veel meer lignine dan in januari (3.9% t.o.v. 1.8%).
  - In januari heeft de behandeling 'laag – normaal' de hoogste waarde, en de behandeling 'extra laag – hoog' de laagste waarde.
- Stengels:
  - Alle waarden zijn ongeveer gelijk – geen verschillen tussen behandeling en meetmoment.
- Vruchten:
  - De waarden, per behandeling, zijn voor januari en juni ongeveer hetzelfde.
  - De behandeling 'extra laag – hoog' heeft op beide meetmomenten een hogere waarde dan de andere twee behandelingen.

Suikers
Suikers spelen een belangrijke rol in de koolstofhuishouding van een plant, worden gevormd als een van de eerste producten van de fotosynthese en vormen de bouwstenen voor grotere koolstofstructuren.
- Suikers (fructose, glucose, sucrose) maken gemiddeld 4%, 4% en 46% uit van respectievelijk bladeren, stengels en vruchten.
- Bladeren:
  - In mei zijn de waarden hoger dan in maart (4.7% t.o.v. 2.6%).
  - Zijn de som van glucose (gemiddeld 0.8%), fructose (gemiddeld 1.4%), en sucrose (gemiddeld 1.5%).
- Stengels:
  - In mei zijn de waarden hoger dan in maart (5.5% t.o.v. 2.8%).
  - Dit is het gevolg van verschillen in sucrose waarden (3.2% t.o.v. 2.6%).
- Vruchten:
  - Alle waarden zijn ongeveer gelijk, waarbij de gemiddelde waarde voor totale suikers in mei slechts een fractie hoger is dan de gemiddelde waarde in maart (46% t.o.v. 45%).

Zetmeel
Zetmeel is een polysaccharide, wordt uit suikers gemaakt en dient als energieopslag.
- Zetmeel bevindt zich voornamelijk in de bladeren; het maakt gemiddeld 9.8%, 0.08% en 0.06% uit van respectievelijk bladeren, stengels en vruchten.
- Vruchten:
  - In mei zijn de waarden hoger dan in maart (0.071% t.o.v. 0.040%).

Organische zuren
Organische zuren spelen een rol in diverse fysiologische processen.
- Organische zuren (chloride, nitraat, malaat, sulfaat, oxalaat, fosfaat, citraat) maken gemiddeld 4.3%, 7.3% en 7.5% uit van respectievelijk bladeren, stengels en vruchten.
- Bladeren:
  - Er zijn alleen metingen van mei beschikbaar.
- Stengels:
  - In mei zijn de waarden lager dan in maart (6.6% t.o.v. 7.9%).
- Vruchten:
  - Alle waarden zijn ongeveer gelijk.

De bestanddelen die de tomatenplant tijdens een teeltseizoen het meest vormt (in kg m^{-2}) zijn cellulose in de stengel, bladeren, en vruchten, hemicellulose in de bladeren en stengel, en suikers in de vruchten. In relatieve zin zijn suikers in de vruchten en cellulose in de stengel belangrijke bestanddelen.

Tabel 3.12
Concentraties van bouwstoffen in de bladeren.

Bouwstof	Gemiddelde fractie (%)				Meer dan 10%
	Extra laag - hoog	normaal	Laag - normaal	gemiddeld	Verschil?
Vet	4.14	3.04	2.44	3.20	Ja
Eiwit	16.0	15.7	15.7	15.8	Nee
Hemicellulose	20.2	8.3*	4.9*	10.8*	-
Cellulose	16.2	20.6*	24.0*	20.4*	-
Lignine	2.53	2.93	3.10	2.85	Ja
Suikers	3.23	3.97	5.96	4.39	Ja
Zetmeel	9.89	10.43	9.21	9.84	Ja
Organische zuren	4.40	4.02	4.37	4.26	Nee

*: alleen bepaald in januari

Tabel 3.13

Concentraties van bouwstoffen in de stengels.

Bouwstof	Gemiddelde fractie (%)				Meer dan 10%
	Extra laag - hoog	normaal	Laag - normaal	gemiddeld	Verschil?
Vet	4.77	1.29	2.63	2.89	Ja
Eiwit	10.1	9.8	11.9	10.6	Ja
Hemicellulose	8.30	8.80	9.90	9.00	Ja
Cellulose	41.7	43.2	43.0	42.6	Nee
Lignine	5.80	5.60	5.80	5.73	Nee
Suikers	3.82	4.58	5.07	4.49	Nee
Zetmeel	0.076	0.078	0.084	0.079	Nee
Organische zuren	7.68	7.41	6.80	7.30	Ja

Tabel 3.14

Concentraties van bouwstoffen in de vruchten.

Bouwstof	Gemiddelde fractie (%)				Meer dan 10%
	Extra laag - hoog	normaal	Laag - normaal	gemiddeld	Verschil?
Vet	2.54	5.81	3.99	4.11	Ja
Eiwit	8.92	9.67	8.62	9.07	Ja
Hemicellulose	0.10	0.80	2.40	1.10	Ja
Cellulose	9.10	9.80	9.50	9.47	Nee
Lignine	2.90	2.60	2.70	2.73	Ja
Suikers	46.2	45.5	45.5	45.7	Nee
Zetmeel	0.057	0.052	0.058	0.056	Ja
Organische zuren	7.69	7.45	7.31	7.48	Nee

Tabel 3.15
Geschatte hoeveelheden bouwstoffen, op basis van de gemiddelde concentraties.

Bouwstof	Hoeveelheid (g m^{-2})			
	blad	stengel	vruchten	totaal
Vet	54	35	152	241
Eiwit	267	127	336	730
Hemicellulose	182	108	41	331
Cellulose	345	510	351	1206
Lignine	48	69	101	218
Suikers	74	54	1695	1823
Zetmeel	166	1	2	169
Organische zuren	72	87	277	437
Totaal	***1209***	***989***	***2956***	***5138***
Werkelijk totaal	***1690***	***1196***	***3707***	***6593***

3.11.2 Historische vergelijking

We hebben een uitgebreide literatuurstudie verricht naar de precieze samenstelling van de organen van een tomatenplant. Er is eigenlijk maar een goede studie te vinden (Herrmann, 1979), die gedetailleerde gegevens over de tomatenvrucht levert. Sommige gegevens wijken nogal af van wat wij hebben gevonden, maar lijken voor wat betreft de carbohydraten (de belangrijkste component van vruchten) redelijk met onze waarden overeen te komen. Er is daarom in het Intkam model geen aanpassing verricht aan de waarden voor groei- en onderhoudsademhaling die in het verleden zijn bepaald (Penning de Vries *et al.* 1974, 1983). Voor de andere organen hebben we geen vergelijkingsmateriaal; er is erg weinig bekend over hogedraadgewassen in de tuinbouw. We hebben daarom de waarden die voor gewassen in het algemeen gelden gehandhaafd.

Tabel 3.16
Literatuurwaarden van bouwstoffen in tomaat.

Bouwstof	Gemiddelde fractie in een orgaan (%)	
	Deze studie	Hermann, 1979
Orgaan	Vrucht	Vrucht
Vet	1.11	4
Eiwit	9.1	17
Carbohydraten	56.3	54
Suikers	45.7	
Hemicellulose	1.1	
Cellulose	9.5	
Lignine	2.7	9

3.11.3 Nutriënten

Alle resultaten van de nutriëntenbepalingen kunnen worden gevonden in Bijlage 8. Hier worden een beperkt aantal resultaten samengevat:

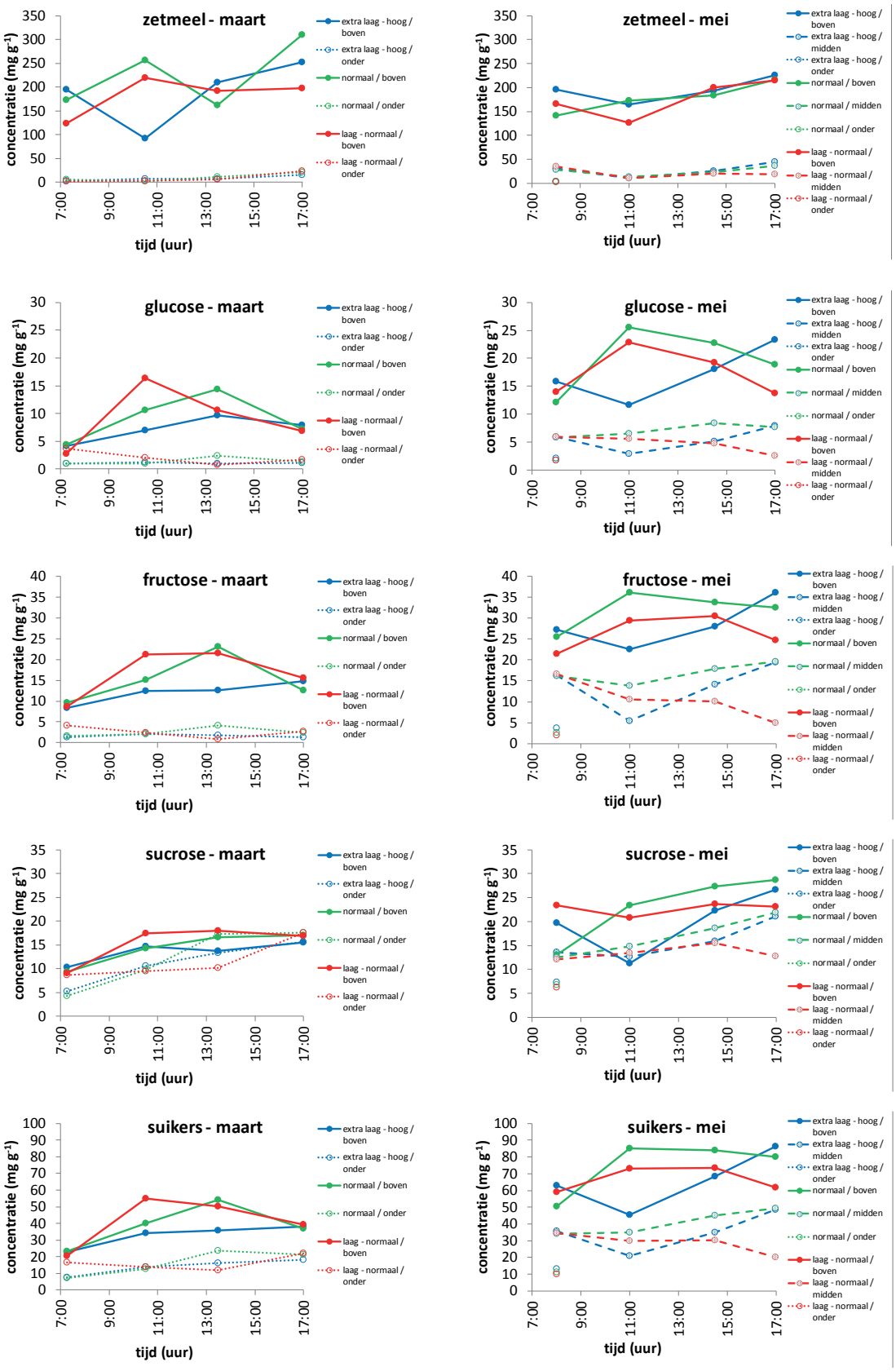
- Bladeren:
  - Bevatten relatief hoge gehalten aan Na, Mg, Ca, S, Ma, N, Fe, Mo, B
- Stengels:
  - Bevatten relatief hoge gehalten aan P, Zn, Cu
  - Bevatten relatief lage gehalten aan Ca, S, Ma
- Vruchten:
  - Bevatten relatief hoge gehalten aan Co
  - Bevatten relatief lage gehalten aan Ca (nog lager dan de stengels; de gemiddelde K/Ca verhouding in de vruchten was 31), S, Ma, Mo

3.11.4 Dagverloop van zetmeel en suikers

Op 1 maart en 31 mei zijn in de loop van de dag 4 keer op twee hoogtes in het gewas (0.5 m onder de kop en 1.5 m onder de kop) de top blaadjes geplukt van 3 bladeren per behandeling en per laag. Op 31 mei zijn bovendien bij de eerste meting van de dag de topbladeren van het de oudste onderste bladeren geplukt. De bladeren zijn direct bevroren in vloeibare stikstof en in plastic potjes opgeslagen bij -80°C. De monsters zijn bevroren op droogijs en vervoerd naar Wageningen en daar geanalyseerd op de concentratie zetmeel en de suikers glucose, fructose en sucrose.

In Figuur 3.32 zijn de gemiddelde waarden in mg g^{-1} gegeven. Voor zetmeel is opvallend dat dit vrijwel alleen voorkomt in de bovenste bladeren en niet in de lagere bladeren. In de bovenste bladeren neemt in alle behandelingen de concentratie in de loop van de dag iets toe. Een teveel aan gefotosynthetiseerde suikers in de bovenste bladeren wordt blijkbaar wel vastgelegd als zetmeel, wat niet in de onderste bladeren gebeurt. Deze krijgen niet veel licht, en hebben dus mogelijk geen overschot aan assimilaten. Ook in de oudste bladeren is in mei nauwelijks zetmeel gemeten.

Voor wat betreft de suikers is bij glucose en fructose een vergelijkbaar beeld te zien. De concentratie in de bovenste bladeren is hoger dan in de onderste bladeren en neemt in de eerste uren toe. In de onderste bladeren zijn deze suikers minder aanwezig. De hoeveelheid sucrose is voor de bladlagen ongeveer hetzelfde. De concentratie is slechts iets hoger in de bovenste bladlaag dan in de onderste bladlaag. De sucroseconcentratie neemt in de loop van de dag toe.



Figuur 3.32 *Het dagverloop van zetmeel en suikers, voor 1 maart en 3 mei, voor de drie behandelingen.*

Sucrose is de vorm waarin de suikers getransporteerd worden door het floëem. Dus is het normaal dat dit boven- en onderin de plant voorkomt. Glucose en fructose zijn suikervormen die ontstaan in en direct na de fotosynthese, die is het hoogste in de bovenste bladeren. De beginniveaus van glucose en fructose zijn aan het begin van de dag laag omdat de fotosynthesesnelheid dan nog laag is. In mei zijn de suikers in de kop op een hoger niveau van concentratie aanwezig. Dit komt overeen met de hogere lichtintensiteit en daardoor hogere fotosynthese in mei dan in maart.

Het zetmeelniveau is in maart en mei ongeveer hetzelfde. Dit betekent dat er niet een hoge overmaat aan assimilaten in de bladeren aanwezig zijn die niet worden gebruikt voor groei. De zetmeel die in de bovenste bladeren werd gevonden is na het zakken van de plant, waarbij de bovenste bladeren naar beneden gaan door de plant weer omgezet in vrije suikers die voor groei en ontwikkeling gebruikt zijn.

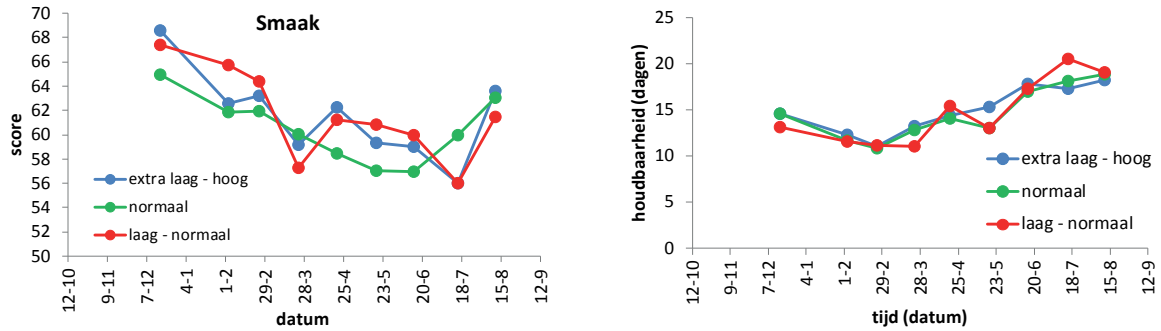
Er zijn geen monsters genomen aan het einde van de donkere periode (de nacht). Dit was wel nodig geweest om te bepalen of er aan het einde van de donkere periode zeer lage niveaus van zetmeel en suiker ontstaan.

3.12 Smaak en houdbaarheid

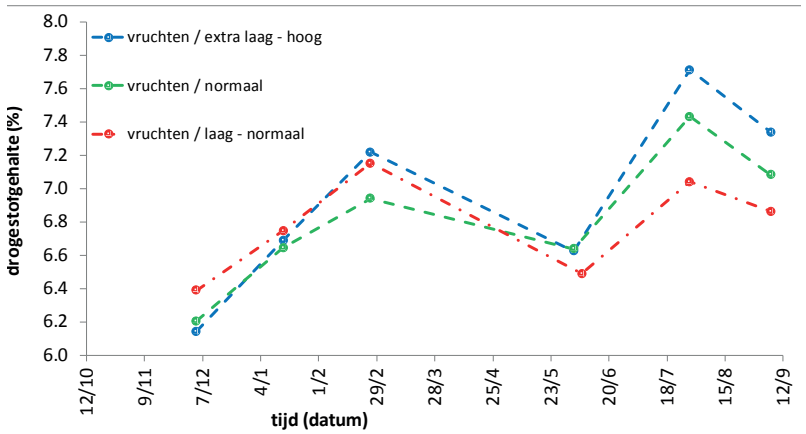
Brioso is een smakelijke tomaat met een beginscore van gemiddeld 67. In de winter en voorjaar daalde de score om aan het einde van de teelt weer toe te nemen. Het zou kunnen dat de relatief slechte smaak in maart is gekoppeld aan het iets lagere suikergehalte (zie bijlage 7) op dat moment. De afnemende smaak in de zomer is mogelijk gekoppeld aan het lagere drogestofgehalte op dat moment (Figuur 3.34). Waarom dan echter de smaak aan het begin van de teelt ook laag is, is niet duidelijk. Misschien als gevolg van de meer sappige vruchtwand?

De houdbaarheid varieerde tijdens de teelt tussen 11 dagen aan het begin van het voorjaar en 20 dagen in de zomer. Er zijn geen structurele behandelingsverschillen.

Meer informatie kan worden gevonden in Bijlage 9.



Figuur 3.33 *Smaak en houdbaarheid van de rijpe vruchten voor de drie behandelingen.*



Figuur 3.34 *Actuele drogestofgehalten van de vruchten, voor de drie behandelingen.*

Figuur 3.35 *Dozen met pas geoogste Brioso tomatenvruchten.*

4 Scenarioberekeningen

4.1 Inleiding

Het plukken van blad heeft tot doel om dusdanig veel bladoppervlak aan het gewas te realiseren dat het onderste blad nog net productief is: de netto fotosynthese ervan moet net iets groter zijn dan de onderhoudsademhaling. De fotosynthese door een blad dat lager zou zitten zou kleiner zijn dan de ademhaling waardoor dit blad meer assimilaten consumeert dan produceert. In dit hoofdstuk wordt een kwantitatieve schatting gegeven van de hoeveelheid bladoppervlak die aan deze eis voldoet.

Hierbij worden de volgende stappen toegepast:

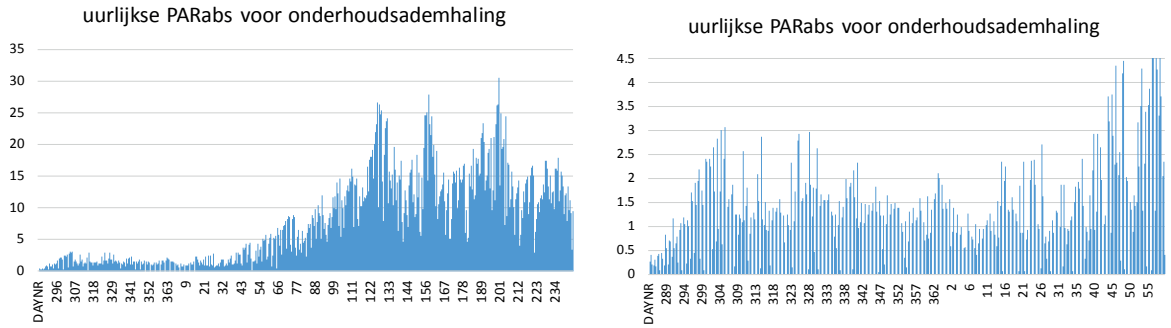
1. Berekening van de hoeveelheid bladoppervlak dat nodig is voor de onderschepping van de hoeveelheid PAR dat nodig is voor:
   a. De onderhoudsademhaling.
   b. De dagademhaling.
2. Berekening van de hoeveelheid bladoppervlak dat nodig is voor de onderschepping van de resterende hoeveelheid PAR.
3. Er wordt eerst een momentane (op een specifiek moment in de tijd) benadering gebruikt omdat dit de basis is van de fotosyntheseberekeningen, wat wordt gebruikt voor een schatting op dagbasis.

4.2 Fysiologie

4.2.1 Onderhoudsademhaling

De onderhoudsademhaling heeft voorrang in het gebruik van assimilaten. Een belangrijke aanname in de fysiologie is dat pas als aan de behoefte van onderhoudsademhaling van het gehele gewas is voldaan er assimilaten beschikbaar zijn voor groei. Er is een schatting van de onderhoudsademhaling verkregen door behandeling 'normaal-normaal' (in compartiment 608) met Intkam na te rekenen, waarbij de waargenomen bladbedekking (LAI) is opgelegd. De werkwijze is als volgt:

1. Het Intkam model levert momentane waarden van de bruto fotosynthese (Fot_{bruto}, in mg CO_2 m^{-2} s^{-1}) en van de onderhoudsademhaling (Ond, in mg CH_2O m^{-2} s^{-1}). Omdat de grootheden niet hetzelfde zijn wordt de dimensie van Fot_{bruto} omgezet in mg CH_2O m^{-2} s^{-1} door het met een factor 30/44 te vermenigvuldigen.
2. Vervolgens wordt de verhouding Ond/Fot_{bruto} berekend. Dit is een schatting van de fractie gevormde assimilaten die op momentane basis voor de onderhoudsademhaling wordt gebruikt.
3. De hoeveelheid geabsorbeerde straling wordt vermenigvuldigd met de verhouding Ond/Fot_{bruto}, wat de hoeveelheid geabsorbeerde PAR levert die voor de onderhoudsademhaling wordt gebruikt (Figuur 4.1). De processen in de wintermaanden, ongeveer t/m februari, zijn van belang. Hierna neemt de onderhoudsademhaling sterk toe als gevolg van het toenemende gewasgewicht en de stijgende temperatuur. *Naar schatting bedraagt de gemiddelde PAR die voor de periode van planten tot eind februari voor de onderhoudsademhaling wordt gebruikt 0.5 - 1.5 J m^{-2} [kasoppervlak] s^{-1}. Voor verdere berekeningen is de bovenwaarde van 1.5 J m^{-2} s^{-1} gebruikt.*



Figuur 4.1 *Uurlijkse hoeveelheden PARabs (J m^{-2} s-1) gebruikt voor de onderhoudsademhaling gedurende het hele seizoen (links) en t/m dag 59.*

4.2.2 Dagademhaling

Een ander deel van de assimilaten wordt gebruikt voor de dagademhaling. Het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthesesnelheid wordt met een curve beschreven die bij een hoge lichtintensiteit een plateau bereikt (zie paragraaf 2.2.6). Metingen in dit experiment leverden de volgende gemiddelde waarden (zie Tabel 3.6): A_{max}= 28.7 (µmol m^{-2} s^{-1}), R_d = -1.25 (µmol m^{-2} s^{-1}), ε = 0.085 (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} / µmol PAR m^{-2} s^{-1}), en Θ = 0.732. Toepassing van deze waarden geeft een dagademhaling (of compensatiepunt = het lichtniveau waarbij de netto fotosynthesesnelheid gelijk is aan 0) van 14.877 µmol m^{-2} s^{-1} = 3.234 J m^{-2} s^{-1}.

4.2.3 Lichtextinctie en nuttige LAI

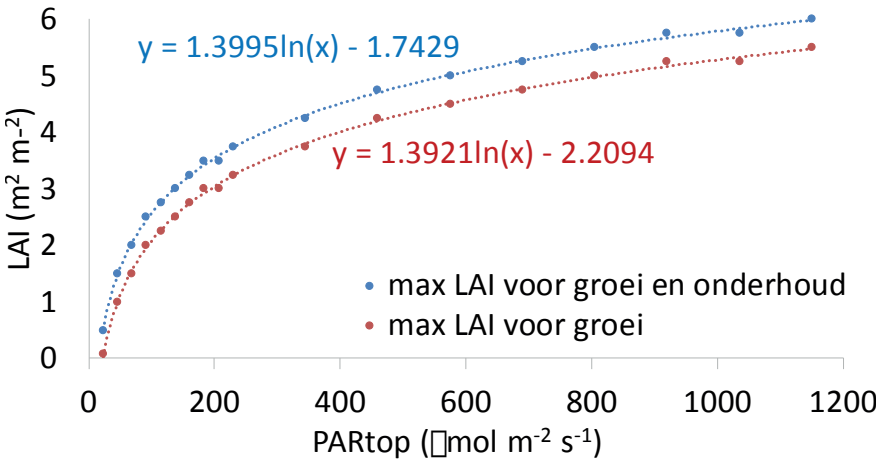
Op basis van metingen is de lichtextinctie van wit licht nauwkeurig bepaald, wat in een gemiddelde extinctie van k = 0.71 resulteert (Elings *et al.* 2017). Met de relatie

$$PAR_{diepte} = PAR_{top} * e(^{-k+lai_{diepte}})$$

kan voor iedere gewasdiepte worden uitgerekend wat het lichtniveau is. En met de uitgebreidere formule

$$PAR_{diepte} = PAR_{top} * e(^{-k+lai_{diepte}}) - PAR_{Rd} - PAR_{onderhoud} = 0$$

kan worden berekend op bij welke LAI al het licht is benut voor daadwerkelijke groei, dag- en onderhoudsademhaling. Deze 'nuttige LAI' is in Figuur 4.2 weergegeven. Het blijkt dat bij een laag lichtniveau in de kop van het gewas weinig bladoppervlak nuttig is. Bijvoorbeeld bij een lichtniveau van 25 J m^{-2} s^{-1} is een LAI van maximaal 2 m^2 m^{-2} voldoende. Meer bladoppervlak geeft bladeren onderin het gewas die meer ademhalen dan fotosyntetiseren. Bij hogere lichtniveaus neemt de hoeveelheid nuttige LAI toe. Lichtniveaus van hoger dan 1200 J m^{-2} s-1 worden in de zomermaanden niet zo vaak aangetroffen. Uit Figuur 4.2 blijkt dat minder licht een lagere nuttige LAI met zich meebrengt – dit is de basis van bladplukken met het licht mee.



Figuur 4.2 *De relatie tussen PAR in de kop van het gewas en de LAI waarbij al het licht is benut voor daadwerkelijke groei, nadat het licht dat nodig is voor de dag- en onderhoudsademhaling is verdisconteerd ('nuttige LAI'). Opmerking: De lichte 'ruis' op de getallen wordt veroorzaakt door het feit dat er met discrete combinaties van LAI en PAR is gerekend.*

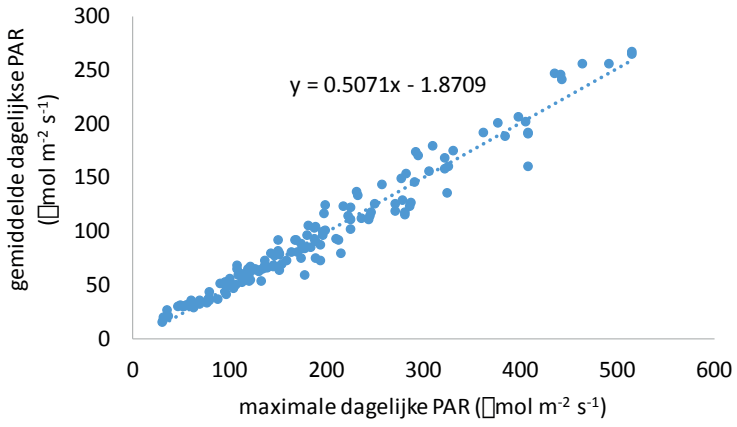
4.2.4 Dagbasis

Het is in de praktijk niet mogelijk om in de loop van een dag de LAI te variëren van laag in de vroege ochtend en late middag naar hoog rond het middaguur. Het is al moeilijk genoeg om het in de loop van het seizoen goed te variëren. Daarom is er een schatting gemaakt van de nuttige LAI in de loop van de herfst en de winter, tot aan eind februari. Daarna neemt de lichtintensiteit snel toe en is er meer blad nodig. Een schatting van de nuttige LAI op dagbasis is per definitie niet optimaal omdat er aan het begin en het einde van een dag minder LAI nodig is dan op het midden van de dag. Een tussenliggende LAI zal te hoog zijn voor de vroege ochtend en de namiddag als het leidt tot bladmateriaal dat meer ademhaalt dan fotosynthetiseert, en zal te laag zijn voor het middaguur als het leidt tot onvoldoende lichtonderschepping.

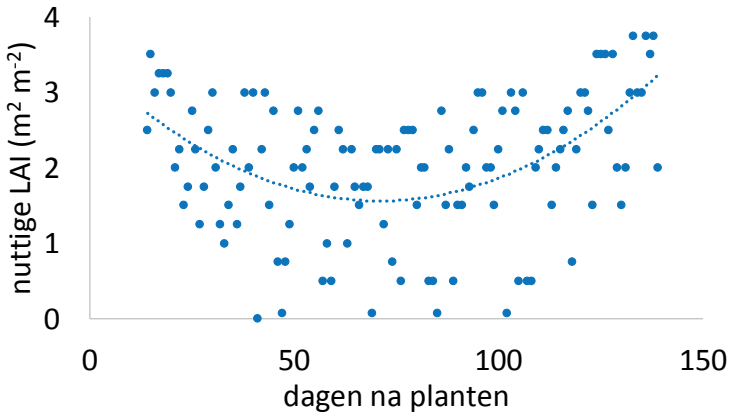
Het is ongetwijfeld mogelijk om op wiskundige basis te komen tot een analytische oplossing van de juiste nuttige LAI. Maar omdat dit een complexe operatie is die buiten het bereik van dit verslag ligt, is er gekozen voor een andere benadering. In Figuur 4.3 is te zien dat de gemiddelde dagelijkse PAR ongeveer de helft is van de maximale dagelijkse PAR. Toch is keuze voor de gemiddelde PAR in verband met de niet-lineaire relatie tussen PAR en fotosynthesesnelheid een te lage. Er is daarom voor gekozen om de nuttige LAI te koppelen aan 2/3 van de maximale PAR op een zekere dag; noem het een 'educated guess'.

Als van iedere dag 2/3 van de waarde de maximale PAR wordt genomen en bij deze 2/3 PAR de nuttige LAI wordt gekozen, dan levert dat een relatie tussen tijd (dagen na planten) en de nuttige LAI op (Figuur 4.4). Deze daalt tot 1,5 LAI m^2 m^{-2} ongeveer 70 dagen na planten (285+70 = 355, dus tegen het einde van het jaar), om daarna te stijgen tot waarden boven 3 m^2 m^{-2} in het voorjaar.

Deze LAI waarden komen goed overeen met de gerealiseerde LAI's in de bladplukstrategieën van 'laag' en 'extra laag' in de winter (zie Figuur 3.13) die in de winter rond de 2 m^2 m^{-2} lagen.



Figuur 4.3 *De relatie tussen de maximale en gemiddelde dagwaarde van PAR.*



Figuur 4.4 *De nuttige LAI in relatie tot het aantal dagen na planten. De gebruikte plantdatum is 12 oktober.*

4.2.5 Kwantitatieve effecten van bladpluk op bladgroei

Bladpluk resulteerde niet alleen in minder bladeren, maar ook in kleinere bladeren omdat het specifieke bladoppervlak (SLA, $cm^2\ g^{-1}$) gelijk bleef (zie Figuren 3.11 en 3.13). De afname in bladoppervlak was daarmee het gevolg van twee mechanismen. Het mechanisme van kleinere bladeren heeft te maken met de groeisnelheid, zodat de gemeten toestandsvariabelen moeten worden gedifferentieerd naar snelheidsvariabelen om de metingen geschikt te maken voor opname in een rekenmodel (zie uitwerking in onderstaand kader). Omdat 1/1.175 = 0.851 hebben de bladeren van de bladplukbehandelingen een sinksterkte van 0.851 van de standaard. Deze kennis is aan het Intkam model toegevoegd.

De relatie tussen oppervlakte (cm^2) en bladbreedte (cm) kan op basis van waarnemingen worden beschreven als:

$$Oppervlak = -295.8 + 285.2 * 1.02733^{Breedte}$$

Bij gelijk blijvende SLA geldt dit ook voor het bladgewicht:

$$Gewicht = -295.8 + 285.2 * 1.02723^{Breedte}$$

Verhouding tussen het bladgewicht van twee bladplukbehandelingen is

$$\frac{G1}{G2} = \frac{-295.8 + 285.2 * 1{,}02723^{B1}}{-295.8 + 285.2 * 1{,}02723^{B2}}$$

en na differentiatie:

$$\frac{G1}{G2} = \frac{285.8 + In(1.02723) * 1.02723B2 = 1.02723^{B1}}{285.8 + In(1.02723) * 1.02723B2 = 1.02723^{B2}} = 1.02723^{(B1-B2)}$$

Dit kan op de verhouding van de sinksterktes per blad van toepassing worden verklaard. In de periode 12 nov t/m 27 jan was het verschil tussen 608 enerzijds en het gemiddelde van 607 en 609 anderzijds 6 cm, zodat

$$\frac{G1'}{G2'} = 1.02723(6) = 1.175$$

4.2.6 Kwantitatieve effecten van bladpluk op stengelgroei

In de periode t/m half januari was de gemiddelde lengtegroei voor 608 hoger dan voor 607 en 609, met waarden van respectievelijk 3,89, 3,58 en 3,58 cm d^{-1}. Dit moet worden gecombineerd met het effect van specifiek stengelgewicht om iets te kunnen zeggen over het gewicht en de sinksterkte per cm en lengtetoename per dag. Er zijn wel getallen bekend van het specifieke stengelgewicht op basis van de volledige stengel, maar niet van de stukjes nieuwe stengel. En dit laatste is nodig om de sinksterkte van de stengels en hun onderlinge verhoudingen te kunnen bepalen. Omdat kwantificering dus niet goed mogelijk was, is dit effect niet in het rekenmodel opgenomen.

4.3 Scenario's

4.3.1 Opzet

4.3.1.1 Hoeveelheid licht en bladplukperiode

In de modelmatige geëvalueerde scenario's is met name de hoeveelheid licht gevarieerd door al dan niet assimilatiebelichting toe te passen en door het natuurlijke zonlicht met een kwart te vermeerderen of te verminderen. Alle andere groeiomstandigheden (temperatuur, CO_2, VPD) zijn gelijk aan de experimentele waarden van de 'normaal' behandeling gehouden. Er is bladpluk in twee perioden beschouwd, namelijk met de sterkste bladpluk rond de kortste dag (21 december) en rond half januari, wat meer de tuinderspraktijk is.

Tabel 4.1
Overzicht van lichthoeveelheden en nagerekende bladplukperioden.

Set	LAI	Zonlicht	Assimilatiebelichting	Bladplukperiode
A	Laag	Als in experiment	Ja, als in experiment	Dec, jan
B	Laag	Als in experiment	Nee	Dec, jan
C	laag	Als in experiment + 25%	Ja, als in experiment	Dec, jan
D	Laag	Als in experiment – 25%	Ja, als in experiment	Dec, jan

4.3.1.2 Bladplukscenario's

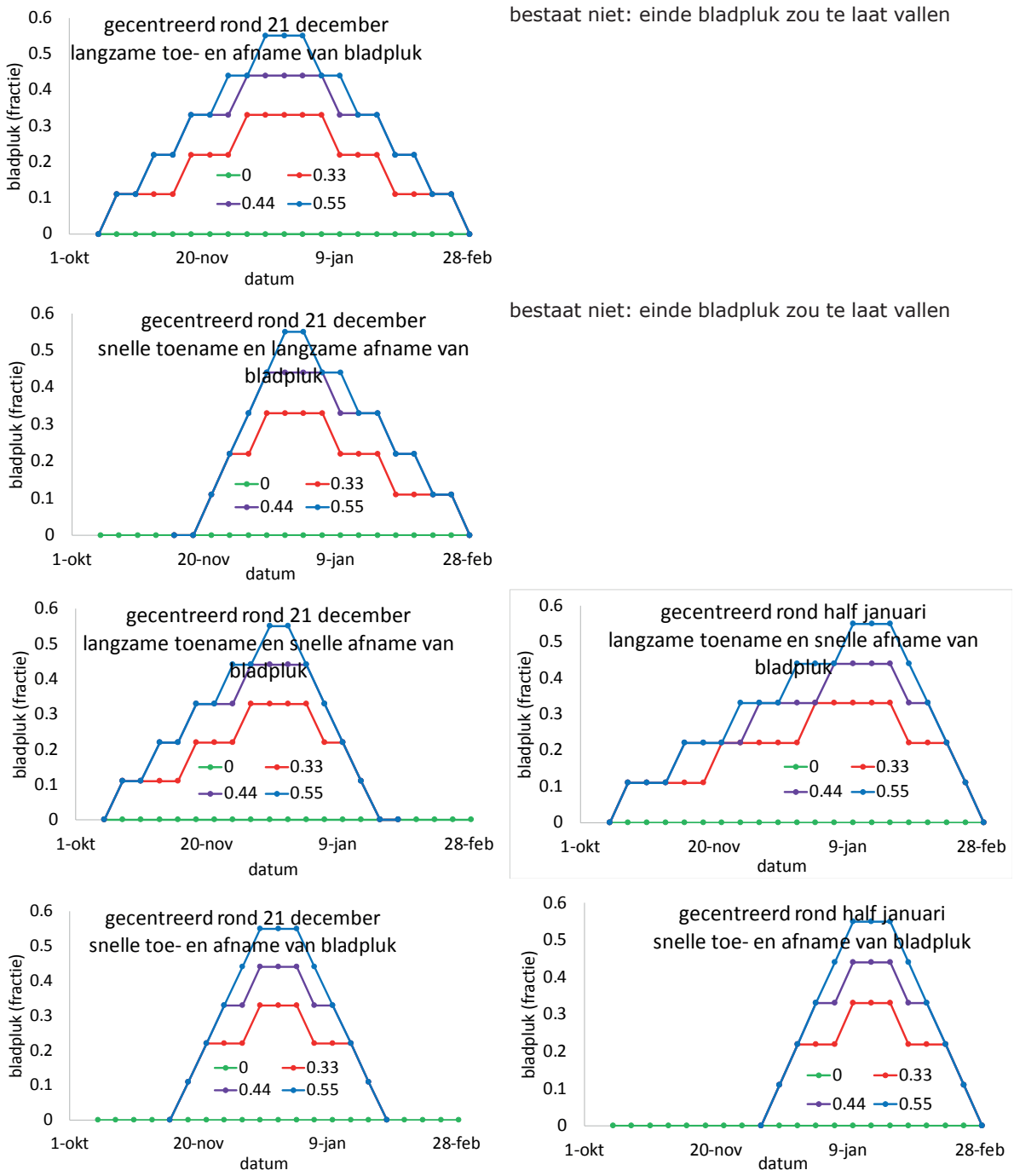
Per lichtniveau en bladplukperiode zijn de volgende bladplukscenario's nagerekend:
1. 0% bladpluk.
2. 33% bladpluk.
3. 44% bladpluk.
4. 55% bladpluk.

Er is aangenomen dat de bladpluk tot een bepaalde periode beperkt was en uiterlijk eind februari beëindigd moest zijn omdat dan het lichtniveau stijgt en er meer blad nodig is om dit te onderscheppen. Ook in de praktijk wordt dan geen blad meer geplukt. Er is onderscheid gemaakt tussen een langzame en een snelle verandering in het aantal geplukte bladeren. Als de sterkste bladpluk rond medio januari viel, is een langzame afname van het aantal geplukte bladeren niet mogelijk omdat dan de grens van eind februari werd overschreden:
1. Langzame daling en stijging van het aantal geplukte bladeren.
2. Snelle daling en langzame stijging van het aantal geplukte bladeren.
3. Langzame daling en snelle stijging van het aantal geplukte bladeren.
4. Snelle daling en snelle stijging van het aantal geplukte bladeren.

In Tabel 4.2 en Figuur 4.5 wordt dit duidelijk gemaakt. De Figuren tonen de fractie bladpluk in de kop van het gewas door te tijd heen.

Tabel 4.2
Samenvatting van de verschillende scenario's per set.

#	uitleg	dec	Jan
0	Gesimuleerde LAI, 0% bladpluk	x	x
1	Gesimuleerde LAI, 33% bladpluk, langzame daling & stijging	X	
2	Gesimuleerde LAI, 44% bladpluk, langzame daling & stijging	X	
3	Gesimuleerde LAI, 55% bladpluk, langzame daling & stijging	X	
4	Gesimuleerde LAI, 33%, snelle daling, langzame stijging	X	
5	Gesimuleerde LAI, 44%, snelle daling, langzame stijging	X	
6	Gesimuleerde LAI, 55%, snelle daling, langzame stijging	X	
7	Gesimuleerde LAI, 33%, langzame daling, snelle stijging	X	X
8	Gesimuleerde LAI, 44%, langzame daling, snelle stijging	X	X
9	Gesimuleerde LAI, 55%, langzame daling, snelle stijging	X	X
10	Gesimuleerde LAI, 33%, snelle daling, snelle stijging	X	X
11	Gesimuleerde LAI, 44%, snelle daling, snelle stijging	X	X
12	Gesimuleerde LAI, 55%, snelle daling, snelle stijging	X	X



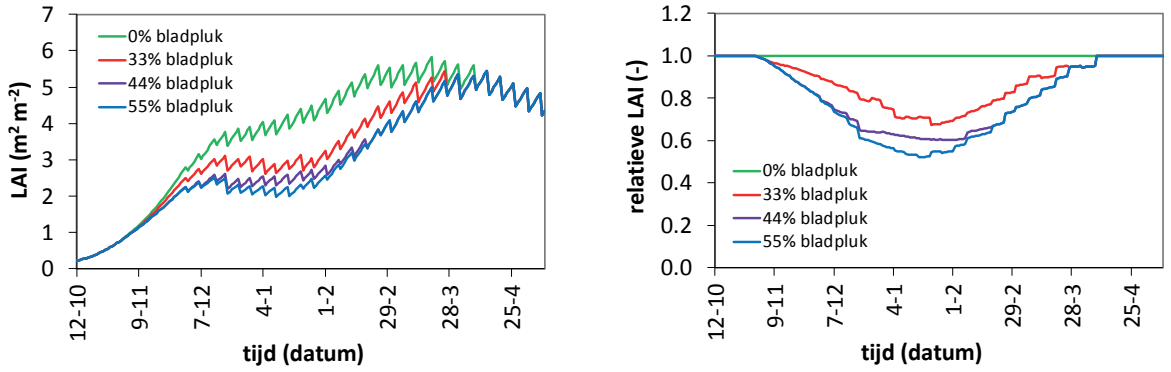
Figuur 4.5 *De verschillende scenario's van bladpluk. Ze zijn gecentreerd rond de kortste dag (21 december) of half januari, en kennen verschillend combinaties van langzame en snelle toename en afname van het aantal geplukte bladeren.*

4.3.2 Een voorbeeld in detail

De sterkste effecten zijn te verwachten bij het scenario waarin het langst blad wordt geplukt, dus bij een langzame daling en stijging van het aantal geplukte bladeren. Deze is alleen voor december beschikbaar, omdat in januari alleen een snelle afname van de bladpluk is doorgerekend.

4.3.2.1 LAI

De gesimuleerde LAI volgt het verwachte patroon (Figuur 4.6)[7]. Meer bladpluk betekent een lagere LAI, en gedurende de winter is er een stijging naar relatief hoge waarden aan het begin van het voorjaar. Medio maart zijn de LAI's gelijk aan elkaar en is het effect van de bladpluk op de LAI verdwenen. Later in het seizoen volgt een afname van de LAI. De simulatie van 33% bladpluk komt goed overeen met de waarnemingen aan deze behandeling (zie Figuur 3.13).

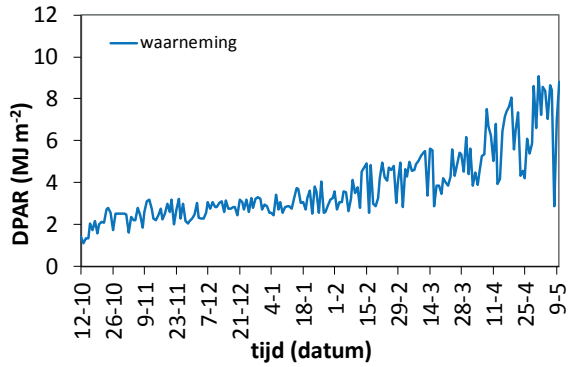


Figuur 4.6 *Het verloop van de LAI in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

4.3.2.2 Dagelijkse PAR

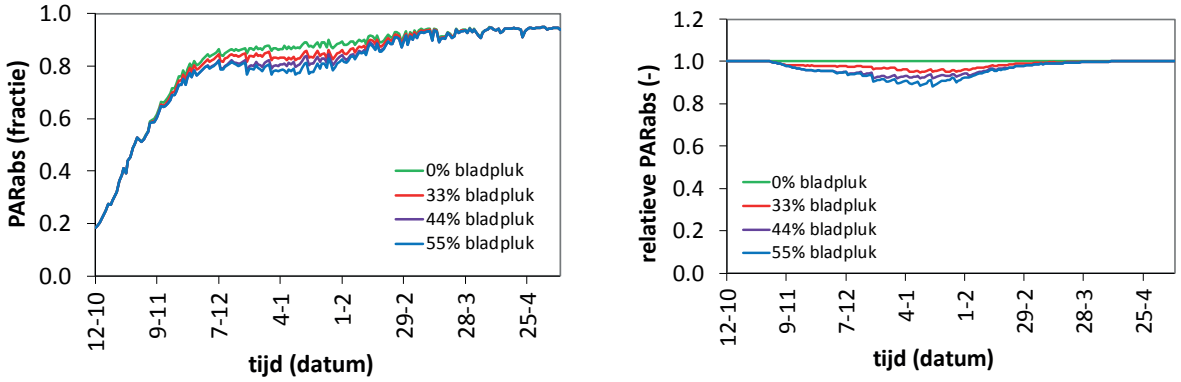
De dagelijkse hoeveelheid PAR (DPAR) voor set A bestaat uit zonlicht plus SON-T licht. De totale straling is in de wintermaanden redelijk vlak en neemt pas vanaf medio februari toe (Figuur 4.7). De DPAR is natuurlijk voor alle gesimuleerde behandelingen gelijk.

De fractie onderschepte PAR volgt de LAI, die in de wintermaanden niet hoog genoeg is om alle PAR te onderscheppen (Figuur 4.8). Dit wil niet zeggen dat meer licht opvangen beter zou zijn omdat het extra benodigde blad een te hoge ademhaling zou kunnen hebben. Ook de bruto assimilatie volgt hetzelfde patroon, waarbij de behandeling met 55% bladpluk de laagste waarde laat zien.



Figuur 4.7 *Het verloop van de dagelijkse hoeveelheid PAR in de kas, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

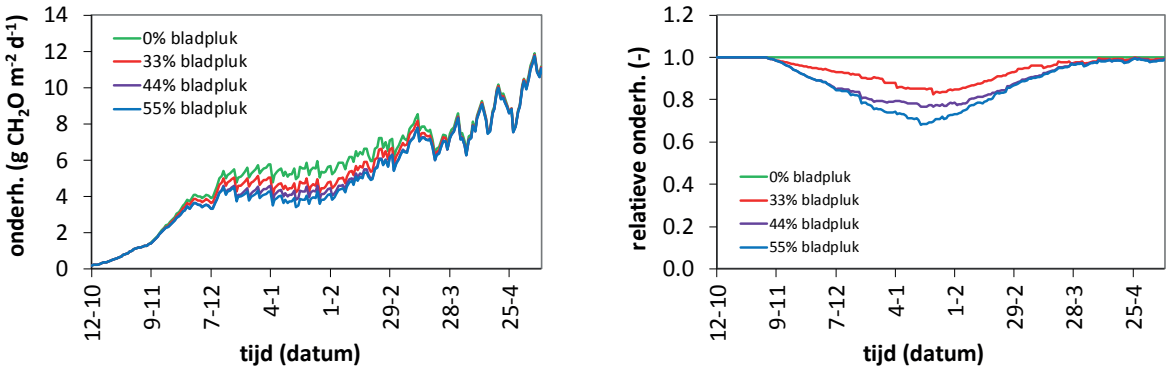
[7] De resultaten worden in de meeste gevallen geïllustreerd met twee Figuren waarin respectievelijk de absolute en de relatieve waarden ten opzichte van 0% bladpluk worden gepresenteerd. De Figuren lopen vanaf de plantdatum tot eind april. Deze simulaties zijn uitgevoerd voor de niveaus van zon- en assimilatielicht die in de experimenten werden bereikt.



Figuur 4.8 *Het verloop van de fractie geabsorbeerde PAR in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

4.3.2.3 Onderhoudsademhaling

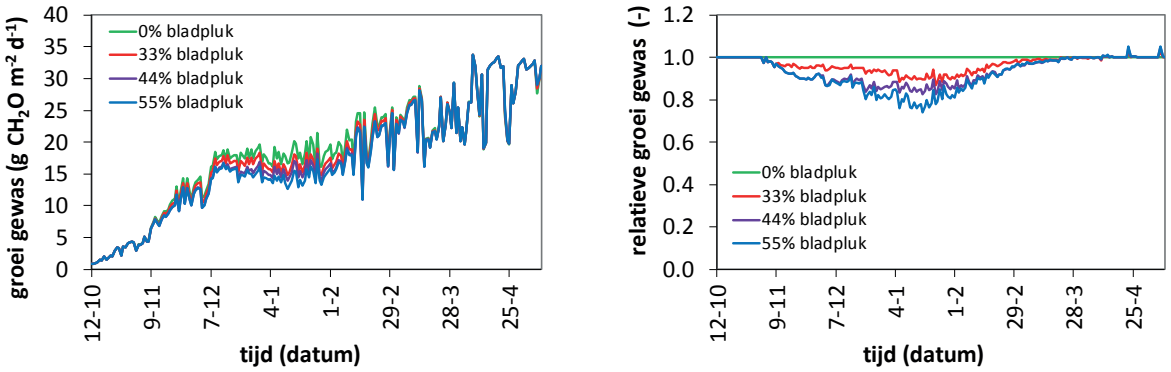
De onderhoudsademhaling is het hoogst bij 0% bladpluk en het laagst bij 55% bladpluk (Figuur 4.9). Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een gewas waarvan 55% blad wordt geplukt minder bladmassa heeft dat onderhouden moet worden.



Figuur 4.9 *Het verloop van de onderhoudsademhaling in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

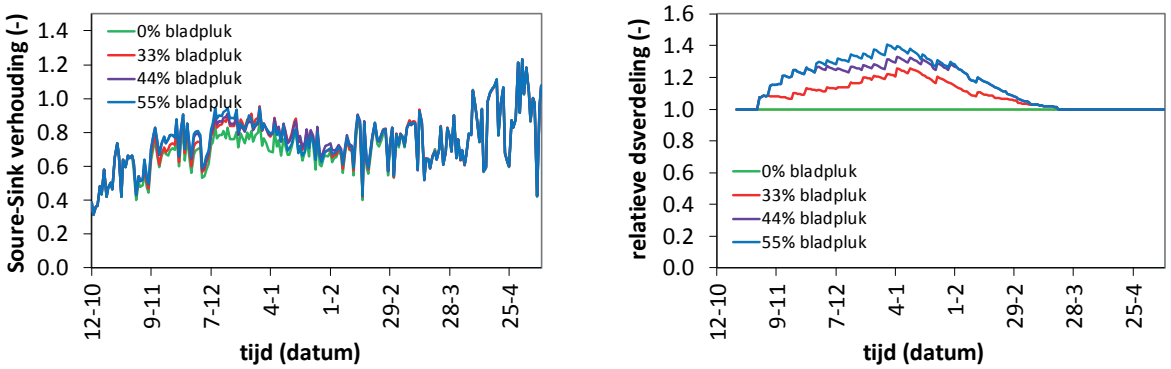
4.3.2.4 Groei

Er werken dus twee processen tegen elkaar in bij een toenemende hoeveelheid geplukt blad. Enerzijds de lagere bruto assimilatie vanwege de lagere hoeveelheid onderschept licht, en anderzijds de lagere onderhoudsademhaling vanwege het kleinere bladgewicht. Uit Figuur 4.10 blijkt dat de groeisnelheden iets dichter bij elkaar liggen, en dat het effect van de afnemende assimilatie sterker is dan het effect van de afnemende onderhoudsademhaling.

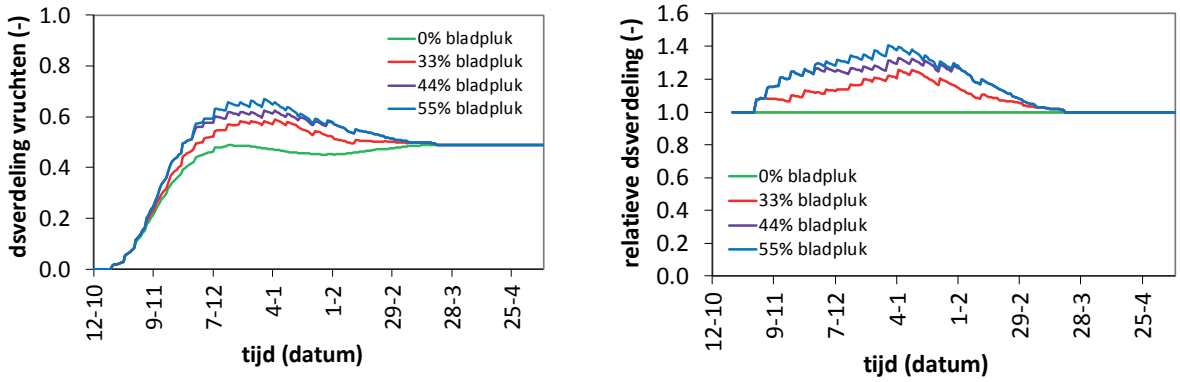


Figuur 4.10 *Het verloop van de gewasgroeisnelheid in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

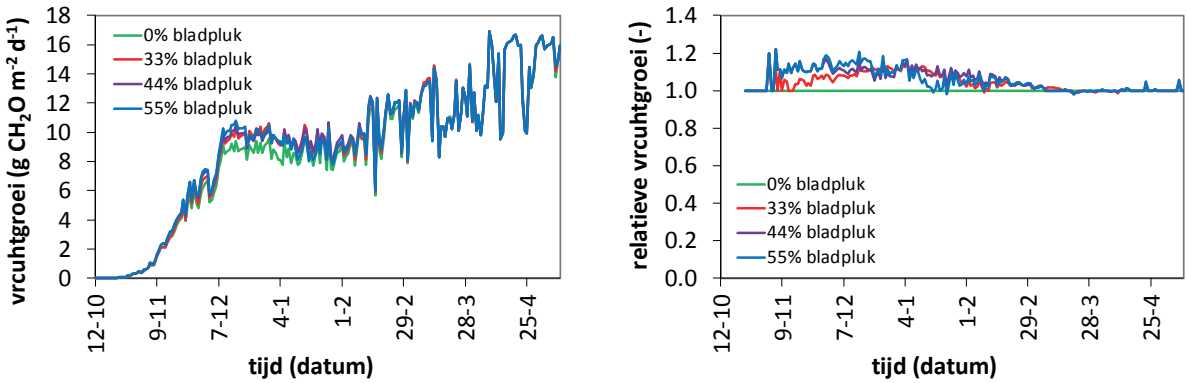
Omdat het aantal vruchten per tros en het aantal trossen voor alle behandelingen hetzelfde is, verandert de sinksterkte van de vruchten niet. Maar die van de bladeren (onderdeel van de vegetatieve sinksterkte) wordt lager met meer bladpluk. De totale sink van het gewas wordt zodoende met meer bladpluk kleiner en de source-sink verhouding wordt groter (Figuur 4.11). In feite kan er beter aan de assimilatenbehoefte van de plant worden voldaan. Een ander gevolg is dat de drogestofverdeling in het voordeel van de vruchten verandert (Figuur 4.12), wat tot een hogere groeisnelheid van de vruchten leidt (Figuur 4.13).



Figuur 4.11 *Het verloop van de source-sinkverhouding in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

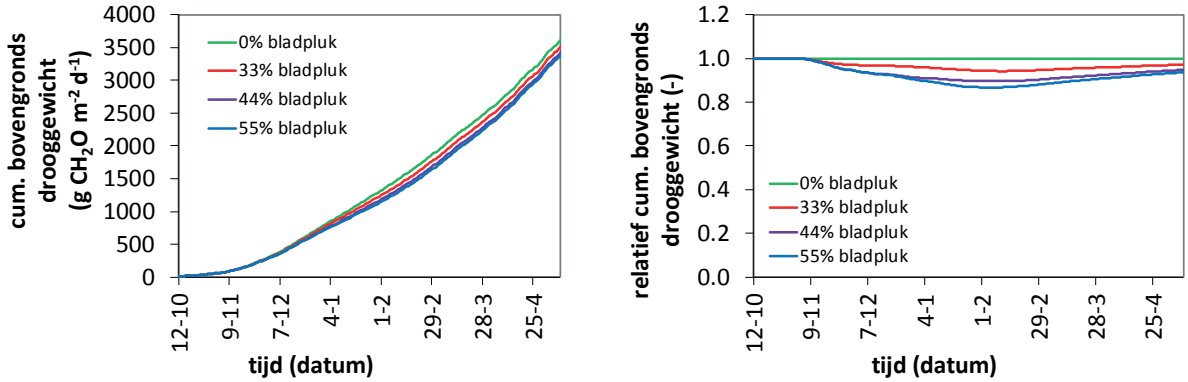


Figuur 4.12 *Het verloop van de drogestofverdeling naar de vruchten in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

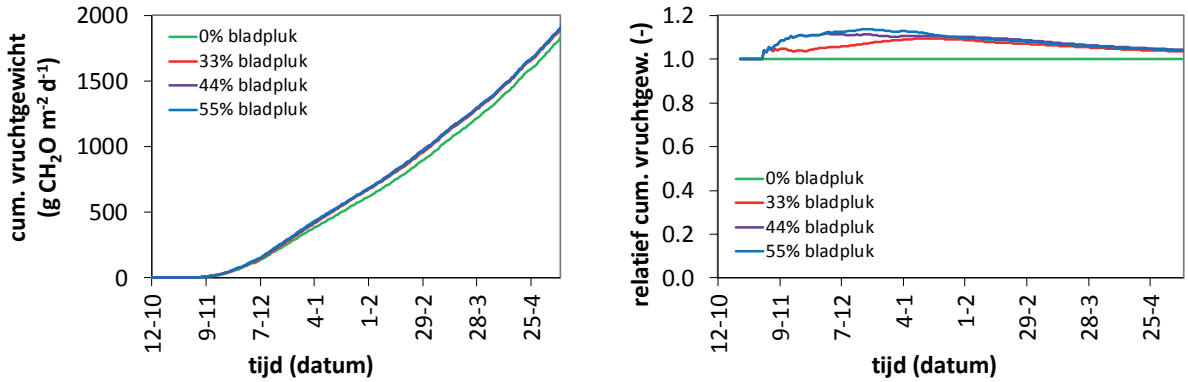


Figuur 4.13 *Het verloop van de groeisnelheid van de vruchten in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

Ook al zijn de cumulatieve gewichten van het bovengrondse gewas (dus zonder wortelsysteem) lager als er minder blad wordt geplukt (Figuur 4.14), zijn de vruchtgewichten hoger (Figuur 4.15). De verschillen worden in de winterperiode gemaakt: 3-4% meer vruchtopbrengst. Omdat na de winter er geen bladpluk meer plaatsvindt en de LAI's naar elkaar toe trekken, blijven de absolute verschillen ongeveer gehandhaafd en resulteren op seizoensbasis in ongeveer 1,5% opbrenststijging (Tabel 1).



Figuur 4.14 *Het verloop van het cumulatieve bovengrondse gewicht van het gewas in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*



Figuur 4.15 *Het verloop van het cumulatieve vruchtgewicht in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

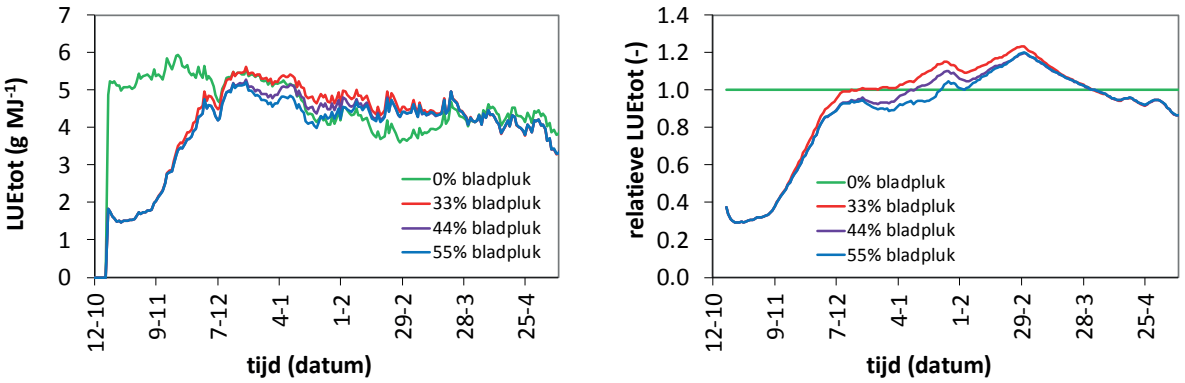
Tabel 4.3

Cumulatieve drooggewichten aan het einde van de winter en aan het einde van de teelt, voor het hele gewas en voor de vruchten. De waarden gelden voor langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).

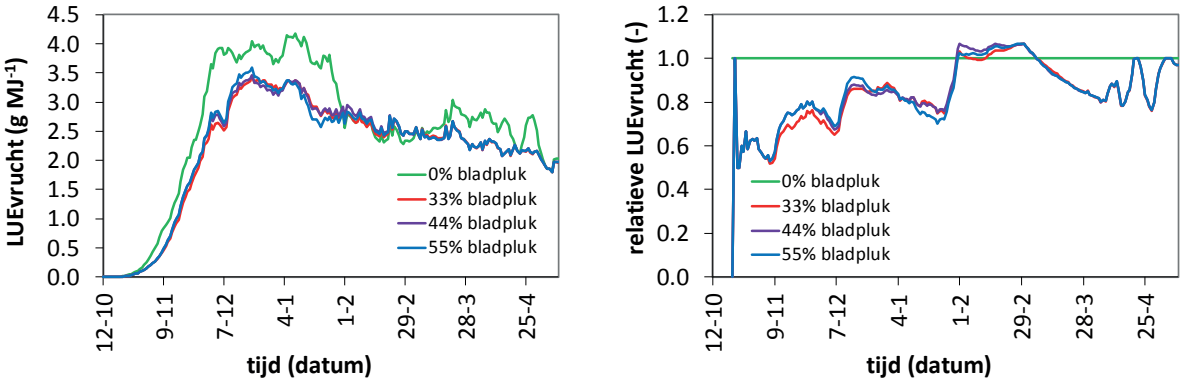
Bladplukregime	Cumulatieve drooggewichten (g m^{-2}) eind februari		Cumulatieve drooggewichten (g m^{-2}) einde teelt	
	gewas	vruchten	gewas	vruchten
0 %	1860	895	5837	3075
33 %	1761 (-5.3%)	957 (+3.3%)	5736 (-1.7%)	3173 (+1.7%)
44 %	1680 (-9.7%)	972 (+4.1%)	5651 (-3.2%)	3157 (+1.4%)
55 %	1637 (-12.0%)	967 (+3.9%)	5611 (-3.9%)	3153 (1.3%)

4.3.2.5 Lichtbenuttingsefficiëntie

De lichtbenuttingsefficiëntie (LUE, light use efficiency) is hier gedefinieerd als de hoeveelheid gevormde drogestof per eenheid geabsorbeerd licht (dus niet op basis van beschikbaar licht, wat lagere getallen zou opleveren). De LUE op basis van totale groei (Figuur 4.16) wordt negatief beïnvloed door bladpluk. Dit komt door de lagere groeisnelheden. De LUE waarden op basis van vruchtgroei (Figuur 4.17) worden positief door bladpluk beïnvloedt als gevolg van de gunstigere drogestofverdeling.



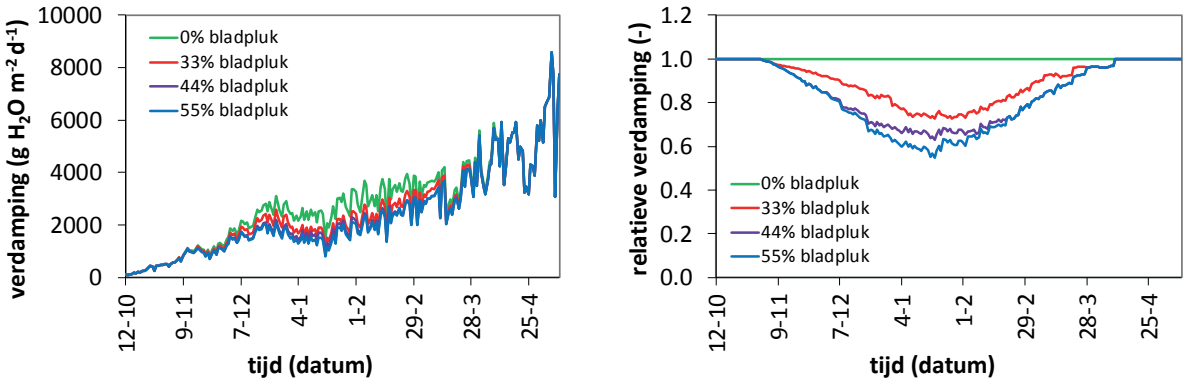
Figuur 4.16 *Het verloop van de lichtbenuttingsefficiëntie op basis van gewasgroei in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*



Figuur 4.17 *Het verloop van de lichtbenuttingsefficiëntie op basis van vruchtgroei in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

4.3.2.6 Verdamping

Het lagere bladoppervlak bij meer bladpluk leidt tot een lagere verdamping, wat gunstig is voor het energieverbruik omdat de ramen langer gesloten kunnen blijven.



Figuur 4.18 *Het verloop van de verdamping in absolute waarden (links) en relatief ten opzichte van geen bladpluk (rechts) in geval van langzame toename en afname van de bladpluk, bij de kasomstandigheden die in het experiment golden (dus geen veranderingen in lichtomstandigheden).*

4.4 Overzicht van de scenario's

Er is uitgegaan van een plantdatum in oktober met als gevolg dat er assimilatiebelichting nodig is om het gewas goed door de donkere wintermaanden heen te helpen. Het is met goede reden dat in de praktijk de traditionele plantdatum van begin december alleen naar voren kan worden geschoven in combinatie met assimilatiebelichting. De simulatieresultaten laten dit ook goed zien (Tabel 2). Met assimilatiebelichting is de gesimuleerde productie zonder bladpluk aanzienlijk hoger dan in afwezigheid van assimilatiebelichting. Structureel 25% extra zonlicht compenseert dat een beetje, maar lang niet genoeg. De conclusie is dat het verder narekenen van situaties zonder assimilatiebelichting niet relevant is.

Tabel 4.4

Gesimuleerd totaalgewicht gewas en vruchten aan het einde van de teelt zonder bladpluk, met en zonder assimilatiebelichting.

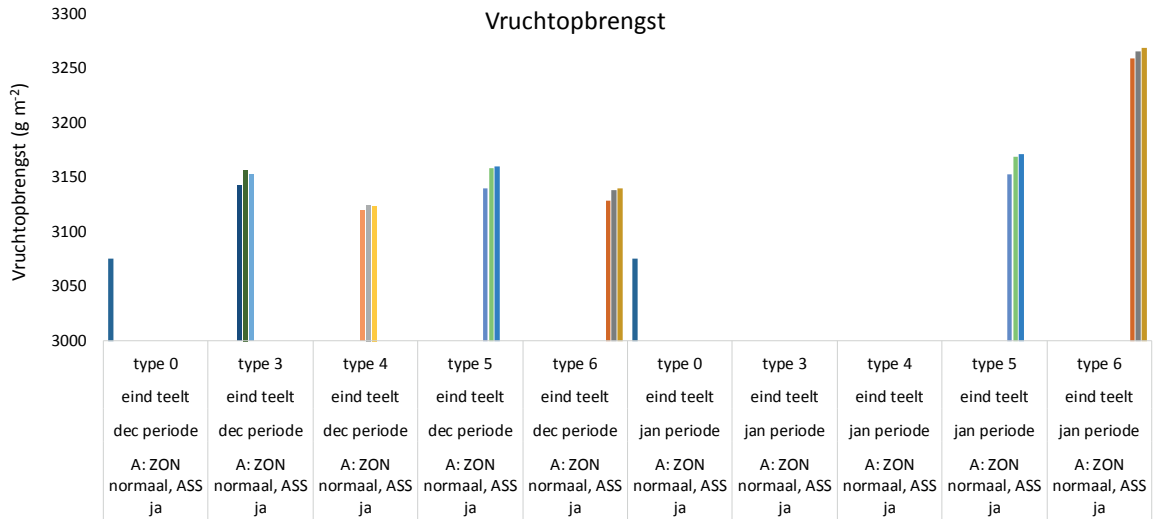
Zonlicht	Assimilatiebelichting	Totaalgewicht gewas (g m^{-2})	Totaalgewicht vruchten (g m^{-2})
Als in experiment	Ja, als in experiment	5837	3075
	Nee	4303	2303
Als in experiment + 25%	Ja, als in experiment	6537	3414
	Nee	5065	2673
Als in experiment – 25%	Ja, als in experiment	5099	2696
	Nee	3472	1878

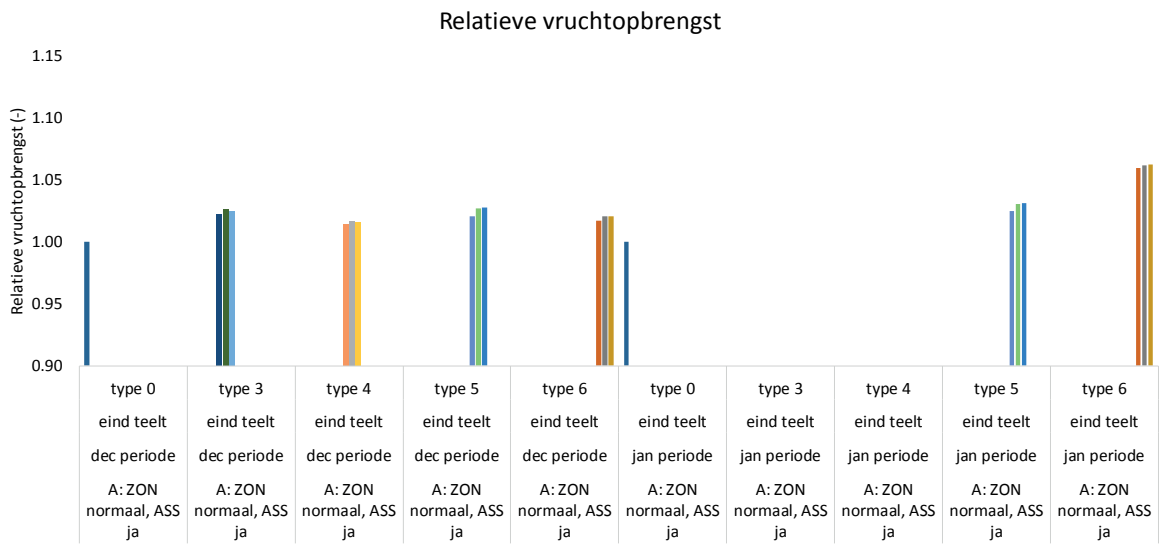
4.4.1 Serie A: zonlicht en assimilatiebelichting als in het experiment

Referentie vruchtopbrengst: 3075 g m^{-2}.

Rekenresultaten:
- Bladpluk leidt tot opbrengststijging.
- Bladpluk rond januari leidt tot meer opbrengst(stijging) dan bladpluk rond december.
- De productieverschillen bij de diverse bladplukregimes zijn klein, maar 44% en 55% bladpluk geven een iets hogere opbrengst dan 33% bladpluk.
- De sterkste opbrengststijging wordt verkregen in geval van bladpluk rond januari verkregen met de combinatie snelle daling & snelle stijging.
- De laagste opbrengststijging wordt verkregen in geval van bladpluk rond december met de combinatie snelle daling & langzame stijging.
- De relatieve opbrengststijging is vlak na de winter groter dan aan het einde van het seizoen, maar de absolute opbrengststijging is aan het einde van het seizoen groter dan vlak na de winter.

Fysiologische interpretatie:
- Bladpluk rond januari geeft een hogere productie dan bladpluk rond december omdat in het geval van bladpluk rond december het bladgewicht aan het begin van het voorjaar hoger is dan in het geval van bladpluk rond januari en er meer onderhoudsademhaling vereist is. Natuurlijk kan dit worden hersteld door in het laatste deel van de winter meer blad te plukken, maar dan ontstaat er een schema van bladpluk rond januari.
- Het verschil tussen 'snelle dalilng, langzame stijging rond december' en 'snelle daling, snelle stijging rond januari' is dat de eerste variant leidt tot een hogere LAI, bladgewicht en onderhoudsademhaling aan het einde van de winter dan de tweede variant.
- Omdat vruchten die tijdens het bladplukken zijn aangelegd pas na verloop van tijd worden gevormd, is het verschil in produktie tussen bladpluk rond december en januari niet meteen goed zichtbaar. Zo is het eind februari de gemiddelde extra opbrengst in geval van bladplukken in januari ten opzichte van bladplukken in december 24 g drogestof m^{-2}, maar neemt de meeropbrengst in de loop van de tijd toe: eind maart 70 g m^{-2}, eind april 121 g m^{-2}, en eind mei 153 g m^{-2}.





Figuur 4.19 *Absolute en relatieve vruchtopbrengst van de scenario's bij zonlicht en assimilatiebelichting als in het experiment. Zie verder 'leeswijzer bij de Figuren'.*

Leeswijzer bij de Figuren:

- Type geeft het verloop van bladplukken aan:
  0 = geen bladpluk
  3 = langzame daling & stijging van aantal overblijvende bladeren
  4 = snelle daling & langzame stijging van aantal overblijvende bladeren
  5 = langzame daling & snelle stijging van aantal overblijvende bladeren
  6 = snelle daling & stijging van aantal overblijvende bladeren
- 'Eind teelt' of 'eind feb' geeft het moment aan waarop de vruchtopbrengst bepaald is.
- 'dec periode' of 'jan periode' geeft aan rond welke periode de bladpluk gecentreerd was.
- B, C, D of E geeft de hoeveelheid zonnestraling en assimilatiebelichting aan.

4.4.2 Serie B: zonlicht als in het experiment, geen assimilatiebelichting

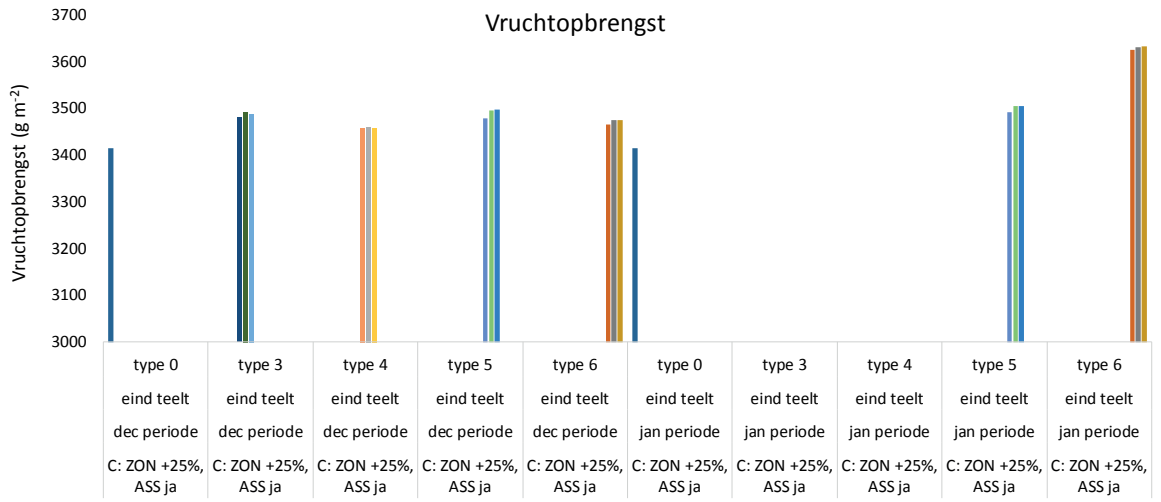
Berekeningen zijn achterwege gelaten.

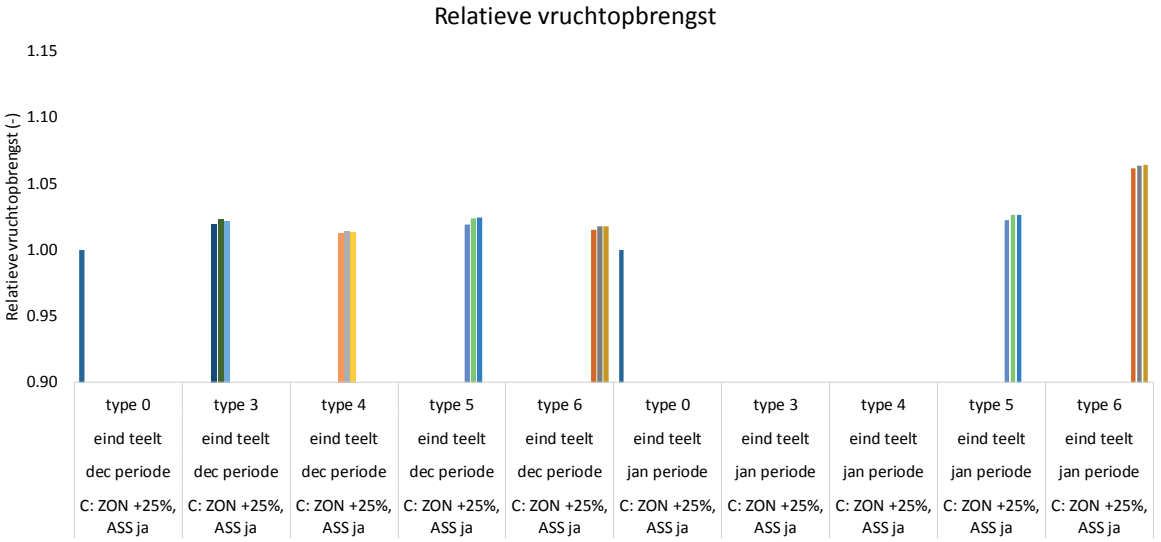
4.4.3 Serie C: 25% extra zonlicht, assimilatiebelichting als in het experiment

Referentie vruchtopbrengst: 3414 g m^{-2}.

Rekenresultaten:
- Bladpluk leidt tot opbrengststijging.
- Bladpluk rond januari leidt tot meer opbrengst(stijging) dan bladpluk rond december.
- De productieverschillen bij de diverse bladplukregimes zijn minimaal, maar 44% en 55% bladpluk geven een hogere opbrengst dan 33% bladpluk.
- De sterkste opbrengststijging wordt verkregen in geval van bladpluk rond januari verkregen met de combinatie snelle daling & snelle stijging.
- De laagste opbrengststijging wordt verkregen in geval van bladpluk rond december met een snelle daling.

Fysiologische interpretatie:
- Zie de uitleg bij Serie A.





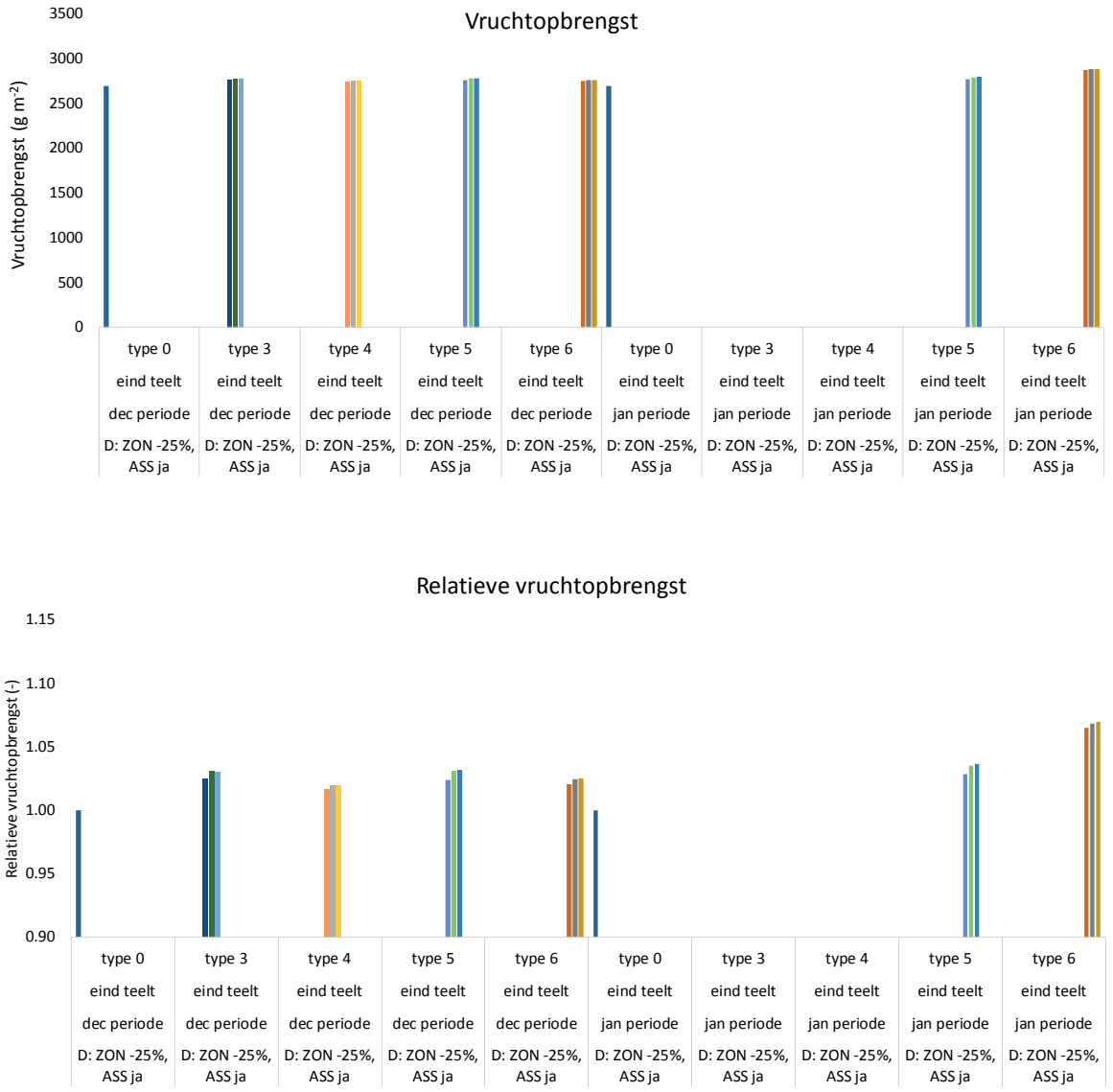
Figuur 4.20 *Absolute en relatieve vruchtopbrengst van de scenario's bij 25% extra zonlicht en assimilatiebelichting als in het experiment. Zie verder 'leeswijzer bij de Figuren'.*

4.4.4 Serie D: 25% minder zonlicht, assimilatiebelichting als in het experiment

Referentie vruchtopbrengst: 2696 g m^{-2}.

Rekenresultaten:
- Bladpluk leidt tot opbrengststijging.
- Bladpluk rond januari leidt tot meer opbrengst(stijging) dan bladpluk rond december.
- De productieverschillen bij de diverse bladplukregimes zijn minimaal, maar 44% en 55% bladpluk geven een hogere opbrengst dan 33% bladpluk.
- De sterkste opbrengststijging wordt verkregen in geval van bladpluk rond januari verkregen met de combinatie snelle daling & snelle stijging.
- De laagste opbrengststijging wordt verkregen in geval van bladpluk rond december met de combinatie snelle daling & langzame stijging.

Fysiologische interpretatie:
- Zie uitleg bij Serie A.



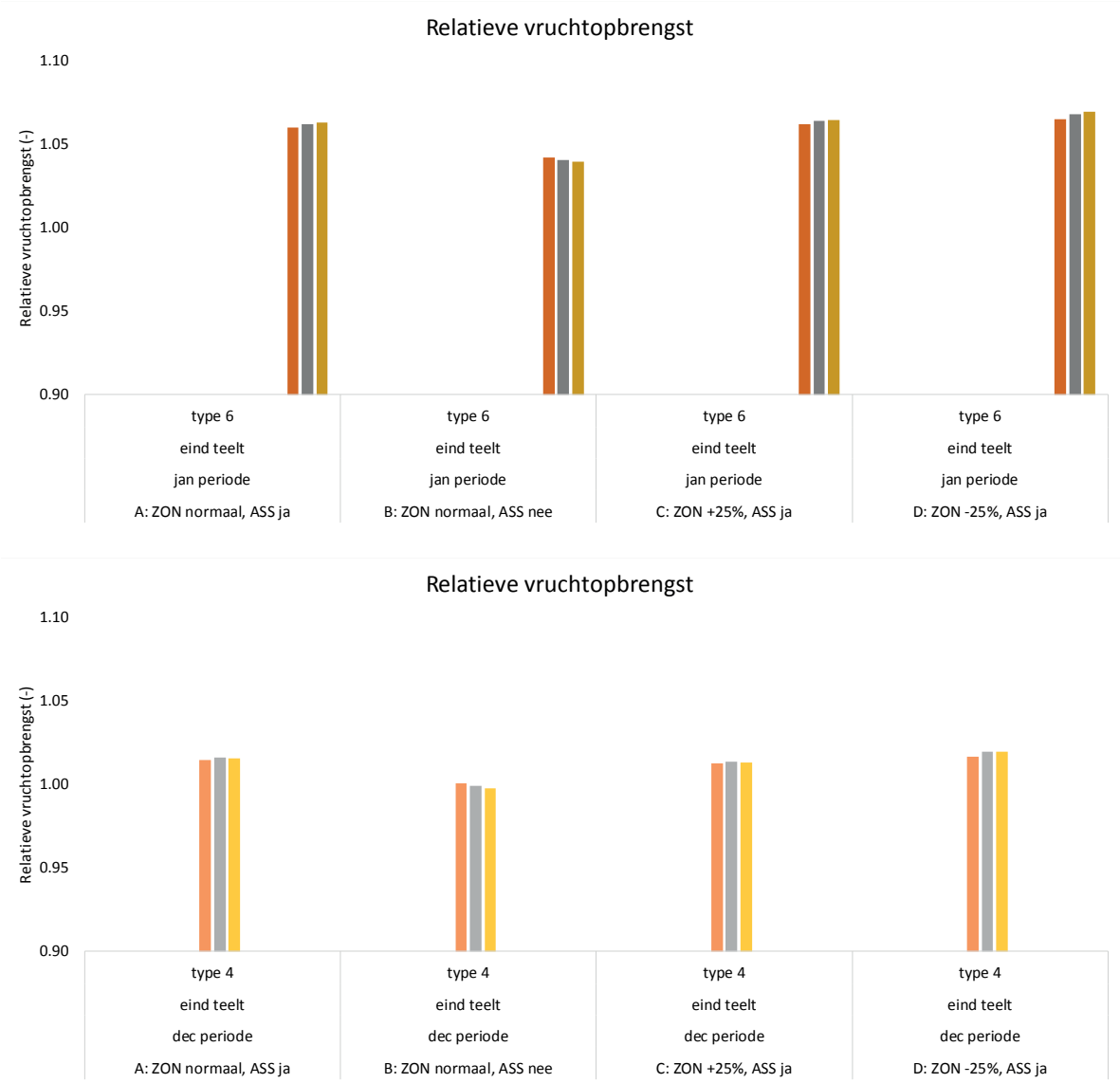
Figuur 4.21 *Absolute en relatieve vruchtopbrengst van de scenario's bij 25% minder zonlicht en assimilatiebelichting als in het experiment. Zie verder 'leeswijzer bij de Figuren'.*

4.4.5 Lichtniveaus

Het effect van de niveaus van zonlicht en assimilatiebelichting kan bijvoorbeeld duidelijk worden gemaakt aan de hand van het meest aantrekkelijke scenario (bladpluk rond januari met de combinatie snelle daling & snelle stijging van bladpluk) en minst aantrekkelijke scenario (bladpluk rond december met de combinatie snelle daling & langzame stijging van bladpluk) (Figuur 4.22). Zonlicht en assimilatiebelichting hebben beide een positief effect, en een afname van zonlicht kan worden gecompenseerd door assimilatiebelichting. In verkennende berekeningen was al aangetoond dat een afname van zonlicht zonder compensatie door assimilatiebelichting tot een sterke productiedaling leidt.

Dit is voor de hand liggend. De meer interessante vraag is welke hoeveelheid bladoppervlak moet worden aangehouden als het lichtniveau dat op basis van de weersvoorspelling wordt verwacht voor een langere tijd zal af- of toenemen. Om dit voor een bepaalde situatie te bepalen is een rekenkundige optimalisatie nodig die uitgaat van de gewassituatie op dat moment. De voor dit verslag uitgevoerde verkennende berekeningen geven een richting. Het nauwkeurige antwoord zal uit een combinatie van (voornamelijk) bladpluk en (enigszins) gebruik van assimilatiebelichting bestaan:

1. Bij minder zonlicht iets meer blad plukken (zie Figuur 4.2) in combinatie met meer assimilatiebelichting, voor zover dat mogelijk is. Omdat het gevaar bestaat dat de gewasstand en de opbrengst te veel afnemen, moet er zeker niet te veel blad worden geplukt. De bladplukproeven heeft ons gewezen op het gevaar van te veel bladpluk bij weinig licht.
2. Bij meer zonlicht minder bladpluk (zie Figuur 4.2) om volop gebruik te maken van dit extra licht. Vanuit productieperspectief kan het gebruik van de assimilatiebelichting voortgezet worden.



Figuur 4.22 *Relatieve vruchtopbrengst van de meest (boven) en minst (onder) aantrekkelijke scenario's bij verschillende combinaties van zonlicht en assimilatiebelichting. Zie verder 'leeswijzer bij de Figuren'.*

4.4.6 Andere factoren

De *plantdatum* is belangrijk omdat het gewas tijd nodig heeft om voldoende bladoppervlak te ontwikkelen er al het licht op te vangen, en om in productie te komen voordat de meest donkere winterperiode aanbreekt. Een normale afrijpingsperiode van een tros tomaten is ongeveer 6 weken, en als we er van uitgaan dat het gewas half december (nabij de kortste dag) toch echt wel in volle productie moet zijn, dan zou er uiterlijk eind oktober geplant moeten zijn. Rekening houdend met wat buffer om risico's te verminderen, is half oktober een betere uiterste plantdatum. Dit komt overeen met de plantdatum van het experiment.

Het *kasdekmateriaal* beïnvloedt de hoeveelheid licht en de lichtdoordringing in het gewas. In het experiment en de berekeningen is gebruik gemaakt van diffuus kasdekmateriaal dat tot een betere lichtdoordringing in het gewas leidt dan niet-diffuus kasdekmateriaal. Volledig en langdurig direct licht zal tot een iets lagere waarde van de nuttige LAI (paragraaf 4.2.3) leiden omdat er meer blad aan de onderkant in het donker zal zitten. Maar dit is voor veel vruchtgroenten een hypothetische situatie omdat *et al.* veel diffuus kasdekmateriaal wordt gebruikt en omdat het buitenlicht in Nederland in de herfst en winter toch vaak diffuus is.

Andere gewassen kunnen in twee groepen worden verdeeld: gewassen waar wel en waar geen blad wordt geplukt, en waar deze sturingsmogelijkheid dus al dan niet bestaat. Eigenlijk wordt alleen bij tomaat en komkommer (Elings en Janse, 2017) en enkele kleine gewassen blad geplukt, bij alle andere gewassen (inclusief andere hogedraadgewassen als paprika en aubergine) om diverse redenen niet (bijvoorbeeld arbeid). En als de sturingsmogelijkheid niet bestaat, zal het onderste deel van het blad een kostenpost voor het gewas zijn.

4.5 Samenvatting

Het is op fysiologische gronden en metingen aan het gewas mogelijk om een schatting te maken van de nuttige LAI. Dit is de bladbedekkingsgraad waarbij al het licht is benut voor groei nadat het licht dat nodig is voor onderhoudsademhaling is verdisconteerd. In Figuur 4.2 is goed te zien dat deze aan het lichtniveau is gekoppeld, wat de grondslag is voor het verwijderen van blad bij lage lichtniveaus. Het is in de praktijk niet mogelijk om in de loop van een dag de LAI te variëren van laag in de vroege ochtend en late middag naar hoog rond het middaguur. Er is daarom een schatting gemaakt van de nuttige LAI door te tijd heen. Deze bereikt een waarde van minder dan 2 m^2 m^{-2} aan het einde van het jaar (bij een plantdatum van 12 oktober).

De simulaties laten zien dat bladpluk rond januari – de tuinderspraktijk - tot een hogere opbrengststijging leidt dan bladplukken rond december. Dit heeft te maken met de grotere bladmassa die in geval van bladpluk rond december aan het einde van de winter aanwezig is. Dit leidt tot meer onderhoudsademhaling en daarmee tot een lagere vruchtgroei.

De relatieve opbrengststijging is vlak na de winter groter dan aan het einde van het seizoen, maar de absolute opbrengststijging is aan het einde van het seizoen groter dan vlak na de winter. Dit komt omdat de effecten van bladplukken relatief steeds minder belangrijk worden.

Desalniettemin zijn de opbrengstverschillen in absolute zin rond eind mei het grootst. Dan zijn de effecten van vruchtuitgroeiduur en onderhoudsademhaling helemaal uitgewerkt. Maar, nogmaals, relatief worden de verschillen kleiner.

Als er weinig licht wordt voorspeld, kan er iets meer blad worden geplukt, maar zeker niet te veel. De proef heeft ons gewezen op het gevaar van te veel bladpluk bij weinig licht. Meer assimilatielicht (indien mogelijk) kan ook worden ingezet. Als er meer zonlicht wordt voorspeld, kan er minder blad worden geplukt om volop gebruik te maken van dit extra licht. Vanuit productieperspectief kan het gebruik van de assimilatiebelichting voortgezet worden.

5 Discussie en Conclusies

De teelt

Het teeltseizoen van 2015-2016 kende een donkere winterperiode, een heldere periode in het voorjaar en een zomer met veel wisseling in bewolking en straling. Dit had gevolgen voor de gewasgroei en de kasklimaatinstellingen om zo goed mogelijk op het weer buiten in te spelen. Nadat het gewas op 12 oktober was geplant, met de eerste tros tegen de bloei aan, hadden ze in november veel groeikracht zodat er een hoge temperatuur werd ingesteld om de generatieve ontwikkeling te stimuleren. Er werd veel belang gehecht aan een goede generatieve ontwikkeling omdat deze in het seizoen van 2014-2014 niet voldoende was geweest. Desalniettemin moet achteraf worden geconcludeerd dat er op dat moment te veel is belicht in verhouding tot de temperatuur. De combinatie bladplukregimes en klimaatinstellingen leidden ertoe dat in de loop van december met name de bladplukbehandelingen wegzakten. In januari waren de bladplukbehandelingen erg zwak. Figuur 3.30 laat zien dat er in de winter een langdurige periode is waarin het aanbod van assimilaten lager is dan de vraag ernaar. Nu is dat gebruikelijk voor grovere tomaten die een grotere sinksterkte hebben, en het is dan ook de vraag of een ras met kleinere tomaten gevoeliger is voor assimilatentekort dan een as met grovere tomaten. Vanwege de zwakte van de bladplukbehandelingen werd besloten om het bladplukken stil te leggen en de gewassen de kans te geven te herstellen. Er werd van de gelegenheid gebruik gemaakt om voor het latere zomerseizoen volledig nieuwe bladplukbehandelingen te definiëren. Hierdoor zijn in dit experiment, in de tijd, twee sets van bladplukbehandelingen geëvalueerd. In februari herstelden de gewassen, maar pas in maart waren de gewassen naar elkaar toe getrokken en konden de zomerbehandelingen worden gestart. Terwijl de winterbehandelingen varieerden in de mate van bladpluk bovenin, werd in de zomerbehandeling gevarieerd met de locatie van bladpluk. Zo werd bij een behandeling niet blad in de kop weggenomen maar rond de 4^{e}/5^{e} tros, en werd er bij een andere behandeling onderin minder blad geplukt waardoor deze behandeling een hoge LAI kreeg om te evalueren of dit bij het hogere lichtniveau in de zomer een voordeel zou geven. De gewassen ontwikkelden zich in het voorjaar en de zomer naar tevredenheid zonder noemenswaardige aanwezigheid van ziekten en plagen, al was bijvoorbeeld juni een moeilijke periode omdat als gevolg van de combinatie van lage straling en hoge temperaturen de gewassen vrij dun (Figuur 3.9) en gesterkt waren.

Conclusies:

- In de late herfst en winter is er te veel blad weggenomen onder het heersende klimaat waardoor de gewassen erg zwak kwamen te staan. 55% Bladpluk is risicovol.
- Het bleek mogelijk en nuttig om een teeltseizoen op te splitsen in winter- en zomerbehandelingen.

Relatie straling - temperatuur

Er was in deze teelt geen stijgend, maar een vlak verband tussen straling en temperatuur (Figuur 3.3) omdat de teelttemperatuur vlak werd gehouden. Terwijl bij een gewas als gerbera met de verhouding straling/temperatuur wordt gevarieerd om de verhouding vegetatief/generatief te beïnvloeden, is dat in deze tomatengewassen niet het geval geweest. Ook in het voorgaande experiment van 2014-2015 werd een vlak verband aangehouden en dus gevonden.

De plantbelasting was in het voorjaar en zomer hoger dan in de winter (Figuur 3.10), zodat we voorzichtig waren met een hogere temperatuur. Maar mogelijk zou een hogere temperatuur toch hebben gekund. In de wintermaanden zaten we qua temperatuur wel steeds aan de hoge kant ten opzichte van de praktijk. Dit zou uiteraard gevolgen hebben gehad voor de relatie straling-temperatuur.

Conclusies:

- In de uitgevoerde tomatenteelt is er een vlak verband tussen straling en temperatuur, voor de gehele teelt. Misschien was een hogere zomertemperatuur mogelijk geweest.

Energie
Het energieverbruik in de winter varieerde tussen de behandelingen als gevolg van de verschillen in buiswarmte (Figuur 3.7). Op seizoensbasis werd er in de behandeling 'extra laag – hoog' 5.4% energie bespaard, en in de behandeling 'laag – normaal' 6.9%. De belichting was voor alle behandelingen hetzelfde (Figuur 3.7). Een lagere buiswarmte was geassocieerd met een lagere LAI (Figuur 3.13) en verdamping (Figuur 3.8) en vochthoeveelheid die door middel van raamventilatie afgevoerd hoefde te worden. Hierbij wordt opgemerkt dat de verschillen in verdamping kleiner zijn dan de verschillen in LAI omdat, zeker bij hogere LAI's, de toename in verdamping kleiner is dan de toename in LAI en onderschepte straling (Elings & Voogt, 2007). Dit heeft te maken met het feit dat onderin het gewas bij de lage lichtniveaus die daar heersen, relatief weinig wordt verdampt.

Conclusies:
- Bladplukken leidt tot 5-7% energiebesparing omdat er minder buiswarmte nodig is om het verdampte water af te voeren.

Gewasontwikkeling
De ontwikkelingssnelheid uitgedrukt in aantal gevormde trossen is per dag gelijk (Tabel 3.4 en Figuur 3.26). In combinatie met het feit dat de temperatuur in de drie behandelingen gelijk werd gehouden bevestigt dit het gegeven dat de ontwikkelingssnelheid volledig temperatuurafhankelijk is. Het bladplukregime was niet van invloed op de ontwikkelingssnelheid.

Bladplukken is wel van invloed op de lengtegroei (Tabel 3.3), wat ook in het experiment van 2014-2015 werd gevonden (de Gelder, 2016). Dit zou kunnen zijn veroorzaakt door het tekort aan assimilaten ten opzichte van de vraag naar assimilaten (Figuur 3.30). Uiteraard wordt lengtegroei door andere factoren dan de assimilatenbeschikbaarheid beïnvloed, zoals de temperatuur en de rood-verrood verhouding (referentie).

Bladlengte en –breedte namen aan het einde van de winter af (Figuur 3.11). Dit was meer het geval bij sterkere bladpluk. Naast het aantal aangehouden bladeren is het bladoppervlak daarmee ook een verklarende factor voor de variatie in totaal bladoppervlak (LAI). In de winter is er dus mogelijk een relatie met de assimilatenbeschikbaarheid, maar dat is niet de enige verklarende factor. In de zomer, als er voldoende assimilaten zijn, herstellen bladlengte en –breedte zich namelijk niet. Er is blijkbaar ook sprake van een ontwikkelingsaspect. Wat verder opvalt is dat de bladlengte tijdens de zomer continu afneemt, maar dat de bladbreedte in de zomer slechts langzaam afneemt.

Conclusies:
- De ontwikkelingssnelheid is niet afhankelijk van het bladplukregime.
- De lengtegroei wordt gereduceerd in geval van bladpluk.
- In de winter is het oppervlak van een enkel blad, en daarmee de LAI, gerelateerd aan bladpluk.

LAI
De LAI, het totale bladoppervlak per eenheid grondoppervlak, is een erg belangrijke grootheid omdat het bepaalt welke fractie van de binnenvallende fotosynthetisch actieve straling (photosynthetically active radiation, PAR) wordt opgevangen. Het was de bedoeling van het experiment om verschillen in LAI te realiseren en te evalueren of dit een productievoordeel zou hebben.

In de winter bleek er slechts een klein verschil in de LAI tussen de behandeling 'laag' en 'extra laag' te zijn. Dit kleine verschil lijkt direct gekoppeld aan het aantal volgroeide bladeren (Figuur 3.12) waarin minder variatie is gerealiseerd dan voorgenomen. In de zomer verschilden de LAI's wel duidelijk van elkaar. Ook toen was het aantal werkelijk aangehouden bladeren belangrijk. Zo leidde het weghalen van een volgroeid blad rond de 4^{e}/5^{e} tros niet tot de verwachte lagere LAI (je haalt tenslotte veel bladoppervlak weg) omdat er toch relatief veel volgroeide bladeren aan de stengel werden gelaten. Er had aan de onderkant meer blad weggenomen moeten worden, wat in een lagere LAI had geresulteerd.

Het is opmerkelijk dat het specifieke bladoppervlak (specific leaf area, SLA) niet door de bladplukbehandelingen werd beïnvloed, terwijl dit in de winter wel het geval was met de bladbreedte- en lengte.

Conclusies:
- Het aantal aangehouden bladeren was erg bepalend voor de LAI. Een goede controle tijdens een experiment wordt aanbevolen.
- Bladplukken is niet van invloed op de SLA.

Fotosynthese
Nadat PAR is onderschept, wordt het in het fotosynthetisch proces gebruikt om samen met CO_2 om te zetten in CH_2O-structuren. De fotosynthese kent bij hoge lichtintensiteiten een maximale snelheid, de A_{max}. Bovenin het gewas, waar de hoogste lichtniveaus heersen, is dit een belangrijke parameter. Dit is niet eens zozeer omdat lichtintensiteiten hoger dan 1000 mmol m^{-2} s^{-1} veel voorkomen (op seizoensbasis 5% van de tijd en vanaf april 10% vanaf de tijd) maar omdat verschillen in A_{max} ook verschillen bij lagere lichtniveaus aangeven. Er zijn een paar mogelijke effecten van bladplukken op de A_{max} gevonden.

Bladplukken halverwege de gewasdiepte ($4^e/5^e$ tros in ons experiment) was nadelig voor de Amax onderin het gewas. Echter, vanwege het lage lichtniveau onderin het gewas is het effect hiervan beperkt. Ook het plaatsen van LEDs met een intensiteit van ongeveer 100 mmol m^{-2}-s^{-1} zal het lichtniveau niet voldoende verhogen. Bladplukken bovenin was niet nadelig (of voordelig) voor de Amax bovenin, wat eigenlijk een meer belangrijke bevinding is: hier is op dit vlak geen winst te boeken of verlies te vrezen.

Een aantal bekende bevindingen werden ook in dit onderzoek bevestigd: de A_{max} neemt toe bij een hoger CO_2 niveau, bij een langdurig hoger lichtniveau (bijvoorbeeld zomer vs. winter) en hoger in het gewas (wat ook een effect van lichtniveau is).

De A_{max} wordt lager naarmate er dieper in het gewas wordt gemeten. Dit is een bekend verschijnsel. Licht dat dieper doordringt in het gewas kan, maar hoeft niet tot een hogere gewasfotosynthese te leiden. Het hang er vanaf of de extra fotosynthese onderin hoger of lager is dan het verlies aan fotosynthese bovenin. Als de fotosynthese bovenin het gewas bij een hoge lichtintensiteit aan het maximum zit, zal een iets lager lichtniveau niet veel verlaging van de fotosynthesesnelheid betekenen. Ditzelfde extra licht onderin is efficiënter. Bij hoge lichtniveaus in de zomer moet er onderin het gewas dus blad aanwezig zijn. Bij lage lichtniveaus kan de vermindering van de fotosynthesesnelheid bovenin groter zijn dan de extra fotosynthese onderin. Dus in de winter hoeft er niet veel blad onderin het gewas aanwezig te zijn.

De dagademhaling R_d die door het fitten van de fotosynthese-lichtresponscurve werd bepaald neemt af met de gewasdiepte. Omdat de R_d in absolute termen klein is, is het effect hiervan beperkt.

De vruchten van Brioso hebben een klein groen fotosynthetiserend oppervlak maar omdat dit zich bovenin het gewas bevindt werd het toch het onderzoeken waard werd beschouwd en te verifiëren of de in de literatuur gerapporteerde lage fotosynthesesnelheid van groene vruchten geldig waren. Na enig testen van de beschikbare meetkamer lukte het om betrouwbare metingen uit te voeren. Deze toonden aan dat de fotosynthesesnelheid van groene vruchten erg laag was (A_{max} ongeveer 0.3 mmol m^{-2} s^{-1}), en dat deze voornamelijk toe te schrijven is aan de groene steel en kroonblaadjes.

Conclusies:
- Bladplukken bovenin heeft geen effect op de A_{max} bovenin.
- Bladplukken halverwege de gewasdiepte heeft een negatief effect op de A_{max} onderin.
- De groene vruchten dragen nauwelijks bij aan de gewasfotosynthese.

Ademhaling
De dagademhaling, die ook met het fitten van de fotosynthese-lichtresponscurve werd bepaald, kon nauwkeuriger worden bepaald door de kwantumefficiëntie F_2 van het PSII transportsysteem (Yin *et al.* 2011) er bij te betrekken. Het effect van de gewashoogte op de dagademhaling bleek zeer beperkt.

De onderhoudsademhaling is heel moeilijk te bepalen. In het verleden is deze bijvoorbeeld bepaald door een gewas als gras een aantal dagen in het donker te houden en daarna de CO_2 afgifte te bepalen (Jones *et al.* 1978). Dat was in het tomatenexperiment natuurlijk niet mogelijk. De onderhoudsademhaling wordt ook wel afgeleid uit de samenstelling van de organen en schattingen van de energie die het repareren van schade met zich meebrengt. Het is wel bekend dat de onderhoudsademhaling van een oud orgaan per gram materiaal lager is dan van een jong orgaan omdat een oud orgaan relatief veel cellulose en lignine bevat dat minder onderhoud vergt dan bijvoorbeeld aminozuren en eiwitten die intensief in de celprocessen worden gebruikt. Dit is voor tomaat van toepassing op de stengel die, naarmate het seizoen vordert, uit relatief meer oud materiaal bestaat.

De bepalingen van de gewassamenstelling gaven geen aanleiding om de bestaande coëfficiënten die worden gebruikt om de groeiademhaling en de onderhoudsademhaling te berekenen, te herzien.

De onderhoudsademhaling is sterk temperatuurafhankelijk maar niet lichtafhankelijk. Omdat de kastemperatuur tijdens de teelt vrij stabiel was en er tussen de behandelingen geen temperatuurverschillen waren, is de onderhoudsademhaling vanuit deze twee optieken geen verklarende variabele voor verschillen over de tijd of tussen behandelingen.

Er kan een schatting worden gemaakt van het verschil in bladgewicht op de onderhoudsademhaling. Al moet daar direct bij worden bedacht dat verschillen in de gewichten van de andere organen net zo'n grote zo niet grotere rol spelen. We nemen als voorbeeld de behandeling 'normaal' op 3 juni. Het droog bladgewicht was op die dag 239 g m^{-2}, 14% van het totale gewicht van het gewas inclusief de wortels (waarvoor de gesimuleerde waarde van 226 g m^{-2} is genomen). De gemiddelde etmaaltemperatuur was 23.2°C, wat een dagelijkse onderhoudsademhaling van 8.93 g m^{-2} oplevert. Bij een gesimuleerde bruto gewasfotosynthese van 90.7 g CH_2O d^{-1} m^{-2}, met inachtneming van de andere orgaangewichten en de benodigde conversies geeft dit een gewasgroeisnelheid van 52.92 g d^{-1} m^{-2}. Als er 10% bladgewicht wordt weggenomen is het resultaat dat de onderhoudsademhaling van 8.69 g d^{-1} m^{-2} wordt en de gewasgroeisnelheid van 53.16 g d^{-1} m^{-2}. Bij 20% wegnemen van het bladgewicht zijn de getallen 8.69 g d^{-1} m^{-2} en de 53.40 g d^{-1} m^{-2}. Hierbij wordt aangenomen dat de LAI niet verandert en er evenveel licht wordt onderschept. De experimenten wijzen uit dat bladpluk tot vermindering van lichtonderschepping kunnen leiden. In ieder geval is het effect van verminderde onderhoudsademhaling door bladpluk zeer beperkt.

Conclusies:
- De bepalingen van de gewassamenstelling gaven geen aanleiding om de bestaande coëfficiënten die worden gebruikt om de groei- en onderhoudsademhaling te berekenen, te herzien.
- Rekenkundige schatting leert dat het effect van verminderde onderhoudsademhaling door bladpluk zeer beperkt is.
- De dagademhaling wordt niet beïnvloed door bladplukken en is zeer stabiel over de gewasdiepte.

Groei en productie
In de winter heeft het bladplukken geen invloed gehad op de totale lichtonderschepping (volgens de apogee metingen), ook al waren de LAI's verschillend. Er is wel een negatief effect geweest op de homogeniteit van de verticale lichtverdeling zodat het bladplukken ten koste gegaan van de de totale drogestoftoename. Er moet worden geconcludeerd dat 55% bladpluk risicovol is, en dat 33 of 44% bladpluk zoals dat in het experiment van 2014-2015 is toegepast veiliger is. Er zullen best omstandigheden zijn waarbij 55% bladpluk goed is, maar dit was in 2015-2016 zeker niet het geval. Bladpluk bovenin het gewas in de winter resulteert wel in een hogere drogestofverdeling naar de vruchten (dit was ook in 2014-2015 geconstateerd), als gevolg van het lagere bladgewicht en de lagere sinksterkte van de bladeren die daardoor ontstaat. Het is dus voor de praktijk belangrijk om de juiste balans te vinden tussen een dusdanige bladpluk die het gewas niet uitput maar wel een betere drogestofverdeling naar de vruchten geeft, en dit bij in een Nederlands klimaat dat moeilijk voorspeld kan worden. Dit is natuurlijk niet eenvoudig, en we kunnen er helaas ook geen strakke richtlijnen voor geven.

Bladpluk in de zomer halverwege de gewasdiepte leidde tot een slechtere drogestofverdeling naar de vruchten (deze behandeling is in de winter niet uitgevoerd, dus daarover valt weinig te zeggen). Dit in combinatie met het feit dat ook een lagere A_{max} werd waargenomen leidt tot de conclusie dat dit geen goede bladplukstrategie is.

De hoogste opbrengst van de behandeling 'normaal' was gekoppeld aan een balans tussen gemiddeld vruchtgewicht en aantal vruchten, die op seizoensbasis beide goed zijn. De behandeling 'extra laag – hoog' heeft op seizoensbasis het hoogste gemiddeld vruchtgewicht wat aan de relatief hoge opbrengst gekoppeld is. De behandeling 'laag – normaal' heeft dan wel een hoog aantal geoogste vruchten, maar dit kan het lage vruchtgewicht niet compenseren. Het aantal vruchten was niet gelijk voor alle behandelingen. Al naar gelang van de vermoede draagkracht van de gewassen zijn hierin licht verschillende strategieën gehanteerd. Het is dan ook belangrijk om het aantal vruchten per tros in de zomer zo hoog mogelijk te houden. In de winter, als er een tekort aan assimilaten is (zie hieronder), zal een hoger vruchtaantal per tros sneller een kleinere vrucht tot gevolg hebben.

Dit is nauw gekoppeld aan het gebruik van reserves. Het is op basis van modelberekeningen erg aannemelijk dat in de zomerperiode er een overschot aan assimilaten is voor het ras Brioso omdat de kleine vruchten niet de opnamecapaciteit (sinksterkte) hebben om deze assimilaten op te nemen. Andere simulaties met grovere tomaten laten zien dat er dan geen reserves zijn, wat spoort met het feit dat de vruchtopbrengst van deze rassen groter is. De grote vraag is dan ook hoe deze reserves voor opbrengstverbetering gebruikt kunnen worden. De vruchten hebben een maximale grootte, en meer vruchten per tros kan mogelijk morfologisch niet of leidt tot scheuren van de oudere vruchten (als men de tros als een geheel wil oogsten). Maar het niet gebruiken van deze reserves is zonde.

Het drogestofgehalte van de vruchten is erg belangrijk in de vertaling van het drooggewicht naar het versgewicht. Het drogestofgehalte van de behandeling 'laag – normaal' was lager dan die van de andere twee. De reden hiervan is onduidelijk zodat we geen aanbeveling kunnen doen om dit te verbeteren.

Zetmeel komt vrijwel alleen in de bovenste bladeren voor, waarin de concentratie gedurende de dag iets toeneemt. Waarschijnlijk betreft dit het tijdelijk overschot aan assimilaten die op deze manier worden vastgelegd en 's nachts weer wordt afgevoerd. Dit geldt ook voor glucose en fructose, terwijl de concentratie sucrose (de transportvorm van suikers) voor alle bladlagen ongeveer hetzelfde is. De zetmeel die in de bovenste bladeren werd gevonden is na het zakken van de plant, waarbij de bovenste bladeren naar beneden gaan door de plant weer omgezet in vrije suikers die voor groei en ontwikkeling gebruikt zijn.

Het zetmeelniveau in de bladeren in mei en maart is ongeveer hetzelfde (Figuur 3.32). Deze afwezigheid van verandering zou kunnen betekenen dat er geen grote overmaat aan assimilaten in de bladeren aanwezig zijn die niet worden gebruikt voor groei. Het zou elders in de plant kunnen worden opgeslagen. Hier tegenover staat dat de metingen aan representatieve monsters uit het hele gewas wel een hogere waarde voor mei dan voor maart geven (bijlage 7). Deze waarnemingen laten ook voor de stengel en vruchten een hogere waarde voor mei dan voor maart zien. De vraag is of dit een aanwijzing is voor de opslag van reserves.

Conclusies:

- 55% bladpluk bovenin het gewas in de winter is risicovol vanwege het gevaar van uitputting van het gewas.
- Bladpluk in de winter in de top van het gewas leidt tot een betere drogestofverdeling naar de vruchten.
- Bladpluk halverwege het gewas in de zomer leidt tot een slechtere drogestofverdeling naar de vruchten en een lagere A_{max} en is daarom geen goede teeltmaatregel.
- De opbrengst is gekoppeld aan het aantal vruchten per m^2. Het is dan ook belangrijk om het aantal vruchten per tros in de zomer zo hoog mogelijk te houden.
- In de zomer zijn er volgens de simulaties ongebruikte reserves. Er moet worden nagedacht hoe deze reserves voor opbrengstverhoging kunnen worden gemobiliseerd. Het meten hiervan is heel moeilijk, daarvoor zouden nauwkeurigere bepalingen en proeven in herhaling moeten worden uitgevoerd.
- Het drogestofgehalte van de vruchten is bepalend voor de vertaling van drooggewicht naar versgewicht (en dit is natuurlijk waar het uiteindelijk om gaat). De reden van verschillen tussen de behandelingen is onduidelijk zodat we geen aanbeveling kunnen doen om dit te verbeteren.
- Een overschot aan assimilaten wordt in de loop van de dag als zetmeel in de bovenste bladeren opgeslagen.

Energie
Er is in het seizoen 2015-2016 meer energie gebruikt dan in het seizoen 2014-2105 (de Gelder *et al.* 2016). De belangrijkste reden hiervoor was de noodzaak om het gewas met warmte voldoende generatief te houden. Tegen deze achtergrond werd op seizoensbasis ten opzichte van de behandeling 'normaal' in de behandeling 'extra laag – hoog' 5.4% energie bespaard, en in de behandeling 'laag – normaal' 6.9%.

Terwijl in 2014-2015 het elektriciteitsverbruik voor de belichting in 193 kWh m^{-2} was, werd er in 2015-2016 224 kWh m^{-2} gebruikt, zonder verschillen tussen de behandelingen.

De hogere energie-inzet heeft wel tot een hogere productie geleid: het totale drogestofgewicht van het gewas in 2014-2015 was 5348 g m^{-2} en in 2015-2016 was het 6178 g m^{-2}. Voor de totale drogestofgewichten van de vruchten waren de waarden 3707 en 5348 g m^{-2}.

Scenario's
Het is op fysiologische gronden en metingen aan het gewas mogelijk om een schatting te maken van de nuttige LAI. Dit is de bladbedekkingsgraad waarbij al het licht is benut voor groei nadat het licht dat nodig is voor onderhoudsademhaling is verdisconteerd.

De simulaties laten zien dat bladplukken rond januari – de tuinderspraktijk - tot meer opbrengststijging leidt dan bladplukken rond december. Dit heeft te maken met de grotere bladmassa die in geval van bladpluk rond december aan het einde van de winter aanwezig is. Dit leidt tot meer onderhoudsademhaling en daarmee tot een lagere vruchtgroei.

De relatieve opbrengststijging is vlak na de winter groter dan aan het einde van het seizoen, maar de absolute opbrengststijging is aan het einde van het seizoen groter dan vlak na de winter. Dit komt omdat de effecten van bladplukken relatief steeds minder belangrijk worden.

Desalniettemin zijn de opbrengstverschillen in absolute zin rond eind mei het grootst. Dan zijn de effecten van vruchtuitgroeiduur en onderhoudsademhaling helemaal uitgewerkt.

Praktische toepassing
Bladpluk bij tomaat is eigenlijk al standaard praktijk: aan de onderkant van het gewas wordt blad weggenomen. De vraag is of er extra blad moet worden weggenomen. Het antwoord hierop is 'Ja, met mate'. In het experiment bleek 55% bladpluk in de winter te veel van het goede, net als bladpluk in de zomer halverwege het gewas. De hoogste opbrengst van de behandeling 'normaal' (met 33% bladpluk) was gekoppeld aan een balans tussen gemiddeld vruchtgewicht en aantal vruchten, die op seizoensbasis beide goed zijn. De cruciale factor in de bepaling hoeveel bladoppervlak er gehandhaafd moet worden is de hoeveelheid licht. Een LAI van 2 in de donkerste periode is het absolute minimum. Scenarioberekeningen wijzen uit dat bladpluk rond januari – de tuinderspraktijk - tot een hogere opbrengstijging leidt dan bladpluk rond december.

Als er weinig licht wordt voorspeld, kan er iets meer blad worden geplukt, maar zeker niet te veel. De proef heeft ons gewezen op het gevaar van te veel bladpluk bij weinig licht. Meer assimilatielicht (indien mogelijk) kan ook worden ingezet. Als er meer zonlicht wordt voorspeld, kan er minder blad worden geplukt om volop gebruik te maken van dit extra licht. Vanuit productieperspectief kan het gebruik van de assimilatiebelichting voortgezet worden.

Literatuur

Elings, A. en J. Janse, 2017.
Energiebesparing door bladpluk bij komkommer. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB-1451.

Elings, A., E. Meinen, J.A. Dieleman en P.H.B. de Visser, 2017.
The modelled photosynthetic effects of different light colours on tomato crop growth and production. Acta Hort. 1182: 177-184.

Elings, A. en W. Voogt, 2008.
Management of greenhouse crop transpiration: the way forward. Acta Hort. 801: 1221-1228.

Gelder, A. de, J. Janse en M. Warmenhoven, 2016.
Het Nieuwe Gewas. Sturen van plantvorm door verhoogde lichtbenutting. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB-1407.

Herrmann, K., 1979.
Übersicht über die Inhaltstoffe der Tomaten. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 169: 179-200.

Heuvelink, E., 1996. Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. Dissertation, Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 326 pp.

Jones, M.B., E.L. Leafe, W. Stilles en B. Collett, 1978.
Pattern of respiration of a perennial ryegrass crop. Annals of Botany 42: 693-703.

Koning, N.N.M. de, 1994.
Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 240 pp.

Marcelis, L.F.M., A. Elings, P.H.B. de Visser en E. Heuvelink, 2009.
Simulating growth and development of tomato crop. Acta Hort 821: 101-110.

Nederhoff, E.M., 1994.
Effects of CO_2 concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetables. Dissertation, Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 213 pp.

Penning de Vries, F.W.T., A.H.M. Brunsting en H.H. van Laar, 1974.
Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. J. theor. Biol. 45: 339-377.

Penning de Vries, F.W.T., H.H. van Laar en M.C.M. Chardon, 1983.
Bioenergetics of growth of seeds, fruits and storage organs. In: Potential Productivity of Field Crops under Different Environments, IRRI. Los Baños, Philippines, pp. 37-60.

Stanghellini, C., 1987.
Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Dissertation, Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 18+150 pp.

Vertregt, N. en F.W.T. Penning de Vries, 1987.
A rapid method for determining the efficiency of biosynthesis of plant biomass. J. theor. Biol. 128: 109-119.

Yin, X., Z. Sun, P.C. Struik en J. Gu, 2011.
Evaluating a new method to estimate the rate of leaf respiration i the light by analysis of combined gas exchange and chlorophyll fluorescence measurements. Journal of Experimental Botany 62: 3489-3499.

Marcelis, L. en A. de Gelder, 2013.
50% elektrabesparing door betere lichtbenutting in kassen. Notitie Wageningen UR Glastuinbouw.

Bijlage 1 Publiciteit

Lezingen

Anne Elings, Arie de Gelder & Jan Janse, 2016.
Bladplukken voor optimale lichtbenutting bij tomaat. EnergiekEvent 7 april 2016, Bleiswijk.

Anne Elings, Arie de Gelder & Jan Janse, 2016.
Lopende bladplukproeven tomaat en komkommer. Wageningen UR Glastuinbouw teamvergadering 6 juni 2016, Wageningen.

Arie de Gelder, Jan Janse & Anne Elings, 2016.
Lighting: climate and crop balance. The effect of leaf picking on tomato production in winter. GreenTech 14 juni 2016, Amsterdam.

Anne Elings, Arie de Gelder & Jan Janse, 2017.
Bladplukken voor optimale lichtbenutting bij tomaat en komkommer. EnergiekEvent 9 maart 2017, Bleiswijk.

Anne Elings, Arie de Gelder & Jan Janse, 2017.
Leaf picking in tomato and cucumber. Bezoek Scandinavische onderzoekers, 9 februari 2017, Bleiswijk.

Anne Elings, Arie de Gelder & Jan Janse, 2016.
Bladplukken voor optimale lichtbenutting bij tomaat en komkommer. Wageningen UR Glastuinbouw teamvergadering 24 april 2017, Bleiswijk.

Publicaties

Anne Elings, 2016.
Meer bladplukken meer assimilaten naar vruchten sturen. Groente en Fruit 14: 26-27, (interview).

Interview met OnderGlas gepland voor juni/juli editie.

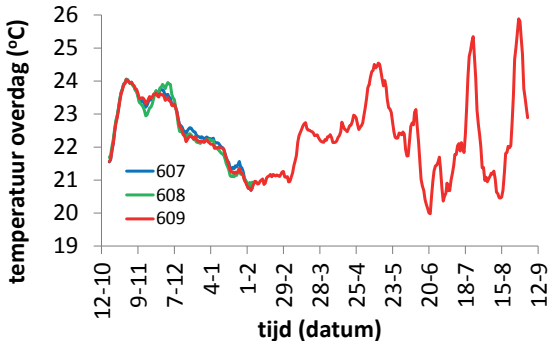
Web

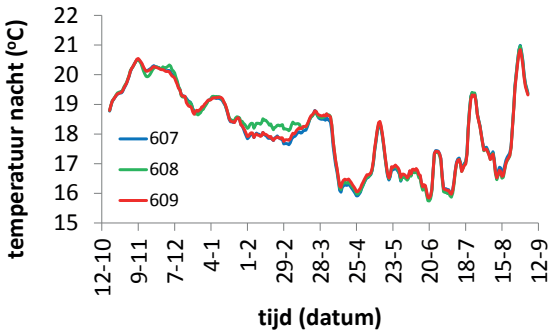
GFActueel, 2 februari 2016.
Pas op de plaats in bladplukproef tomaat. http://www.gfactueel.nl/Glas/Nieuws/2016/2/Pas-op-de-plaats-in-bladplukproef-tomaat-2755101W/?cmpid=NLC|gfa|2016-02-02|Pas_op_de_plaats_in_bladplukproef_tomaat.

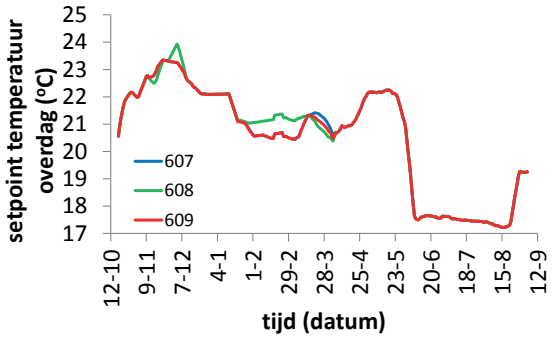
Onder Glas, augustus 2016.
Bladpluk geeft een betere verdeling van de drogestof. http://digimagazine.onderglas.nl/2016/8/frameset.php.

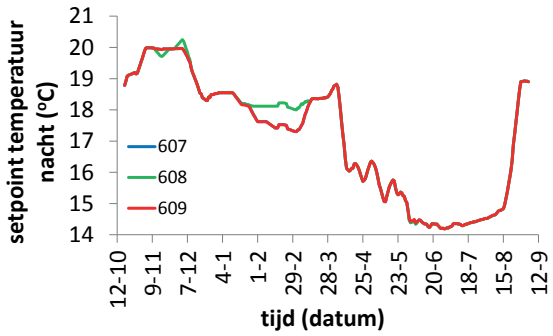
Kas als Energiebron / LTO Glaskracht:
22 oktober 2015. Project 'Tomatenproductie sturen van blad naar vrucht' gestart
20 januari 2016: Eerste lessen uit 'Tomatenproductie sturen van blad naar vrucht'
4 maart 2016: Andere bladplukstrategie in tomatenproef ingezet
13 april 2016: Bladpluk geeft een betere verdeling van de drogestof
26 mei 2016: Vruchten worden grover, maar productieverschillen blijven
16 september 2016: Halverwege de plant bladplukken geeft lagere productie

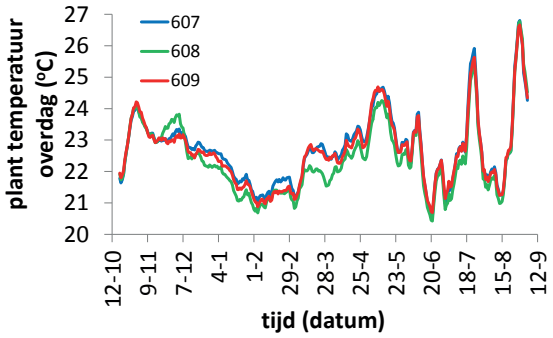
Bijlage 2 Klimaat

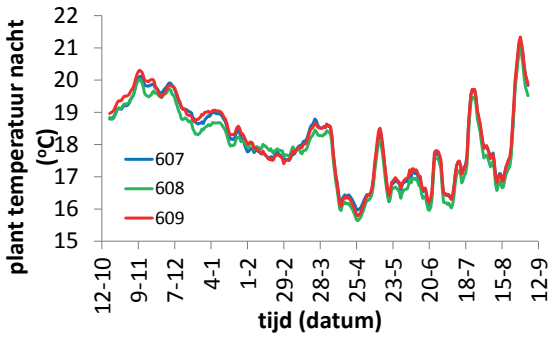


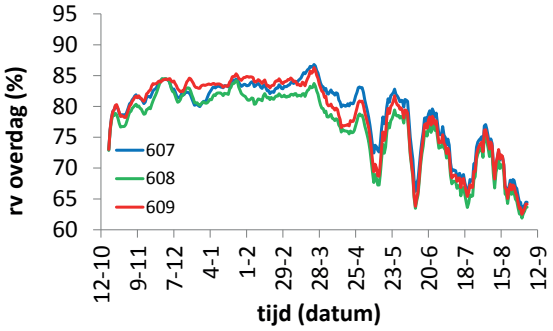


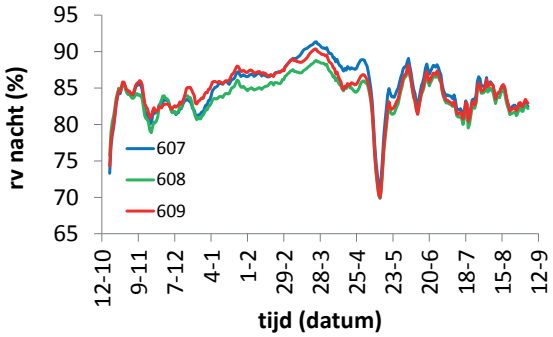


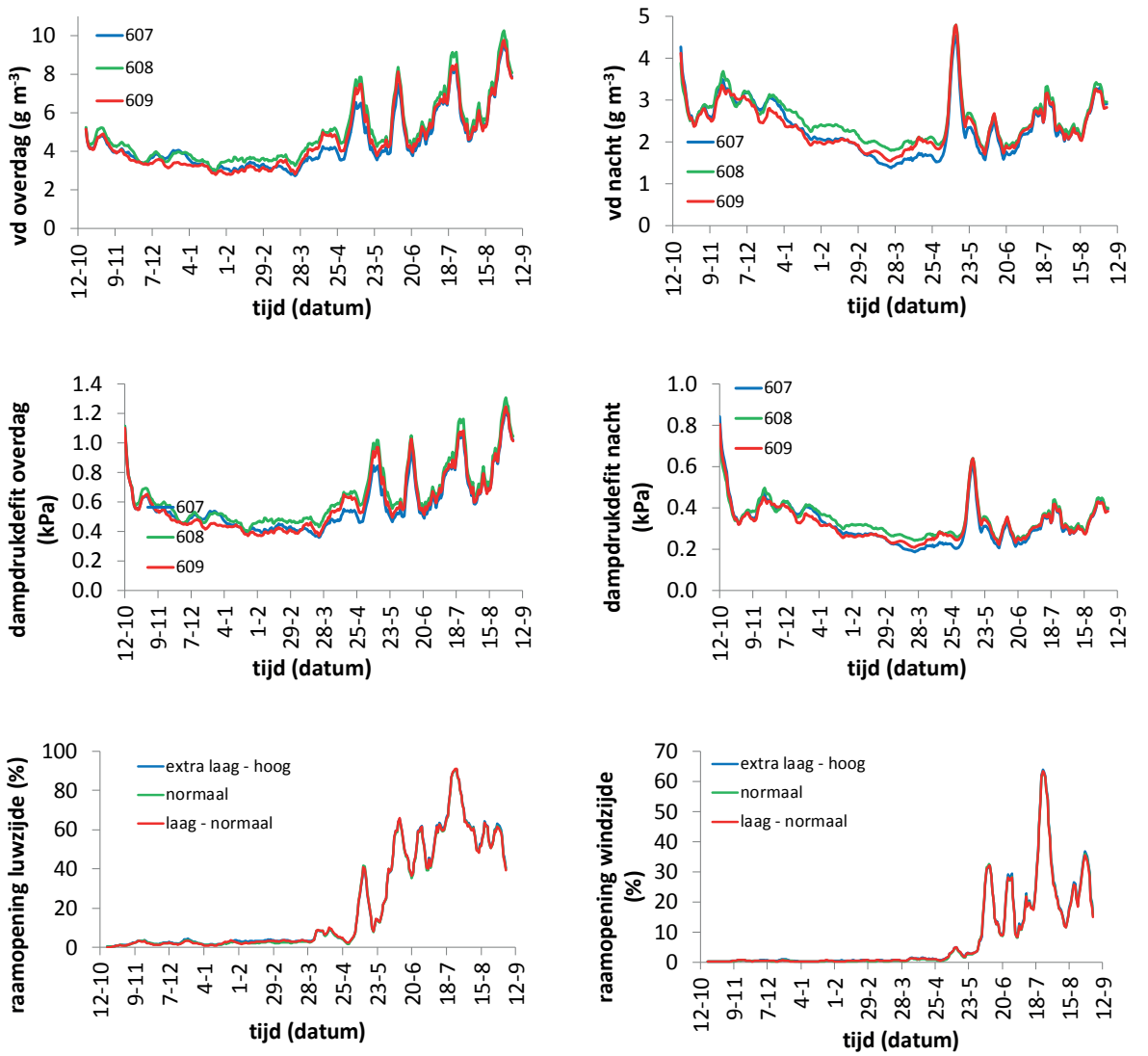




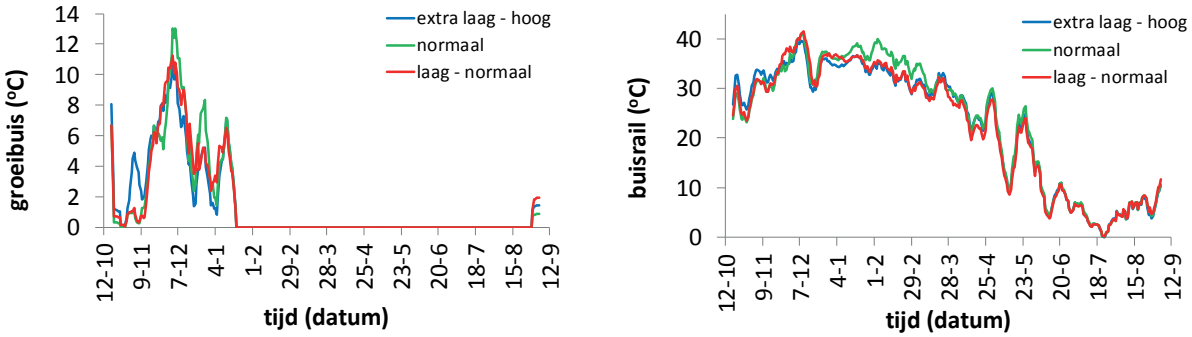




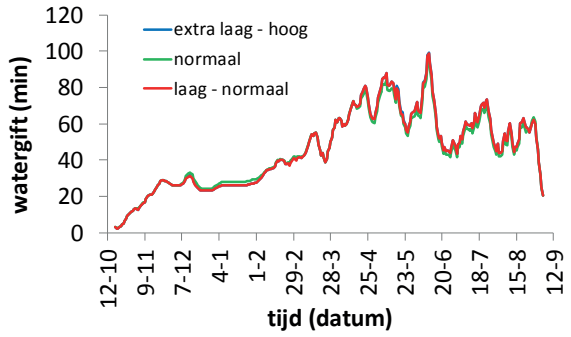


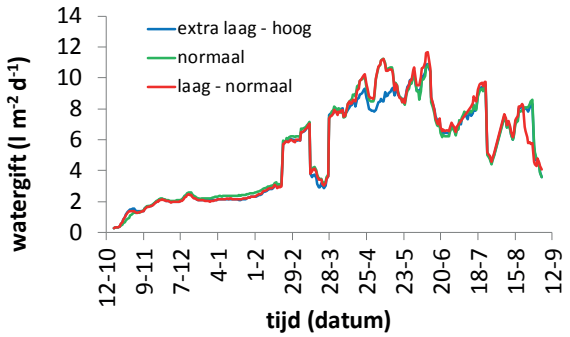


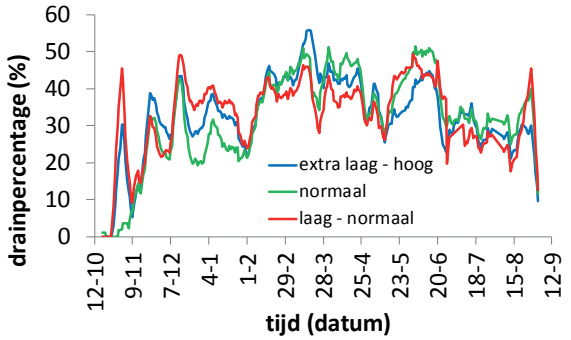
Figuur B2.1 *Raamstanden in de drie behandelingen.*

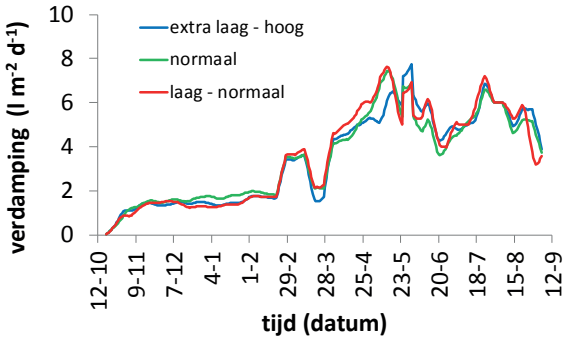


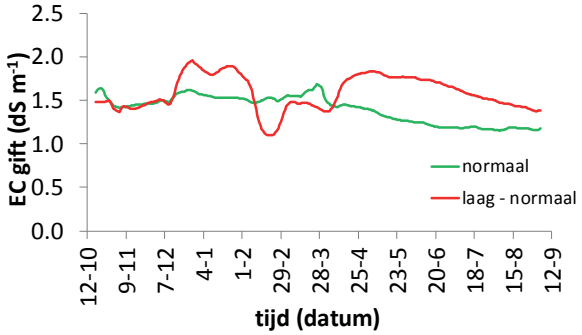
Bijlage 3 Water en nutriënten

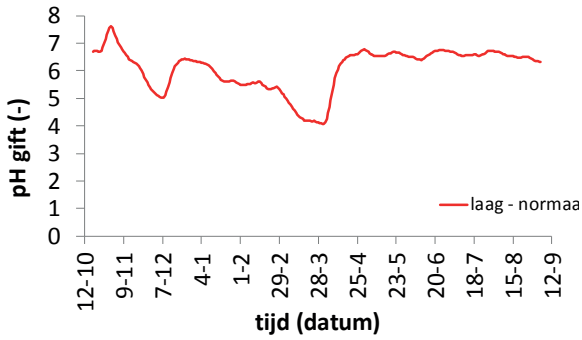


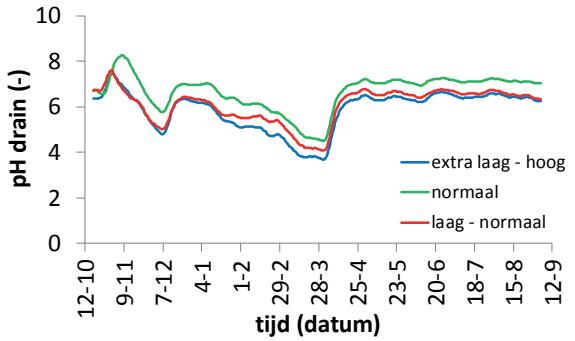




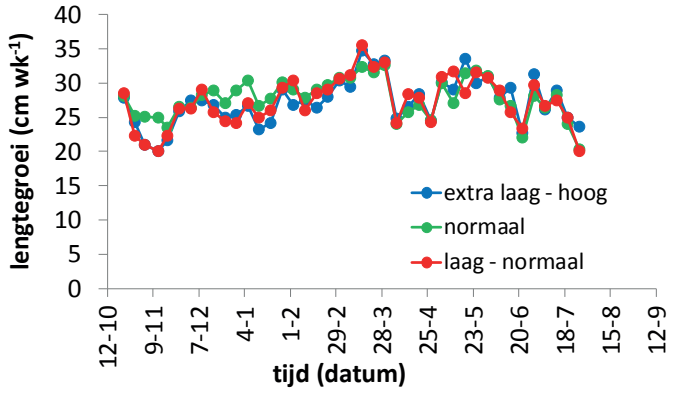


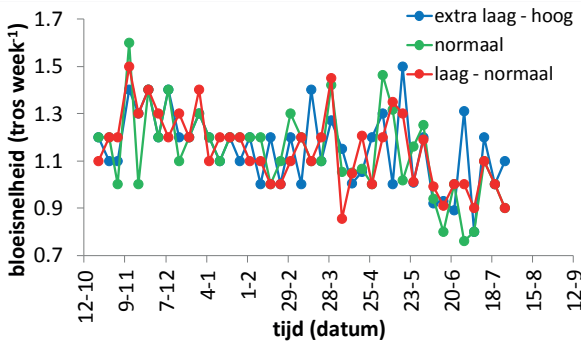


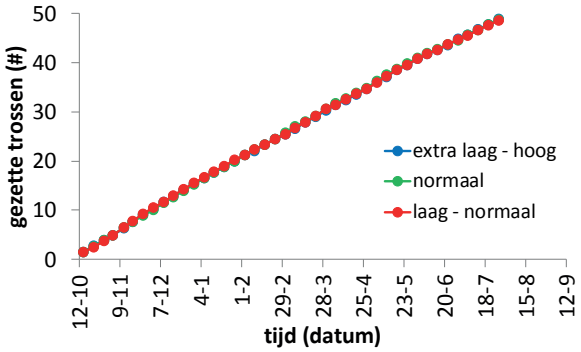


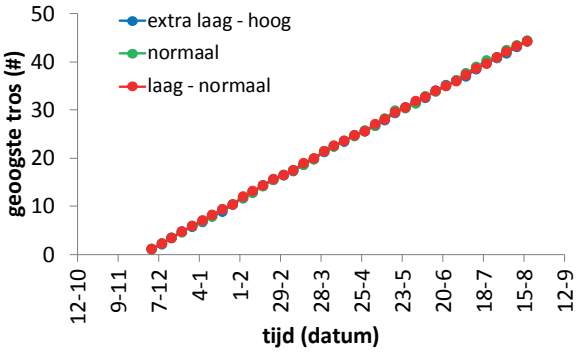


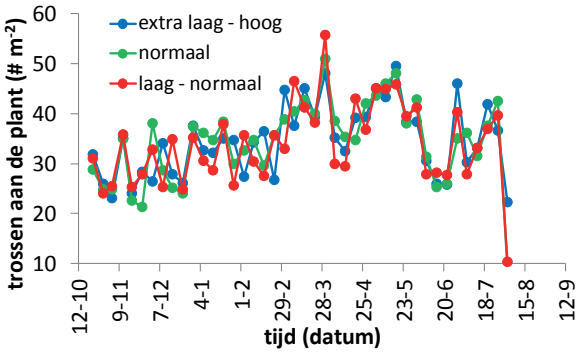
Bijlage 4 Gewasgroei en -ontwikkeling

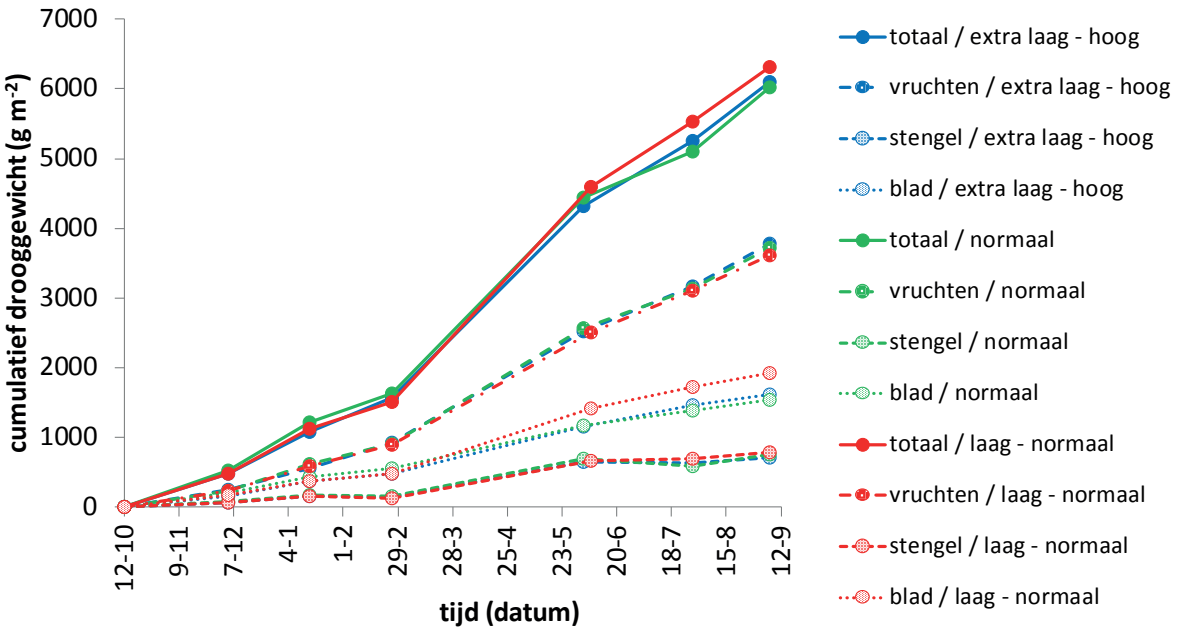




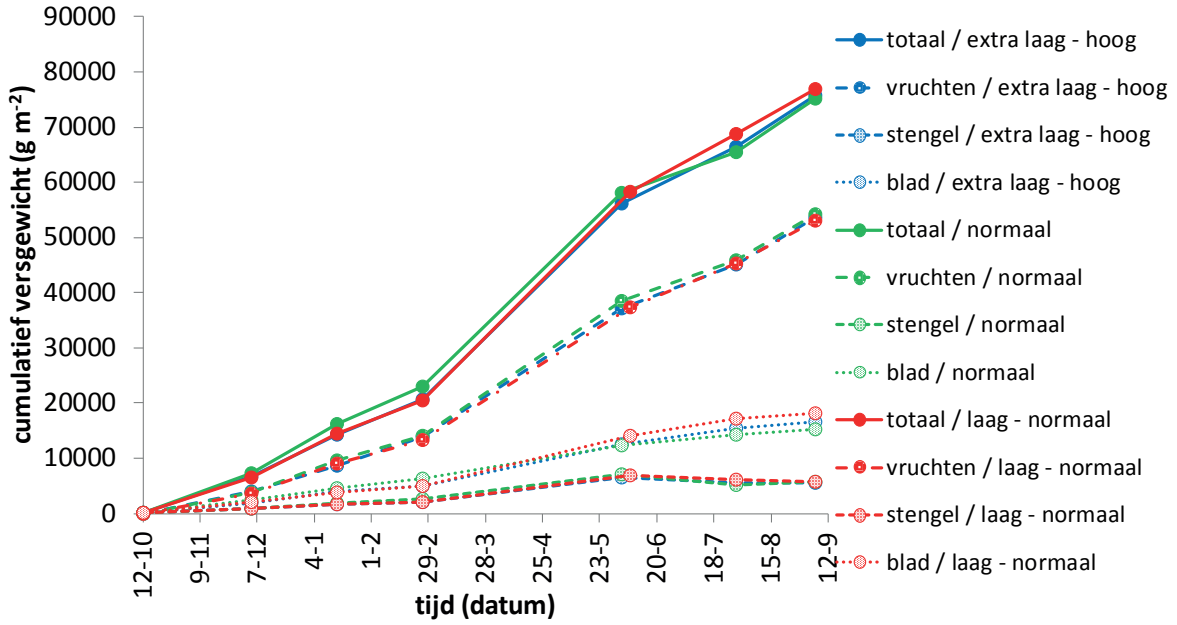




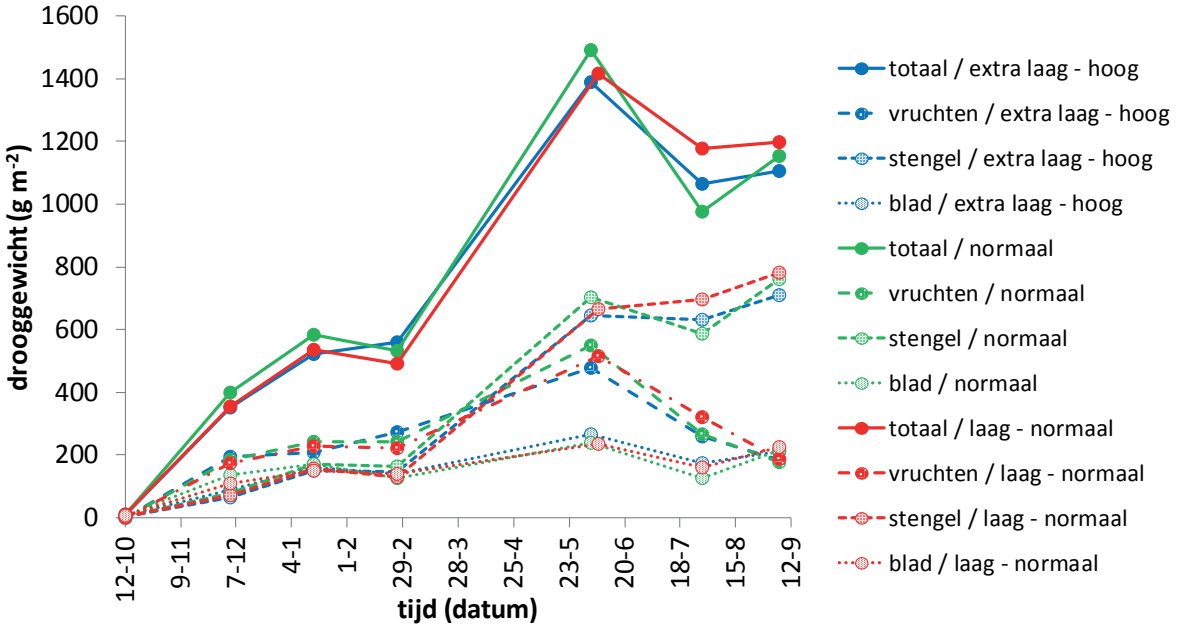




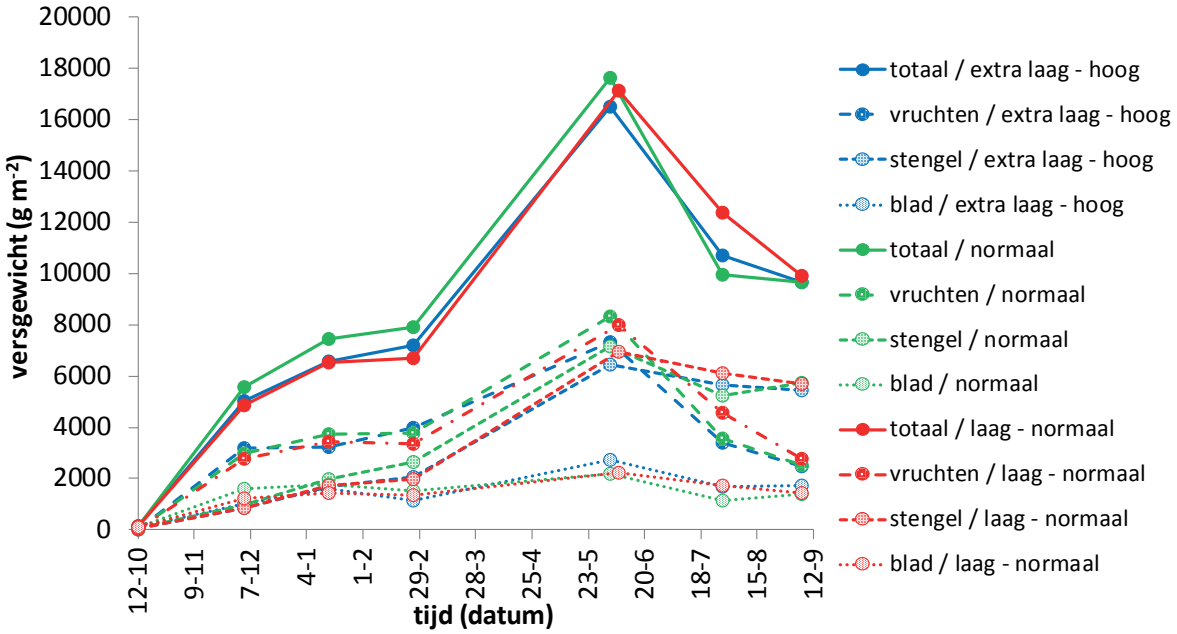
Figuur B4.1 *Cumulatieve drooggewichten van de organen en de hele plant, voor de drie behandelingen.*



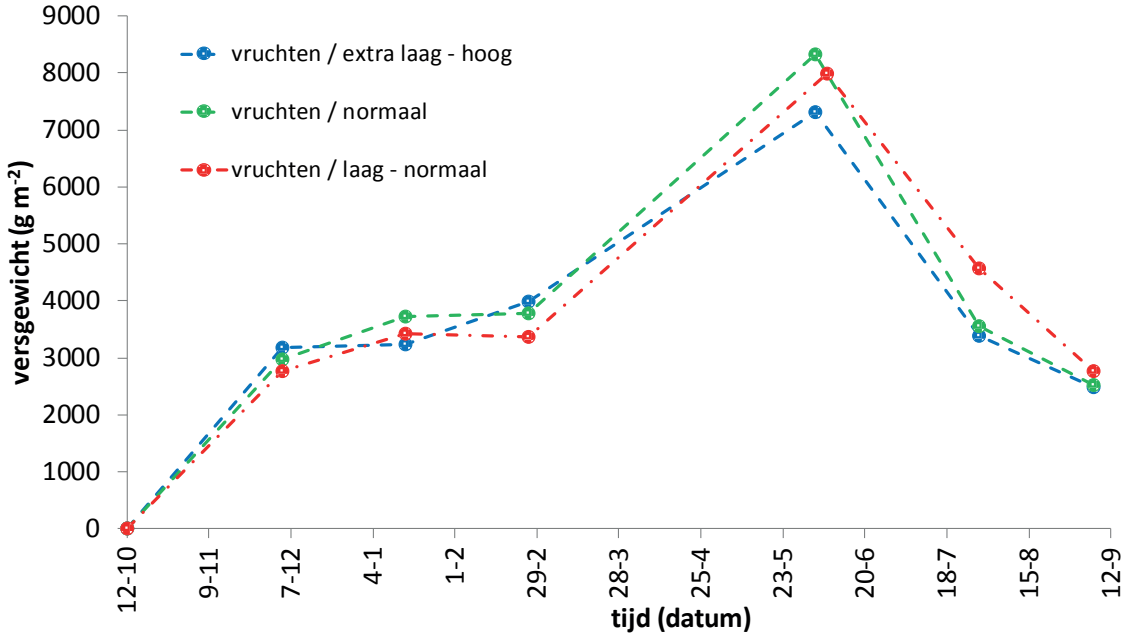
Figuur B4.2 *Cumulatieve versgewichten van de organen en de hele plant, voor de drie behandelingen.*



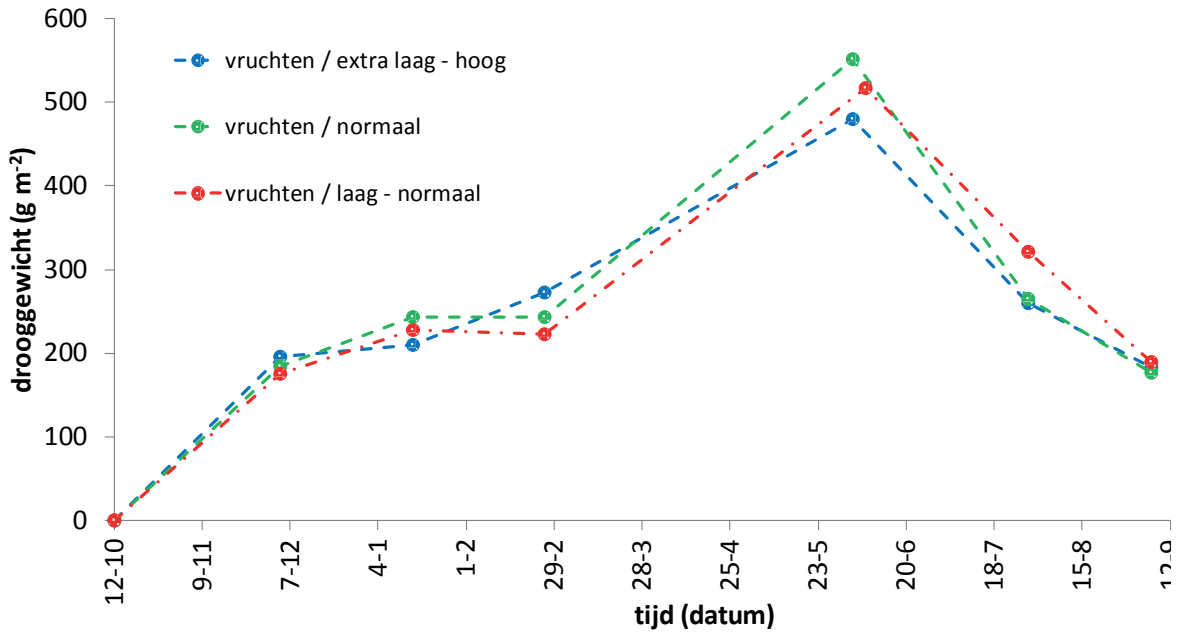
Figuur B4.3 *Actuele drooggewichten van de organen en de hele plant (de gewichten van de gewassen zoals deze in de kas stonden), voor de drie behandelingen.*



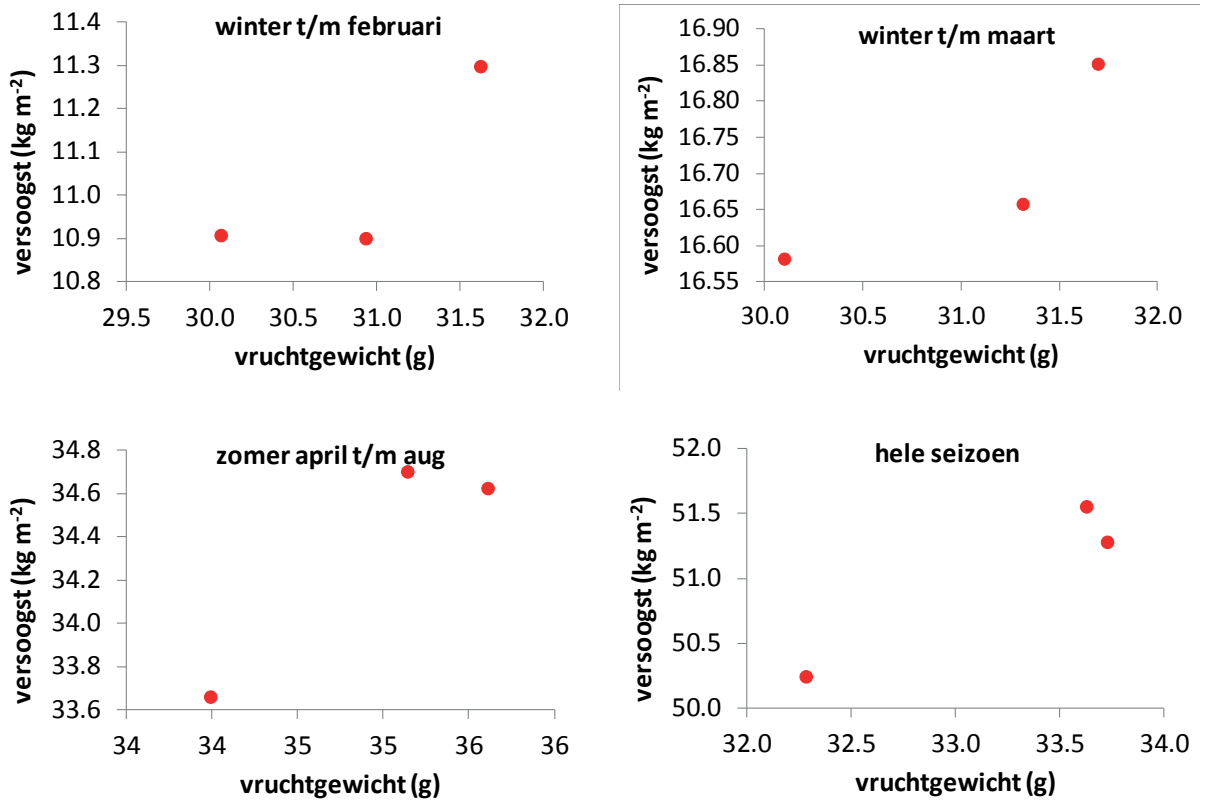
Figuur B4.4 *Actuele versgewichten van de organen en de hele plant (de gewichten van de gewassen zoals deze in de kas stonden), voor de drie behandelingen.*



Figuur B4.5 *Actuele versgewichten van de vruchten (de gewichten van de gewassen zoals deze in de kas stonden), voor de drie behandelingen.*

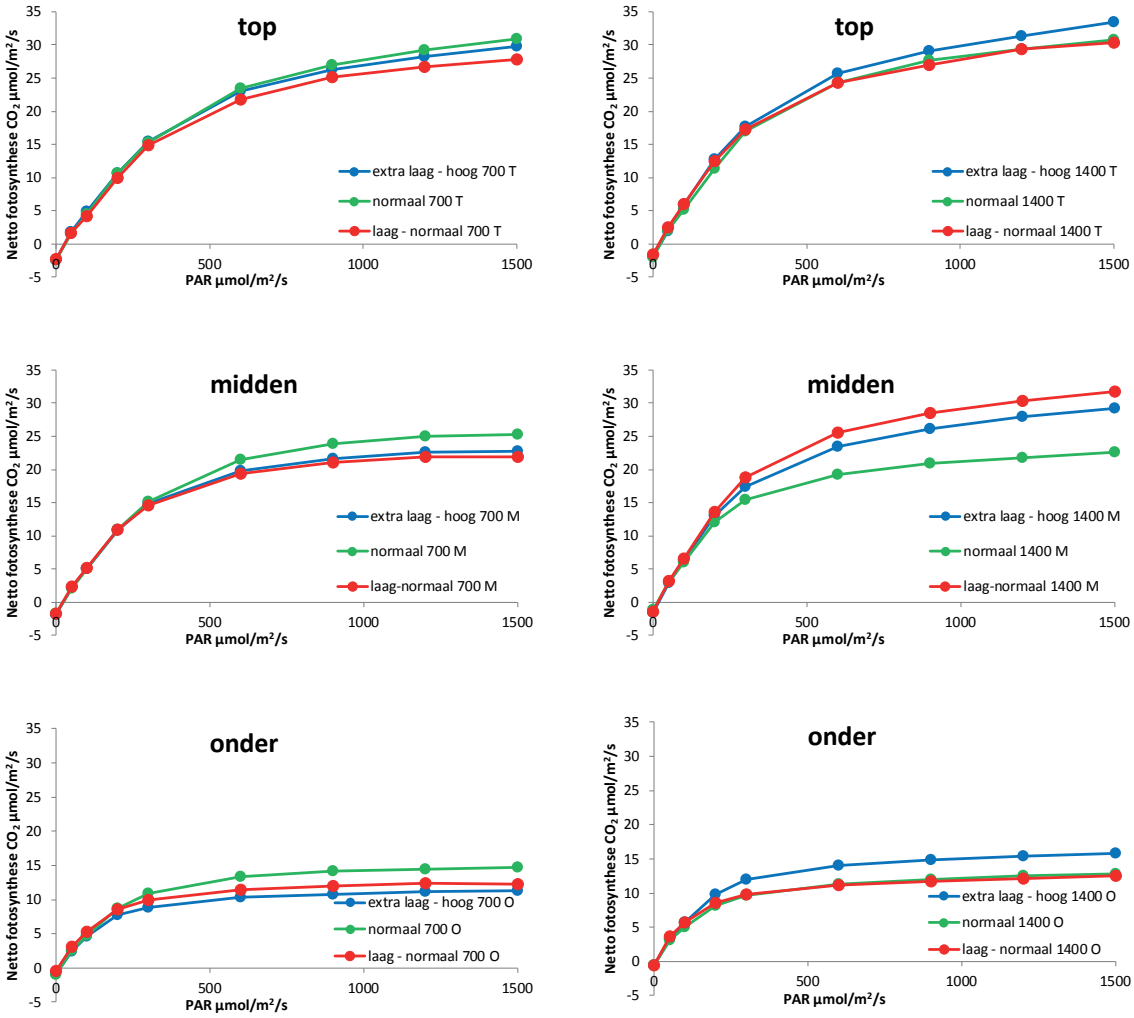


Figuur B4.6 *Actuele drooggewichten van de vruchten (de gewichten van de gewassen zoals deze in de kas stonden), voor de drie behandelingen.*

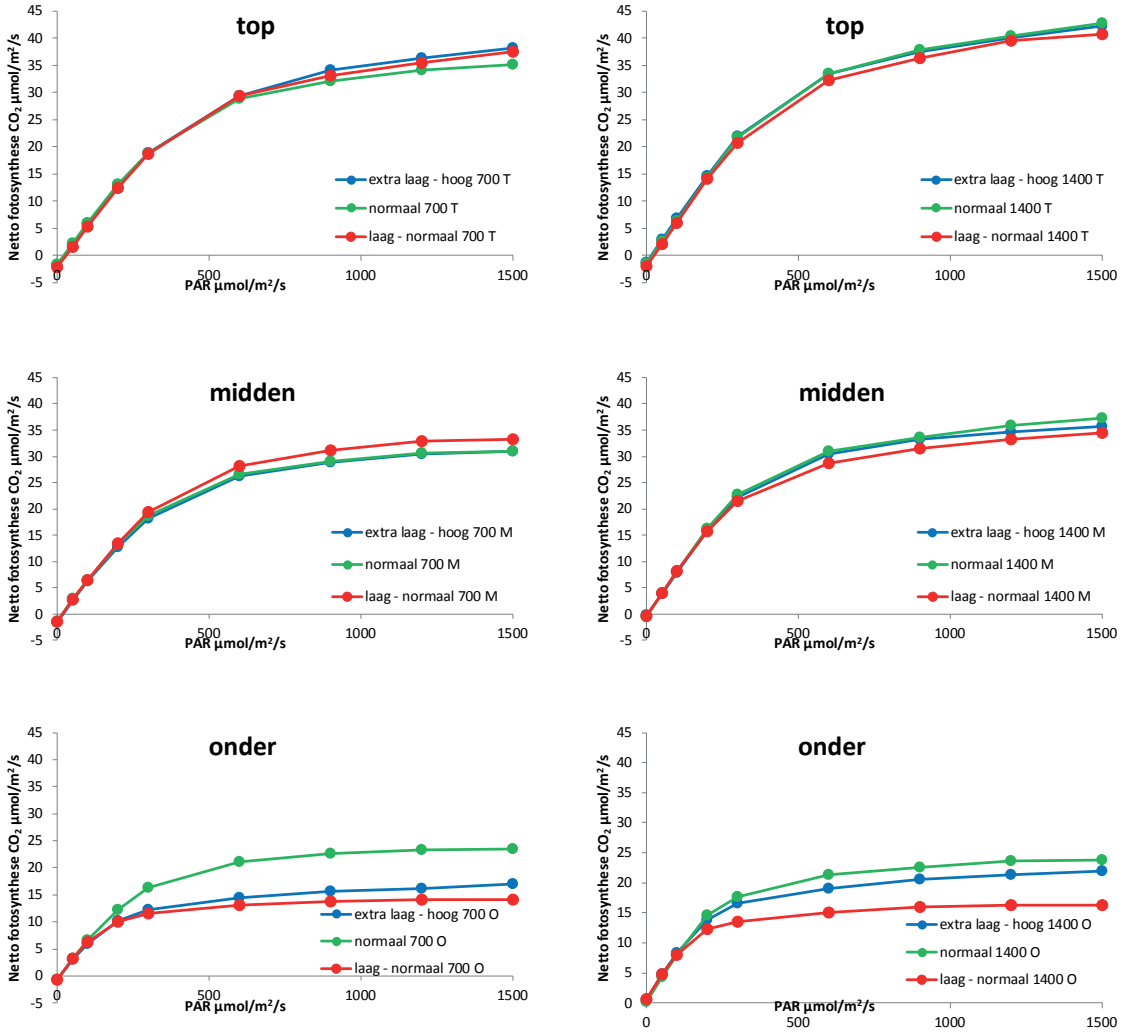


Figuur B4.7 *Versoogst in relatie tot vers vruchtgewicht tijdens bepaalde perioden en tijdens de hele teelt.*

Bijlage 5 Fotosynthese

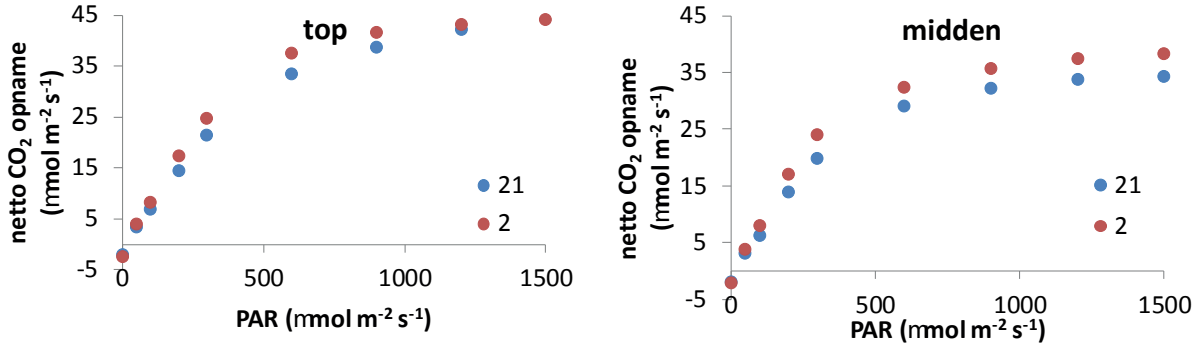


Figuur B5.1 *Fotosynthese-lichtresponscurves gemeten in januari – februari 2016.*

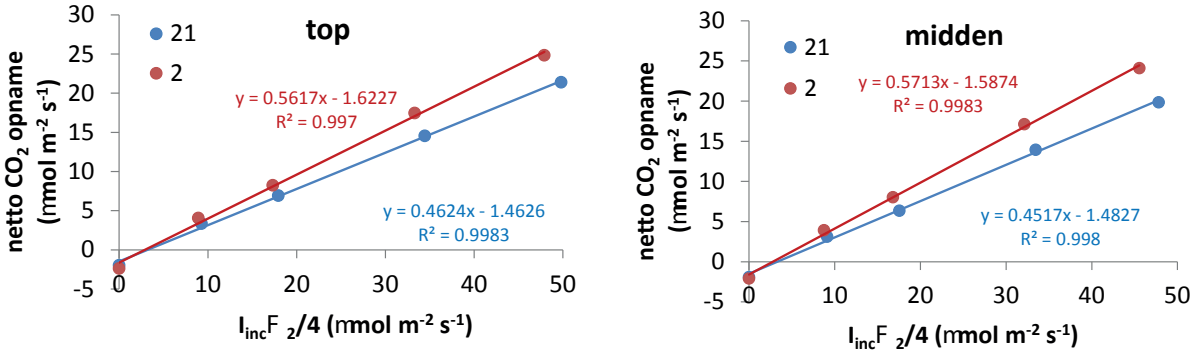


Figuur B5.2 *Fotosynthese-lichtresponscurves gemeten in juni 2016.*

Bijlage 6 Respiratie

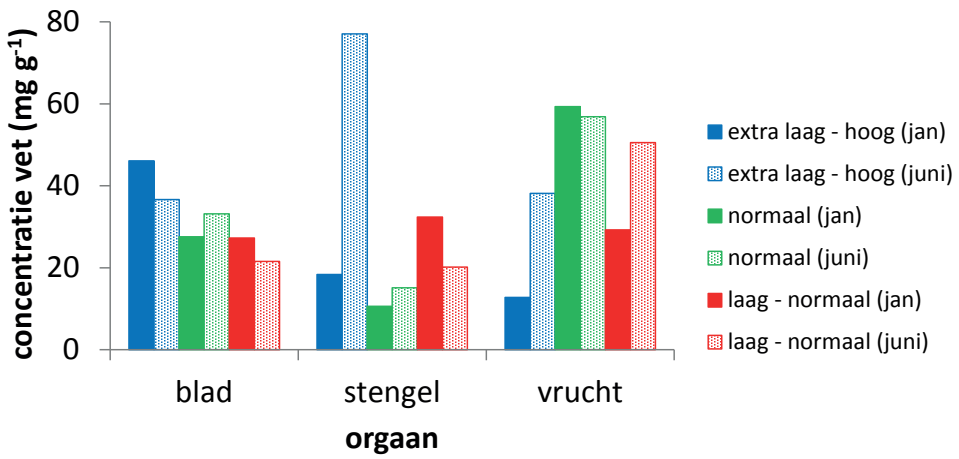


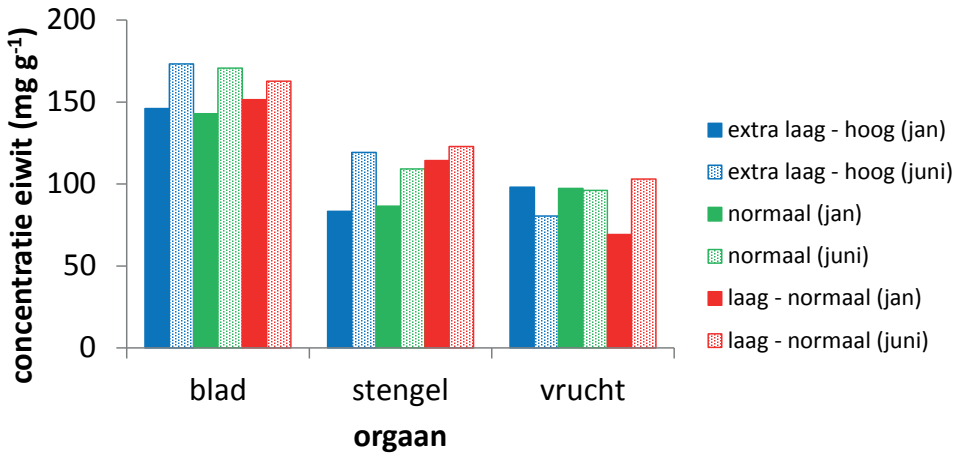
Figuur B6.1 *Fotorespiratie.*

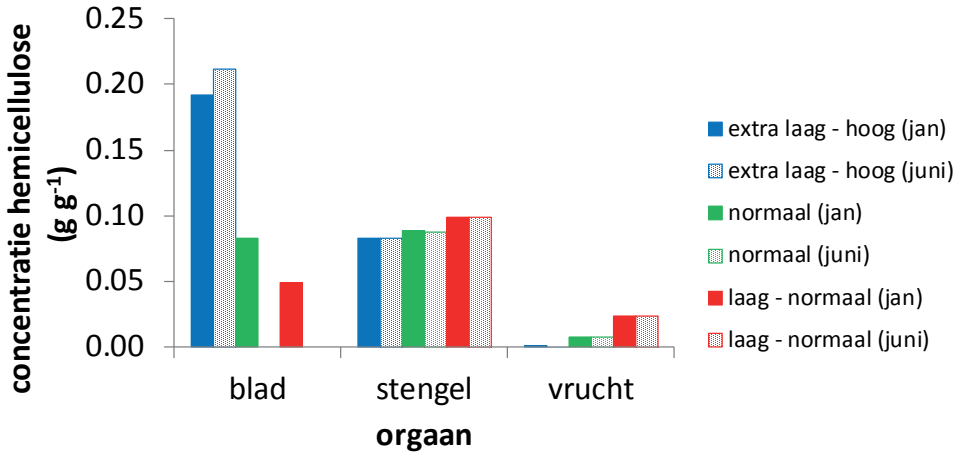


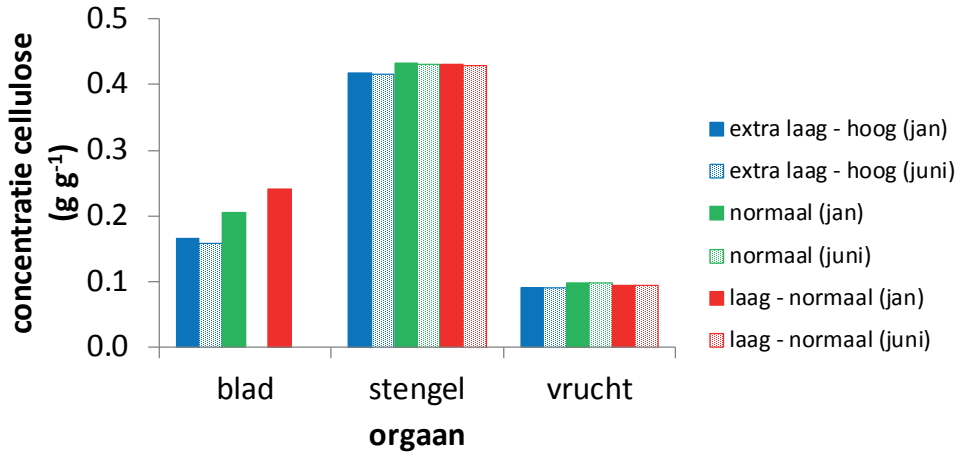
Figuur B6.2 *Netto CO_2 assimilatiesnelheid als functie van IincΦ2/4.*

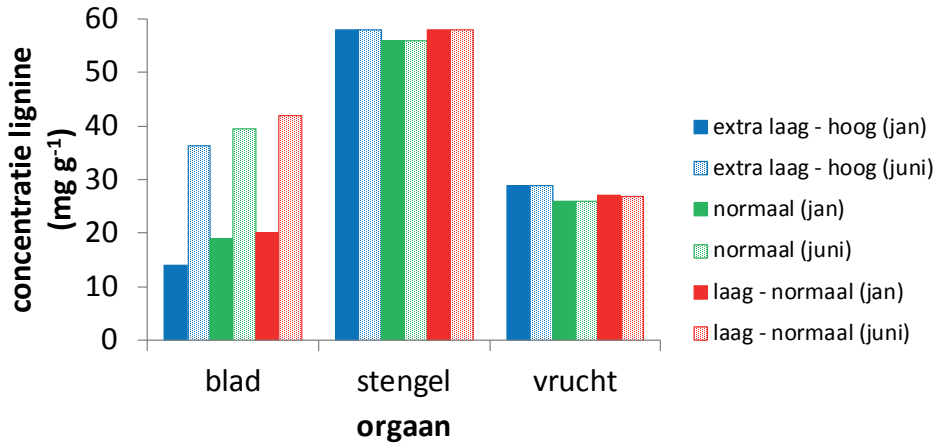
Bijlage 7 Gewassamenstelling - bouwstoffen

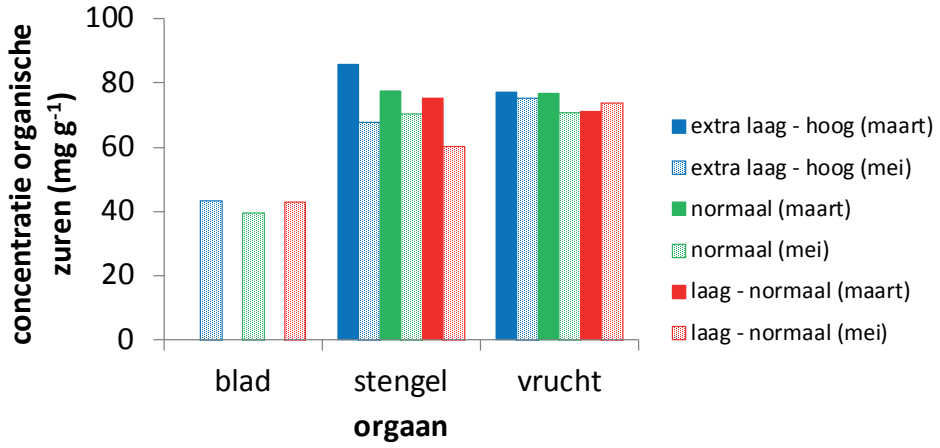


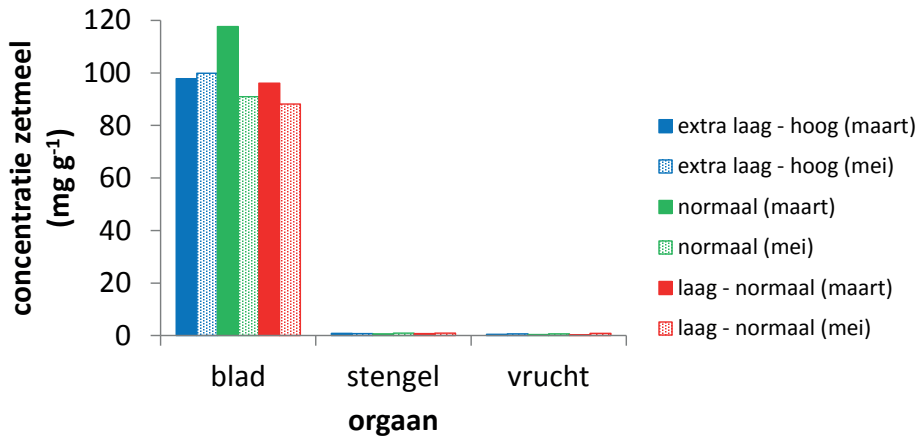


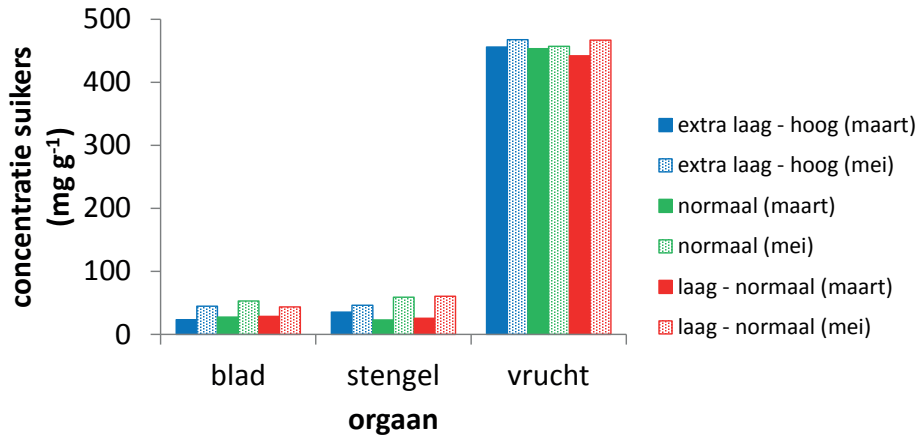


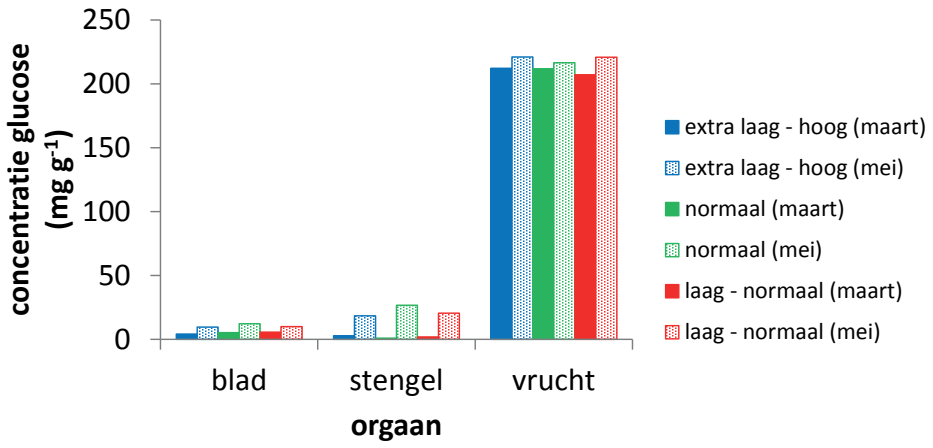

concentratie cellulose (g g-1)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

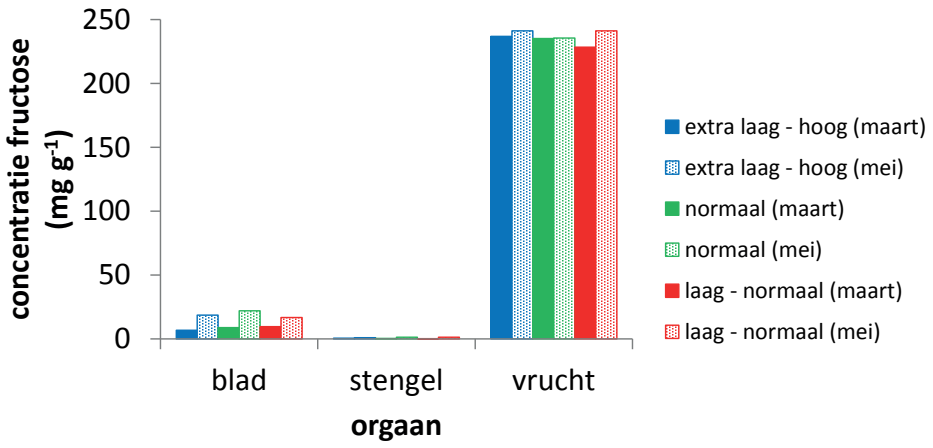

concentratie lignine (mg g-1)
60
50
40
30
20
10
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

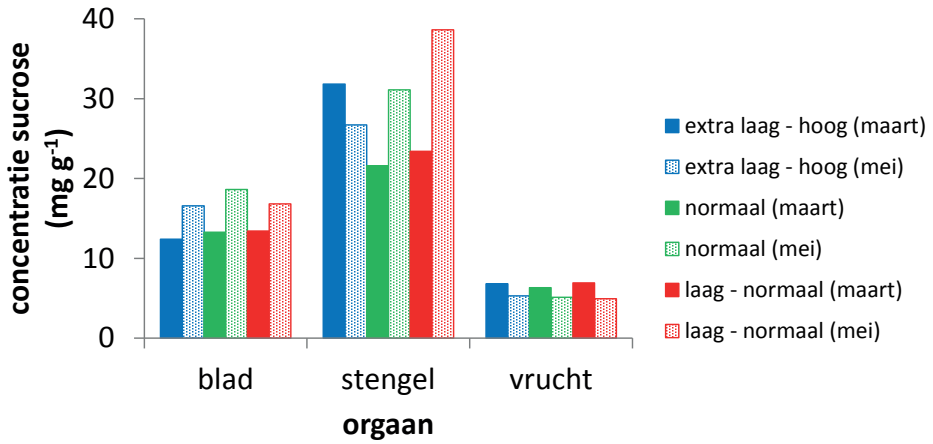

concentratie organische zuren (mg g-1)
100
80
60
40
20
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (maart)
extra laag - hoog (mei)
normaal (maart)
normaal (mei)
laag - normaal (maart)
laag - normaal (mei)


concentratie zetmeel (mg g-1)
120
100
80
60
40
20
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (maart)
extra laag - hoog (mei)
normaal (maart)
normaal (mei)
laag - normaal (maart)
laag - normaal (mei)

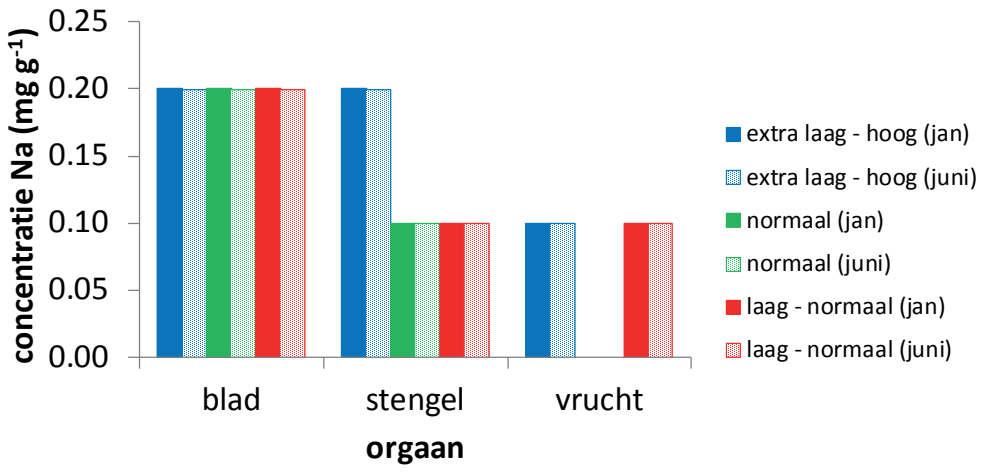

concentratie suikers (mg g-1)
500
400
300
200
100
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (maart)
extra laag - hoog (mei)
normaal (maart)
normaal (mei)
laag - normaal (maart)
laag - normaal (mei)

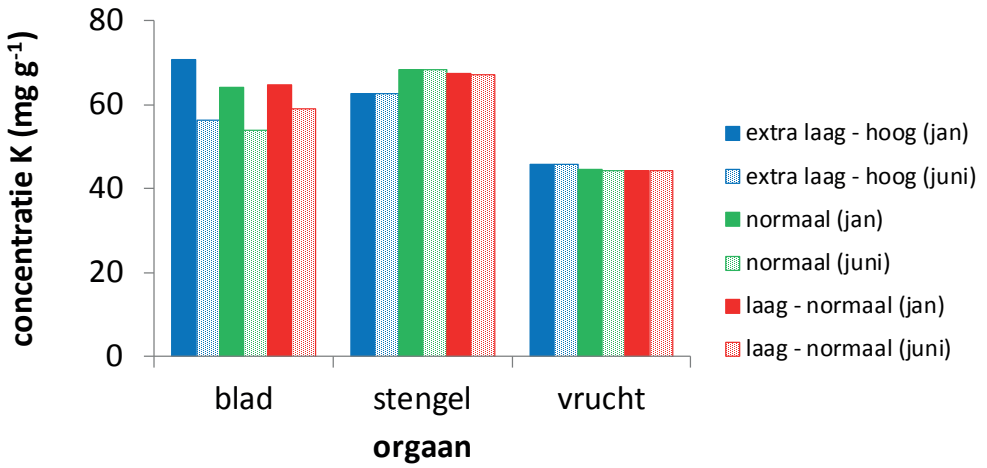

concentratie glucose (mg g-1)
250
200
150
100
50
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (maart)
extra laag - hoog (mei)
normaal (maart)
normaal (mei)
laag - normaal (maart)
laag - normaal (mei)

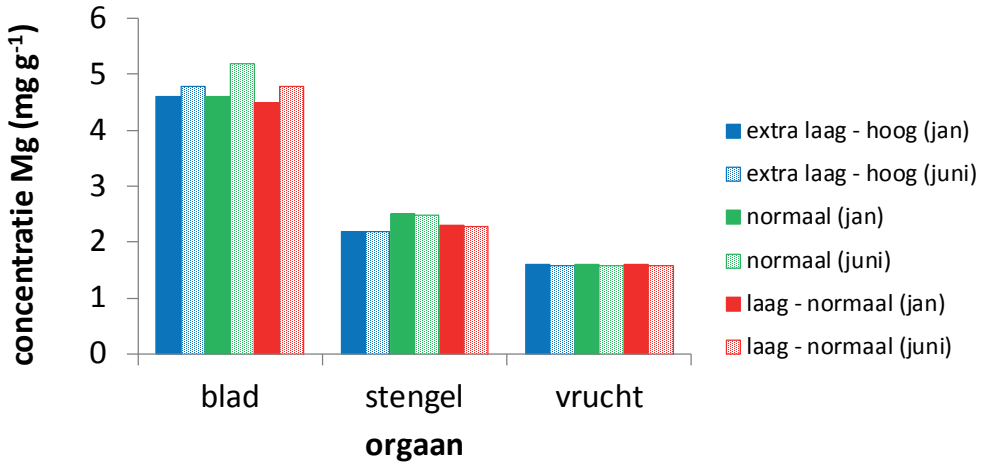

concentratie fructose (mg g-1)
250
200
150
100
50
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (maart)
extra laag - hoog (mei)
normaal (maart)
normaal (mei)
laag - normaal (maart)
laag - normaal (mei)

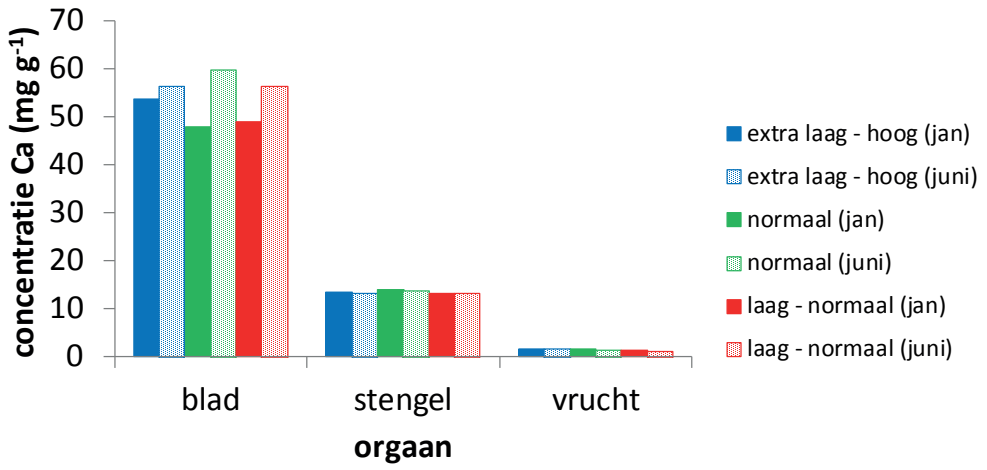

concentratie sucrose (mg g-1)
40
30
20
10
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (maart)
extra laag - hoog (mei)
normaal (maart)
normaal (mei)
laag - normaal (maart)
laag - normaal (mei)

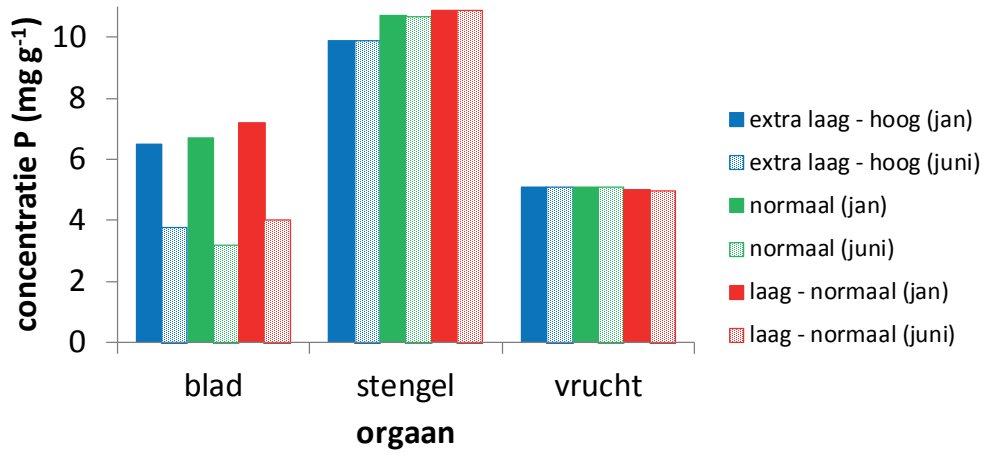
Bijlage 8 Gewassamenstelling – nutriënten

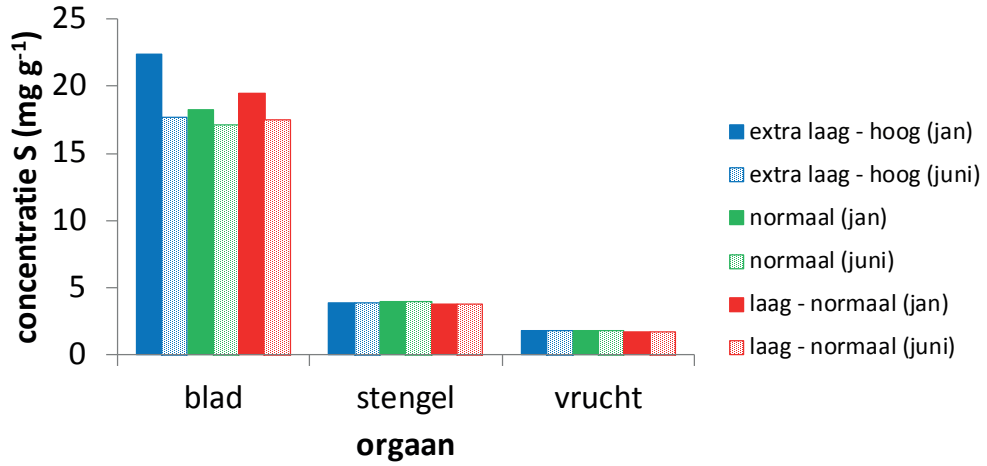


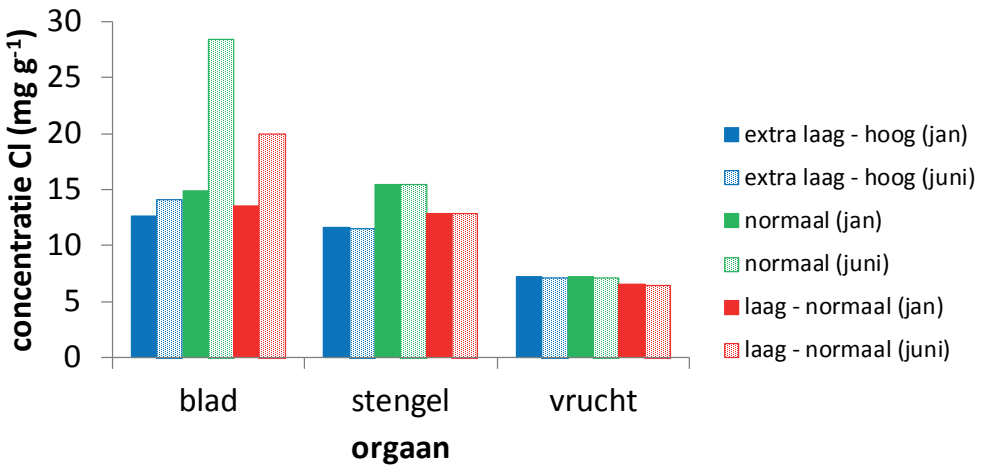


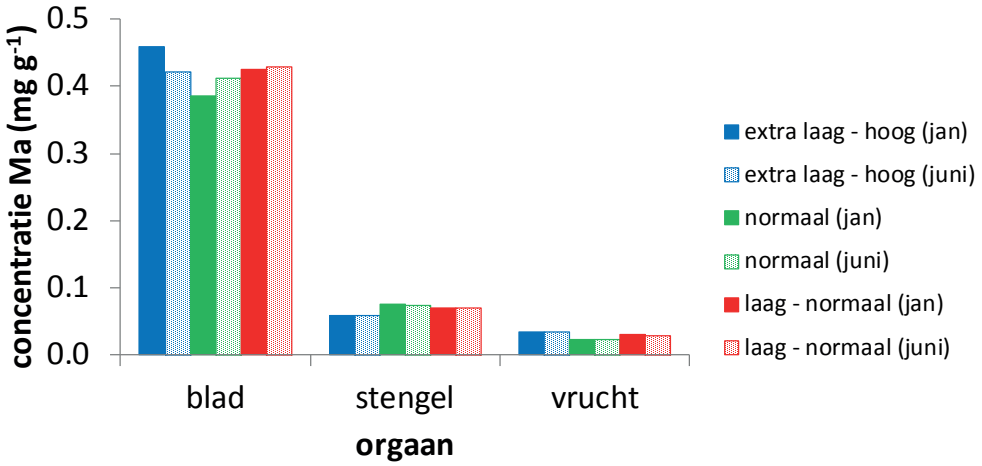


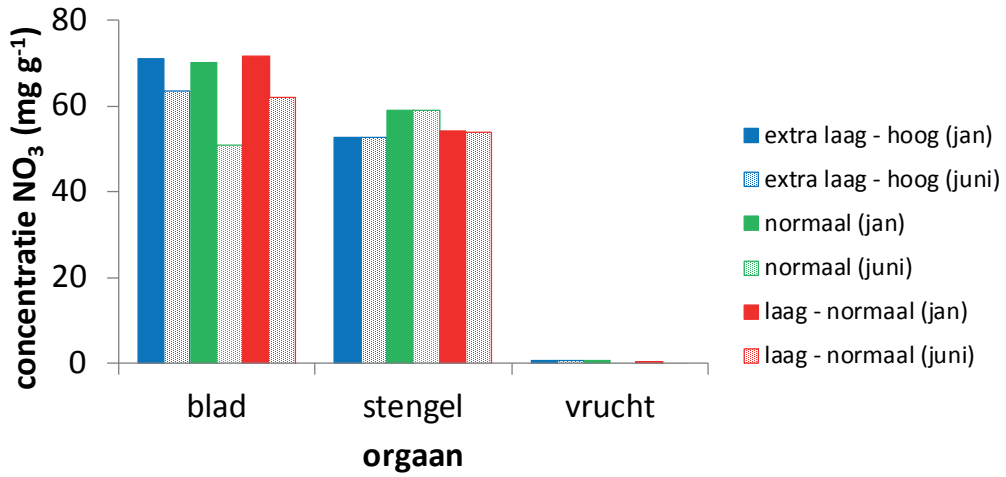

concentratie Ca (mg g-1)
70
60
50
40
30
20
10
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

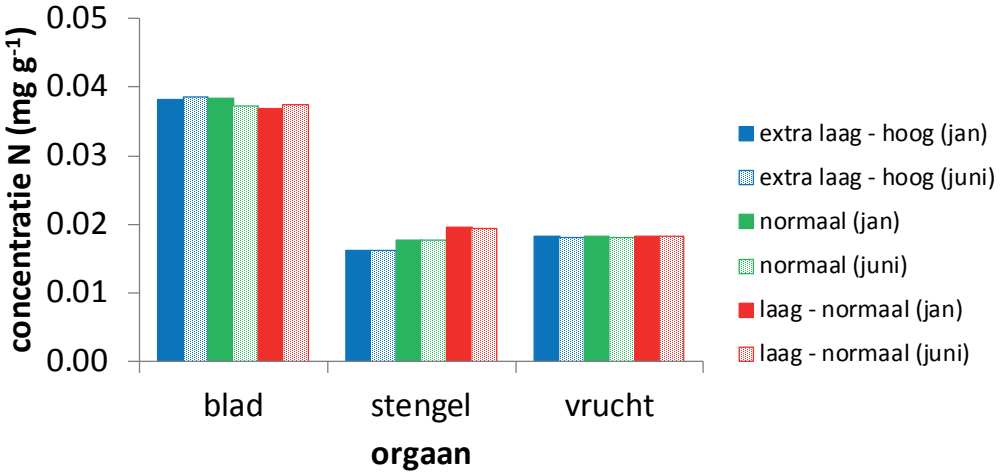

concentratie P (mg g-1)
10
8
6
4
2
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

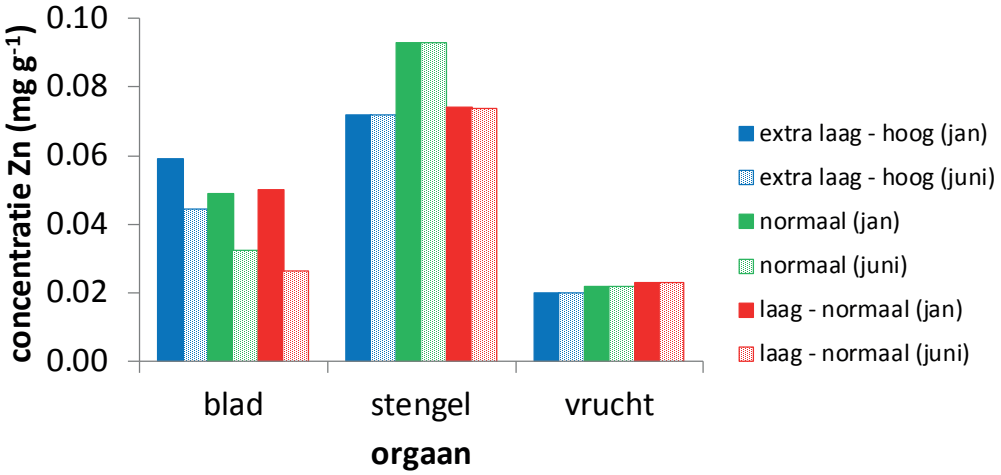

concentratie S (mg g-1)
25
20
15
10
5
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

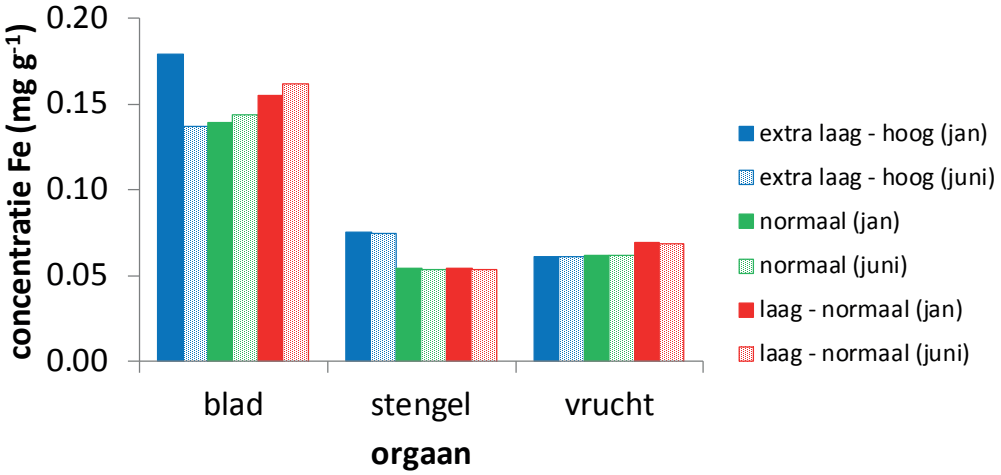

concentratie Cl (mg g-1)
30
25
20
15
10
5
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

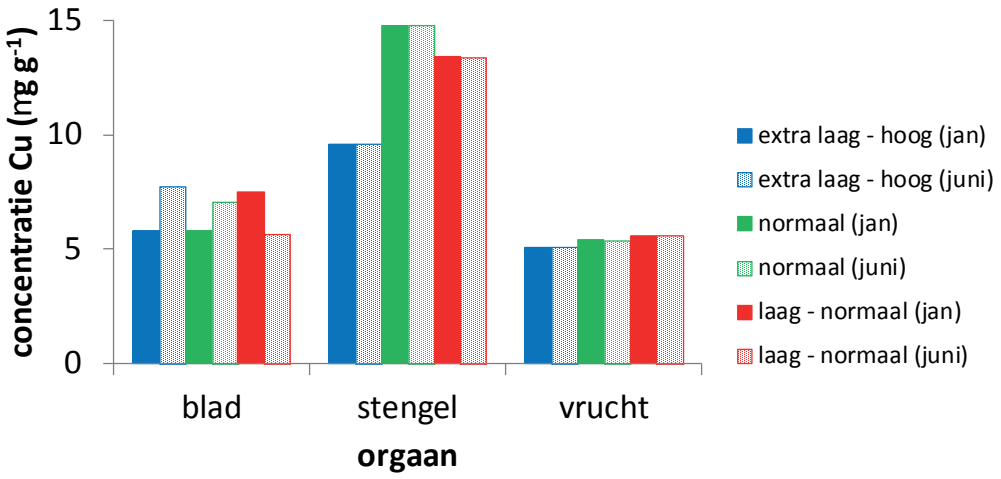

concentratie Ma (mg g-1)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

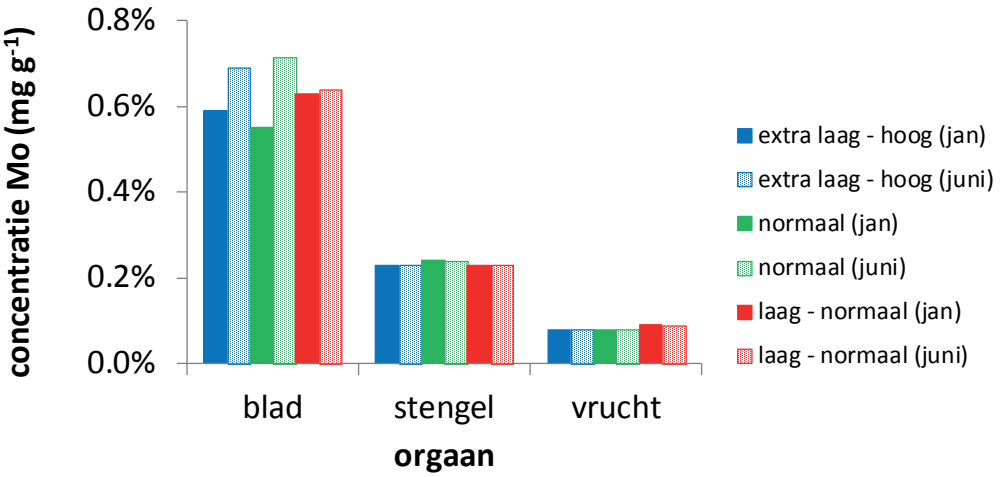

concentratie NO3 (mg g-1)
80
60
40
20
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

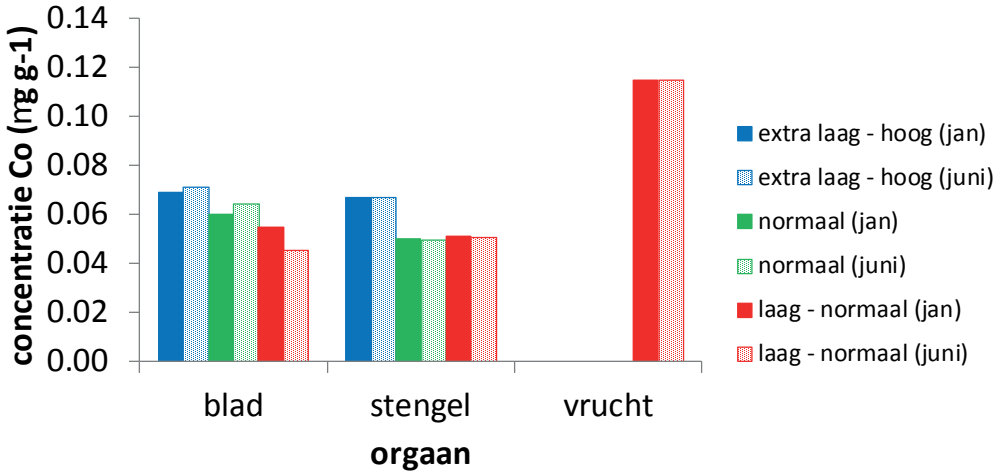

concentratie N (mg g-1)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

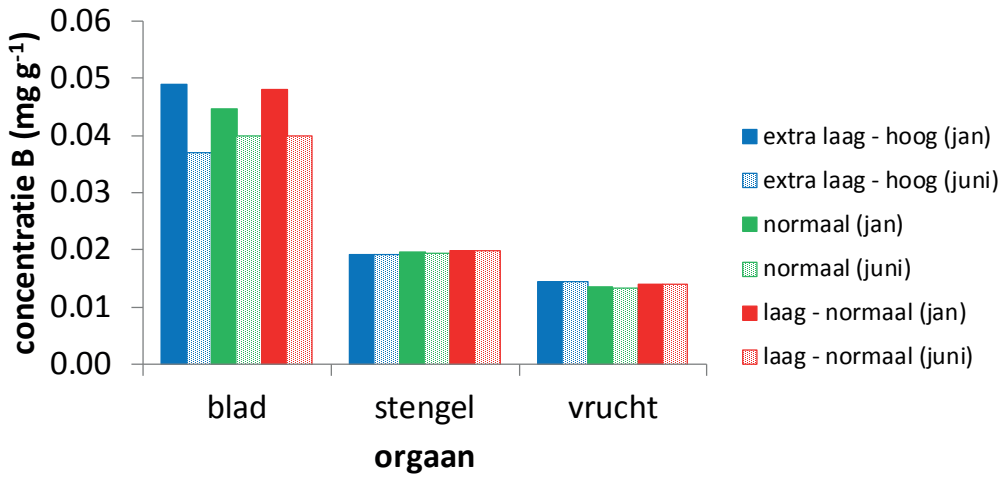

concentratie Zn (mg g-1)
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)


concentratie Fe (mg g-1)
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

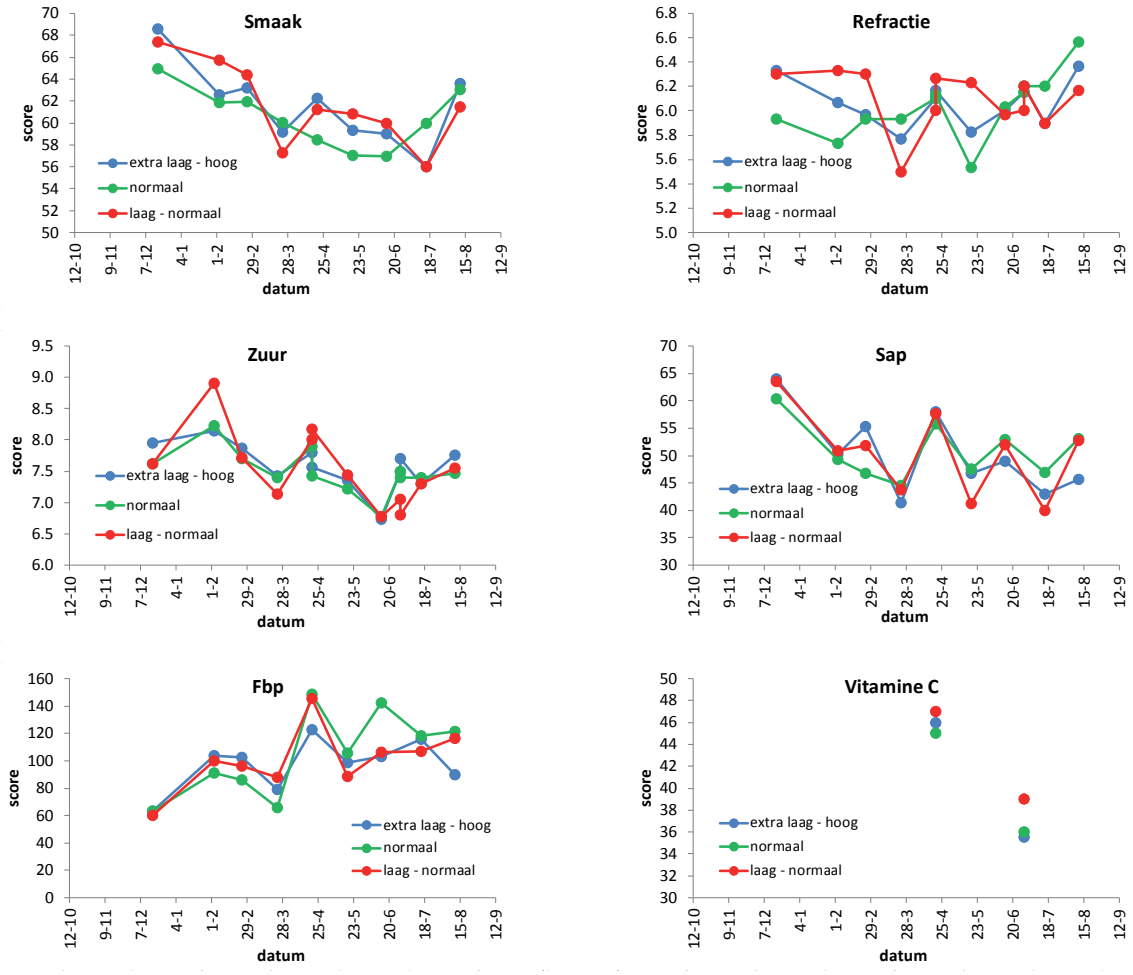

concentratie Cu (mg g-1)
15
10
5
0
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)


concentratie Mo (mg g-1)
0.8%
0.6%
0.4%
0.2%
0.0%
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

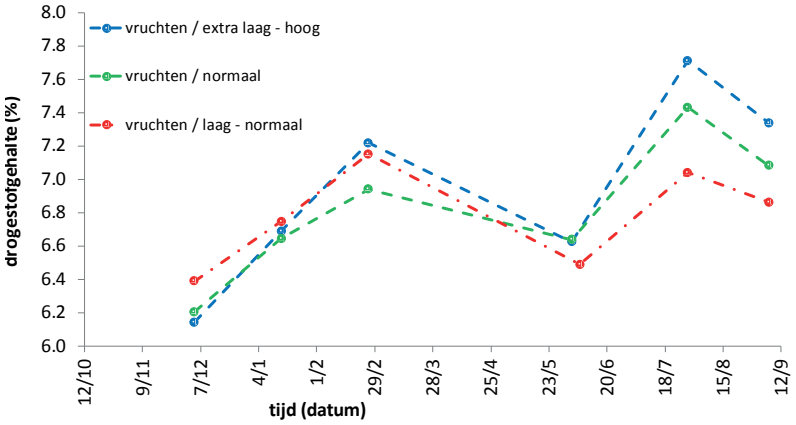

concentratie Co (mg g-1)
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)


concentratie B (mg g-1)
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
blad
stengel
vrucht
orgaan
extra laag - hoog (jan)
extra laag - hoog (juni)
normaal (jan)
normaal (juni)
laag - normaal (jan)
laag - normaal (juni)

Bijlage 9 Smaak en houdbaarheid



Figuur B9.1 *Smaakcijfer (schaal 1-100), refractie (oBrix), hoeveelheid titreerbaar zuur (mmol H3O per 100 g), % sap geperst uit de vruchtwand van de tomaat, kracht tot breuk van de vruchtwant (Fbp, in N), en vitamine C gehalte (mg per 100 g versgewicht).*



Figuur B9.2 *Actuele drogestofgehalten van de vruchten, voor de drie behandelingen.*

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

Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-789

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.